



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Tesi di laurea magistrale in architettura per il  
progetto sostenibile.

Anno: 2019-2020

Relatore:

Roberto Giordano

Studente:

Giuseppe Santoro - s254528

**La valutazione energetico ambientale del ciclo  
di vita delle architetture nel territorio alpino**

# Indice dei contenuti

<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Prefazione</b> .....	<b>5</b>
<b>Glossario</b> .....	<b>6</b>
<b>Lista dei grafici</b> .....	<b>8</b>
<b>Lista delle figure</b> .....	<b>9</b>
<b>I confini del sistema di valutazione degli impatti ambientali del trasporto</b> .....	<b>10</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>11</b>
<b>1 La sostenibilità ambientale in territorio alpino</b> .....	<b>14</b>
1.1 La fragilità del territorio alpino .....	16
1.2 I cambiamenti climatici nelle Alpi .....	17
1.3 L'impegno per la conoscenza e la protezione del territorio alpino: Cipro, Convenzione delle alpi, Constructive Alps, Archalp e lam:.....	21
1.4 Vorarlberg, economia circolare e filiera del legno nelle Alpi .....	23
1.5 Wildpoldsried, indipendenza energetica nelle Prealpi .....	24
<b>2 – Gli strumenti di valutazione del ciclo di vita</b> .....	<b>25</b>
2.1 – Eureka, valutazione degli impatti energetico ambientali nel ciclo di vita.....	26
2.2 – Nolian, software di calcolo ad elementi finiti .....	27
2.3 Strumenti di valutazione di volume, massa e stock di carbonio delle specie arboree. ....	28
2.4 Strumento di valutazione del fabbisogno energetico dell'edificio .....	29
2.5 Implementazione di Eureka: calcolo per la valutazione degli impatti energetico ambientali del trasporto in elicottero.....	30
2.5.1 Guida al modello .....	31
<b>3 L'architettura di riferimento, il rifugio Dalmazzi</b> .....	<b>36</b>
3.1 Perché il rifugio Dalmazzi come architettura di riferimento?.....	37
3.2 Analisi del sistema tecnologico .....	38
3.3 Analisi e valutazione del ciclo di vita.....	49
3.3.1 La fase iniziale: produzione fuori opera .....	50
3.3.2 La fase periodica: energia operativa, manutenzione e sostituzione.....	51
3.3.3 I trasporti.....	55
3.3.3 Fine vita e impatti evitati: .....	58
3.3.5 Risultati.....	60
<b>4 Analisi di scenari alternativi: “Più possibile con, meno possibile contro”</b> .....	<b>62</b>
4.1 Scenari alternativi di involucro opaco: stessa tecnologia con materiali differenti .....	63

4.2 Scenario alternativo strutturale: acciaio, legno, calcestruzzo e alluminio.....	68
4.3 Scenario alternativo impiantistico .....	73
<b>5 Nuovi scenari per l'architettura nel territorio alpino .....</b>	<b>76</b>
5.1 La mitigazione delle emissioni: .....	77
5.2 Dove possiamo intervenire e dove è impossibile "tagliare" le emissioni. ....	80
5.3 Uno sviluppo sostenibile per il trasporto aereo: "Velodrone", cosa comporta costruire con limitazioni di carico utile massimo a 140kg? .....	81
<b>6 Appendice A - Algoritmi .....</b>	<b>83</b>
<b>6.1 Appendice B – Schede tecniche .....</b>	<b>86</b>
<b>7 Bibliografia .....</b>	<b>94</b>
<b>7.1 Sitografia .....</b>	<b>95</b>

## Abstract

L'obiettivo della tesi è quello di valutare alcuni aspetti della **sostenibilità ambientale di architetture situate in siti impervi**, in cui la morfologia territoriale impone la **costruzione tramite elicottero**. Gli edifici che spesso prevedono tale trasporto sono i **rifugi alpini** e in particolare quelli situati in alta quota, **accessibili esclusivamente tramite sentieri e vie ferrate**. Nel caso in cui l'accessibilità al sito è garantita da un'infrastruttura esistente che sia una teleferica o una strada carrabile, sarà preferibile (in termini ambientali ed economici) evitare di ricorrere all'elicottero (a meno di masse poco considerevoli) per costruire l'intera architettura.

Attraverso l'**implementazione** di Eureka (Eco Utility for Reduction of Energy and Carbon), strumento di valutazione degli impatti energetico ambientali nel ciclo di vita elaborato a partire dagli anni 2000 con EVA - Ecocompatibility eValuation Approach, risultato del dottorato di Roberto Giordano e ampliato nel corso di due tesi di laurea magistrale al Politecnico di Torino, è possibile valutare le **gli impatti energetici e le emissioni del trasporto in elicottero e la loro incidenza** sul ciclo di vita dell'edificio. L'analisi di **scenari alternativi** di involucro, struttura e impianto, è finalizzata a presentare delle riflessioni di carattere quantitativo volte a rendere consapevolezza delle scelte progettuali in contesti simili. Il modello per la valutazione degli impatti energetico ambientali del trasporto in elicottero consente di stimare le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e il fabbisogno di energia primaria legate all'elitransporto. Essendo la capacità di carico degli elicotteri molto inferiore rispetto a quella di tutti gli altri mezzi di trasporto, sarà di fondamentale importanza non solo la **massa totale** dell'edificio ma anche quella del **singolo elemento**, soprattutto in ottica di prefabbricazione. Trasportare unità tecnologiche la cui massa superficiale varia anche del 15% può rappresentare una differenza importante nel processo. Progettare, con un sistema costruttivo leggero, un **edificio compatto** all'interno del quale viene data importanza a ogni metro quadro calpestabile costituisce un'operazione fondamentale in un tale contesto, non solo per il rispetto dovuto al territorio alpino ma perché in ogni elemento che compone il sistema tecnologico è incorporata una quantità di energia pari a quella che è stata utilizzata per essere prodotto, mantenuto, smesso, smaltito, ma **soprattutto elitransportato**. La possibilità di azzerare l'impatto ambientale dell'elitransporto non è così lontana dall'essere concepita: fra le grandi innovazioni degli ultimi anni c'è "volodrone": un drone totalmente elettrico capace di trasportare un carico utile di 200kg. Tale mezzo di trasporto implica dei cambiamenti progettuali: sistemi costruttivi a rapido assemblaggio, prefabbricazione limitata. Qualora risulti preferibile una prefabbricazione estesa e un limitato assemblaggio in sito, il drone potrà essere utilizzato per rifornire il rifugio, poiché la fase periodica di elitransporto è una delle più consistenti. Nel prossimo futuro, dunque, la tecnologia metterà a disposizione i mezzi adeguati al fine di evitare le emissioni dell'elitransporto. Per un presente sostenibile è necessario **compensare** le emissioni attraverso la piantumazione di alberi. Per stimare la quantità di specie arboree da piantare sono disponibili le equazioni allometriche.

# Prefazione

Il pensiero comune riguardo la sostenibilità ambientale degli edifici è che gli impatti ambientali siano provocati soprattutto nella fase operativa. Le certificazioni attualmente utilizzate per qualificare gli edifici in materia di sostenibilità sono quelle riguardanti il fabbisogno energetico dell'edificio. Non si considerano ancora (a meno di poche eccezioni) gli impatti ambientali derivanti dall'intero ciclo di vita.

Attualmente il paese più attento alle questioni energetico ambientali è la Svizzera, la quale prevede la certificazione Minergie sia per le nuove costruzioni che per ampliamenti e ristrutturazioni. A differenza degli attestati di certificazione energetica utilizzati in Italia, la Minergie prevede la valutazione non solo degli impatti energetico ambientali in fase di utilizzo, (fabbisogno di energia primaria prodotta dall'impianto termico, elettrico e idraulico), ma degli impatti provocati in ogni fase del ciclo di vita dell'edificio, generalmente in 50 anni.

L'unità di misura attraverso cui si esprime la sostenibilità ambientale di un edificio nel ciclo di vita è il  $[KWh/m^2 \text{ 50 anni}]$

Il politecnico di Torino, in seguito a due lavori di tesi magistrale, coordinati dal professor Roberto Giordano, nel corso di Architettura per il progetto sostenibile ha elaborato uno strumento capace di guidare i progettisti nella scelta di alternative progettuali consapevoli degli impatti energetico ambientali.

L'implementazione dello strumento di valutazione costituisce la possibilità di applicare tale approccio anche alle architetture la cui realizzazione non può prescindere dall'uso dell'elicottero. Per realizzare il modello di calcolo degli impatti energetico ambientali dell'elitransporto è stato necessario considerare le caratteristiche fisiche dinamiche e la logistica di un cantiere in alta quota.

# Glossario

**DBH** - Diameter at breast height

Il DBH è il diametro ad altezza del seno: è il valore da inserire per effettuare il calcolo per stimare il volume di una determinata specie vegetale è il diametro ad altezza del petto

**Cu** - Carico utile [ton]

Per carico utile si intende la massa totale degli elementi da trasportare

**Cu max** - Carico utile massimo [ton]

Il carico utile massimo coincide con la capacità di carico massima del mezzo di trasporto

**EE** - Embodied energy, energia grigia, contenuto energetico.

L'energia grigia è la quantità di energia necessaria a produrre, trasportare e smaltire un prodotto. Comprende l'energia utilizzata per produrre e trasportare le risorse, quella utilizzata nel processo di fabbricazione e quella incorporata nell'elemento (feedstock)

**EC** - Embodied Carbon

L'embodied carbon è la quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente che è stata emessa in ambiente nelle fasi di produzione, trasporto e smaltimento di un prodotto.

**LTO** - landing and take off:

L'indice LTO esprime la quantità di carburante necessaria alle fasi di decollo e atterraggio. In media un elicottero di piccole dimensioni impiega il 12% del carburante necessario a volare per un'ora per la fase LTO.

**OE** - Operational energy

L'energia operativa coincide con il fabbisogno di energia necessario a rispondere alle esigenze di comfort termico, elettricità e acqua.

**WTW** - well to wheel: "dal pozzo alla ruota"

L'indice WTW [MJ/km] esprime la quantità totale di energia usata per estrarre, trasportare, stoccare e far muovere un mezzo. (ruota intesa come

**WTT** - well to tank "dal pozzo al serbatoio"

L'indice WTT esprime l'energia totale impiegata per estrarre, trasportare e rifornire un serbatoio

**TTW** tank to wheel: "dal serbatoio alla ruota"

L'indice TTW esprime l'energia totale utilizzata da un mezzo per percorrere una determinata distanza. Consiste praticamente nei consumi e nell'efficienza del mezzo.

#### **Rc – Rotazione completa**

Per rotazione completa si intende la sequenza delle fasi di aggancio del carico, tratta verso monte, sgancio del carico e tratta verso valle. Si calcola in minuti.

#### **CO<sub>2</sub>eq – CO<sub>2</sub> equivalente**

L'anidride carbonica equivalente è un indice che considera attraverso un unico valore il contributo di tutti i gas effetto serra in relazione al cambiamento climatico. Metano (CH<sub>4</sub>), protossido di azoto si riconducono alla CO<sub>2</sub> dopo averli opportunamente moltiplicati per un valore potenziale di riscaldamento globale (global warming potential, GWP). Tale valore si calcola convenzionalmente a 20, 100 e 500 anni. I gas effetto serra hanno una massa diversa e hanno una durata di stazionamento in atmosfera diversa.

## Lista dei grafici

Grafico 1 – emissioni WTT e TTW.....	10
Grafico 2 – Rapporto tra spazio e tempo nell’elitrasporto .....	31
Grafico 3 – Confronto fra montaggio di precisione e scarico semplice in relazione a spazio e tempo .....	32
Grafico 4 – Semplificazione della riduzione del carico utile massimo in relazione all’altitudine.....	33
Grafico 5 – Rapporto tra densità dell’aria e altitudine.....	33
Grafico 6 – Confronto tra un elicottero leggero e uno pesante.....	35
Grafico 7 – scomposizione del sistema tecnologico.....	38
Grafico 8 – Incidenza del trasporto su gomma e dell’elitrasporto.....	56
Grafico 9 – Impatti energetici nel ciclo di vita .....	60
Grafico 10 – impatti ambientali nel ciclo di vita.....	60
Grafico 11 – incidenza dell’operational energy e dell’embodied energy .....	61
Grafico 12 – Scenario alternativo involucro: isolante in polistirene e rivestimento in legno .....	64
Grafico 13 – Scenario alternativo involucro 2: isolante in fibra di legno e rivestimento in larice .....	64
Grafico 14 – Scenario alternativo involucro 3: isolante in polistirene e rivestimento in rheinzink .....	65
Grafico 15 – Scenario alternativo involucro 4: isolante in fibra di legno e rivestimento in rheinzink .....	65

## Lista delle figure

Figura 1 – tempesta Vaia, distruzione del bosco.....	17
Figura 2 – telo riflettente sul ghiacciaio .....	18
Figura 3 – Fotografia della capanna Rambert (fonte Constructive Alps) .....	22
Figura 4 – schermata iniziale di eureka .....	26
Figura 5 – Schermata di GlobAllomTree nella fase di ricerca geografica delle equazioni .....	28
Figura 6 – esempi di equazioni allometriche di alberi presenti in Italia (GlobAllomTree) .....	28
Figura 7 – Rifugio Cesare Dalmazzi (fotografie di Alberto Emanuele Piovano) .....	36
Figura 8 – Struttura interna rifugio Dalmazzi .....	39
Figura 9 - Terrazza in acciaio .....	41
Figura 10 – Scala esterna rifugio Dalmazzi .....	43
Figura 11 – Involucro rifugio Dalmazzi .....	44
Figura 12 – tecnologia samvaz isox .....	44
Figura 13 – Arredo e Attrezzature del rifugio Dalmazzi .....	47
Figura 14 – da sinistra: elitransporto periodico, sostituzione rivestimenti, impianti .....	51
Figura 15 – Schermata del programma di calcolo del fabbisogno energetico (energia termica ideale).....	53
Figura 16 – Trasporti in costruzione e demolizione .....	55
Figura 17 – Distanze nei trasporti.....	55
Figura 18 – elitransporto della struttura in acciaio .....	57
Figura 19 – 20 travi da 7,5m in acciaio, legno, alluminio e calcestruzzo .....	69
Figura 20 – Isospostamenti nella struttura in legno (Nolian).....	71
Figura 21 – Isospostamenti nella struttura in acciaio (Nolian).....	71
Figura 22 – Elementi dell’albero (GlobAllomTree).....	78
Figura 23 – Fonte GlobAllomTree.....	79
Figura 24 - Fonte GlobAllomTree .....	79
Figura 25 - Fonte GlobAllomTree .....	79
Figura 26 - Fonte GlobAllomTree .....	79
Figura 27 – Volodrone in industria (fonte Volocopter) .....	82
Figura 28 – Volodrone .....	81

## I confini del sistema di valutazione degli impatti ambientali del trasporto

Per valutare gli impatti ambientali del trasporto in elicottero bisogna considerare che l'approvvigionamento al carburante prevede l'estrazione di petrolio e conseguente lavorazione.

Prima ancora di fare il pieno al serbatoio (460 litri) di un elicottero LAMA sono immesse in atmosfera in maniera indiretta **0,4 ton CO<sub>2</sub>eq**. Consumando il combustibile si aggiungono altri **1,8 ton CO<sub>2</sub>eq**, per un totale di **2,2 ton CO<sub>2</sub>eq**. Circa un quinto (18%) delle emissioni totali si verifica in maniera indiretta: per estrarre, raffinare, trasportare e rifornire il mezzo in questione. Ai fini della valutazione degli impatti energetico ambientali bisogna considerare l'intero processo: "dalla culla alla ruota" La definizione dei confini di un sistema, al fine di effettuare una valutazione degli impatti ambientali, deve essere effettuata per garantire una confrontabilità fra i dati.

**WTW, WTT e TTW** sono indici necessari per paragonare differenti metodi di estrazione delle risorse, trasporti delle stesse, motori e carburanti.

La somma di WTT e TTW esprime la totalità delle emissioni (WTW), dirette e indirette, provocate dal consumo di un pieno di un elicottero AS 350 B3, ovvero circa 3 ore e 30 minuti di volo.

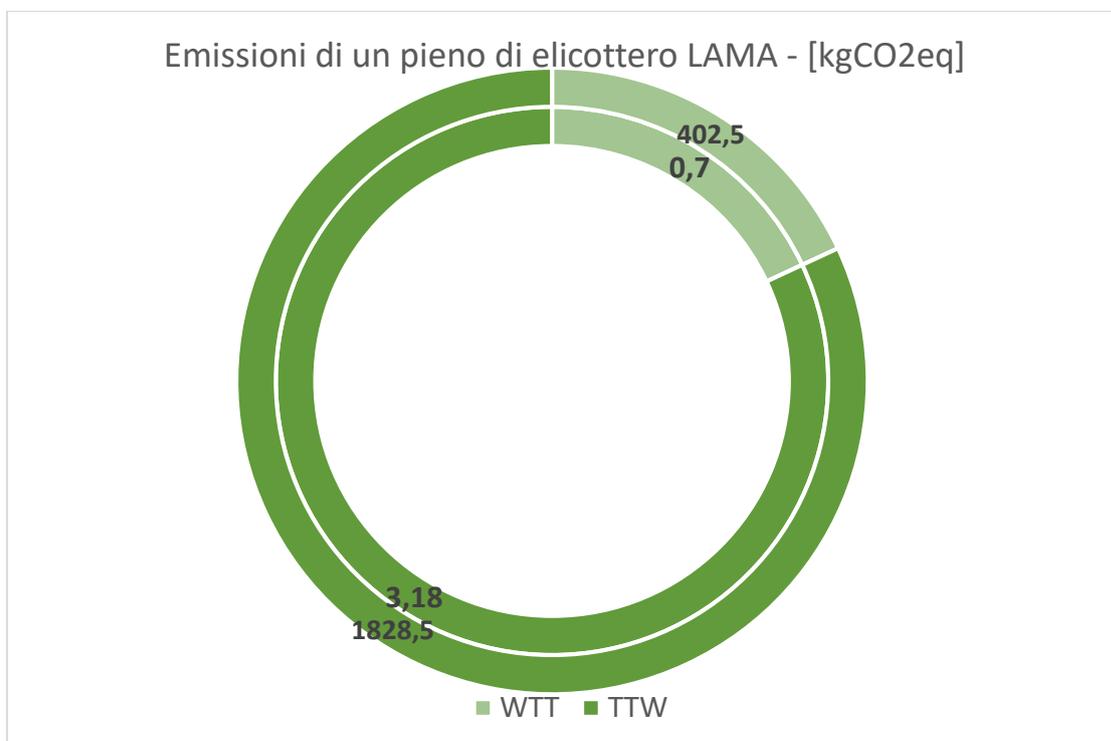


Grafico 1 – emissioni WTT e TTW

## Introduzione

Cercare di **circoscrivere il problema** inquadrando un preciso territorio di 190 600 km<sup>2</sup> non significa escludere che tutto ciò che esiste all'esterno non possa influenzare lo stesso. Tutto ciò che accade nel nostro *“giardino planetario”* ricade su di esso. Inoltre, delimitare il problema del cambiamento climatico al solo surriscaldamento globale non significa che l'inquinamento del suolo e degli oceani non influiscano sullo stesso.

I cambiamenti climatici interessano il mondo intero: tutto ciò che è al di sotto della stratosfera è interessato dal fenomeno. Da decine di anni, ormai, si tratta l'argomento e le cause sono da addurre all'innalzamento delle temperature derivanti dalle emissioni antropiche dei gas a effetto serra.

*«Lo spostamento di un singolo elettrone per un miliardesimo di centimetro, a un momento dato, potrebbe significare la differenza tra due avvenimenti molto diversi, come l'uccisione di un uomo un anno dopo, a causa di una valanga, o la sua salvezza.»*

(Alan Turing, Macchine calcolatrici e intelligenza, 1950)

La tesi non vuole sviluppare argomenti di **sostenibilità sociale ed economica** ma **esclusivamente ambientale**. Tratteremo in un breve capitolo iniziale ciò che può sembrare essere inerente alla sostenibilità sociale perché impossibile farne a meno. Riconosciamo l'importanza di tale contesto e quanto nel bilancio complessivo ciò abbia importanza. Il tema della tesi riguarda principalmente **la sostenibilità ambientale** delle architetture ad alta quota.

*“Il Giardino planetario è una rappresentazione del pianeta come un giardino. Il sentimento di finitezza ecologica fa apparire i limiti della biosfera come lo spazio concluso di ciò che è vivente”*

*“Nel nostro giardino planetario, siamo pronti a considerare ogni cosa come al contempo effimera e trasformabile, sì che la nostra casa possa diventare un'automobile, la nostra automobile un computer e quest'ultimo un giardino?”*

*“Fare il più possibile con, il meno possibile contro.” Bisogna dunque cambiare punto di vista: non guardare dall'alto verso il basso, ma abbassarsi per immergersi e capire.”*

(Gilles Clement, Giardino, paesaggio e genio naturale, 2006)

Soltanto un edificio costruito sulla luna o su Marte utilizzando rocce reperite in sito potrebbe esimersi dall'averne ricadute sul nostro "giardino". Tuttavia, potremmo considerare che per costruire un'architettura lunare o marziana sarebbe necessario bruciare enormi quantità di combustibile per uscire dall'atmosfera terrestre e raggiungere la destinazione. Stabilire i limiti del sistema prima di effettuare una valutazione di impatto ambientale è, di fatto, il primo passaggio. Insomma, tutto ciò che avviene nel mondo riguarda il mondo stesso.

Lo sviluppo sostenibile definito nel rapporto Brundtland nel 1989 definito come «uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri» viene a mancare nel momento in cui le decisioni politiche influiscono maggiormente.

### **Gli scenari elaborati dal modello di Meadows e Randers:**

**Il programma "World 3"** elaborato dagli scienziati Meadows e Randers permette di elaborare una serie di scenari sul futuro del nostro pianeta: sono raggruppati in tre macrocategorie:

- Stato del mondo
- Tenore materiale di vita
- Benessere e impronta ecologica dell'umanità

**Lo stato del mondo** tiene conto delle risorse, alimenti, popolazione, inquinamento e prodotto industriale

**Il tenore materiale di vita** ha come indicatori gli alimenti, beni di consumo e servizi pro capite e la speranza di vita.

**Il benessere e impronta ecologica dell'umanità** mette a confronto l'impronta ecologica umana con l'indice di benessere umano

Gli scenari elaborati sono 10 e differiscono in base alle decisioni che il mondo adotterà o deciderà di fare a meno. Lo scenario 1 rappresenta un futuro in cui l'umanità continua le sue attività senza adottare alcuna precauzione. Lo scenario 9 dipinge un futuro in cui il mondo stabilizza la popolazione intorno ai 9 miliardi e si dota di tecnologie per contrastare l'inquinamento, ottimizzare le risorse e l'agricoltura a partire dal 2002. Lo Scenario 10 differisce dal 9 esclusivamente in merito al fattore temporale, ovvero, se tutte le azioni sopracitate fossero avvenute venti anni prima, nel 1982. È di fondamentale importanza, spiegano gli scienziati, che le decisioni siano prese in tempo, perché "vent'anni possono fare la differenza"

Risulta dunque necessario abbandonare il modello di sviluppo moderno che ha visto nella crescita illimitata la proprietà fondamentale. Un modello lineare di sviluppo che prevede la produzione di manufatti, l'utilizzo e lo smaltimento.

La filosofia che ha guidato progettisti e costruttori nel corso del '900 era caratterizzata dall'idea che l'edilizia dovesse essere durevole, solida, sicura. L'idea di solidità della casa ha portato, in alcuni contesti, a dipingere di rosso

una casa in legno perché concettualmente avrebbe espresso quell'idea di stabilità e pesantezza propria del mattone. Il pensiero comune a inizio dello scorso secolo era che il cemento armato durasse per l'eternità. Tale concezione era, per i propagatori dell'idea, affascinante.

All'inizio dello scorso secolo non ci si preoccupava affatto di dover fare i conti con le tematiche ambientali attuali. La parola chiave era "crescita", l'unica preoccupazione era produrre di più e più velocemente.

Siamo oggi consapevoli che il paradigma di crescita illimitata che ha caratterizzato l'inizio del secolo scorso non si possa più perseguire. È di fatto logicamente incompatibile l'idea di uno sviluppo illimitato in un territorio finito.

Per Gilles Clement, il progettista è simile a un giardiniere, il quale deve semplicemente recepire i messaggi della natura, mettersi in ascolto prima di costruire e contenere il più possibile il suo intervento.

# 1 La sostenibilità ambientale in territorio alpino

Le alpi rappresentano il confine terreno della nostra penisola italiana. Sono otto gli stati che contengono il primato di ospitare la “catena montuosa più importante d’Europa”: Italia, Francia, Liechtenstein, Germania, Austria, Slovenia e Ungheria. Le cime più alte sono in Austria, Italia e Francia.

**La Cipra** è la Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi, nata nel 1952 col fine di promuovere lo sviluppo sostenibile nelle alpi.

**La convenzione delle alpi** ha valutato i rischi verso cui il territorio alpino sta andando incontro. Sono stati valutati gli impatti nei vari settori di attività e i rischi e le sfide da affrontare nei prossimi anni. Alcuni dei settori più importanti sono le foreste montane, le risorse idriche, l’approvvigionamento di energia, la qualità dell’aria, i trasporti e il turismo e la crescente antropizzazione dell’arco alpino.

## **Le foreste alpine:**

È necessaria una pianificazione per l’adattamento ai cambiamenti climatici: la gestione delle foreste svolge un ruolo fondamentale. Bisogna individuare le aree più vulnerabili e stabilire le azioni di prevenzione e di azione in seguito a un disastro. Le foreste svolgono un ruolo chiave nella società e nell’economia alpina. La stabilità delle foreste è sempre più minacciata dagli eventi estremi, la cui intensità si prevede incrementi nei prossimi anni. Incendi e alluvioni distruggono ogni anno boschi e foreste:

## **Le risorse idriche:**

Con l’aumento della temperatura e lo scioglimento dei ghiacciai, l’acqua alimenta i corsi d’acqua nelle valli subisce delle trasformazioni: la preoccupazione più imminente riguarda non solo **alluvioni e inondazioni**, ma anche la **scarsità di acqua** in estate (spesso alcuni rifugi alpini sono rimasti senza acqua). Un altro problema dell’innalzamento della temperatura dell’acqua è la sua **diminuzione della qualità**.

**L’acqua alpina**, infatti, oltre ad essere una **fonte di vita** è anche una **fonte di energia rinnovabile e di guadagno**. I principali settori che dipendono da questa fonte sono l’agricoltura e le centrali idroelettriche. L’Italia produce il 15,8% dell’energia elettrica attraverso le centrali idroelettriche, l’Alto Adige il 75,5%. Oltre a produrre energia idroelettrica per il proprio fabbisogno, i paesi alpini esportano molta di questa energia. Il dibattito sul “lato oscuro” delle centrali idroelettriche anima spesso gli ambientalisti per l’impatto che queste hanno sul paesaggio.

L’idea comune è che l’acqua appartenga a tutti, è pubblica. Tale convinzione è sempre più spesso minacciata: nel 2011, in Italia, c’è stato il referendum contro la privatizzazione dell’acqua. Come messo in luce dalla Cipra, c’è tensione nei grandi gruppi che imbottigliano l’acqua minerale delle alpi. Uno dei maggiori

rischi è che un comune alpino, stimolato dall'offerta di posti di lavoro e crescita dell'economia si ritrovi a vendere a un'impresa la fonte di acqua.

**Gli obiettivi** stabiliti dalla convenzione delle alpi per l'adattamento ai cambiamenti climatici sono mirati alla protezione delle acque sotterranee, alla gestione dell'acqua piovana e a misure di ritenzione per l'agricoltura andando ad impedire agli agricoltori di drenare l'acqua direttamente dal fiume.

Spesso nella storia del nostro paese si è verificato che solo dopo un disastro, di qualunque genere, si è corsi ai ripari: misure di **prevenzione proattiva** non sono proprio all'ordine del giorno in Italia. È sicuramente responsabile la mancanza di onestà intellettuale, oltre al fatto che politici e governatori non sono statisti.

Un altro aspetto su cui insiste la convenzione delle Alpi è l'**energia**: c'è una grande domanda di fonti di energia rinnovabili, probabilmente indotta da una presa di coscienza del cambiamento climatico. Le principali differenze, in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>, del territorio alpino rispetto ad altri territori europei risiedono nella **scarsa presenza di industrie** e nei consistenti consumi energetici legati principalmente al **riscaldamento domestico**. Si registra un grande aumento nell'utilizzo di fonti rinnovabili ma non si può di certo parlare di autosufficienza. Le alpi possono, oggi, fare affidamento sull'energia idroelettrica, la quale risulta preponderante rispetto ad altre energie rinnovabili. Tuttavia, il cambiamento climatico, attraverso la progressiva diminuzione della portata dei corsi d'acqua, mette a rischio anche questo settore della produzione di energia. La convenzione delle Alpi, dunque, ritiene che il territorio alpino debba non solo incrementare l'utilizzo di fonti rinnovabili, ma anche **limitare i consumi di energia**, in particolare quelli domestici.

*“Nelle Alpi il consumo di energia pro capite supera di circa il 10 percento quello della media europea. Le case private sono fra i grandi divoratori di energia perché gran parte dell'energia è consumata per riscaldare gli ambienti. E visto che nelle Alpi gran parte del patrimonio edilizio ha bisogno di essere risanato, il settore delle costruzioni rappresenta una delle chiavi per risolvere il problema climatico.”*

<https://www.cipra.org/it/cipra/internazionale/progetti/conclusi/cc-alps/sul-progetto/cambiamento-climatico-alpi>

## 1.1 La fragilità del territorio alpino

Vi sono territori che manifestano prima di altri i sintomi del cambiamento climatico: i territori fragili sono maggiormente vulnerabili, nelle alpi è ben visibile lo scioglimento dei ghiacciai. Una delle preoccupazioni maggiori legate al surriscaldamento globale sarà la mancanza di acqua. In territorio alpino nascono la maggior parte dei fiumi che scorrono nel nord Italia.

I fenomeni che mettono a rischio le risorse del territorio alpino sono sempre più estremi: in conseguenza allo scioglimento delle nevi si prevedono alluvioni più intense. Tali fenomeni sono connessi alla minore stabilità dei ghiacciai, alla maggiore dimensione dei laghi glaciali e all'emersione dell'acqua presente nelle cavità dei ghiacciai. Anche i fianchi delle montagne sono meno stabili. Di conseguenza sono sempre maggiori i fenomeni franosi che mettono a rischio la vita dell'uomo.

Sono sempre più frequenti eventi estremi come la tempesta che nel 2018 ha distrutto i boschi del nord est Italia. Eventi simili non solo non esistono nella memoria umana, ma non sono presenti nemmeno negli archivi. Sono stati stimati 2,8 miliardi di euro in danni e 8 persone sono morte. Tra Veneto e Trentino caddero, tra Veneto e Trentino, circa 70 cm di pioggia in tre giorni e quasi 90 cm nel nord del Friuli e venti a oltre 215km/h in Trentino. 14 milioni di alberi abbattuti su 41.000 ettari.

[https://it.wikipedia.org/wiki/Tempesta\\_Vaia#cite\\_note-1](https://it.wikipedia.org/wiki/Tempesta_Vaia#cite_note-1)

(con 14 milioni di alberi si potrebbero costruire circa 200.000 case unifamiliari.)

A differenza delle tempeste gli incendi provocano enormi emissioni di CO<sub>2</sub>. Quando una foresta brucia viene rilasciata quella parte di anidride carbonica sottratta all'atmosfera durante la vita degli alberi e immagazzinata sotto forma di carbonio nella biomassa.



Figura 1 – tempesta Vaia, distruzione del bosco

<https://www.valledifiemme.it/la-strage-di-alberi-valle-di-fiemme/>

## 1.2 I cambiamenti climatici nelle Alpi

Nelle Alpi gli effetti del surriscaldamento globale sono ben visibili. Si tratta di un territorio vulnerabile ai cambiamenti climatici, fragile. Le temperature medie, in territorio alpino, si innalzano a una velocità doppia rispetto a quella globale. Verranno di seguito riportati alcune storie di esempi virtuosi, ma prima analizziamo gli effetti del climate change nelle alpi. **68 dei 73 ghiacciai alpini si sono ritirati della metà** rispetto all'origine; stendere un telo riflettente sul ghiacciaio rappresenta di fatto un'operazione disperata, *“è come se qualcuno avesse applicato un minuscolo cerotto a un gigante ricoperto di ferite su tutto il corpo”*. La stabilità delle strutture che poggiano su determinati terreni quali infrastrutture di risalita e rifugi alpini è messa a rischio.



Figura 2 – telo riflettente sul ghiacciaio

<https://www.giornaledibrescia.it/valcamonica/presena-via-la-coperta-si-aspettano-le-nevicate-1.3398205>

Nonostante gli effetti del cambiamento climatico siano evidenti e chiaramente indesiderati e le cause note da ormai mezzo secolo, gli stessi paesi alpini risultano lontani dagli obiettivi stabiliti dal protocollo di Kyoto. Lo scenario che ci si prospetta è drammatico: una delle maggiori regioni di vacanza europea, nota per l'attività sciistica rischia, a lungo termine, di non poter più offrire il parco sciistico attualmente disponibile. L'organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) ha stimato che con un innalzamento della temperatura di **2 gradi, solo il 12,8% dei comprensori sciistici** della Germania potrà disporre di **neve naturale**. I cannoni della neve, oltre che ad alimentare il problema del surriscaldamento globale, non potranno funzionare alle alte temperature. In questo scenario, tuttavia, nessuno è disposto a fare un passo indietro e riconsiderare la propria offerta turistica. Sono molti i nuovi impianti di risalita attualmente in costruzione, anche a quote inferiori ai 2000 metri. Del resto, il turismo sciistico è uno dei settori che porta più soldi ai territori in questione e ne innalza di conseguenza l'occupazione. La Cipra ha stimato che le 524 stazioni sciistiche hanno fatturato 527 milioni di euro, quasi tutti in inverno. Gli impianti di risalita più in alto, dunque, potranno beneficiare ancora per molto tempo della neve naturale, ma quelli ad altitudine sono maggiormente a rischio, soprattutto se si continua a prevedere un introito derivante dallo sport invernale.

È necessario un cambiamento di coscienza: la stragrande maggioranza dei turisti affolla il territorio alpino proprio per il suo romantico carattere invernale. Privo di neve difficilmente sarà in grado di attrarre una così grande platea. Saranno al sicuro solo gli impianti sciistici più alti. Quelli sotto i 2000 metri sono a rischio.

Tuttavia, alcuni comuni più lungimiranti stanno iniziando a considerare un turismo autunnale piuttosto che invernale. D'altro canto, per effetto del surriscaldamento globale, il sud dell'Europa sarà in cerca di una piacevole aria estiva di montagna. Quindi una transizione turistica: dall'inverno all'estate e dagli sciatori agli escursionisti. Transizione che in grande scala e a lungo termine riguarderà l'intero mondo. Ancora non siamo pronti per dire addio al vecchio sistema turistico alpino. Attraverso una crescita che sembra ancora esponenziale, spuntano da un giorno all'altro nuovi impianti, ma quanto inquinano? Vi è tattica senza strategia: siamo pronti a vincere le battaglie più prossime, ovvero fatturare più della stagione precedente, ma non sappiamo, o meglio, evitiamo di fare i conti con ciò che il futuro ha in serbo per questo grande territorio. L'economia governa ancora il mondo.

La scomparsa dei ghiacciai non comporta semplicemente la perdita di una suggestiva visione di una lingua di ghiaccio che scende lungo un canale tra le montagne, (suggestiva può essere anche il letto di pietre lasciato al ritiro del ghiacciaio) bensì è a rischio l'approvvigionamento a una delle risorse più essenziali e meno sostituibili: l'acqua. Le precipitazioni saranno più intense ma meno frequenti, bisognerà fare i conti con le inondazioni in un territorio vulnerabile dal punto di vista del dissesto idrogeologico. L'Italia lotta ogni giorno contro frane, valanghe, alluvioni, inondazioni e incendi.

Adattarsi ai cambiamenti climatici per contrastare le catastrofi naturali significa, oltre a dotarsi di **piani di protezione civile** e abbandonare con dispiacere la propria abitazione dove non è possibile costruire protezioni, limitare le emissioni dei gas effetto serra subito.

**Le montagne crollano:**

<https://www.regione.vda.it/gestione/riviweb/templates/asp/environnement.aspx?pkArt=372>

**Frane e distacchi di materiale roccioso dai fianchi delle montagne avvengono per la natura discontinua delle montagne. I grandi ammassi rocciosi sono "collegati" l'un l'altro da "ponti di roccia" L'aumento delle temperature ha come effetto l'innalzamento dello zero termico.**

Dal 1990 il 12% dei boschi italiani è stato distrutto dagli incendi.

La convenzione delle Alpi, in vigore dal 1995, è un trattato internazionale sottoscritto dagli 8 paesi del territorio alpino e dall'Unione Europea volto a garantire uno sviluppo sostenibile e a proteggere un territorio fragile.

La salvaguardia degli ecosistemi alpini, dell'identità culturale e delle tradizioni sono l'obiettivo del trattato.

Le aree forestali, in Italia, coprono il 35% del territorio nazionale. In Austria il 48%. Il nemico principale di questa risorsa sono gli incendi e le alluvioni

La fragilità del territorio alpino:

I cambiamenti climatici interessano il mondo intero: tutto ciò che è al di sotto della stratosfera è interessato dal fenomeno. Da decine di anni, ormai, si tratta

l'argomento e le cause sono da addurre all'innalzamento delle temperature derivanti dalle emissioni dei gas a effetto serra.

Vi sono territori che manifestano prima di altri gli effetti del cambiamento climatico: i territori fragili sono maggiormente vulnerabili, nelle alpi è ben visibile lo scioglimento dei ghiacciai. Tuttavia, le preoccupazioni legate al cambiamento sono la futura mancanza di acqua. In territorio alpino nascono la quasi totalità dei fiumi che scorrono nel nord Italia.

Possono le costruzioni alpine rappresentare un modello? "Constructive alps è un premio che da qualche anno viene concesso alle architetture sostenibili a 360 gradi. L'energia grigia è un fattore importante di valutazione.

*"Laddove possibile, dovremmo utilizzare materiali da costruzione regionali, rinnovabili, disponibili in abbondanza e che contengono una piccola percentuale di energia grigia."*

Dominique Gauzin-Müller, Membro della giuria / Constructive Alps

È subito evidente che la costruzione in legno è un fattore premiante della giuria. Dando uno sguardo ai progetti vincitori degli ultimi anni uno dei primi aspetti che si notano è proprio il grande ricorso al legno. Tuttavia, per la tipologia dei rifugi alpini, spesso, la scelta dei materiali, soprattutto per i rivestimenti, ricade su quelli metallici, sia per una questione di durabilità che di leggerezza.

1.3 L'impegno per la conoscenza e la protezione del territorio alpino: Cipra, Convenzione delle alpi, Constructive Alps, Archalp e lam:



## CONSTRUCTIVE ALPS

Possono le costruzioni alpine rappresentare un modello? “Constructive alps è un premio che da qualche anno viene concesso alle architetture sostenibili. L'energia grigia è un fattore importante di valutazione.

*“La Svizzera e il Principato del Liechtenstein hanno indetto il concorso internazionale di architettura «Constructive Alps». In occasione della sua prima riunione, la giuria internazionale ha scelto tra più di 300 partecipanti i 28 progetti che meglio hanno saputo mettere in opera nelle Alpi una ristrutturazione o una costruzione esemplare e rispettosa del clima.”*

*“La giuria visiterà i 28 edifici situati tra la Slovenia e la Francia e condurrà dei colloqui con i committenti, gli studi di architettura e gli utenti delle strutture. Nella valutazione, oltre al rispetto climatico degli edifici misurato con indicatori energetici ed energia grigia per la costruzione, la giuria ha dato particolare importanza al contributo del progetto a favore di una vita e di un'economia nelle Alpi orientate al futuro.”*

**L'energia grigia** è uno dei fattori di valutazione della giuria: Viene dunque valutata la quantità di energia utilizzata per produrre, trasportare e in futuro smaltire l'edificio. Diventa dunque vincolante, allo stato di fatto, la costruzione attraverso elementi in legno reperiti nelle aziende più vicine. Il territorio alpino e le regioni limitrofe sono colmi di aziende produttrici di elementi costruttivi in legno. Le foreste, del resto, sono ampiamente presenti nei paesi transalpini, in particolare Austria e Svizzera e in alcune regioni subalpine come il Trentino-Alto Adige. Quasi la metà del territorio austriaco è composta da boschi e foreste. La gestione del patrimonio boschivo e forestale è un concetto culturale radicato più o meno a seconda dei paesi.

Constructive alps non tiene conto solo dell'architettura come manufatto, bensì come l'insieme di processi necessari a realizzare l'opera e anche come questa viene vissuta.

Uno dei vincitori del premio **constructive alps**: La capanna Rambert



Figura 3 – Fotografia della capanna Rambert (fonte Constructive Alps)

<http://www.constructivealps.net/it/cabane-rambert/>

La capanna Rambert, come il rifugio Dalmazzi, è stata costruita mediante il ricorso all'elicottero. Il progetto prevede l'ampliamento della vecchia capanna costruita negli anni 50 tramite l'aggiunta di un volume addossato al vecchio rifugio. Situata a 2580 metri sul livello del mare, (altitudine simile al Dalmazzi) la capanna Rambert viene premiata in constructive alps. Sono state premiate le soluzioni impiantistiche che prevedono il riciclo dell'acqua piovana e la produzione di energia elettrica tramite fotovoltaico.

Il rivestimento in questo caso è in **acciaio inossidabile** e ricopre sia le due falde convergenti, le quattro facciate e anche le persiane. In contesti simili, infatti, vengono privilegiate scelte che prevedono rivestimenti durevoli (eterni) sui quali la manutenzione risulta nulla. Nonostante un rivestimento in legno sia di gran lunga preferibile in termini di energia grigia, per ragioni di durabilità, a tali altitudini è preferibile un rivestimento metallico: ogni anno bisognerebbe trattare il legno con delle vernici epossidiche protettive e probabilmente sostituirlo una volta in 50 anni, al contrario, l'acciaio inossidabile è eterno.

Ipotesizzare dunque di sostituire, dopo 40 anni, un rivestimento di 300mq di legno, per un peso totale di 3,3 tonnellate implica di nuovo il ricorso all'elicottero. Una soluzione che non prevede alcun tipo di sostituzione o manutenzione implica l'azzeramento delle emissioni in fase periodica (OE esclusa).

## 1.4 Vorarlberg, economia circolare e filiera del legno nelle Alpi

Trattando il tema delle emissioni dei cambiamenti climatici nelle Alpi non possiamo non spendere qualche parola su boschi e foreste. Il bosco in alcune realtà diventa il protagonista: la fonte delle materie prime, la risorsa primaria. Il 30% del legno abbattuto ogni anno viene destinato al settore delle costruzioni. In termini sociali, le alpi sono un territorio in cui, per motivi non solo geografici si parla spesso di aree interne. Essendo scarsamente dense di popolazione, le alpi costituiscono un territorio in cui le possibilità si moltiplicano.

La storia del Consorzio qualità costruzioni in legno del **Vorarlberg**, stato federato dell'Austria situato più a ovest del paese, è un esempio virtuoso di economia interna al territorio alpino. Vorarlberg è lo. Si tratta di una cooperativa regionale che riunisce tutti i professionisti legati al mondo del legno. Due dei protagonisti di questa storia sono Matthias Ammann e Christian Walch. Il primo è stato il promotore del Consorzio qualità costruzioni in legno, il secondo è il capo della Okohaus GmbH di Ludesch. "Tagliamo meno legna di quanto non ne cresca" afferma Ammann. Quando il petrolio esaurirà non ci sarà una corsa frettolosa nella ricerca di nuove tecnologie poiché già oggi è possibile, o meglio conveniente, rinunciare alle fonti non rinnovabili e utilizzare le materie messe a disposizione dal territorio attraverso una gestione sostenibile del patrimonio boschivo. È facile immaginare uno scenario di sviluppo sostenibile in cui è il legno uno dei materiali maggiormente usati nel territorio alpino: la filiera locale implica un sistema in cui, grazie ai trasporti molto limitati, gli elementi in legno, nel loro ciclo di vita, mantengono un bilancio negativo di emissioni.

Gli architetti hanno una grande responsabilità in questo scenario che ci si prospetta: spetta a loro la scelta del materiale. Costruire in legno, soprattutto se esiste una filiera locale, è il modo per ridurre drasticamente l'impatto ambientale dell'edilizia.

## 1.5 Wildpoldsried, indipendenza energetica nelle Prealpi

In tema di **energia** il caso di **Wildpoldsried** in Algovia è sicuramente un esempio virtuoso. Si tratta di un piccolo comune tedesco di 2500 abitanti situato nelle prealpi. Wildpoldsried non solo è autosufficiente per quanto riguarda l'energia elettrica, ma ne produce una quantità doppia rispetto al proprio fabbisogno. Dando uno sguardo dall'alto al centro abitato ci si rende subito conto che quasi ogni abitazione è dotata di sistemi fotovoltaici e solari in copertura. Il vento costante, il sole che splende tutto l'anno, la biomassa e l'energia del torrente sono le fonti principali che conferiscono a questo paese l'indipendenza energetica, ottenuta principalmente (e dategli torto) per interesse economico. Il sindaco Arno Zengerle riporta un incasso di 50.000 euro derivante dai soli impianti fotovoltaici posizionati sulle coperture degli edifici pubblici. *“se non ci fosse la Soprintendenza ai beni architettonici e artistici,”* ironizza la Cipra, *“avrebbero montato pannelli solari addirittura sulla chiesa.”*

È un processo in cui la cittadinanza partecipa con grande entusiasmo. In merito ai generatori eolici la cittadinanza si esprime, tramite questionario anonimo, favorevole al 92%. Fu poi promossa, data la grande disponibilità di legna, la costruzione di una centrale a pellet che andasse a sostituire quella a petrolio con la principale motivazione che *“Straubing (luogo di approvvigionamento del legno) è più vicina dell'Arabia Saudita”*

Dato che il clima rigido impone, soprattutto nelle abitazioni private in stagione invernale, un elevato fabbisogno di energia termica, la soluzione del Wildpoldsried permette di riscaldare le case tramite energie rinnovabili. L'alternativa più valida rimangono sempre le case passive.

## 2 – Gli strumenti di valutazione del ciclo di vita

Gli strumenti di valutazione di cui ci serviamo sono finalizzati principalmente alla valutazione degli impatti energetico ambientali. L'utilizzo di tali strumenti è finalizzato alla definizione di scenari alternativi, la loro applicazione è da effettuarsi in fase preliminare del progetto. Gli strumenti devono guidare i progettisti verso scelte consapevoli.

Utilizzando un modello di valutazione degli impatti nel ciclo di vita in fase preliminare si possono comparare diverse tecnologie e materiali al fine di evitare di optare per il peggior compromesso in termini di emissioni. Si può pianificare la manutenzione e le sostituzioni e aver consapevolezza circa le varie soluzioni.

Un software di calcolo strutturale può rappresentare un ottimo strumento per confrontare strutture in legno, acciaio o calcestruzzo: ipotizzando di lasciare invariata la geometria della costruzione e andare a intervenire sul solo sistema costruttivo possiamo stimare la quantità di materiale necessaria a garantire le stesse prestazioni meccaniche fra diversi materiali. A parità di carichi, sforzi e spostamenti si può verificare la diversa massa degli elementi e il loro ingombro nel sistema edilizio.

Nel caso degli impatti energetico ambientali della fase d'uso riconducibili al fabbisogno di energia termica è possibile che l'involucro non sia abbastanza prestante o che la superficie vetrata sia eccessiva o esposta in modo non vantaggioso. In fase preliminare si possono correggere gli eventuali errori al fine di ottenere una dispersione minore, un fabbisogno energetico inferiore e dunque un impianto adeguato e minori emissioni.

Le equazioni allometriche, infine, rappresentano lo strumento per avere consapevolezza dell'intervento di mitigazione da effettuare in caso di bilancio positivo degli impatti ambientali. Avendo stimato con i software precedenti la quantità di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente emessa dal processo edilizio durante il ciclo di vita, si può stimare la quantità e la specie di alberi da piantare al fine di sottrarre all'ambiente una quantità pari o superiore a quella emessa dell'edificio.

## 2.1 – Eureka, valutazione degli impatti energetico ambientali nel ciclo di vita

**Eureka** è uno strumento di calcolo finalizzato a valutare gli impatti energetico ambientali in ottica Life Cycle Assessment. Il modello nasce negli anni 2000 dall'esito della ricerca di dottorato di Roberto Giordano e dall'implementazione di Ireea, strumento sviluppato in una tesi magistrale coordinata dallo stesso professore. L'implementazione è consistita nella valutazione degli impatti ambientali (embodied carbon) e delle fasi di trasporto su gomma, rotaia e via mare e del fine vita attraverso gli impatti evitati.

La tesi implementa lo strumento di valutazione esistente andando ad aggiungere il **trasporto aereo in elicottero**. La finalità del modello è quella di guidare il progettista verso decisioni più consapevoli dal punto di vista ambientale. Può essere utilizzato per elaborare scenari alternativi di progetto e di costruzione. La consapevolezza dell'impatto ambientale del trasporto in elicottero dovrebbe portare ad escludere tale mezzo di trasporto tutte le volte in cui non è necessario.

Per ottenere i risultati, visualizzabili sia per materiale che per elemento, è necessario inserire le caratteristiche geometriche dell'edificio (eventualmente ambienti riscaldati e non) e stabilire la composizione delle unità tecnologiche. Una volta aver visualizzato i risultati si può decidere di intervenire sul singolo elemento al fine di ridurre gli impatti.



Figura 4 – schermata iniziale di eureka

## 2.2 – Nolian, software di calcolo ad elementi finiti

*Nolian* è un software di calcolo a elementi finiti elaborato dalla *softing* e utilizzato per il dimensionamento strutturale. Nella tesi viene utilizzato per proporre **scenari alternativi** dal punto di vista strutturale. *Nolian* lavora nello spazio 3D e per strutture semplici è uno strumento rapido di calcolo. Esistono molti programmi simili, in ogni caso gli input necessari sono:

- Definizione della geometria della struttura
- Definizione della sezione degli elementi
- Definizione delle proprietà meccaniche del materiale
- Definizione dei vincoli
- Definizione dei carichi

Possiamo servirci del software per ipotizzare una struttura esistente con un altro materiale, ad esempio una in acciaio in legno e viceversa. Possiamo partire da una struttura in calcestruzzo esistente per ipotizzarla in legno o acciaio, tenendo conto della diversa rigidità di un sistema in cls e uno in acciaio/legno.

Si può procedere con un metodo “a tentativi” ovvero ipotizzare ad esempio una struttura a portali in acciaio in HE 160 A e una a portali in legno lamellare della stessa geometria su cui grava lo stesso carico e vincolata allo stesso modo. Le sezioni degli elementi saranno ovviamente diverse: quelle in legno lamellare saranno rettangolari e quelle in acciaio saranno probabilmente IPE o HEA. Il confronto tra le strutture si effettua su x principali caratteristiche:

- Spostamenti massimi (vedi NTC2018)
- Sforzi (N, T, M)
- Tensioni massime (vedi NTC2018)

Nel caso di strutture di elevazione esclusivamente in acciaio o legno sarà necessario inserire elementi che irrigidiscano la struttura: si potrà eseguire tale operazione o andando a inserire dei controventi o andando a considerare come incastri una serie di nodi.

## 2.3 Strumenti di valutazione di volume, massa e stock di carbonio delle specie arboree.

GlobAllomeTree è una piattaforma web elaborata nel 2013 in continua evoluzione che fornisce dati come equazioni allometriche, densità del legno, biomassa grezza e dati di volume e fattori di espansione della biomassa. Dopo aver effettuato la registrazione gratuita è possibile accedere a decine di migliaia di equazioni allometriche in tutto il mondo. La FAO, il CIRAD e l'università della Tuscia hanno dato il maggior contributo per la redazione del database. Lo stock di carbonio è il dato necessario per conoscere il numero di alberi da piantare per compensare una data quantità di emissioni.

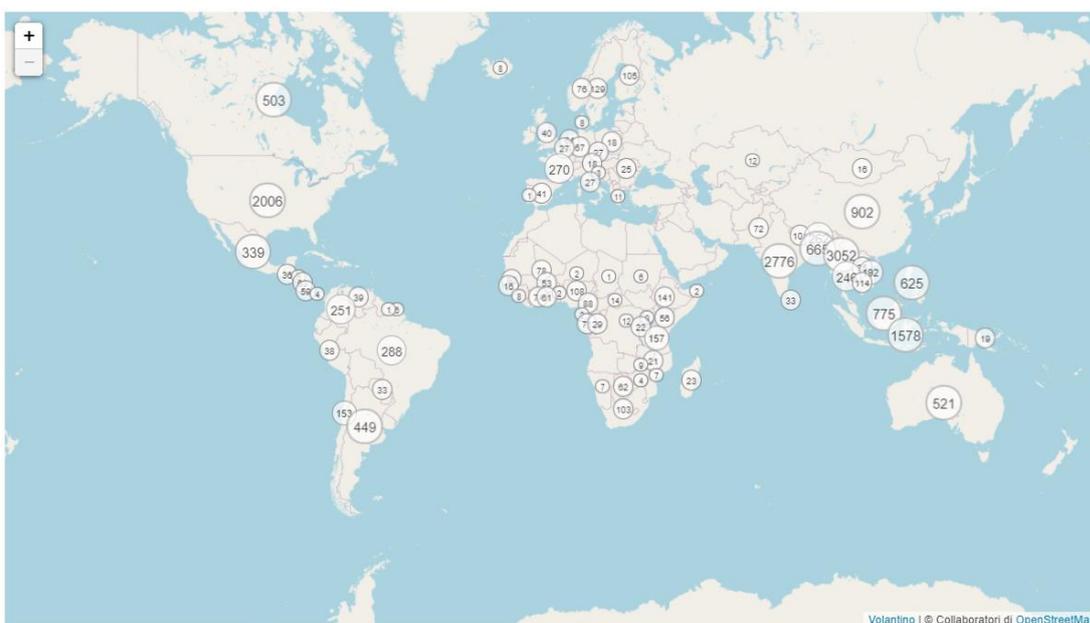


Figura 5 – Schermata di GlobAllomeTree nella fase di ricerca geografica delle equazioni

Equazione allometrica 41167		Informazioni dettagliate >
Equazione	$Volume = 0,5547 * 0,3752 * (DBH)^2$	
Produzione	Volume	
Riferimento	Brandini, P. e Tabacchi, G. 1996. Biomasse e equazioni di volume per leccio e mirtillo rosso nei boschi cedui del sud Sardegna. ISAFSA Comunicazioni di Ricerca (96) 59-69	
Anno di riferimento	1996	
Biomni della FAO	Foresta secca subtropicale	
Specie	Ericaceae <i>Arbutus unedo</i>	
Posizioni	Italia (lat 39,3653, lon 9,3244)	
Equazione allometrica 43437		Informazioni dettagliate >
Equazione	$Biomass = 0,1253 * 0,048612 * (DBH)^2$	
Produzione	Biomassa	
Riferimento	Brandini, P. e Tabacchi, G. 1996. Biomasse e equazioni di volume per leccio e mirtillo rosso nei boschi cedui del sud Sardegna. ISAFSA Comunicazioni di Ricerca (96) 59-69	
Anno di riferimento	1996	
Biomni della FAO	Foresta secca subtropicale	
Specie	Ericaceae <i>Arbutus unedo</i>	
Posizioni	Italia (lat 39,3653, lon 9,3244)	
Equazione allometrica 45494		Informazioni dettagliate >
Equazione	$Biomass = 0,0165 * 0,03592 * (DBH)^2 * (H)$	
Produzione	Biomassa	
Riferimento	Brandini, P. e Tabacchi, G. 1996. Biomasse e equazioni di volume per leccio e mirtillo rosso nei boschi cedui del sud Sardegna. ISAFSA Comunicazioni di Ricerca (96) 59-69	
Anno di riferimento	1996	
Biomni della FAO	Foresta secca subtropicale	
Specie	Fagaceae <i>Quercus ilex</i>	
Posizioni	Italia (lat 39,3653, lon 9,3244)	
Equazione allometrica 45786		Informazioni dettagliate >

Figura 6 – esempi di equazioni allometriche di alberi presenti in Italia (GlobAllomeTree)

## 2.4 Strumento di valutazione del fabbisogno energetico dell'edificio

Il foglio di calcolo elaborato nel 2007 dal Professor Corrado del Politecnico di Torino permette di stimare (ad esempio) il fabbisogno ideale di energia termica necessario a soddisfare il comfort interno.

Dopo aver inserito i dati generali dell'edificio, i dati climatici e le caratteristiche fisiche e morfologiche del sito di progetto, le proprietà geometriche di quella che si identifica come "zona termica" e il periodo di climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) si procede con la definizione delle caratteristiche geometriche appartenenti alla zona da analizzare: SLP, SUP, volume lordo e netto. È necessario definire area, trasmittanza degli elementi disperdenti dell'involucro opaco e trasparente, la loro esposizione, eventuali chiusure oscuranti e stabilire la temperatura di regolazione interna per riscaldamento e raffrescamento. Lo strumento può essere utilizzato per effettuare scenari alternativi e valutare l'incidenza degli elementi e come questi concorrono al comfort termico. In caso di fabbisogni eccessivi la soluzione non sarà quella di un impianto più grande bensì il ripensamento di alcune parti critiche del progetto. Nel caso della climatizzazione estiva bisogna regolare l'esposizione e l'ombreggiamento.

Gli output sono gli indici di prestazione termica utile per il riscaldamento e il raffrescamento ( $E_{Ph, nd} - E_{pc, nd}$ ) [ $kWh/m^2a$ ] e i fabbisogni ideali di energia termica per riscaldamento e raffrescamento ( $Q_{h, nd} - Q_{c, nd}$ ) [ $MJ$  o  $kWh$ ]

## 2.5 Implementazione di Eureka: calcolo per la valutazione degli impatti energetico ambientali del trasporto in elicottero

Il modello di calcolo si basa sostanzialmente sul numero di rotazioni da effettuare, calcolabile tramite carico utile/carico utile massimo, la durata di una rotazione, calcolata attraverso la distanza da percorrere e la velocità del mezzo. Il carico utile dell'elicottero si ricava dalla scheda tecnica ma deve tener conto dell'altitudine a cui si effettua il lavoro aereo: al crescere dell'altitudine la densità dell'aria diminuisce e le pale dell'elicottero ricevono meno spinta.

Il modello permette di stimare in pochi passaggi gli impatti energetico ambientali (EE e EC diretti e indiretti) e prodotti dalla fase di trasporto in elicottero di elementi costruttivi in alta quota.

Si presuppone che la tratta in elicottero sia preceduta sempre da una su gomma, rotaia o mare: EURECA dispone attualmente della funzione doppia tratta.

Bisogna considerare che il modello semplifica la complessità del processo del trasporto in elicottero: la situazione considerata ideale è quella in cui l'elicottero non debba dipendere dagli altri mezzi di trasporto e che sia disponibile al sito a valle (non si considerano gli impatti generati dall'elicottero che viaggia dall'azienda al sito).

$(Cu/Cu \text{ max}) \times (((\text{distanza} / \text{velocità}) \times 2) + 1) \times (\text{consumo orario}) / 60 + (\text{consumo LTO}) \times (Cu/Cu \text{ max}) \times (((\text{distanza} / \text{velocità}) \times 2) + 1) / 180)) \times Y$

$(n^\circ Rc) \times (\text{durata Rc}) \times (\text{consumo al minuto}) + [(\text{consumo LTO}) \times (n^\circ Rc) \times (n^\circ \text{LTO})] \times Y$

$[n^\circ] \times [\text{min}] \times ([\text{kg}/\text{min}] + [\text{kg}/\text{min}]) \times [\text{MJ}/\text{kg}] = \text{MJ}$

Y (EE e EC) – da normativa uni 16258

- EE ttw: 44,10 MJ/kg
- EE wtw: 52,50 MJ/kg
- EC ttw: 3,18 kgCO<sub>2</sub>eq/kg
- EC wtw 3,88 kgCO<sub>2</sub>eq/kg

(vedi grafico 1 per differenza tra TTW, WTW)

## 2.5.1 Guida al modello

### **Calcolo della massa totale degli elementi da elitrasportare:**

Una volta aver definito il progetto in ogni suo aspetto si può effettuare una stima della massa complessiva dell'edificio. La stima deve comprendere anche il peso complessivo delle attrezzature interne: arredo e impianti. Tale operazione è effettuata in automatico dal modello eureka.

### **Scelta del modello dell'elicottero:**

I modelli di elicottero presenti nel programma differiscono principalmente in base al carico utile massimo trasportabile tramite un gancio baricentrico fissato alla base dell'elicottero. In ordine crescente di carico massimo trasportabile ci sono: SA315B LAMA, AS 350 B3, AS 332 SUPER PUMA, rispettivamente caratterizzati da carico massimo baricentrico di 1000kg, 1400kg e 4500kg ad una quota simile a quella del livello del mare.

### **Selezionare tipo di carburante jet kerosene.**

### **Calcolo della distanza tra il sito di progetto e il sito a valle:**

L'algoritmo che genera la durata delle rotazioni è effettuato a partire dalla distanza tra il sito di progetto e il sito di stoccaggio dei materiali.

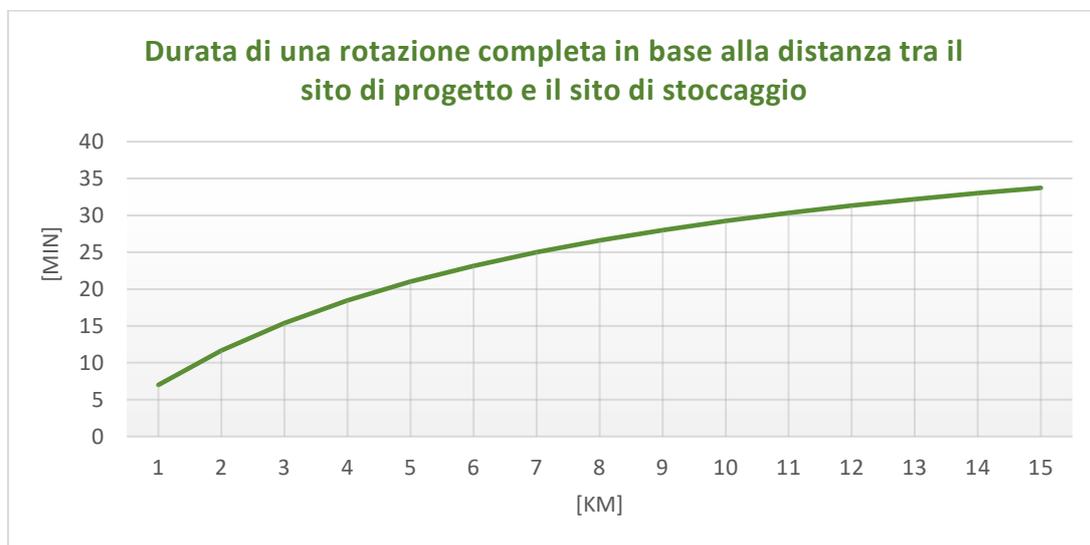


Grafico 2 – Rapporto tra spazio e tempo nell'elitransporto

Per rotazione completa si intende le fasi di andata e ritorno dell'elicottero dal sito a valle a quello in quota compreso il tempo per agganciare e sganciare il carico. Possiamo riassumere le fasi di una rotazione completa in 4 momenti distinti:

- Aggancio carico
- Tratta verso monte

- Sgancio carico
- Tratta verso valle

Le fasi di aggancio e sgancio per semplificazione sono quantificate in **un minuto** ciascuna. Bisogna tuttavia considerare che un montaggio di precisione richiede più tempo rispetto a sganciare su una piazzola gli elementi costruttivi.

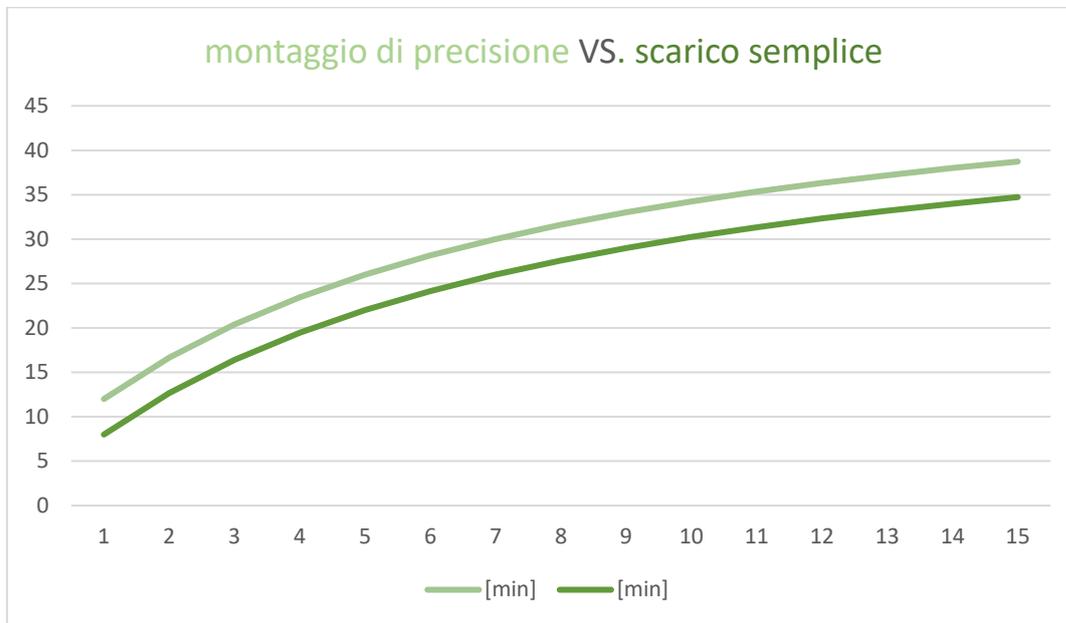


Grafico 3 – Confronto fra montaggio di precisione e scarico semplice in relazione a spazio e tempo

Un metodo per stimare in fase progettuale la durata delle rotazioni è in base alla distanza in linea d'aria tra il sito a valle e quello in quota: Tra i vari software gratuiti che utilizzano il satellite per stimare misure scegliamo Google earth Pro. Effettuando con lo strumento righello una misurazione otteniamo una distanza. Ad esempio, per 3 km ipotizziamo una velocità media di 25km/h 7 minuti e 20 secondi di andata, 7,20 di ritorno, 1 minuto per agganciare e 1 per sganciare, per un totale di 16 minuti e 40 secondi.

Per semplificazione consideriamo che la velocità media dell'elicottero aumenta in modo lineare in funzione della distanza tra il sito di stoccaggio a valle e il sito di progetto in quota. Stimiamo per semplificazione che per ogni chilometro la velocità media aumenti di 2,5 km/h. La curva è asintotica e tende alla velocità di crociera dell'elicottero

All'aumentare della distanza la durata di una rotazione completa cresce molto nella parte iniziale e meno nella parte finale. Il limite verso cui tende la curva è rappresentato idealmente dalla velocità di crociera dell'elicottero in tali condizioni.

## Altitudine del progetto

Si può selezionare un range di altitudine per impostato calcolo in percentuale della perdita di carico dovuta alla sicurezza e alla rarefazione dell'aria: consideriamo, per semplificazione, un valore crescente in modo lineare da 0 a 5000 m sl.s.m. Nel modello di calcolo si terrà conto di un fattore di riduzione del carico: ad esempio, per un lavoro aereo svolto tra i 2000 e i 3000 metri slm si dovrà considerare il 70% del carico massimo al gancio baricentrico. La densità dell'aria è di 1,225 kg/m<sup>3</sup> sul livello del mare e la pressione è di 1013,25 hPa. A 2500 m.s.l.m. la denità dell'aria è di 0,956 kg/m<sup>3</sup> e la pressione di 746,7 hPa. Al crescere dell'altitudine l'aria diventa sempre più rarefatta e quindi meno densa. Spesso le schede tecniche si può notare che il carico massimo di un elicottero è espresso sul livello del mare.

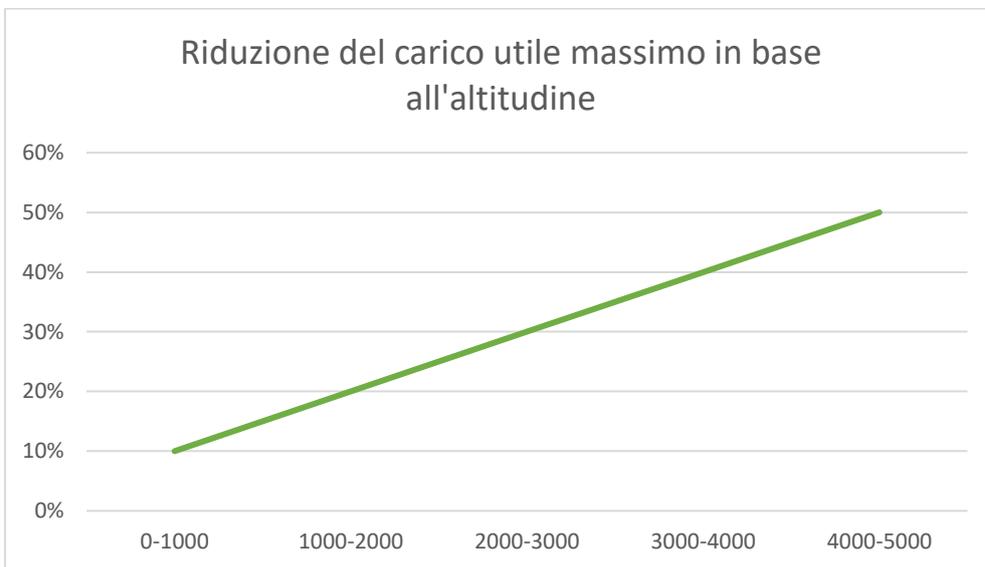


Grafico 4 – Semplificazione della riduzione del carico utile massimo in relazione all'altitudine

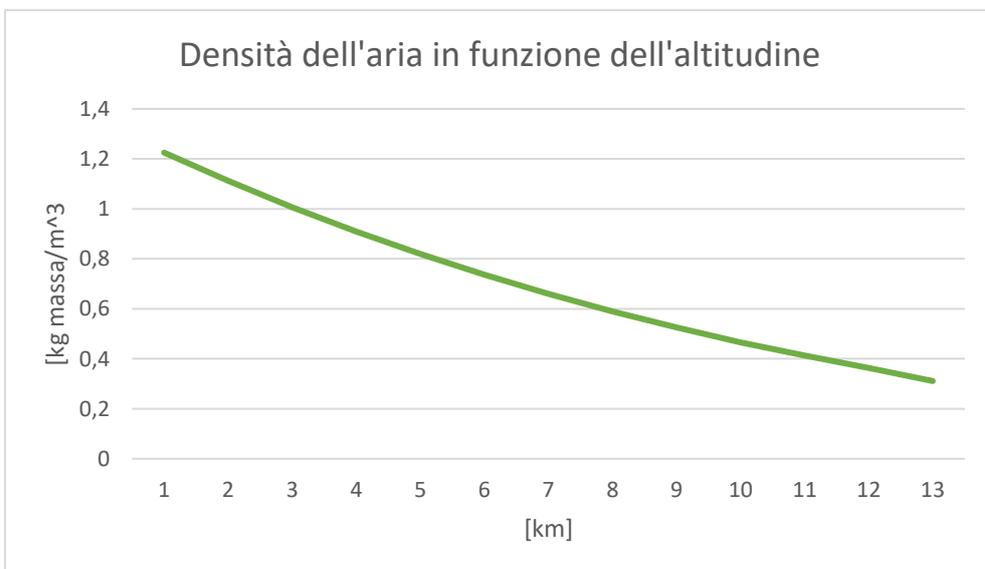


Grafico 5 – Rapporto tra densità dell'aria e altitudine

## Calcolo dei giorni di lavoro del trasporto

Nel modello di calcolo degli impatti energetico ambientali su eureka non è possibile programmare i giorni di lavoro. Le fasi di decollo e atterraggio dell'elicottero sono dettate dall'autonomia dello stesso.

Tuttavia, ipotizzando di effettuare lo stesso lavoro in 10 o 20 giorni un elicottero pesante potrebbe risultare vantaggioso dal punto di vista ambientale: dai **grafici 6 e 7** si nota che la durata della rotazione completa oltre la quale è preferibile scegliere un elicottero pesante varia rispetto a quante volte l'elicottero deve decollare: il punto in cui si incontrano le due rette dei grafici rappresenta il momento in cui un elicottero provoca meno o più emissioni rispetto all'altro.

I lavori aerei in alta quota si effettuano, per ragioni di sicurezza, solo nella stagione estiva. È importante stimare i giorni di lavoro perché da questi dipendono le fasi di atterraggio e decollo dell'elicottero. Sarà dunque difficile per l'azienda lavorare, in modo continuativo, per più di 48-60 giorni all'anno e per ragioni di sicurezza e di autonomia dell'elicottero non più di 4 ore al giorno. Il progetto (se di grandi dimensioni) deve essere pensato per essere costruito in più stagioni.

Si può scegliere di eseguire la stima delle emissioni effettuando un confronto fra diversi elicotteri per capire quale modello può rispondere in modo più efficiente al lavoro da effettuare: In base alla **capacità di carico** dell'elicottero, alla **durata delle rotazioni**, al **carico totale** da trasportare e al **totale dei giorni lavorativi**, la scelta di un certo tipo di elicottero potrebbe essere vantaggiosa dal punto di vista ambientale.

Essendo una fase estremamente onerosa dal punto di vista delle emissioni, ma necessaria e imprescindibile in alcune situazioni, cerchiamo in questa sede di fornire al progettista un modello di calcolo al fine di operare la migliore scelta.

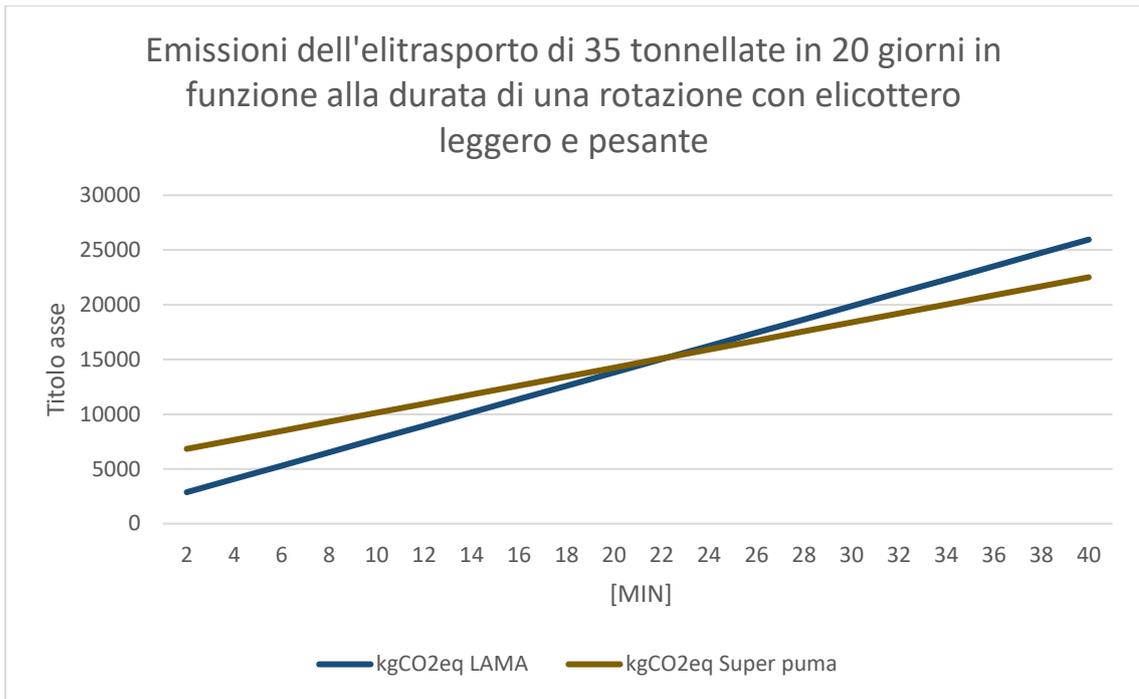


Grafico 6 – Confronto tra un elicottero leggero e uno pesante (20 giorni di lavoro)

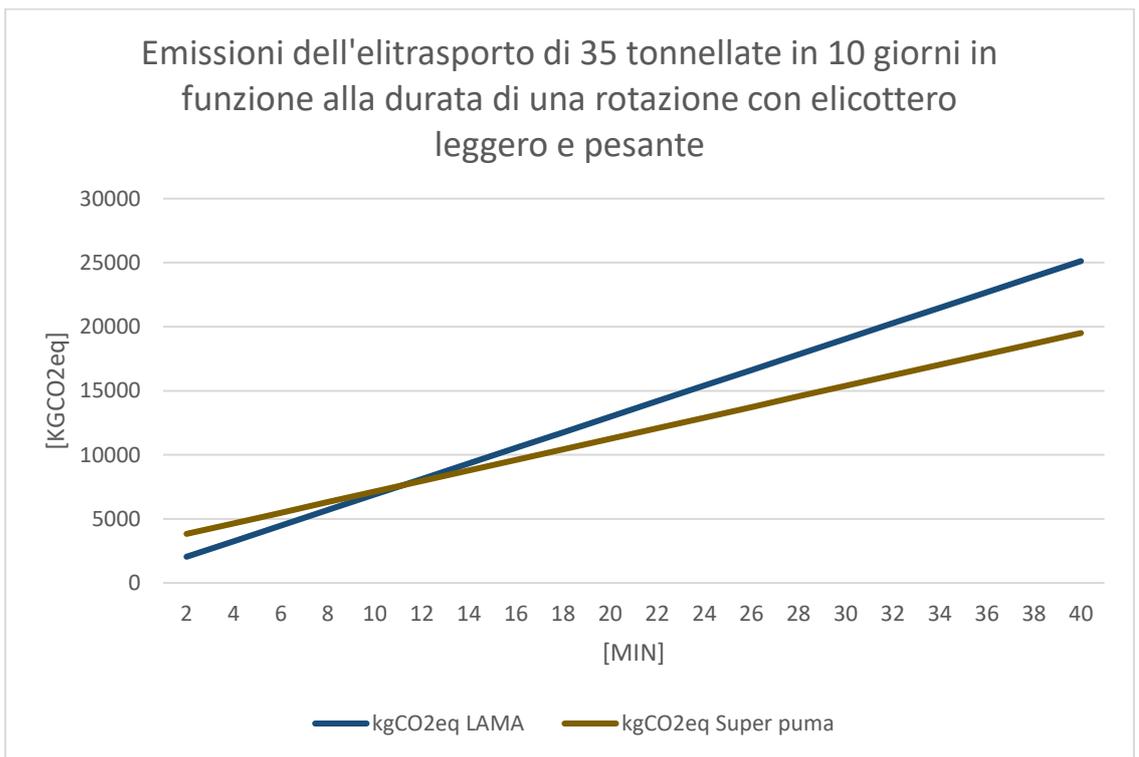


Grafico 7 - Confronto tra un elicottero leggero e uno pesante (10 giorni di lavoro)

### 3 L'architettura di riferimento, il rifugio Dalmazzi Caso studio: il rifugio Dalmazzi

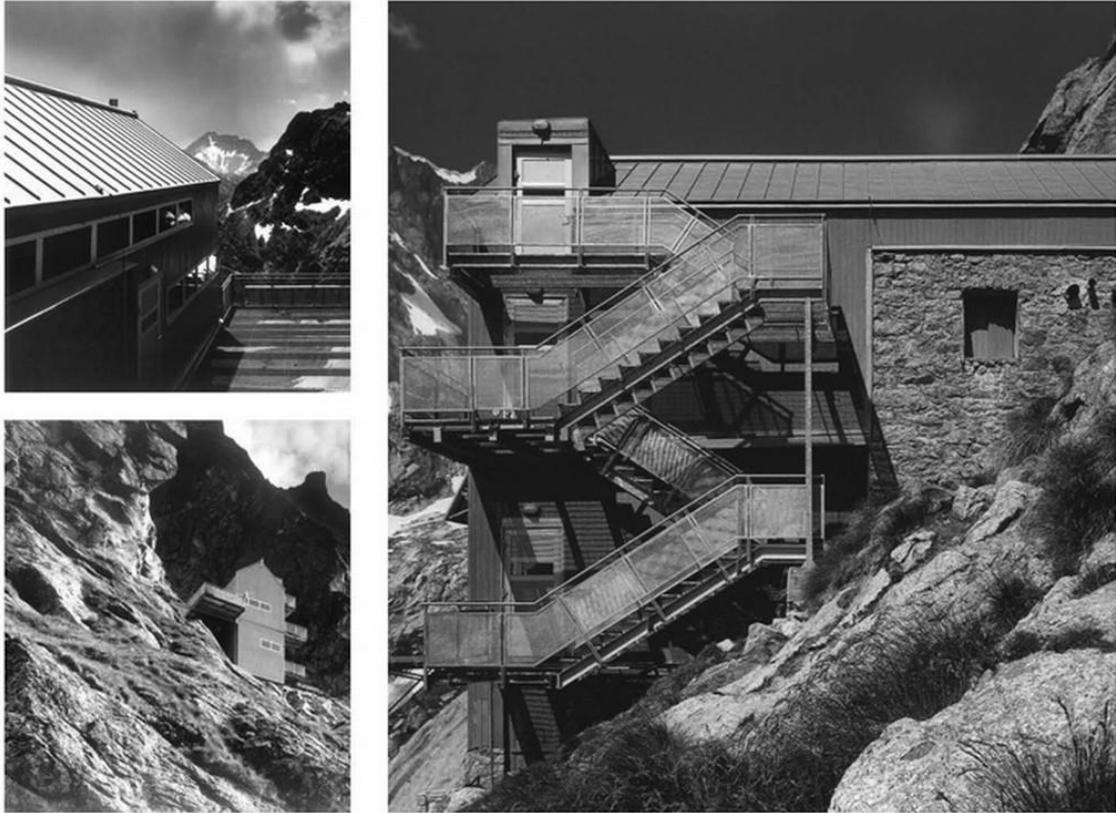


Figura 7 – Rifugio Cesare Dalmazzi (fotografie di Alberto Emanuele Piovano)

Tipo di intervento: **ristrutturazione e ampliamento**

Anno: **2002**

Superficie utile totale: **180 m<sup>2</sup>**

Posti letto: **30**

Progettisti: **G studio**

Costo totale: **500.000 €**

Funzioni:

- sala da pranzo: 30mq
- cucina: 29mq
- camerata 1: 18mq
- camerata 2: 33mq
- Alloggio custode: 29 mq
- Terrazza: 18mq

### 3.1 Perché il rifugio Dalmazzi come architettura di riferimento?

Il rifugio Dalmazzi è preso ad esempio come **caso studio** in cui il ricorso all'elicottero e alla prefabbricazione degli elementi è resa necessaria dalle caratteristiche del sito. In contesti simili la progettazione è condizionata dalla capacità massima dell'elitransporto. Gli impatti energetico ambientali dei rifugi situati in siti impervi differiscono di molto da quelli raggiungibili su strada.

Tutti gli elementi che compongono il rifugio sono stati elitransportati e dunque possiamo valutare l'incidenza del trasporto in elicottero in modo completo. Si è trattato di un cantiere estremo in cui sono necessarie scelte progettuali che tengano conto delle difficoltà rappresentate dalla logistica dell'alta quota. La scelta di effettuare la valutazione degli impatti energetico ambientali del ciclo di vita in una tipologia edilizia particolare, come quella del rifugio alpino, è finalizzata a comprendere le criticità di tale tipologia.

Il materiale e le informazioni su cui sono stati effettuati i calcoli sono stati forniti dai progettisti del rifugio Cesare Dalmazzi: Enrico Giacomelli e Mauro Falletti di G Studio.

## 3.2 Analisi del sistema tecnologico

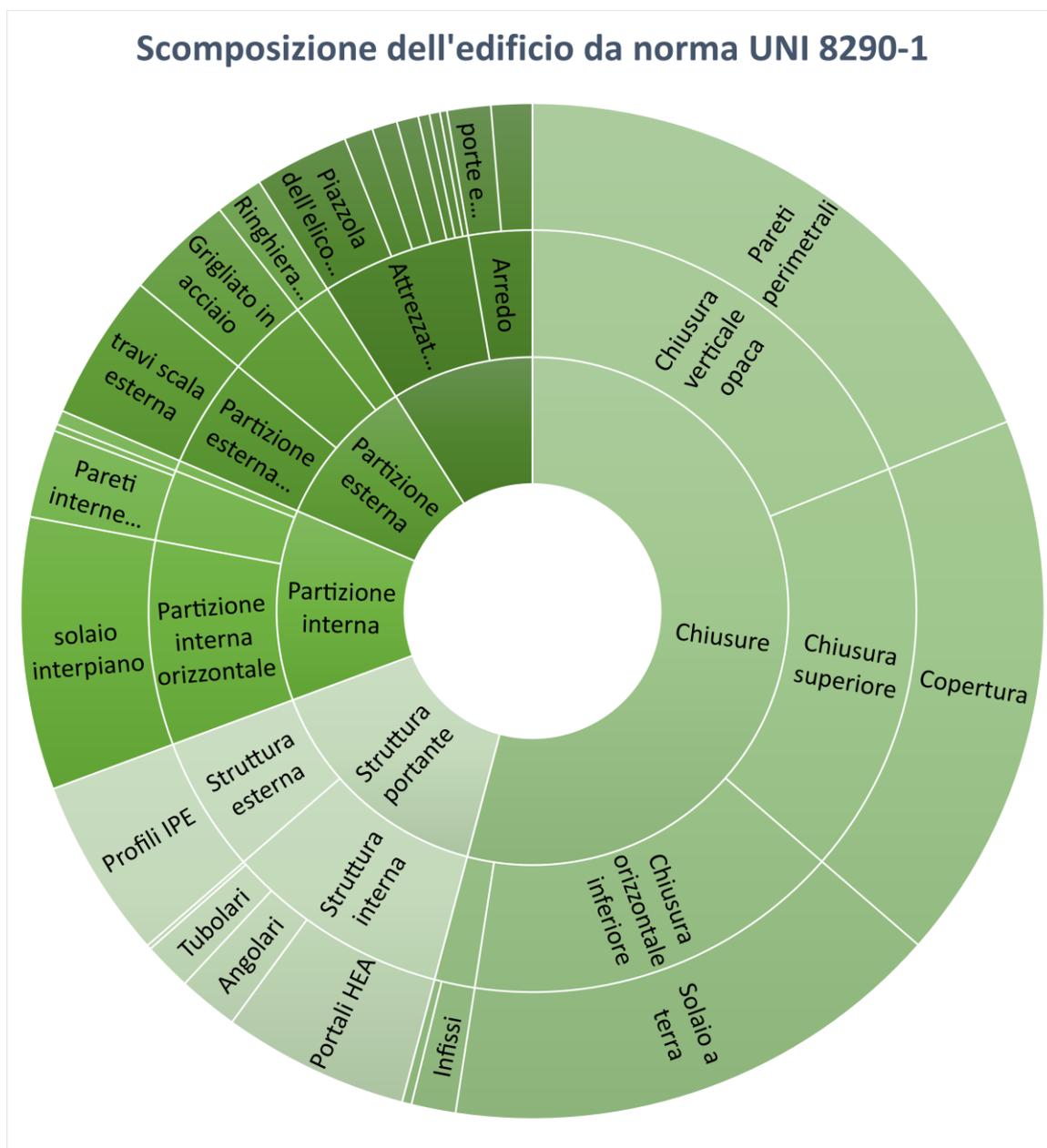


Grafico 8 – scomposizione del sistema tecnologico

I cerchi concentrici rappresentano la suddivisione del sistema tecnologico come stabilito da normativa UNI 8290-1. L'edificio è stato progettato con un sistema costruttivo leggero: La massa totale della struttura è molto inferiore rispetto a quella dell'involucro.

La tripartizione dei cerchi rappresenta a partire dall'interno:

- Classi di unità tecnologiche
- Unità tecnologiche
- Classi di elementi tecnici

## Struttura interna in acciaio – 3,2 ton

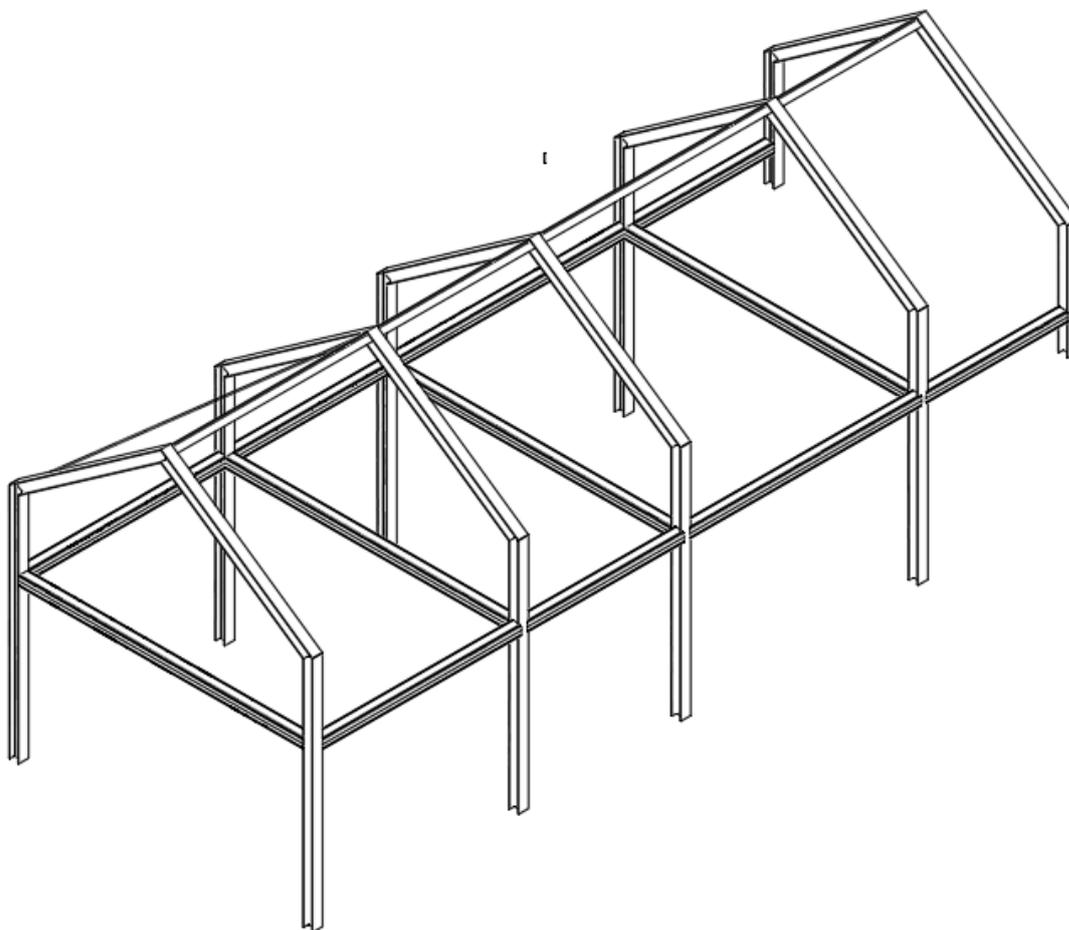


Figura 8 – Struttura interna rifugio Dalmazzi

La struttura interna è composta da 5 portali HEA 160, irrigiditi in entrambe le direzioni da profili scatolari. I solai in legno poggiano su profili angolari saldati agli scatolari. I portali sono controventati da elementi avente una massa trascurabile (50kg). il peso massimo del singolo portale è di 428 kg, elitrasportato saldato con il tubolare da 102 kg per un peso complessivo di 530kg.

- Portale 1-2-3-4 ( $14,08 \times 4 = 56,32\text{m}$ )
- Peso del singolo portale: **428 kg**
- Portale 5 (8,58 m):  $8,58 \times 30,4 = 260 \text{ kg}$

Peso totale dei portali: **1970 kg**

Angolari a lati uguali 60x6: 5,4 kg/m ( $A= 6,91 \text{ cm}^2$ )

- Al colmo: 12,25 m -> 66kg
- Al solaio 1: 8n x 4,5m = 194kg

Angolari a lati uguali 100x10: 15,1 kg/m ( $A= 19,2 \text{ cm}^2$ )

- Al solaio 1: 25 m -> 377kg
- Tubolari (scatolati) 150x150x10: 22,7kg ( $A=29 \text{ cm}^2$ )

Peso tubolare: 102kg

5 tubolari = 510 kg

Controventi: sezione circolare diametro 16mm

- 8 controventi = 47 kg

## Struttura terrazza esterna – 2,8 ton

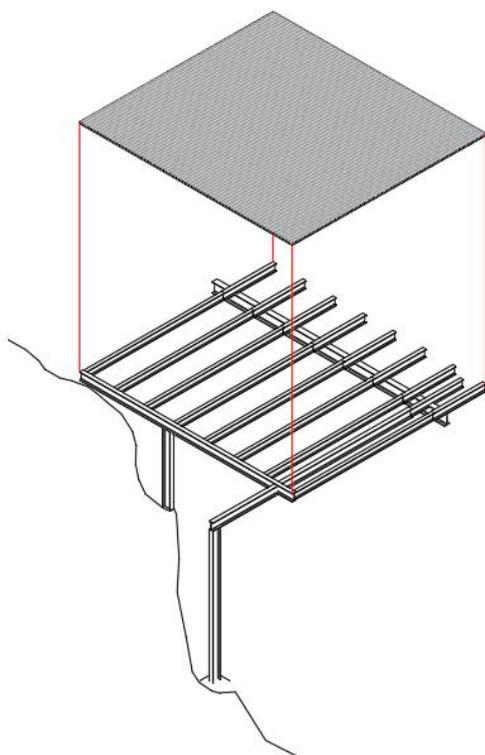


Figura 9 - Terrazza in acciaio

### Profili utilizzati:

- IPE 140 (12,9kg/m) (A= 16,43 cm<sup>2</sup>)
  - IPE 160 (15,8kg/m) (A=20,09 cm<sup>2</sup>)
  - IPE 180 (18,8kg/m) (A=23,95 cm<sup>2</sup>)
  - IPE 200 (22,4kg/m) (A=28,28 cm<sup>2</sup>)
  - IPE 220 (26,2kg/m) (A=33,37 cm<sup>2</sup>)
  - IPE 270 (36,1kg/m) (A=45,95 cm<sup>2</sup>)
  - HEA 100 (16.7kg/m) (A=21.24 cm<sup>2</sup>)
- 
- 10 x IPE 160 (L=3,9m) (TOT 616 kg)
  - 1 x IPE 160 (L=1,9m) (TOT 30 kg)
  - 4 x IPE 180 (L=1,4m) (TOT 105 kg)
  - 2 x IPE 140 (L=5,4m) (TOT 139 kg)
  - 1 x scatolare (L=5,4m) (TOT 123 kg)
  - 1 x IPE 200 (L=8m) (TOT 179 kg)
  - 1 x IPE 270 (L=6,3m) (TOT 229 kg)
  - 1 x IPE 220 (L=1,4m) (TOT 37 kg)
  - 2 X IPE 200 (L=1,4m) (TOT 63 kg)
  - 2 X IPE 160 (L=1,4m) (TOT 44 kg)

1 x IPE 200 (L=6,4m) (TOT 143 kg)

3 x HEA 100 (L =0,9m) (TOT 45 kg)

1 x IPE 200 (L=3,6m) (TOT 80 kg)

**PESO TOTALE TRAVI = 1833 KG**

Grigliato metallico (h=30 s=3) (28,2kg/m<sup>2</sup>)

+ Grigliato 30 mq (846 kg)

+ Parapetto (10 kg/m<sup>2</sup>) 11,5 m<sup>2</sup> di ringhiera (115 kg)

+ Sottostruttura grigliato

## Struttura di supporto e pannelli fotovoltaici:

Profili piatti spess: 10 mm lunghi

Angolari a lati uguali 40 x 6 (A= 4,48 cm<sup>2</sup>) (4,48kg/m)

Peso totale piatti: 18 kg

Peso totale angolari: 22 kg

Peso piatto forato: 25 kg

Peso totale pannelli: 40kg

**PESO TOTALE = 95 kg**

## Scala esterna – 3,2 ton

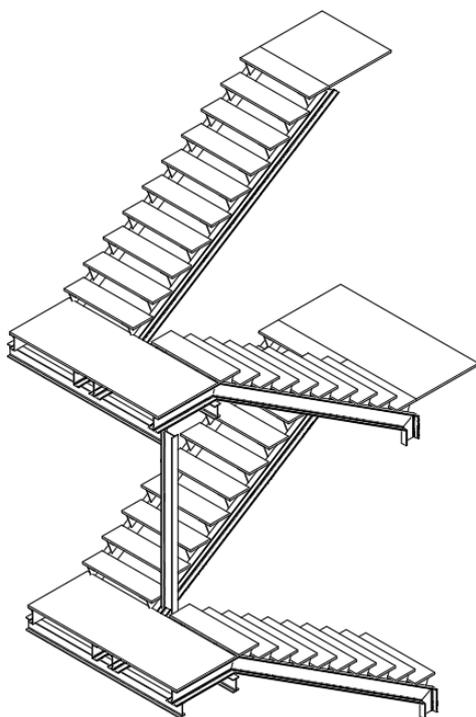


Figura 10 – Scala esterna rifugio Dalmazzi

### Profili utilizzati:

- IPE 160 (**15,8kg/m**) ( $A=20,09 \text{ cm}^2$ )
- UPN 180 (**22kg/m**) ( $A=28 \text{ cm}^2$ )
- Ang. 80 x 80 x 8 (**9,66kg/m**) ( $A=12,3\text{cm}^2$ )

La scala esterna è composta da profilati e grigliati in acciaio agganciati alla struttura tramite staffe. La scala rappresenta una via di fuga in caso di incendio, i rifugi che si sviluppano su 3 piani devono esserne dotati.

### Struttura portante scala

- 1 x IPE 160 (L= 3,75m) (TOT **59 kg**)
- 1 x IPE 160 (L= 2,2m) (TOT **35 kg**)
- 4 x UPN 180 (L= 16,6) (TOT **1460 kg**)
- 4 x UPN 180 (L= 16,6m) (TOT **641 kg**)
- 33 gradini (**173kg**)
- Pianerottoli **126 kg**
- Angolari a lati uguali 80 x 8 (9,66kg/m) ( $A=12,3 \text{ cm}^2$ )
- 4 angolari 80 x 8 (L= 9,3) (TOT **359 kg**)
- Peso totale parapetti: **390kg**
- Grigliati 21kg al  $\text{m}^2$

## Involucro – 18 ton

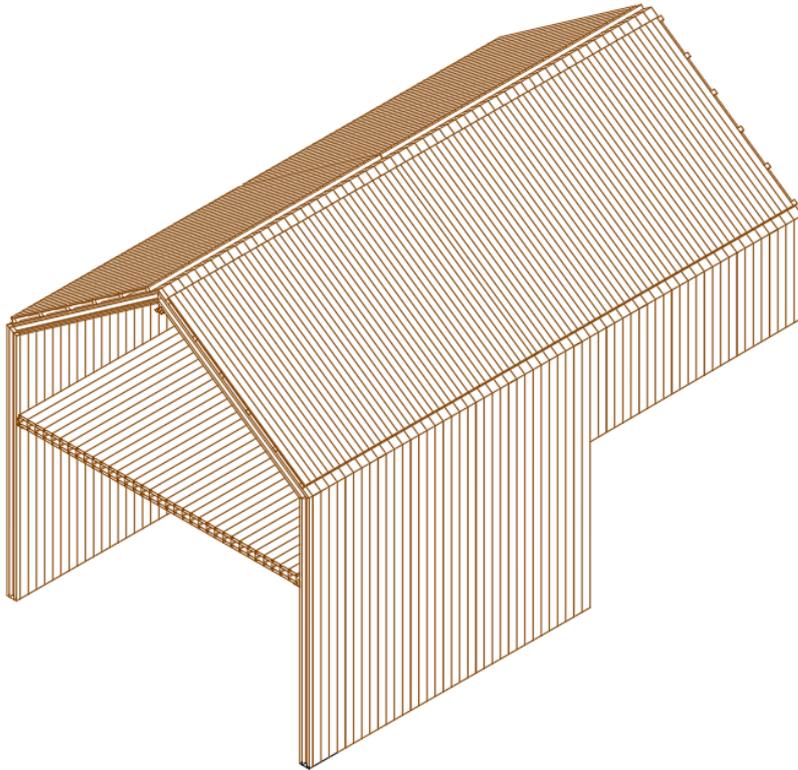


Figura 11 – Involucro rifugio Dalmazzi

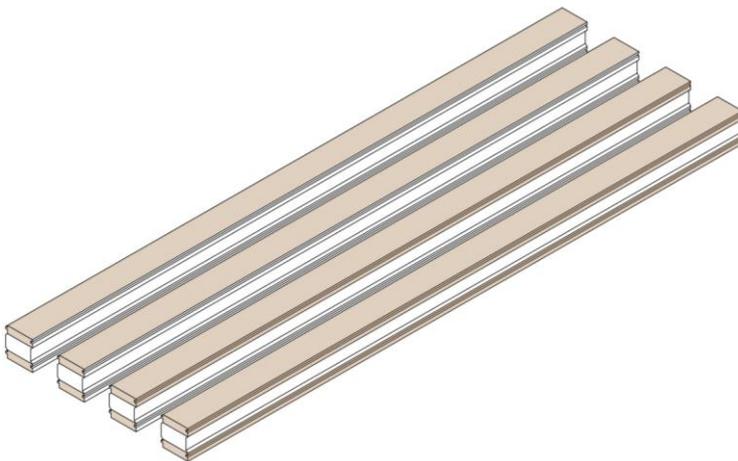


Figura 12 – tecnologia samvaz isox

“Per le sue eccezionali qualità termiche, è particolarmente adatto per la costruzione razionale di edifici isolati. Le assi sono precisamente scanalate a cresta, che garantisce una tenuta perfetta. Estremamente resistente e riciclabile, il polistirolo utilizzato è di tipo espanso con una densità di 30 kg / m<sup>3</sup>, difficilmente combustibile (categoria per la Svizzera 5.1). Il polistirolo è stato testato e approvato dall'EMPA e ha l'etichetta Minergie.”

Pannello isolante YSOX® (WHITE)

La tecnologia di involucro è assemblabile tramite incastro senza utilizzare colle. Il rifugio è composto essenzialmente dal sistema isox: chiusure opache e partizioni orizzontali sono realizzati con tale sistema.

La copertura e il solaio interpiano sono composti da elementi in legno portanti appoggiati su profili a "L" a loro volta saldati agli scatolari. Il rivestimento delle due falde è composto da lamiera in rheinzink, quello delle pareti in tavole di legno.

Dopo aver effettuato il taglio dell'albero da foreste certificate e aver trasportato il tondame in industria si procede alla fresatura dello stesso per ottenere elementi trave a sezione rettangolare dello spessore di 4 cm e larghezza variabile tra i 10 e i 24cm. Gli elementi vengono piallati e fresati alle estremità per ricavare la geometria di incastro. Successivamente gli elementi trave vengono accoppiati all'anima in polistirene. Si possono ricavare anche elementi esclusivamente in legno capaci di sostenere luci di 5m e sopportare 1800kg/m<sup>2</sup>.

Le chiusure verticali opache del Dalmazzi sono composte da pannelli isox da 16cm e perlinato in larice da 2cm per uno spessore totale di 18cm. Il larice, più durevole e leggermente più pesante dell'abete, ha un peso specifico di 550kg/m<sup>3</sup>, **11kg/m<sup>2</sup>**.

I pannelli isox white 4 x 8 x 4 pesano **37,3kg/m<sup>2</sup>**. La copertura è composta da lamiera in rheinzink da 1mm, (**7,2kg/m<sup>2</sup>**), tavolato da 2cm, assito 8x8cm e pannelli portanti isox da 14 cm. Le chiusure verticali opache pesano complessivamente **48,3kg/m<sup>2</sup>**.

L'involucro opaco, dunque, non è estremamente performante dal punto di vista fisico, (U= 0,31 W/m<sup>2</sup>K) ma è **particolarmente leggero** e ha uno spessore totale di **18cm**.

### CHIUSURE VERTICALI

Tipo elemento	[m2]	[kg]
Parete sud	45	2173
Parete nord	8,4	405
Parete ovest	38.8	1874
Parete est	38.8	1874
<b>TOTALE</b>	<b>131</b>	<b>6327</b>

#### Finestre:

Si consideri un peso di 36 kg/m<sup>2</sup> per le finestre

Area totale finestre = 13mq

**Peso totale finestre = 468 kg**

### CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE

Tipo elemento	[m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[m]	[kg]
rheinzink	82	7200	0,001	590
tavolato	82	500	0,02	820
isox	82	37,3/m <sup>2</sup>	0,14	3058
assito	/ 8x8 cm	500	x 12 (L=12,25)	470
<b>TOTALE</b>				<b>5840</b>

I solai sono composti dallo stesso sistema isox da 16cm su cui poggia un materassino isolante e un pavimento in larice da 2cm. Il pavimento in larice pesa (**11kg/m<sup>2</sup>**) e i pannelli isox (**37,3kg/m<sup>2</sup>**). Il peso del materassino è trascurabile. La partizione orizzontale al piano 1 pesa **48,3 kg/m<sup>2</sup>**.

Al piano 0 viene posato un pavimento in piastrelle di gres (**17kg/m<sup>2</sup>**) su una nuova soletta di 10 cm in cls dal peso di **150kg/m<sup>2</sup>**. Calcoliamo anche il cassero a perdere da 3,5 cm: (**17,5kg/m<sup>2</sup>**). La chiusura orizzontale inferiore pesa **184,5 kg/m<sup>2</sup>**.

### TABELLA PARTIZIONI E CHIUSURA ORIZZONTALI

Tipo elemento	[m <sup>2</sup> ]	[kg]
Solaio 1	60	2900
Solaio 0 cls	29	5350
Solaio -1	29	/
<b>TOTALE</b>	<b>89</b>	<b>8250</b>

### PARTIZIONI VERTICALE INTERNE:

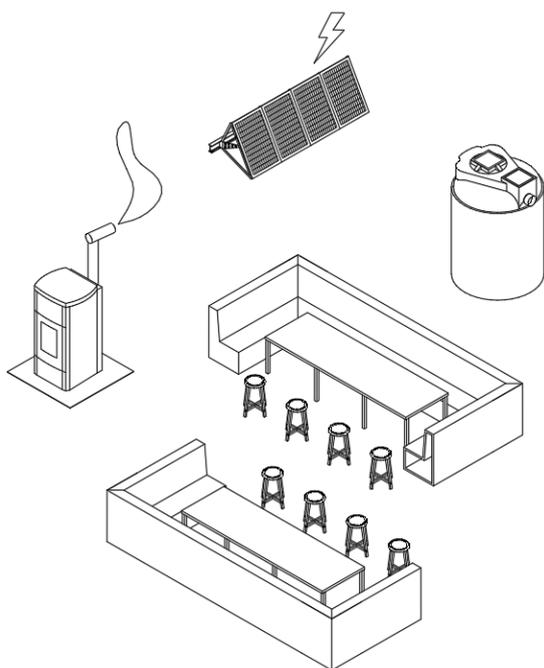
Peso dei tramezzi: 25kg/m<sup>2</sup>

Piano 0: 19 mq: 475kg

Piano 0: 18,5 mq: 462kg

**Peso totale tramezzi: 937kg**

**Arredi e attrezzature – 3 ton**



*Figura 13 – Arredo e Attrezzature del rifugio Dalmazzi*

**Arredo:**

- Panche (TOT 380kg)
- Tavoli: 2 x 15kg l'uno (TOT 30kg)
- Sgabelli: 5 x 5kg l'uno (TOT 25 kg)
- Peso totale arredo: 435kg
- Stufa a pellet: 220 kg
- Porte: 160kg

Scala interna: 150 kg

Piazzola elicottero: 1 ton

## **IMPIANTI:**

Attrezzature sanitarie:

Piatto doccia: 35 kg

Lavabo con colonna: 30kg

Vaso con cassetta: 35kg

### **Impianto idrico:**

Autoclave: 75 kg

Boiler acqua calda 30kg

### **Impianto a gas (gpl)**

5 bombole di gas: 100kg

Cucina 300kg totale

Tubi del gas: 1,5kg/m (8,5m) =12,75kg

### **Impianto trattamento reflui:**

Vasche biologiche IMHOFF in Polietilene: 170kg

Degrassatore in polietilene: 70kg

Tubi in pvc /

### **L'edificio preesistente in pietra:**

- pianta quadrata da 5 metri netti, con **muri da 55cm.**
- Volume=  $60m^3$
- Volume:  $38,7m^3$  (di sola pietra)
- Peso: **circa** 75 tonnellate
- L'intera nuova costruzione pesa meno della metà della preesistenza.  
Il rispetto della preesistenza può assumersi in diverse forme. In caso di demolizione bisogna pensare a un luogo dove mettere gli inerti? Sarebbe illogico pensare di trasportare le pietre a valle tramite l'elicottero.

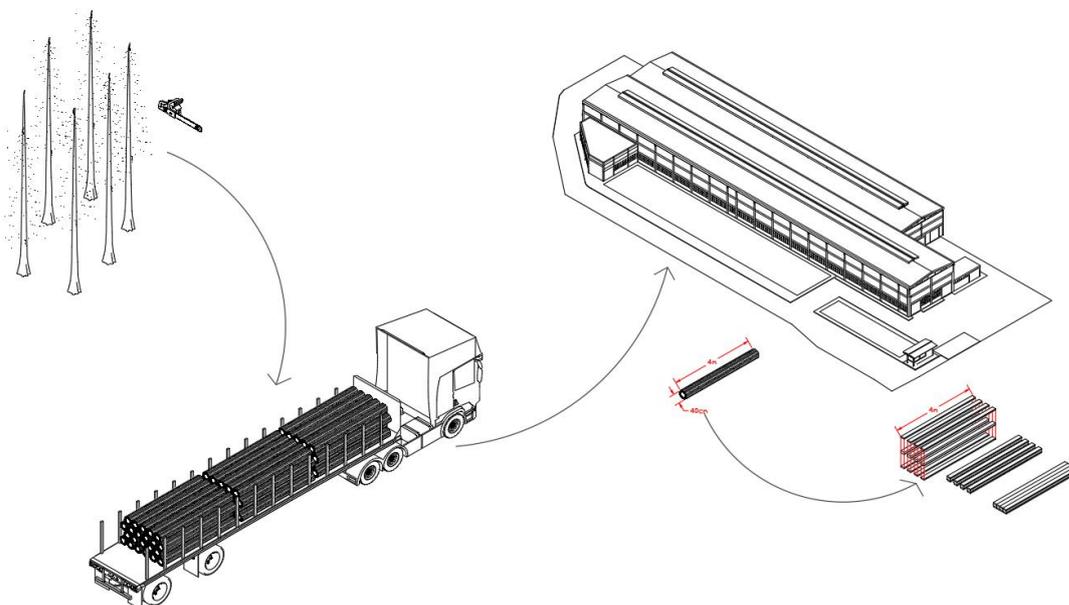
### 3.3 Analisi e valutazione del ciclo di vita

L'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment) richiede la valutazione di tutti i flussi in entrata e uscita nell'intero **processo edilizio**: ogni fase deve essere valutata per stimare gli effetti sull'ambiente. L' LCA si deve effettuare in **fase preliminare** dal momento in cui la finalità è quella di guidare il progettista verso **scelte consapevoli** e non dannose per il sistema ambientale. Vengono sistematicamente analizzati tutti gli elementi che compongono il sistema edilizio in ogni fase del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento delle stesse.

La valutazione del ciclo di vita è effettuata tramite **“eureca”** e l'**implementazione** dello stesso attraverso la stima degli impatti energetico ambientali dell'elitransporto. Attraverso l'implementazione del software è possibile valutare gli impatti energetico ambientali di architetture la cui costruzione è resa possibile esclusivamente tramite il ricorso all'elicottero. La fase del trasporto è quella che differisce maggiormente dagli altri edifici. In ogni tonnellata di materiale di cui è composto il rifugio è incorporata anche l'energia dell'elitransporto.

In territorio alpino viene premiato da Constructive Alps un'architettura il cui processo edilizio risulta essere virtuoso dal punto di vista ambientale. In Svizzera si effettuano analisi del ciclo di vita sugli edifici al fine di conferire la certificazione Minergie. Anche un intervento di ristrutturazione e ampliamento può aspirare ad ottenere tale certificazione.

### 3.3.1 La fase iniziale: produzione fuori opera



La fase iniziale consiste nell'approvvigionamento delle materie prime, trasporto in stabilimento, produzione e lavorazione dei manufatti.

Per produrre la carpenteria metallica che compone struttura interna, terrazza, scala esterna, grigliati e parapetti, per un totale di circa **9 tonnellate di acciaio**, vengono immesse in atmosfera quasi **10 tonnellate di CO<sub>2</sub>eq**. A compensare tale impatto ambientale vi è un consistente ricorso al legno: La totalità delle chiusure opache (ad eccezione dell'isolante in polistirene espanso e del rivestimento in rheinzink della copertura) è costituita da abete e larice.

Quando un albero viene tagliato l'anidride carbonica assorbita durante la vita rimane immagazzinata nel tronco, e una volta che questo viene lavorato per produrre elementi costruttivi quali travi, pannelli, listelli, si verifica un impatto ambientale dovuto all'energia elettrica necessaria ad alimentare le macchine e a quella impiegata per il taglio e il trasporto del tondame. L'energia incorporata in un elemento costruttivo in legno sarà dunque la somma di feedstock più le lavorazioni necessarie a fabbricare l'elemento. L'acciaio, al contrario, prevede l'estrazione di materie prime o la riconversione di "rottami" in elementi costruttivi.

La **condizione necessaria** a rendere un bilancio negativo in termini di impatti ambientali è la **vicinanza del sito di approvvigionamento** della materia prima e di quello dell'industria che trasforma il tondame in elementi costruttivi. Qualora un manufatto in legno fosse trasportato per migliaia di chilometri andremo a considerare come energia immagazzinata nel manufatto anche quella derivante dal trasporto e quindi dal consumo di carburante.

### 3.3.2 La fase periodica: energia operativa, manutenzione e sostituzione

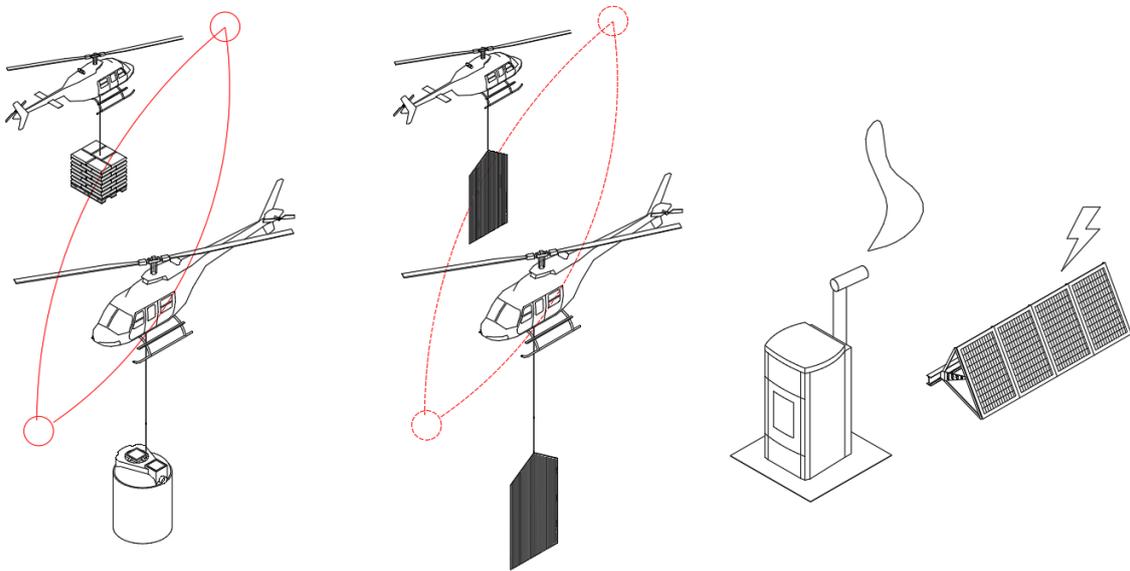


Figura 14 – da sinistra: elitransporto periodico, sostituzione rivestimenti, impianti

La fase periodica Inizia a costruzione completata e consiste nella gestione del rifugio. Una delle maggiori differenze tra un rifugio alpino e la maggior parte delle altre architetture risiede proprio nella fase d'uso. Il rifugio invernale posto al piano superiore è sempre aperto e può ospitare 30 posti letto. Si tratta di un ambiente unico isolato e non riscaldato di 290 metri cubi. L'occupazione è del 40% Il rifugio è aperto dal 22 giugno al 15 settembre, ovvero, 12 settimane l'anno. I 70 metri cubi della sala sono riscaldati ad aria tramite la caldaia a pellet. Cucina, bagni e camere sono isolate ma non riscaldate. Nella fase di utilizzo del rifugio, oltre le emissioni della stufa a pellet, bisogna considerare quelle per il trasporto viveri, pellet, bombole del gas... Nella fase periodica distinguiamo tra:

- fabbisogno di energia termica ed elettrica (OE)
- Sostituzione rivestimenti
- Rifornimenti, pellet, bombole e residui vasca imhoff (elitransporto periodico)

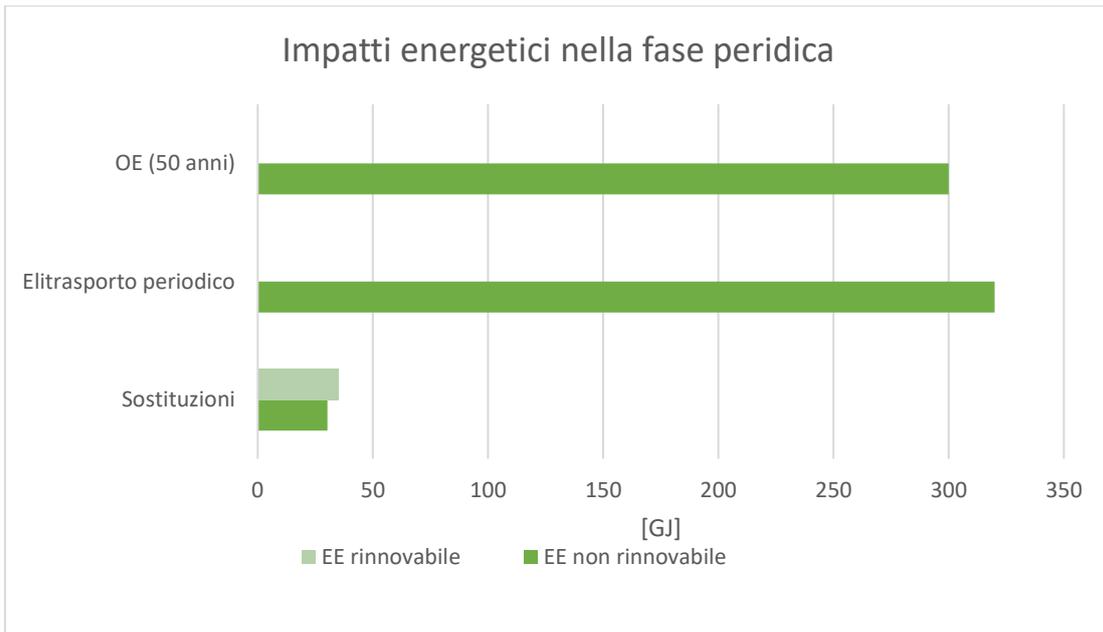


Grafico 9 – Rapporto tra Operational energy, elitrasporto periodico e sostituzioni

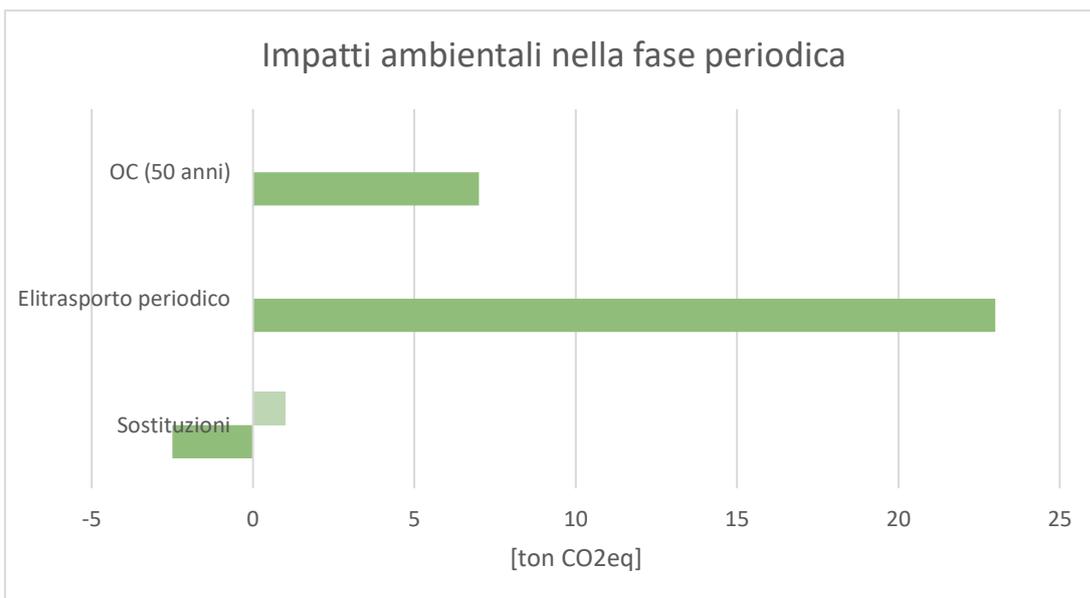


Grafico 10 – Emissioni a confronto nella fase periodica

Il fabbisogno di energia termica è soddisfatto dalla caldaia a pellet. Il periodo di apertura è dal 22 giugno al 15 settembre e la sala da pranzo viene riscaldata. L'energia necessaria a riscaldare l'ambiente è di 6300 MJ. I calcoli sono effettuati considerando la sala da pranzo come una zona termica indipendente e distinguendo le pareti disperdenti da quelle confinanti con ambiente non riscaldati. L'energia elettrica è prodotta dai pannelli fotovoltaici

**Qh, nd: fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento**

Dato richiesto	Mese												Totale
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	
$Q_{H,nd}$ [MJ]	7811	6875	6669	5464	4160	2820	1939	2124	2903	4589	6181	7440	58975
$Q_{H,nd}$ [kWh]	2170	1910	1853	1518	1155	783	539	590	806	1275	1717	2067	16382
$EP_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]													546,1

Figura 15 – Schermata del programma di calcolo del fabbisogno energetico (energia termica ideale)

**6883 [MJ] - (somma di giugno luglio e agosto)**

**1912 kW**

Consumo medio di pellet: 1kg/h

Potenza nominale: 4kW (bruciando 1kg di pellet si ottengono 4kWh e si emette -1kg CO<sub>2</sub>eq

Potenza elettrica di esercizio: 200W

#### OE Riscaldamento:

- 6 GJ anno, 300 GJ in 50 anni (impatti riscaldamento)
- 3,2 GJ anno, 160 in 50 anni (impatti elitransporto)

#### OC riscaldamento

- 237
- 237 kgCO<sub>2</sub>eq anno, 11,8 ton in 50 anni (impatti elitransporto)

**OE Elettricità:** / Fabbisogno interamente soddisfatto da fonti rinnovabili

#### OE Trattamento reflui:

- 3,2 GJ anno 160 in 50 anni (impatti elitransporto)

**La stufa a pellet** soddisfa interamente il fabbisogno di energia termica dell'ambiente riscaldato. Durante i mesi estivi sono necessari circa 2000kW. Considerando che una stufa a pellet in un'ora consuma un chilogrammo di combustibile e produce 4 kW. Sono necessari 500 kg di pellet per soddisfare il fabbisogno ideale e di conseguenza una singola rotazione di elicottero.

**L'elettricità** è prodotta interamente dai pannelli fotovoltaici. Senza i pannelli fotovoltaici il rifugio è privo di elettricità. Oltre alle sorgenti di illuminazione interna, i pannelli alimentano la caldaia a pellet, la luce esterna accesa sempre di notte,

**L'impianto di trattamento dei reflui** è composto da una fossa imhoff e un degrassatore: una volta ogni due anni i residui vengono trasportati a valle tramite elicottero

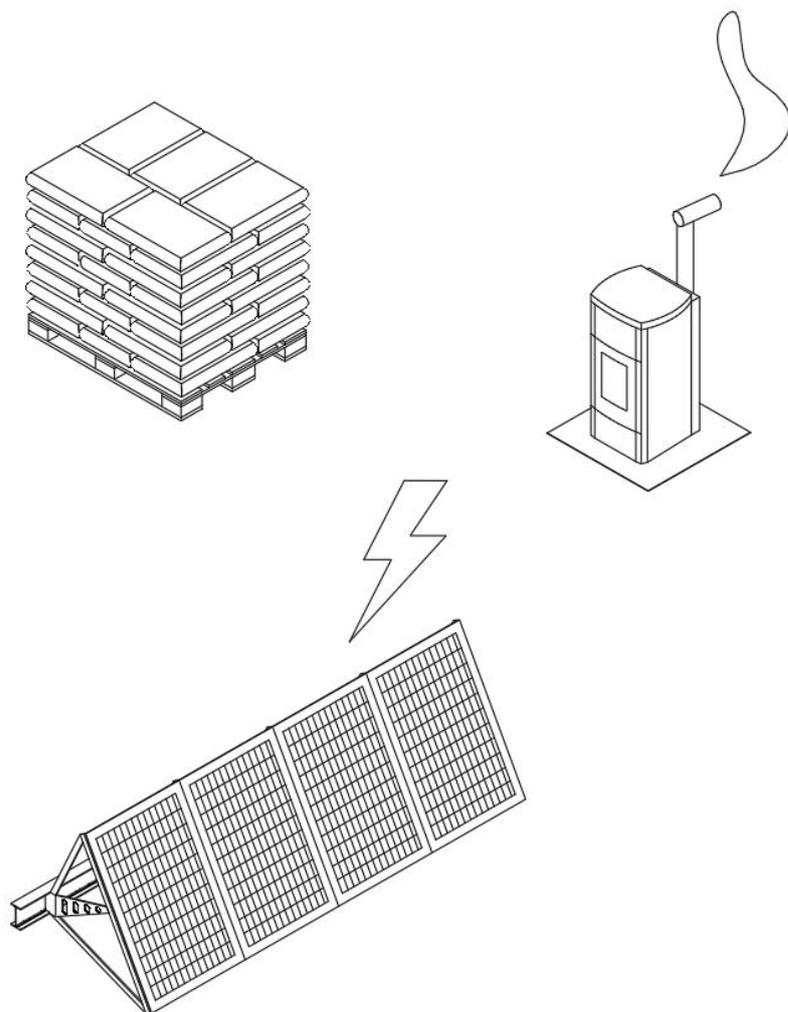
**L'impianto a gas** alimenta la cucina e produce acqua calda sanitaria.

La normativa di riferimento è la EN 16258: Tabella 5 (fattori per il calcolo del consumo di energia e delle emissioni di gas effetto serra (calcolate come CO2 equivalente) in accordo con la EN 16258

Sostituzione rivestimenti:

Bisogna considerare che il rivestimento in legno dovrà essere protetto con una vernice epossidica ogni anno e sostituito una volta in 50 anni. Il vecchio rivestimento dovrà essere elitrasportato a valle e quello nuovo in sito: Nella fase di sostituzione comprendiamo sia l'impatto in fase di produzione che il trasporto.

Considerando un utilizzo ridotto come quello dei rifugi alpini, si potrebbe preferire un involucro leggero piuttosto che uno estremamente efficiente dal punto di vista termico. Gli elementi esterni in acciaio difficilmente si potrebbero immaginare in legno poiché si tratta di un materiale molto sensibile all'umidità.



### 3.3.3 I trasporti

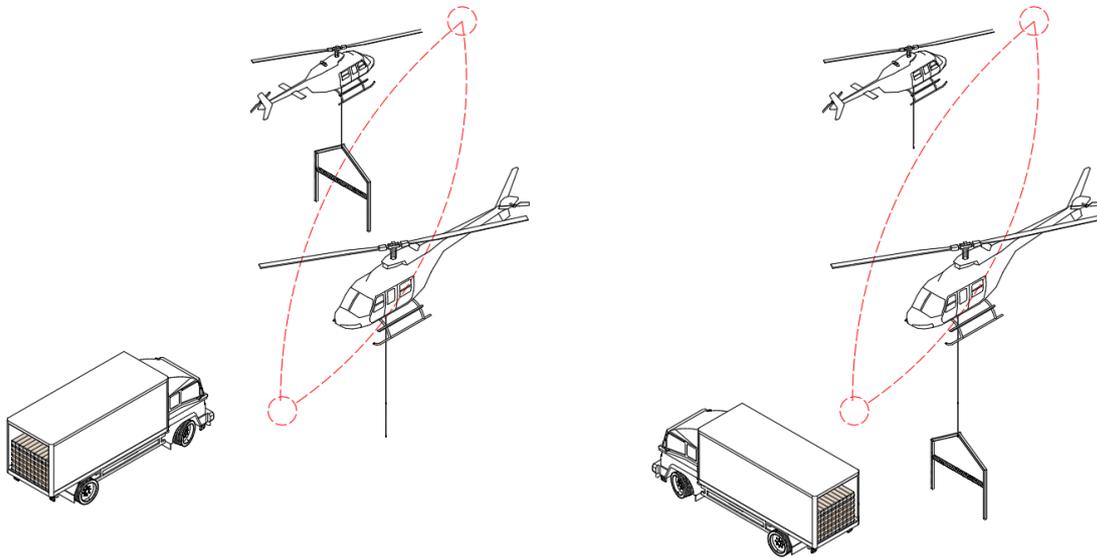


Figura 16 – Trasporti in costruzione e demolizione

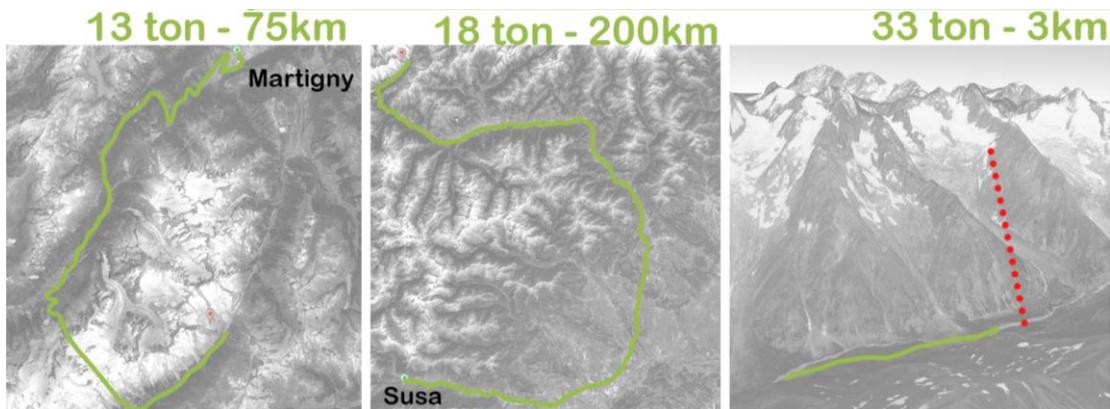


Figura 17 – Distanze nei trasporti

Il trasporto degli elementi per la costruzione del rifugio Dalmazzi si è svolto tramite una catena di viaggio composta da una prima **tratta su gomma** e una seconda in **elicottero**. Per permettere lo scarico dei materiali in quota è stata assemblata una piazzola su plinti gettati in opera con materiale elitrasmportato.

La carpenteria metallica e gli elementi in legno come rivestimenti, assi e tavolati provengono da Susa (200 km). Il legno che compone le partizioni orizzontali e le chiusure opache proviene da Martigny, Svizzera, (70km) Reperendo i materiali nelle vicinanze, il trasporto su gomma produce un impatto ambientale limitato: 1,5 tonnellate CO<sub>2</sub>eq, considerando il trasporto a fine vita il doppio. L'elitrasmporto delle stesse 35 tonnellate genera 9 tonnellate CO<sub>2</sub>eq.

Gli elicotteri maggiormente utilizzati per il trasporto merci in contesti simili sono i modelli lama e alouette, entrambi monomotore, con carico utile di circa 600kg a 2500m slm. I mezzi raggiungono autonomamente lo spiazzo a valle e iniziano le rotazioni (aggancio degli elementi, trasporto, sgancio e ritorno al sito di stoccaggio.) I due siti distano quasi 3 km in linea d'aria e le rotazioni complete durano 15-16 minuti. In 15 minuti circa, è possibile trasportare un massimo di 600kg. Gli elementi più importanti nel trasporto sono i portali HEA 160: Assicurati con gancio baricentrico alla struttura alla base dell'elicottero (figura 8) sono al limite del carico massimo.

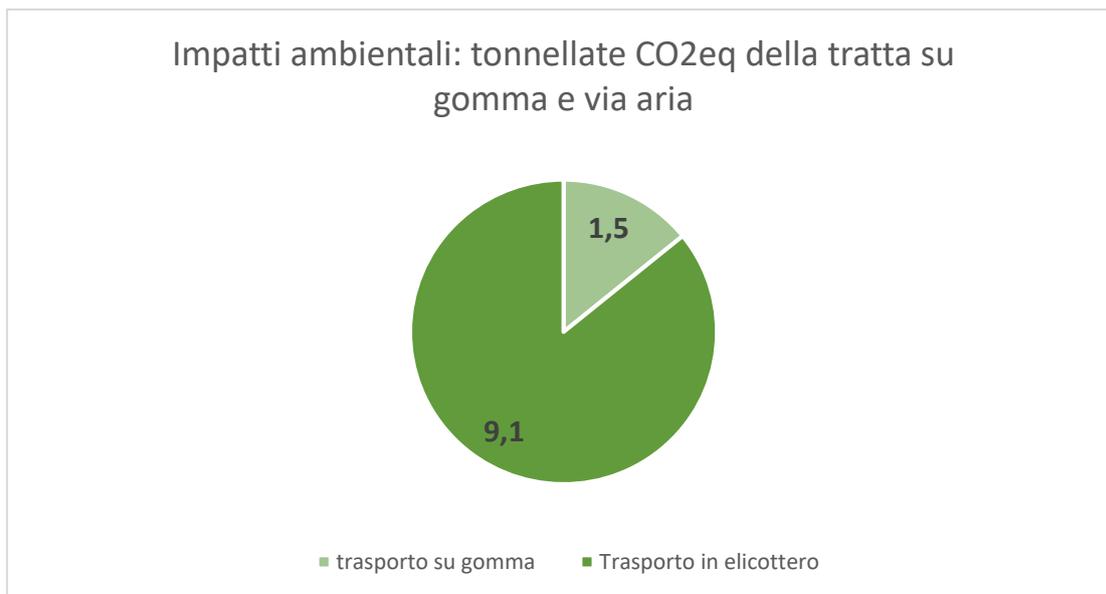


Grafico 11 – Incidenza del trasporto su gomma e dell'elitransporto

**L'elitransporto**, nella totalità delle emissioni causate dai trasporti, incide per l'**83%**. Percentuale dovuta sia alla grande differenza di consumi tra i due mezzi sia alla breve tratta (135km media) su gomma. Si evince che il sito di stoccaggio debba essere il più vicino possibile al sito in quota al fine di ridurre al minimo l'impatto ambientale dell'elitransporto. Per ridurre al minimo gli impatti energetico ambientali è necessario utilizzare materiali locali lavorati in industrie del territorio.

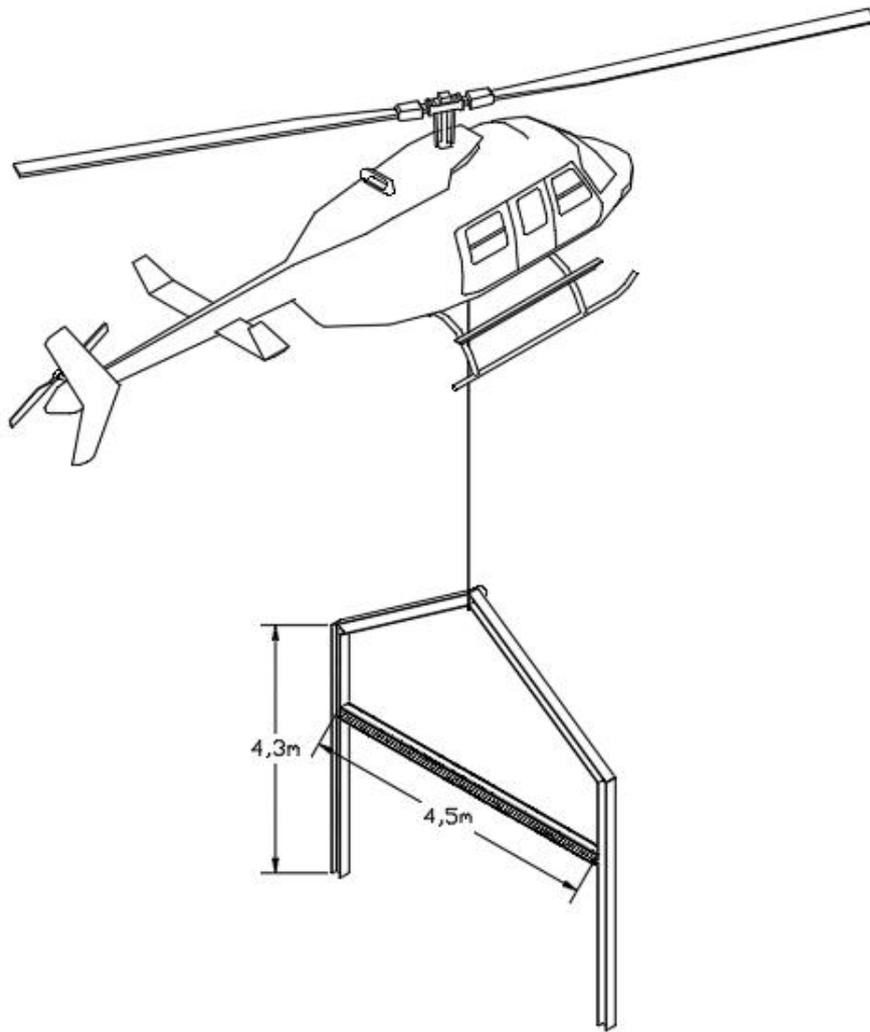
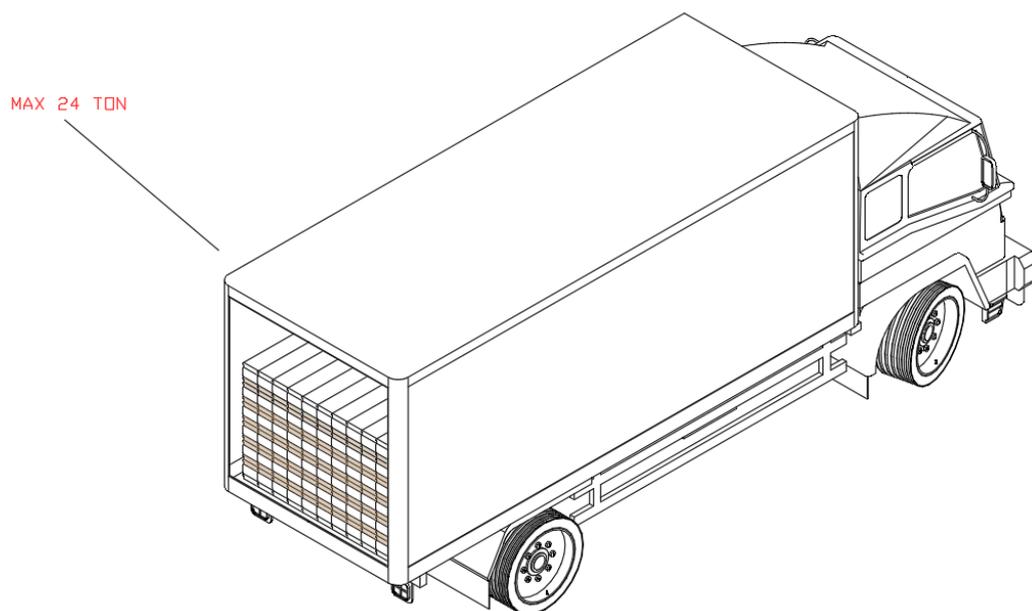


Figura 18 – Elitrasporto della struttura in acciaio



### 3.3.3 Fine vita e impatti evitati:

Nell'affrontare un progetto in alta quota il rispetto della preesistenza non è dovuto solamente alla memoria storica, piuttosto all'esigenza di dover fare i conti con delle masse considerevoli. La demolizione con la finalità di nuova costruzione implicherebbe il trasporto dei rifiuti da costruzione (per lo più inerti) a valle e successivamente a un centro di smaltimento. Sono molte le strutture costruite dagli anni 20 agli anni 80 in pietra e muratura. Considerando che un muro in pietra dallo spessore di 50cm pesa  $1250\text{kg/m}^2$ . Un metro quadro di muro da 60cm in gneiss pesa 1620kg. Un piccolo rifugio di pianta quadrata di lunghezza 4metri e altezza 3 pesa complessivamente quasi 80 tonnellate. (esclusa la copertura)

Ipotizziamo di disassemblare il rifugio Dalmazzi: il sistema costruttivo leggero e a secco che caratterizza l'edificio prevede una separazione netta fra le classi di unità tecnologiche: lo smontaggio del rifugio, opportunamente pianificato, è estremamente facilitato dalla natura leggera del sistema. Inoltre, la mancanza di colle facilita maggiormente la separazione tra i vari elementi tecnici.

Più della metà della massa dell'edificio è rappresentato dalle chiusure opache: i collegamenti tra la parte verticale e quella obliqua sono stati effettuati tramite lame in acciaio, le quali assicurano un'unione rigida tra le chiusure.

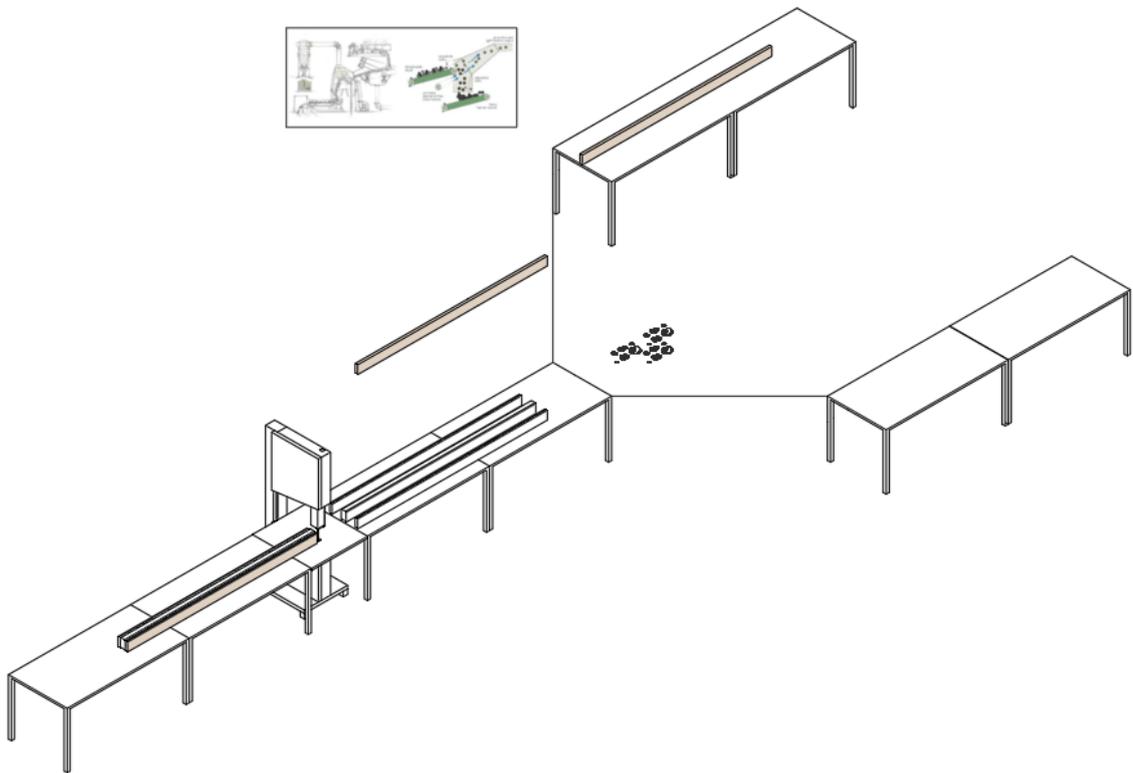
**Gli elementi delle chiusure** (legno e polistirene espanso) possono essere riciclati; separati tramite una sega a nastro in industria e, di fatto, ottenere tavole di legno e pannelli di polistirene. Effettuando il taglio, si perde inevitabilmente parte del materiale. Le parti in legno, avranno dunque uno spessore inferiore ai 4 cm, ma saranno ideali per formare tavolati da 3cm, rivestimenti piallati con spessore 2cm, listelli 3 x 2 cm.

L'anima in polistirene espanso potrà essere utilizzata come nuovi pannelli isolanti (il polistirene conserva le sue caratteristiche isolanti nel tempo) particolarmente adatti alla risoluzione di ponti termici, in quanto elementi piuttosto lineari.

Qualora il riciclo del materiale ligneo risulti dispendioso si potrà sempre optare per la valorizzazione energetica dello stesso. L'anima in polistirene espanso di 8cm, ridotta a 6-7 cm potrebbe dare vita a nuovi pannelli. La tecnologia utilizzata per il rifugio è totalmente a secco, i singoli elementi si incastrano tra di loro senza l'utilizzo di colle.

Uno dei maggiori problemi derivanti dal riciclo delle chiusure risiede nella composizione bi-materiale delle stesse: frammenti di legno misti a polistirene. Una possibile soluzione potrebbe essere quella di raccogliere gli scarti misti, posizzarli su un nastro trasportatore e separarli sfruttando la diversa densità dei due materiali tramite dei getti d'aria. Il polistirene, infatti, ha una densità di  $30\text{kg/m}^3$ , il legno di circa  $500\text{kgm}^3$ .

Dopo aver separato i materiali, i frammenti di legno potranno essere utilizzati per fabbricare pannelli in OSB, incollando e pressando a caldo le strisce. I frammenti di polistirene possono essere riciclati per produrre piccoli elementi.



**Le strutture metalliche (9,3 tonnellate, 1,3 m<sup>3</sup>)** che compongono terrazza, scale esterne e struttura interna sono, nel peggiore dei casi, fusi nuovamente per dare vita ad altri elementi in acciaio. Un' alternativa migliore sarebbe quella di riusare i profilati così come sono. Attraverso uno scenario di riuso gli impatti ambientali sono più contenuti.

Rriusarli potrebbe essere difficoltoso. Spesso è necessario effettuare dei tagli degli elementi trave al fine di adattarsi al meglio ai disegni di un nuovo progettista. In ogni caso, può essere riciclato infinite volte senza mai perdere le sue caratteristiche meccaniche.

Le piastrelle in gres devono essere demolite e portate in discarica. Non è trascurabile la quasi mezza tonnellata di rifiuti inerti composta dalle piastrelle, nonostante essa rappresenti appena l'1,5% della massa totale dell'edificio. Tuttavia, il trasporto di questi rifiuti inerti essendo inferiore ai 600kg potrà essere effettuato tramite una sola rotazione. In uno scenario alternativo più virtuoso, le piastrelle possono essere usate come sottofondo per strade.

### 3.3.5 Risultati

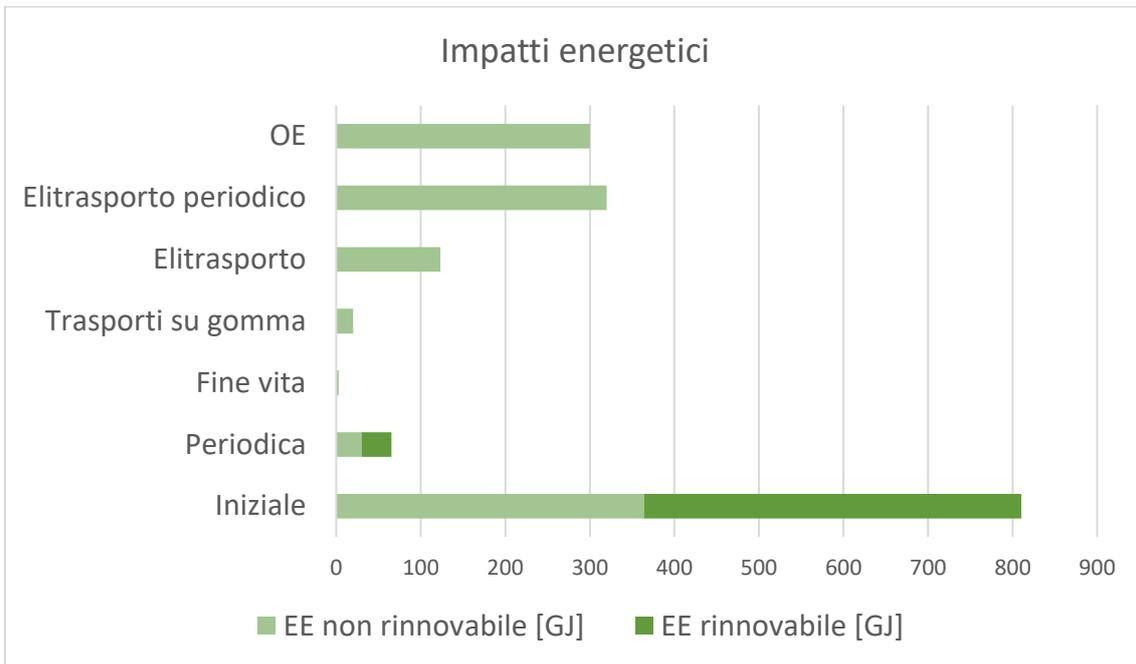


Grafico 12 – Impatti energetici nel ciclo di vita

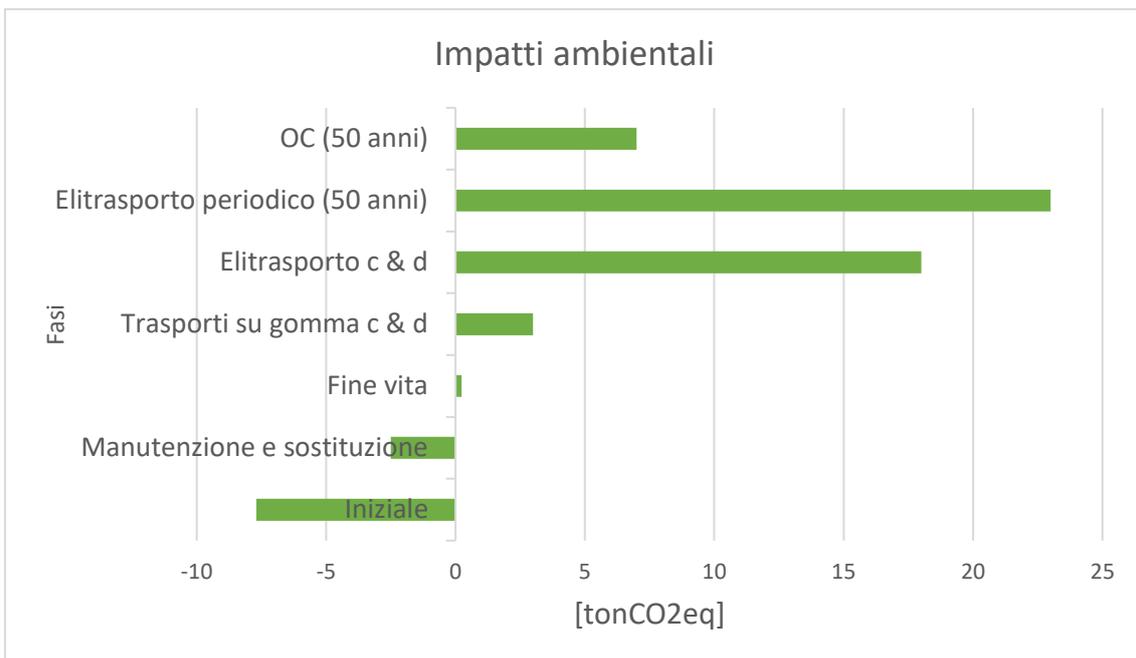


Grafico 13 – impatti ambientali nel ciclo di vita

**Il 21,5% degli impatti energetici è provocata dall'elitransporto.**

**Dall'analisi del ciclo di vita** del rifugio Dalmazzi notiamo che la maggior parte delle emissioni si verifica per rifornire il rifugio: considerando che due volte l'anno con una media di tre rotazioni per volta l'elicottero vola dalla val Ferret fino al Dalmazzi. La quota di energia rinnovabile in fase iniziale (grafico 12) è del 56%. Gli impatti ambientali della fase iniziale,

Considerando esclusivamente gli **impatti energetici da fonti non rinnovabili**, l'elitransporto assume un'importanza considerevole:

Ipotizzando di termovalorizzare tutti i componenti in legno e di riutilizzare quelli in acciaio significherebbe avere un'emissione negativa di 80 tonnellate CO<sub>2</sub>eq. La quota di feedstock del legno coincide con la quantità di energia che tale materiale ha incorporata: bruciando il legno in un termovalorizzatore si libera la quota di feedstock e si produce energia elettrica..il termovalorizzatore non ha bisogno di grandi input di energia per bruciare i materiali: sono previste delle fiamme alimentate a gas ma si tende a "lasciare il fuoco acceso" ed avere una combustione continua.

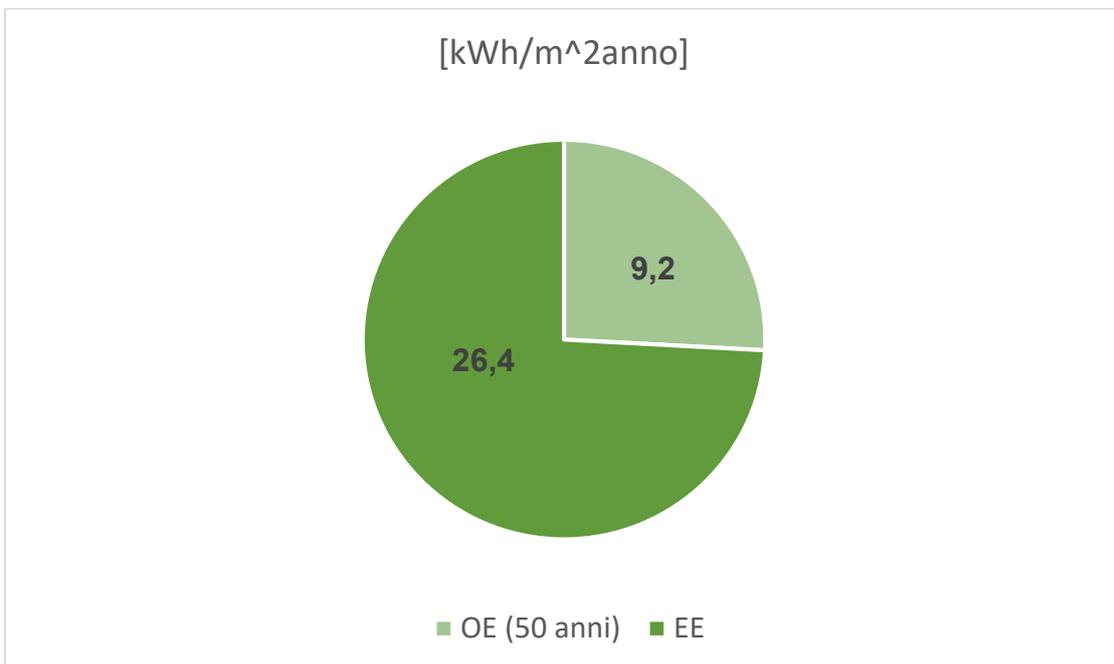


Grafico 14 – incidenza dell'operational energy e dell'embodied energy

### **Gli impatti energetici della fase operativa rappresentano il 25% del totale.**

In questo caso l'ambiente riscaldato è un terzo della superficie utile totale e nonostante l'ambiente da climatizzare sia contenuto le condizioni climatiche rigide impongono di riscaldare la sala da pranzo durante l'apertura del rifugio. L'energia operativa è rappresentata dal fabbisogno termico ideale e quindi dalla sola stufa a pellet. Gli impatti energetici provocati dal sistema di riscaldamento sono molto inferiori a quelli provocati nelle altre fasi del ciclo di vita.

## 4 Analisi di scenari alternativi: “Più possibile con, meno possibile contro”

“Leggerezza” è la parola chiave:

attraverso il confronto di soluzioni alternative di involucro, struttura e impianto un fattore molto importante risulta essere la quantità di materiale utilizzato, la massa. La citazione di Gilles Clement è esplicativa di quanto è necessario ottenere in un’analisi di scenari alternativi:

L’analisi degli scenari alternativi si basa sugli impatti energetico ambientali generati in fase di produzione fuori opera e trasporto in elicottero.

L’obiettivo dell’analisi di scenari alternativi è capire se c’è una distanza oltre la quale la massa diventa il fattore preponderante e oltre che distanza di trasporto si azzerava il bilancio di elementi che hanno sottratto CO<sub>2</sub> durante la vita. Conoscere la distanza ottimale, superata la quale, l’elitransporto assume impatti eccessivi è condizione necessaria.

**Il trasporto**, sia per portare gli **elementi costruttivi** sul cantiere in quota, sia per portare a valle i **rifiuti da costruzione**, differisce molto rispetto ad architetture urbane. In montagna, in casi estremi, bisogna considerare la catena di viaggio che preveda un trasporto su gomma seguito da uno in elicottero. In tale ottica la massa degli elementi costruttivi incide molto nella fase di trasporto. Il peso totale dell’edificio è un elemento decisivo.

Il carico utile degli elicotteri, come abbiamo spiegato nel capitolo 4 varia in base all’altitudine e al tipo di elicottero.

L’elicottero può essere un mezzo di trasporto sostenibile? È preferibile effettuare più viaggi con meno carico o pochi viaggi con più carico?

Ipotesizzare un **sistema costruttivo** in legno o in acciaio costituisce, di fatto, la prima grande scelta:

Il legno è un materiale ottimo dal punto di vista della sostenibilità ambientale, ha un bilancio negativo di emissioni di CO<sub>2</sub>. L’acciaio provoca emissioni considerevoli. Una delle sfide del nostro secolo è proprio quella di ridurre tali emissioni, ma, di fatto, risulta una delle porzioni più difficili da “tagliare”.

## 4.1 Scenari alternativi di involucro opaco: stessa tecnologia con materiali differenti

Avendo constatato che l'**involucro opaco** è l'unità tecnologica **più consistente** del sistema edilizio risulta evidente che bisogna innanzitutto agire su questo per ottimizzare e limitare l'impatto ambientale. Ipotizzando di lasciare invariata la tecnologia di base dell'involucro, confrontiamo diversi isolanti e diversi rivestimenti: nel caso del rivestimento in larice andremo a valutare la sostituzione periodica tramite elicottero, nel caso del rivestimento metallico non terremo in considerazione alcuna sostituzione, poiché si tratta di un materiale estremamente durevole.

L'analisi degli scenari alternativi di involucro è effettuata su 130 mq, ovvero le chiusure opache verticali del rifugio Dalmazzi.

Le quattro soluzioni di involucro sono presentate in ordine crescente di Embodied Carbon relativa alla fase di produzione fuori opera. A parità di spessore di isolante (8cm) la fibra di legno ha una massa molto maggiore rispetto al polistirene espanso.

Le emissioni dell'elitransporto sono direttamente proporzionali alla durata delle rotazioni complete: entro i 15 minuti di rotazione tutte le soluzioni, ad esclusione dello scenario 4, presentano un bilancio negativo di emissioni di CO<sub>2</sub>eq. Aumentando la durata delle rotazioni la massa diventa un fattore sempre più considerevole e le emissioni legate all'elitransporto sovrastano quelle necessarie alla produzione fuori opera.

Bisogna considerare che gli impatti energetico ambientali dipendono soprattutto dalla quantità di materiale utilizzata: nel confronto fra gli isolanti per produrre 1 kg di polistirene è necessaria una quantità molto maggiore rispetto a 1kg di fibra di legno. Tuttavia, la densità e soprattutto la massa superficiale dei due materiali, in ottica di produzione e soprattutto elitransporto porta a preferire il polistirene espanso, la cui densità è di appena 30kg/m<sup>3</sup>.

I grafici 12-13-14-15 rappresentano diverse soluzioni possibili: Le variabili sono gli isolanti, i rivestimenti e la durata di una rotazione completa. La linea gialla rappresenta le emissioni dell'elitransporto in fase di costruzione e demolizione sommate a quelle della produzione fuori opera (linea verde) a seconda della durata di una rotazione completa: c'è un limite oltre il quale il bilancio cambia di segno. Ad esempio, nel grafico 15 notiamo che fino a rotazioni di 40 minuti l'unità tecnologica analizzata continua a sottrarre CO<sub>2</sub>eq all'ambiente. Superati i 40 minuti le emissioni del processo, inteso come somma di fase iniziale e trasporto, diventano positive

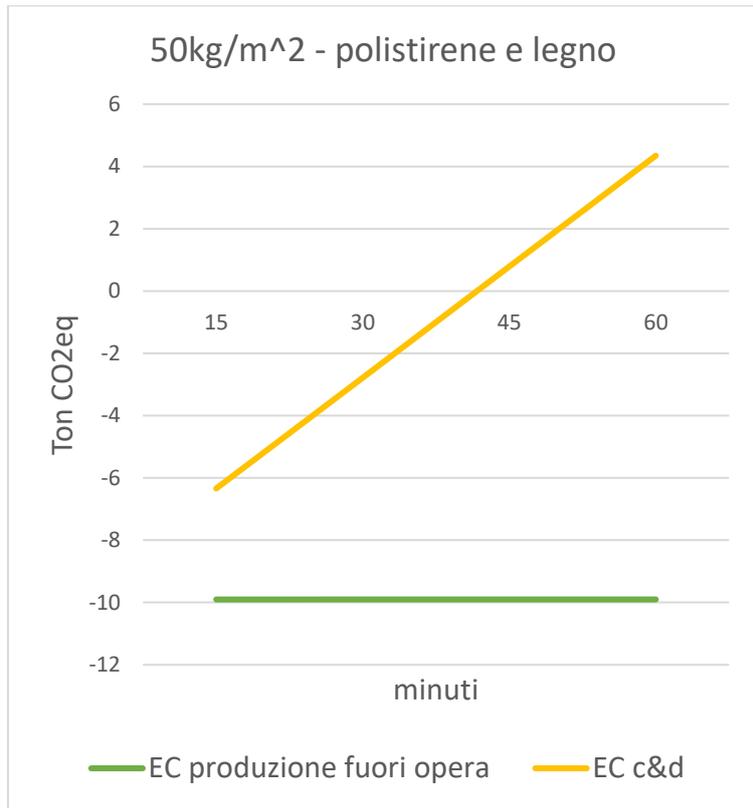
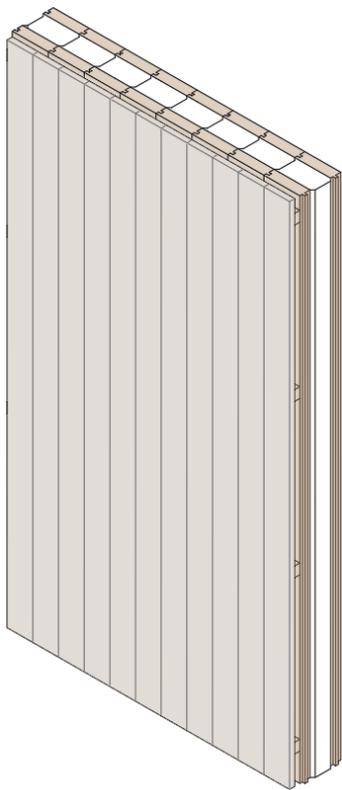


Grafico 15 – Scenario alternativo involucro 1: isolante in polistirene e rivestimento in legno

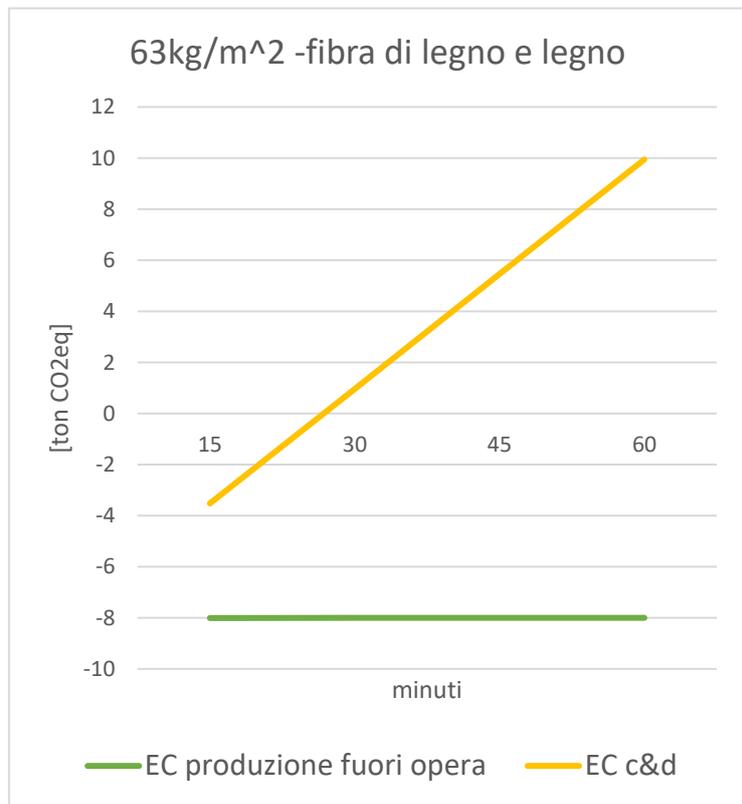
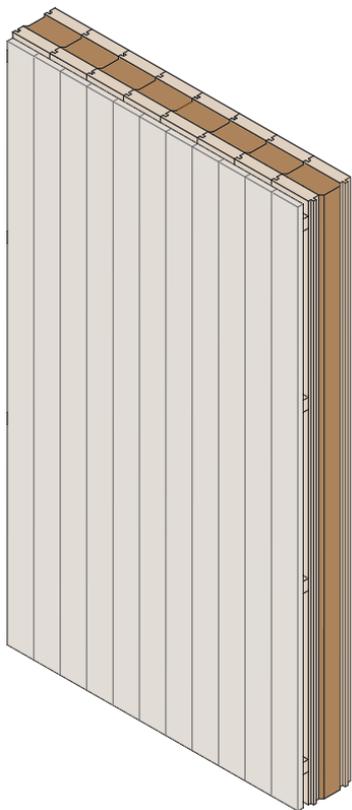


Grafico 16 – Scenario alternativo involucro 2: isolante in fibra di legno e rivestimento in larice

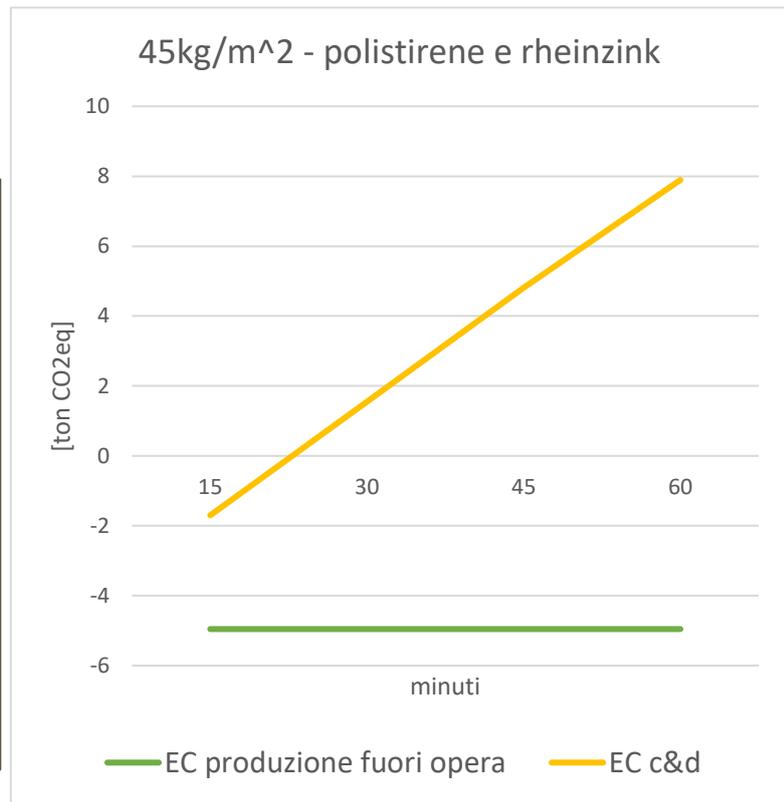
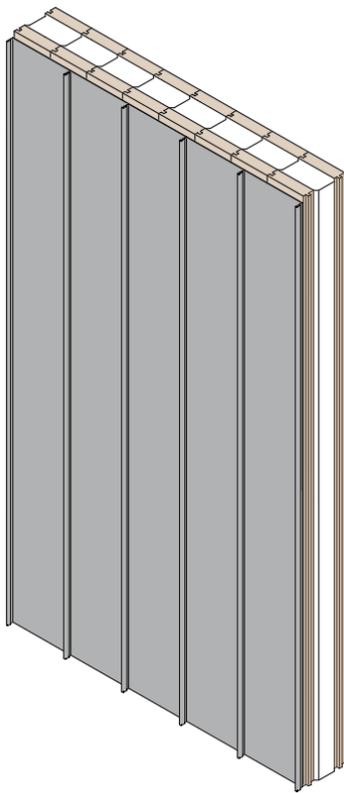


Grafico 17 – Scenario alternativo involucro 3: isolante in polistirene e rivestimento in rheinzink

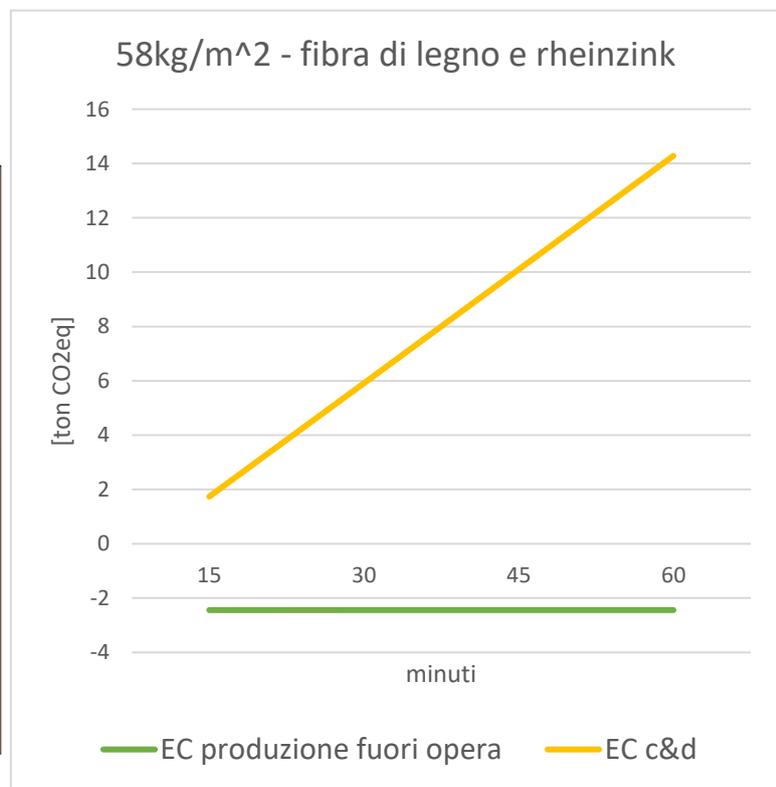
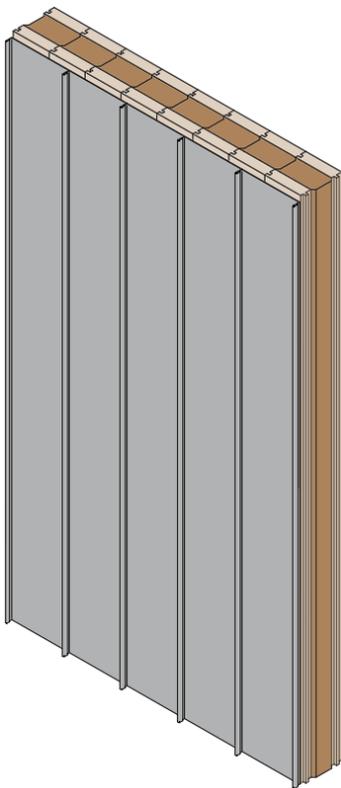


Grafico 18 – Scenario alternativo involucro 4: isolante in fibra di legno e rivestimento in rheinzink

Il rivestimento esterno verticale del rifugio Dalmazzi è composto da tavole in larice. la copertura, invece, è rivestita in lamiera in zinco titanio. Il rivestimento in legno ha un peso di **11 kg/mq**, quello metallico di circa **7kg/m<sup>2</sup>**. Il rivestimento metallico pesa il 38% in meno rispetto a quello ligneo, il che non è trascurabile.

Tra le soluzioni di involucro, quella utilizzata nel rifugio Dalmazzi, è una tra le più leggere in commercio: **37,9 kg/m<sup>2</sup>**, spessore di **16cm** e trasmittanza di **0,309 W/m<sup>2</sup>K**. La soluzione equivalente in termini di spessore con la fibra di legno al posto del polistirene espanso pesa **52kg/m<sup>2</sup>** e ha trasmittanza di **0,374 W/m<sup>2</sup>K**. Una differenza di **14,1kg/m<sup>2</sup>** incide significativamente soprattutto se consideriamo anche le emissioni dell'elicottero prodotte dal trasporto a valle per il fine vita.

La totalità delle chiusure opache verticali pesa **4965 kg** nel primo caso e **6812** nel secondo caso, per una differenza totale di **1847 kg**.

Domande:

- 1) Se le chiusure verticali opache fossero rivestite in lamiera piuttosto che in legno?
- 2) Se le chiusure verticali opache avessero l'anima in fibra di legno piuttosto che in polistirene espanso?

Risposte:

- 1) Se le chiusure opache verticale fossero rivestite in lamiera in zinco titanio peserebbero appena **44,9kg/m<sup>2</sup>** contro i **48,9kg/m<sup>2</sup>** con il rivestimento in larice. Tuttavia, la trasmittanza sarebbe maggiore, ma non si dovrebbe intervenire annualmente con una vernice epossidica per proteggere il rivestimento in legno.
- 2) A parità di rivestimento, se la soluzione di involucro fosse con anima in fibra di legno piuttosto che in polistirene espanso avremmo un peso di **63kg/m<sup>2</sup>** contro i **48,9kg/m<sup>2</sup>**. La fibra di legno, soprattutto se sinterizzata senza l'aggiunta di altri materiali, rappresenta un prodotto eccellente dal punto di vista ambientale. Il polistirene espanso, ha il vantaggio di essere leggerissimo, ma lo svantaggio di essere eterno. La natura immutabile della plastica, sebbene possa rappresentare un elemento di forza nella fase di utilizzo dell'edificio, in quanto non soggetto a degradi di umidità, porta con sé il problema dello smaltimento a fine vita. Cosa fare di questa mezza tonnellata di plastica?

Una differenza nella massa dell'involucro di 1,8 tonnellate impone in questo caso 3 rotazioni in più.

In un contesto simile, dunque, una scelta sostenibile è maggiormente influenzata dalla massa degli elementi piuttosto che dalla loro composizione. Sembrerebbe risultare preferibile un isolante in polistirene espanso piuttosto che uno in fibra di legno,

Lo stesso sistema costruttivo è disponibile sia con anima in polistirene espanso che con anima in fibra di legno. Consideriamo lo stesso rivestimento esterno in piallato in larice.

Nella totalità delle chiusure opache le due soluzioni hanno una differenza di 1,85 tonnellate. Trasportare 1,85 tonnellate con elicottero emette, considerando 15 minuti di rotazione completa, **450kgCO<sub>2</sub>eq**. Considerando anche la fase di trasporto finale in seguito alla demolizione si ottengono 900kgCO<sub>2</sub>eq.

In termini ambientali ogni metro quadro di soluzione con polistirene espanso sottrae all'ambiente 2kgCO<sub>2</sub>eq, la soluzione in fibra di legno 4kgCO<sub>2</sub>eq. Nella totalità dell'involucro la prima sottrae **262kgCO<sub>2</sub>eq**, la seconda **524 kgCO<sub>2</sub>eq**.

Per quanto riguarda il fine vita possiamo fare scenari di smaltimento diversi. In uno scenario ipotizziamo di riciclare al 50% le componenti in legno ad esclusione del rivestimento e di destinare la totalità del polistirene espanso

La differenza sostanziale nell'involucro consiste proprio nel fine vita: ipotizzando di termovalorizzare completamente l'involucro bisogna considerare la quantità di energia che sprigionano i due diversi materiali: il polistirene ha un potere calorifico molto inferiore rispetto alla fibra di legno. La quantità di energia impiegata a produrre i pannelli di polistirene espanso non viene recuperata nel momento in cui si brucia il prodotto. Al contrario, per i pannelli in fibra di legno non solo viene recuperata l'energia impiegata per produrre il manufatto, ma nel bilancio ambientale otteniamo risultati negativi.

In questo caso mettiamo a confronto le due soluzioni di involucro ipotizzando che la chiusura verticale a ovest abbia l'anima in fibra di legno e quella ad est in polistirene espanso. Su 38 mq la prima ha una massa di 48,9kg/m<sup>2</sup> (1858kg) e la seconda di 63kg/m<sup>2</sup> 2394

Considerando gli impatti ambientali delle due soluzioni nel ciclo di vita tenendo conto di uno scenario analogo di fine vita, termovalorizzazione. Otteniamo per la prima. Le soluzioni alternative di rivestimento opaco: metallo o legno? La principale differenza tra i due rivestimenti risiede nella fase operativa: il rivestimento in larice necessita di una sostituzione in 50 anni. Inoltre, la soluzione con lamiera metallica è più leggera.

In questo caso per considerare l'impatto ambientale dell'elitransporto bisognerà valutare che la fase della sostituzione del rivestimento sarà da calcolare solo nella soluzione con finitura in legno. Dunque, per il primo calcoliamo i trasporti in 1+1 e nel secondo 1+2+1.

In termini ambientali la soluzione con rivestimento in larice riesce ad assorbire più kgCO<sub>2</sub>eq rispetto a quella in lamiera metallica. Si è ipotizzato di sostituire il rivestimento in legno almeno una volta in 50 anni. Elitransportare il vecchio rivestimento a valle e il nuovo in quota produce 1,15 tonnellate di CO<sub>2</sub>eq.

## 4.2 Scenario alternativo strutturale: acciaio, legno, calcestruzzo e alluminio

Lo scenario alternativo strutturale si applica in questo caso alle sole strutture interne. Vengono offerte delle riflessioni circa la sostenibilità ambientale di una soluzione piuttosto che un'altra in relazione al rapporto fra la quantità di energia utilizzata per produrre il manufatto e a quella utilizzata per l'elitransporto. La massa dell'elemento, a parità di resistenza, diventa un fattore sempre più consistente man mano che la durata delle rotazioni aumenta. La soluzione in legno nella fase di produzione sottrae all'ambiente una parte di CO<sub>2</sub>eq, ma viene reimpressa in atmosfera a causa dell'elitransporto. Essendo la massa totale degli elementi in legno maggiore di quella dell'acciaio, si nota (grafico 17) che all'aumentare della durata delle rotazioni le emissioni crescono più rapidamente per il materiale più pesante. La soluzione in alluminio, ipotizzando il materiale non riciclato, ha un'elevata EE in fase di produzione, ma data la natura leggera del materiale, la fase di elitransporto incide in modo sottile. La soluzione in calcestruzzo prevede elementi aventi una massa molto maggiore rispetto alle alternative: le emissioni dell'elitransporto a 15 minuti sono maggiori in modo assoluto rispetto a tutte le altre.

Ipotizzando più semplicemente un **singolo elemento**: una trave da 7,5 metri in acciaio e una in legno con carico permanente di 75kg/m e variabile di 300kg/m come trattato nel libro di Alessandro Rogora e Davide Lo Bartolo intitolato "Costruire alternativo".

I grafici 17-18 sono realizzati tenendo conto di 20 travi dalle caratteristiche sopra citate: le variabili sono la durata di una rotazione completa e il materiale.

La soluzione in legno dal punto di vista ambientale risulta essere la migliore: dal punto di vista compositivo, tuttavia, in spazi molto ridotti può risultare ingombrante.

Includendo la fase di elitransporto legata alla costruzione e demolizione del rifugio (grafico 20) la scelta del legno rispetto all'acciaio risulta essere conveniente quasi sempre: con rotazioni complete di 60 minuti la differenza di massa tra acciaio e legno fa sì che le emissioni del legno superino quelle dell'acciaio. La rotazione da 60 minuti è tuttavia uno scenario che raramente o mai si verifica: impiegare un'ora per una rotazione significa che la distanza fra il sito di stoccaggio a valle e quello di progetto in quota sia di oltre 30km.

Una struttura in alluminio sarebbe la più leggera di tutte e per questo preferibile rispetto alle altre: tuttavia la grande quantità di energia impiegata per la produzione degli elementi strutturali sovrasta totalmente quella dell'elitransporto. (grafico 21)

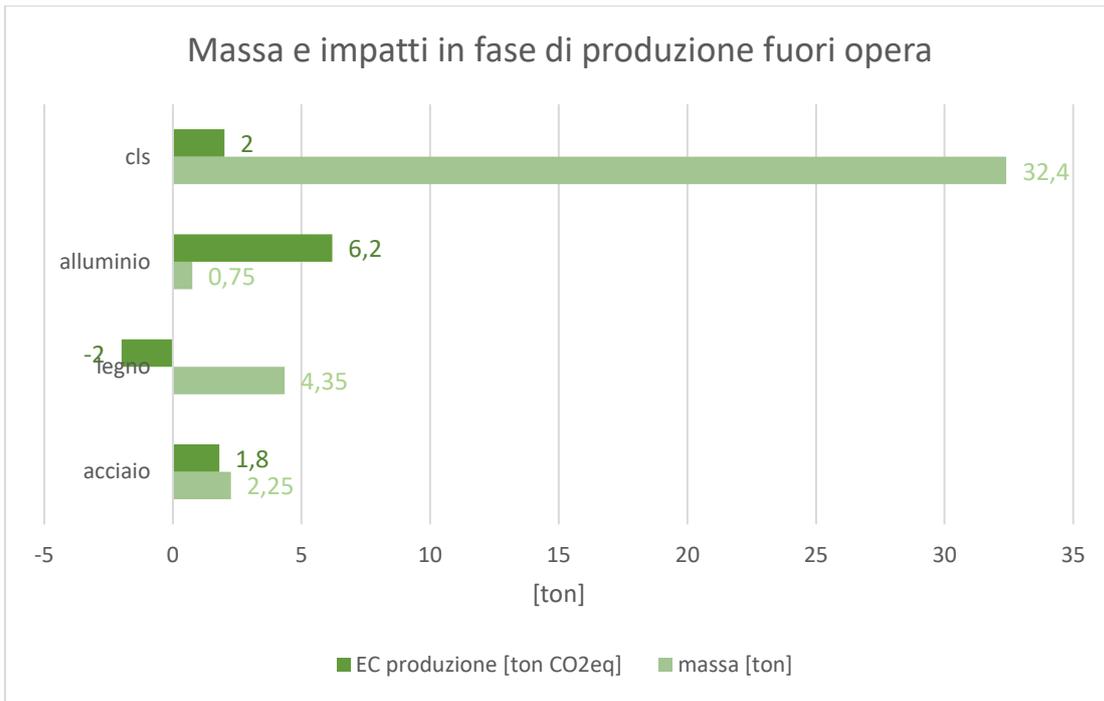


Grafico 19 – Rapporto tra tonnellate di CO2eq e tonnellate di materiale

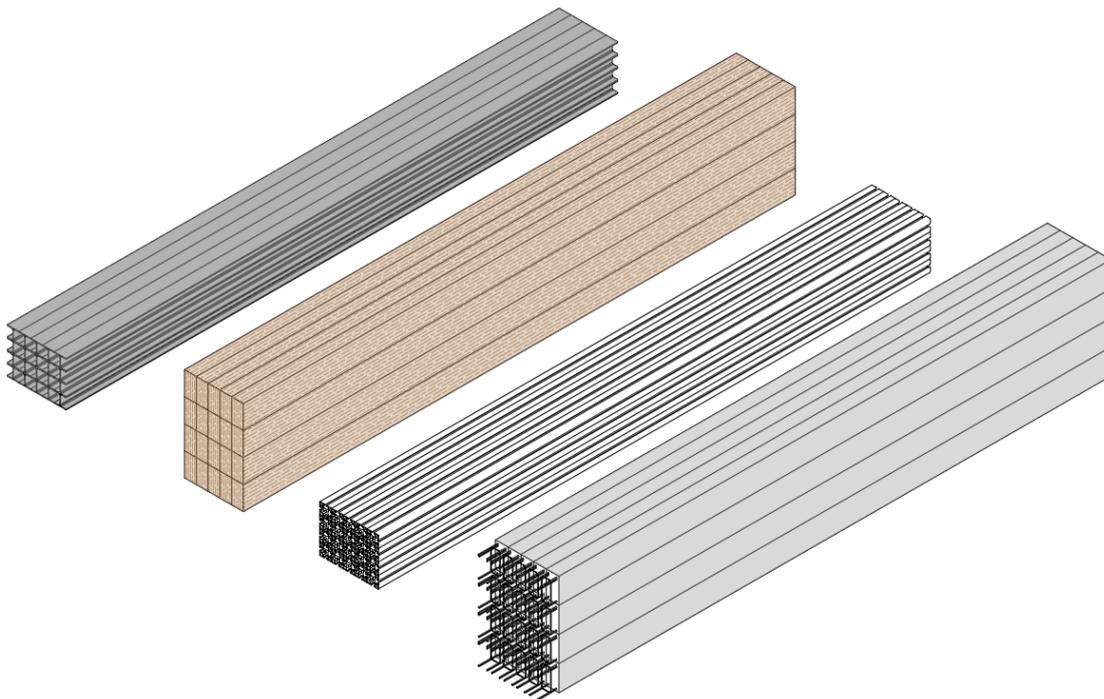


Figura 19 – 20 travi da 7,5m in acciaio, legno, alluminio e calcestruzzo

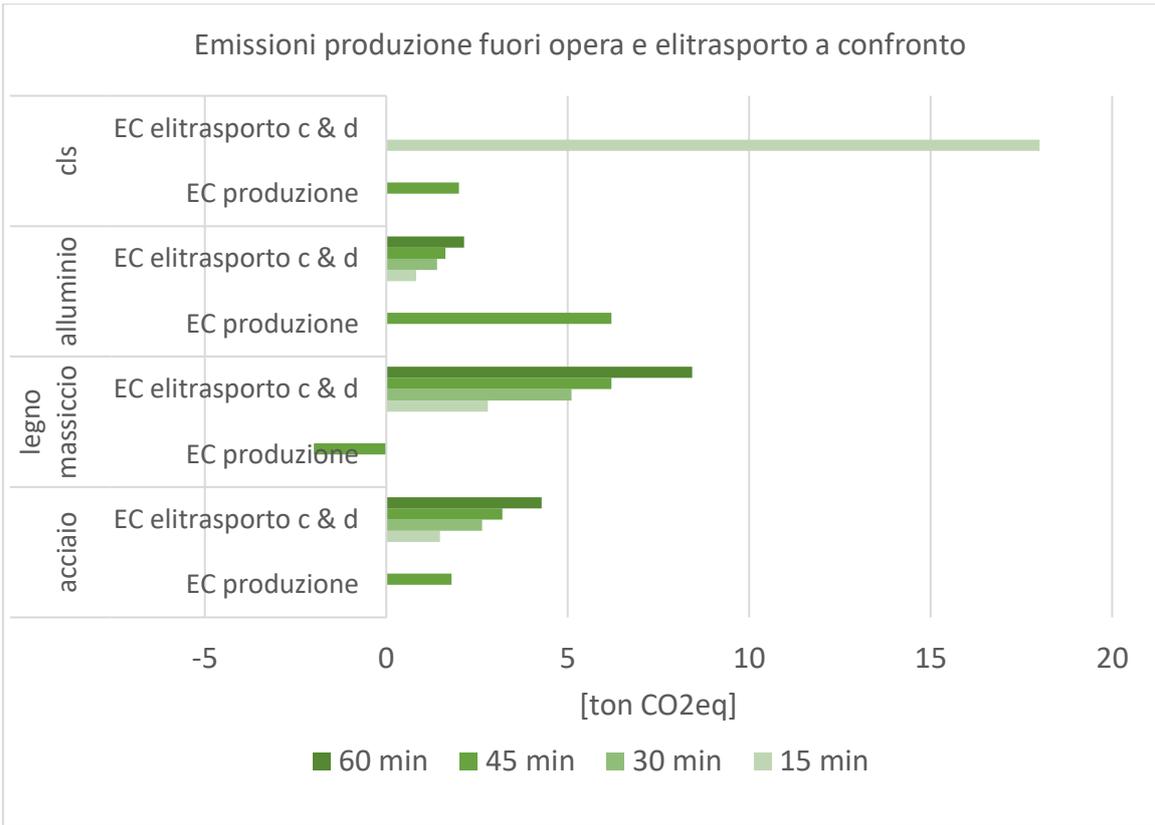


Grafico 20 – Confronto fra emissioni di soluzioni strutturali in relazione alla durata di una rotazione completa

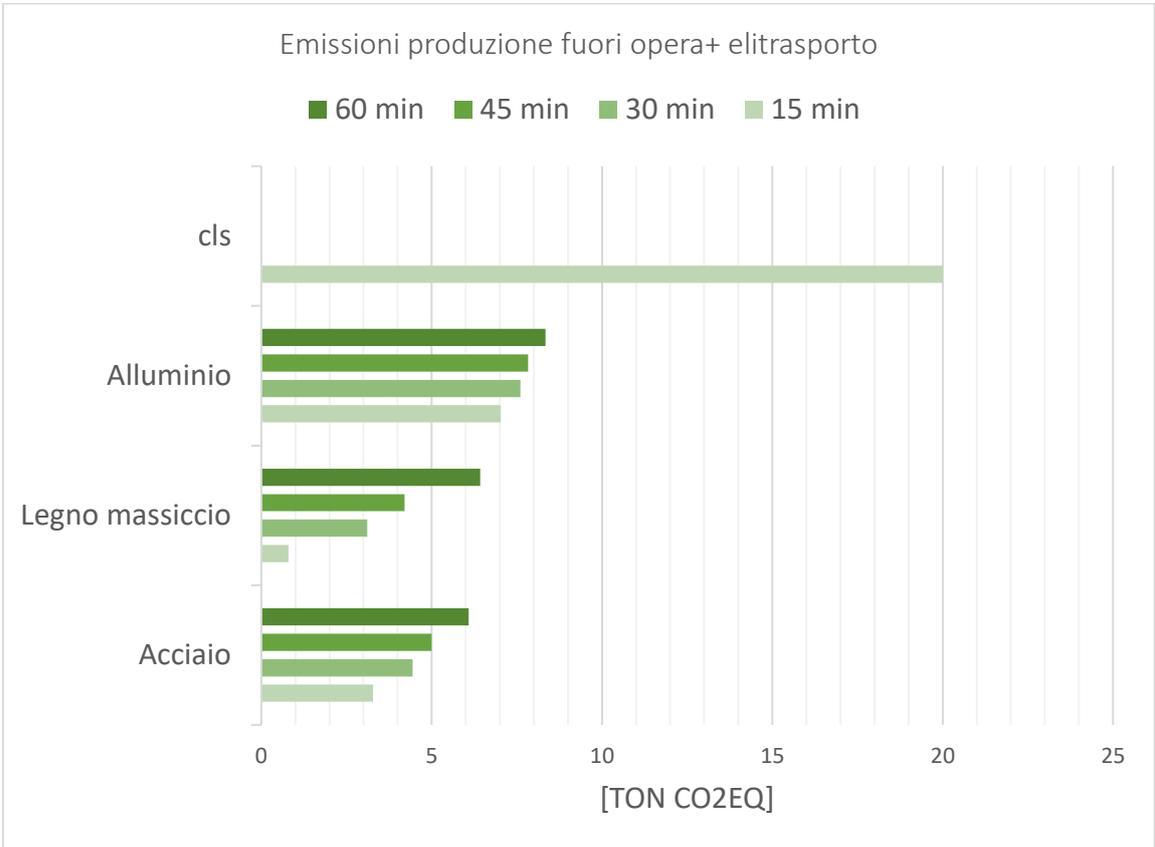


Grafico 21 – Emissioni della fase di produzione fuori opera e elitransporto

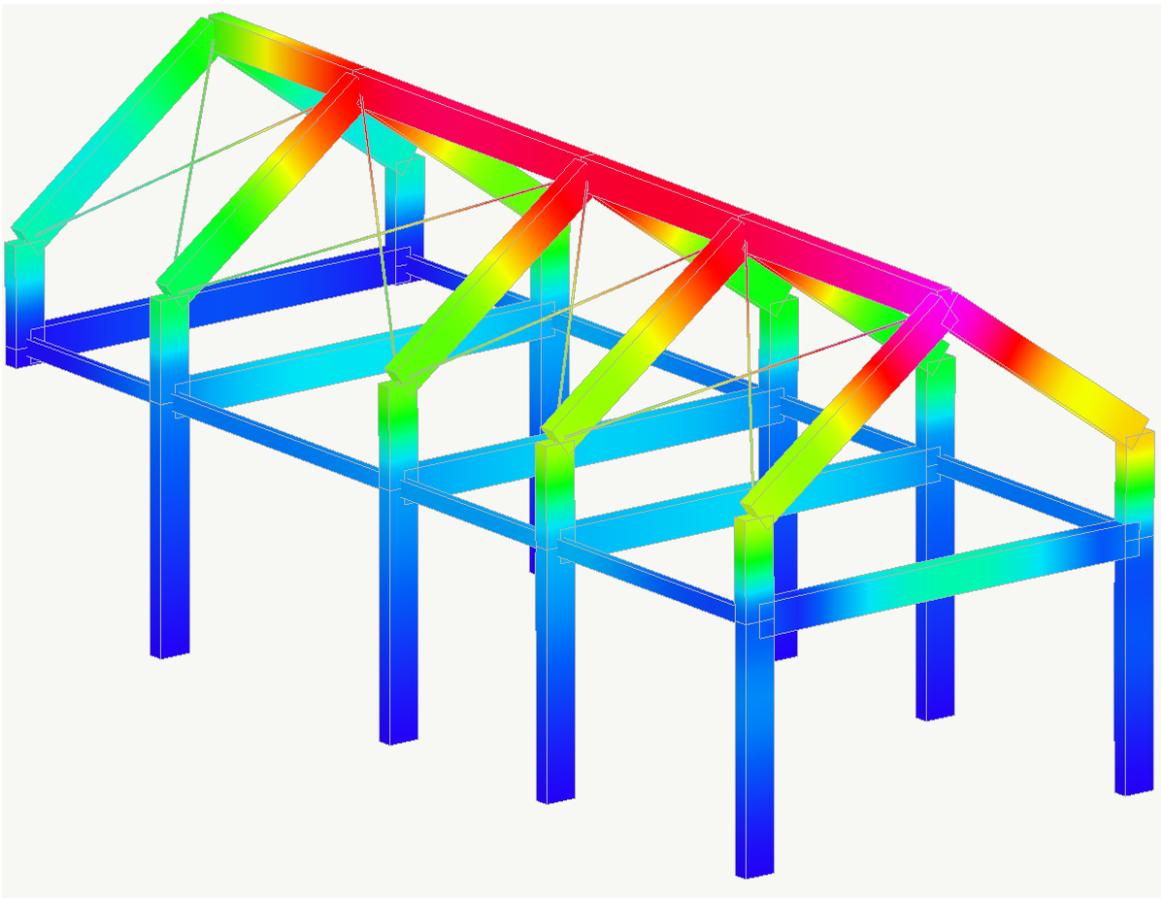


Figura 20 – Isopostamenti nella struttura in legno (Nolian)

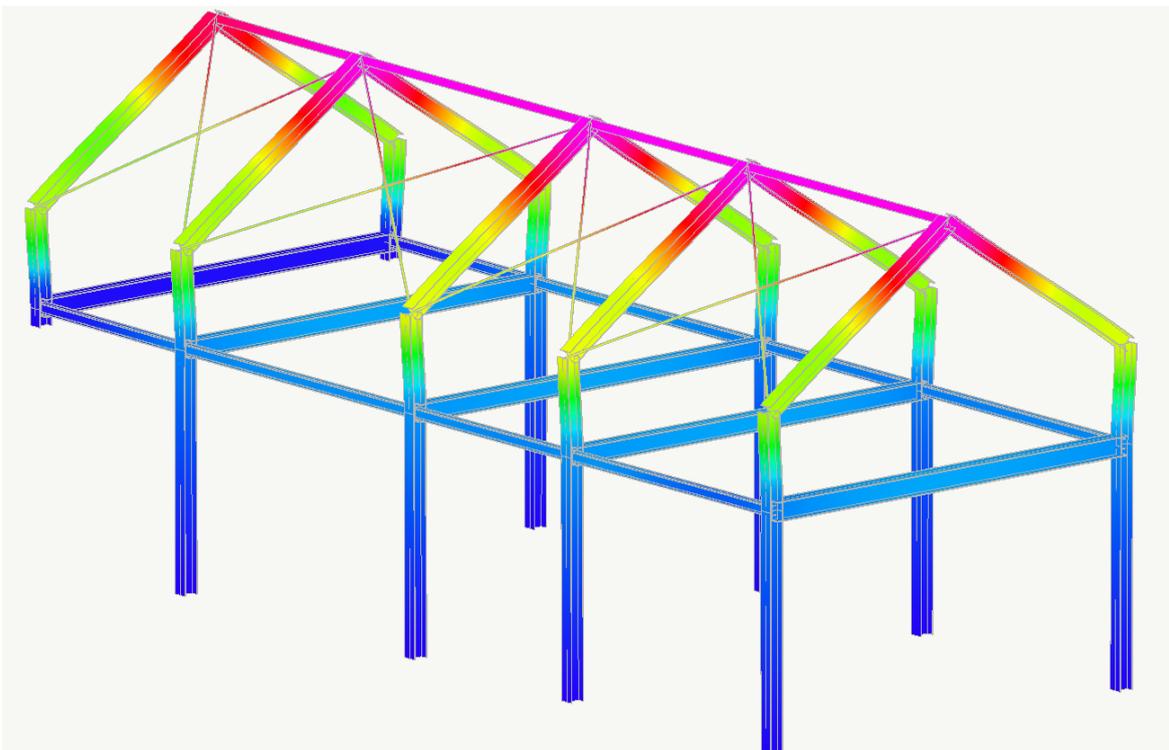


Figura 21 – Isopostamenti nella struttura in acciaio (Nolian)

Analizzando le alternative strutturali attraverso un modello di calcolo ad elementi finiti è possibile confrontare un portale in acciaio del rifugio e uno della stessa geometria in legno: La struttura principale del rifugio è composta di portali HE 160 A. Bisognerebbe usare delle sezioni in legno lamellare incollate tra loro per di dimensioni 36 x 18 cm per ottenere A parità di resistenze quello in legno avrà una sezione molto maggiore e un peso del 7,5% in più.

Le scelte che hanno guidato i progettisti a preferire una struttura portante in acciaio piuttosto che in legno, oltre al voler ottenere un'immagine leggera e moderna del rifugio, è indubbiamente la limitata capacità di carico dell'elicottero e la volontà di prefabbricare quanto più possibile.

Dal punto di vista ambientale la soluzione strutturale in legno risulta essere più vantaggiosa: la differenza di massa tra i due materiali nella fase di trasporto non è preponderante rispetto alla differenza di emissioni in fase di produzione. Trascuriamo in questo scenario la fase di trasporto su gomma e quella di fine vita. Bisogna considerare che una trave in acciaio ha dimensioni e ingombri molto inferiori a una trave in legno e che quest'ultima è condizionata dall'umidità.

La distanza oltre la quale conviene, considerando le sole fasi di produzione ed elitransporto(x2), costruire strutture in acciaio piuttosto che legno è di circa 30 km. Per percorrere in sicurezza tale distanza si impiegano rotazioni complete di quasi un'ora. È uno scenario difficilmente percorribile. È estremamente raro che si organizzi una costruzione prevedendo una distanza tra il sito di stoccaggio e quello di progetto di 30km. Considerando il fattore economico, ipotizzando un costo di 35€/min si spenderebbero all'incirca 4100 € per elitransportare 10 travi in legno per 30km.

La volontà di prefabbricare il più possibile e elitransportare telai piuttosto che elementi lineari ha portato i progettisti del Dalmazzi ad escludere la soluzione in legno. Il portale in HEA 160 con l'aggiunta di uno scatolare da 10cm e degli angolari a lati uguali su cui poggia il solaio pesa complessivamente 600kg (carico utile massimo dell'elicottero utilizzato). Se la struttura fosse stata in legno sarebbe stato impossibile elitransportare un telaio delle stesse dimensioni con lo stesso elicottero a 2500m slm.

Moduli elastici a confronto:

- Legno: 16000 N/mm<sup>2</sup>
- Acciaio: 210000 N/mm<sup>2</sup>

## 4.3 Scenario alternativo impiantistico

La caratterizzazione dello scenario impiantistico dipende non solo dagli elementi che compongono gli impianti ma soprattutto da quanto questi risultino necessari per garantire il comfort termico. Le alternative impiantistiche sono

La tipologia del rifugio alpino è molto diversa dal residenziale: bisogna considerare che molti rifugi sono aperti solo nella stagione estiva e il volume da riscaldare è spesso contenuto.

Inoltre, data l'impossibilità di allacciarsi alla rete fognaria, è necessario disporre di un sistema di trattamento reflui adeguato. L'impianto è sostanzialmente composto da una **vasca imhoff**, un **degrassatore** e il sistema di **tubature in pvc** di collegamento. Le acque purificate vengono sparse sul terreno tramite subirrigazione e la parte solida viene periodicamente prelevata ed elitrasportata a valle.

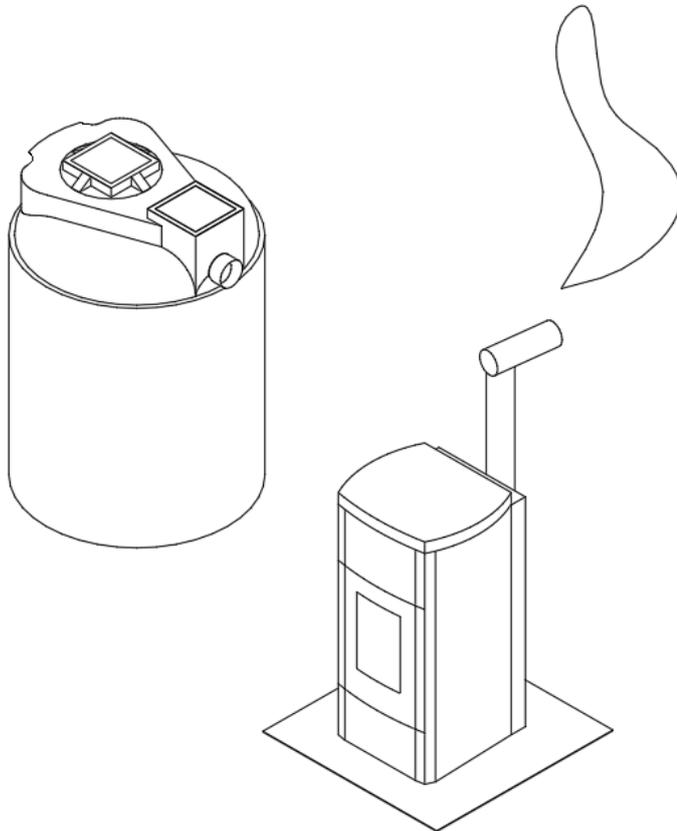
Non è possibile rinunciare o immaginare diversamente il sistema reflui in un contesto simile. In altri contesti avendo a disposizione maggiori imbuti in ottica di economia circolare i residui solidi potrebbero finire in un digestore anaerobico al fine di produrre biogas.

Per rispondere al fabbisogno ideale di energia termica è necessaria una quantità 7 GJ ogni anno. Non si considerano le emissioni di NOx SOx e PM poiché è una problematica appartenente ad un contesto urbano in cui la concentrazione di queste polveri nell'aria risulta essere nociva per la salute umana e non lontano dalle città in contesti isolati.

L'ambiente riscaldato è di circa 70 metri cubi. Per piccole cubature una stufa a pellet può rappresentare, a bilancio compiuto, una soluzione low tech, con emissioni contenute nelle fasi antecedenti quella di utilizzo. Il combustibile, pellet o legna, rappresenta, tuttavia, una soluzione piuttosto inquinante non tanto per i gas effetto serra ma per tutti gli altri fluidi che rappresentano un pericolo di salute per l'uomo. Tuttavia, è da considerare che la pericolosità dei gas nocivi all'uomo come il particolato deriva dalla concentrazione dei gas: se un'intera città fosse riscaldata tramite pellet l'ambiente circostante sarebbe invivibile a causa dell'elevata concentrazione di NOx, SOx, COV e PM. Questi gas, infatti, sono di un ordine di grandezza maggiore con un'alimentazione a pellet rispetto a gas naturale, GPL o gasolio. Essendo il pellet un derivato della legna è chiaro che quando avviene la combustione, oltre ai gas sopra citati, si libera quella porzione di CO2 rimasta intrappolata nel bastoncino di legno.

Tra una caldaia a condensazione e una a pellet / legna cosa cambia? Oltre alla romantica visione della legna che arde mentre fuori nevicata, quali sono le principali differenze tra i due sistemi di riscaldamento?

La principale differenza tra il pellet e i combustibili fossili è la rinnovabilità del primo.



Il lavoro dell'uomo potrebbe sostituirsi a quello dell'elicottero? Possiamo immaginare attività sociali volte a sensibilizzare le persone all'aspetto ambientale?

**Ogni ora la stufa consuma 1,5kg di pellet.** Ipotizzando un pellet di abete con potere calorifico 4588 Kcal/Kg si producono 5,3 Kwh/kg.

Ipotizzando di tenerla accesa per 8 ore al giorno, si consumano 12 kg di combustibile. In una settimana sono 84 kg e in una stagione 1000 kg. Sono dunque necessarie almeno due rotazioni complete di elicottero solo per trasportare pellet. Sommando a queste quelle per il trasporto di tutto ciò che un rifugio necessita durante la sua apertura.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, la soluzione più diffusa per questa tipologia è la stufa a pellet. L'elettricità si produce attraverso i pannelli fotovoltaici e l'acqua calda attraverso il solare termico o tramite caldaia a gas. Per la cucina le bombole a gas.

1 mc di gas metano produce 1.95 Kg di CO<sub>2</sub>

1 mc di pellet assorbe 500 kg di CO<sub>2</sub>eq

**Tabella 1. Fattori di emissione misurati nello studio Innovhub-SSI**

Combustibile	CO g/GJ	NOx g/GJ	SOx g/GJ	COV g/GJ	PM g/GJ	IPA benzo(a)Pirene µg/MJ	NOTE
Gas Naturale	56.6	32.3	0.3 <sup>a</sup>	<0.15	<0.04	<0.08	<sup>a</sup> valore medio di letteratura
GPL	47.8	22.6	2.2 <sup>b</sup>	<0.15	<0.04	<0.08	<sup>b</sup> elaborazione ISSI sulla base di dati di specifica
Gasolio	3.7 <sup>c</sup>	34 <sup>c</sup>	19.3 <sup>c</sup>	1.1 <sup>c</sup>	0.1 <sup>c</sup>	0.08 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> dati ISSI su caldaie di potenza >150 kW <sup>d</sup> valore di letteratura
Legna	5862 <sup>d</sup>	122 <sup>d</sup>	10.7 <sup>d</sup>	536 <sup>d</sup>	254 <sup>d</sup>	68.7 <sup>d</sup>	<sup>d</sup> dati ISSI
Pellet A1 stufa 4 stelle	175.6	135.9	6.87 <sup>e</sup>	6.7	23.9	0.22	<sup>e</sup> valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A1 stufa 3 stelle	141.4	118.2	6.87 <sup>e</sup>	40.5	44.1	0.18	<sup>e</sup> valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A2 stufa 4 stelle	236.1	166.3	12.8 <sup>e</sup>	8.2	83.8	0.1	<sup>e</sup> valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A2 stufa 3 stelle	625.7	233.2	12.8 <sup>e</sup>	223.8	82.9	0.94	<sup>e</sup> valore teorico sulla base del contenuto di zolfo

<http://www.arpat.toscana.it/notizie/arpatnews/2018/025-18/uno-studio-comparativo-sulle-emissioni-di-apparecchi-a-gas-gpl-gasolio-e-pellet>

Dalla tabella sopra citata si evince che il pellet provoca emissioni inquinanti

Il rifugio Dalmazzi ha dunque bisogno di essere rifornito di tutto il necessario tre volte l'anno con una media di tre rotazioni per volta. Ogni anno, dunque, si provocano emissioni per un totale di: **1021 kgCO<sub>2</sub>eq**. Non terremo in conto le emissioni di CO<sub>2</sub>eq dirette della stufa a pellet, ma andremo a considerare le emissioni degli altri gas inquinanti. Le emissioni di particolato (PM) sono molto maggiori rispetto a quelle di una stufa a gas naturale o gpl. Utilizzando uno dei migliori pellet in commercio con una stufa di ultima generazione si ottengono 23,9 grammi di particolato per ogni GJ prodotto. Per produrre la stessa quantità di energia una stufa a gasolio emette appena 0,1 grammi di PM.

Utilizzando la fibra di legno al posto del polistirene espanso si riscontra un incremento della trasmittanza da **0,28 a 0,33 [W/(m<sup>2</sup>K)]**

Dato richiesto	Mese												Totale
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	
Q <sub>H,nd</sub> [MJ]	8006	7045	6832	5598	4262	2886	1983	2172	2974	4705	6337	7628	60430
Q <sub>H,nd</sub> [kWh]	2224	1957	1898	1555	1184	802	551	603	826	1307	1760	2119	16786
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> a]													559,5

**7041 [MJ] - (somma di giugno luglio e agosto)**

**1956 kW**

## 5 Nuovi scenari per l'architettura nel territorio alpino

Abbiamo valutato che il cambiamento climatico ci impone di guardare le cose non più dall'alto verso il basso ma da uno stesso punto di vista: abbiamo analizzato ciò che nei prossimi anni sarà il parco edilizio e il turismo di questo maestoso territorio. Premesso che la tipologia del rifugio alpino è alla base di un turismo sostenibile e che le società di molti impianti di risalita e comprensori sciistici dovranno rivedere la propria offerta, concludiamo che le emissioni degli elicotteri per il trasporto in fase di costruzione, demolizione e gestione costituisce l'impatto ambientale principale.

Un'architettura si può definire sostenibile dal punto di vista ambientale solo nel caso in cui durante il ciclo di vita riesca a sottrarre gas a effetto serra piuttosto che immetterli in atmosfera. Attualmente il processo costruttivo di alcuni rifugi alpini difficilmente può definirsi sostenibile poiché non è ancora disponibile un miglioramento tecnologico importante dal punto di vista dei trasporti aerei e perché la richiesta di comfort tende ad aumentare. In caso di bilancio positivo bisogna impegnarsi a mitigare le emissioni.

Gran parte delle emissioni si verificano nella fase di elitransporto periodico. Si tratta di operazioni imprescindibili (per le quali bisognerà organizzarne la compensazione) nella gestione di un rifugio. La possibilità di intervento da parte del progettista deriva dalla riduzione del fabbisogno dell'edificio: La raccolta delle acque meteoriche e il riciclo delle acque grigie costituisce una scelta progettuale valida in quanto bisogna considerare che in determinati contesti la disponibilità di acqua non è sempre assicurata. Un litro di acqua elitransportata ha incorporata una quantità di CO<sub>2</sub>eq relativa a quella dell'elicottero.

Presente sostenibile significa azzerare le emissioni di gas effetto serra. Nel momento in cui si verificano devono essere compensate.

Avendo constatato che le maggiori emissioni si verificano per l'elitransporto in fase operativa è necessario agire su sistemi di raccolta delle acque e impianto capace di sfruttare il più possibile l'energia disponibile in sito.

## 5.1 La mitigazione delle emissioni:

Quando non è possibile ottenere un bilancio positivo di emissioni nel ciclo di vita di un edificio bisogna provvedere alla compensazione.

Le emissioni legate al ciclo di vita di un edificio possono essere compensate attraverso la piantumazione di specie vegetali: piantare alberi è una delle possibili azioni volte a contrastare il cambiamento climatico. Una tonnellata di CO<sub>2</sub> equivalente corrisponde a 1,325 tonnellate di biomassa secca. Per stimare la quantità di alberi necessaria a compensare una certa quantità di emissioni bisogna ricorrere alle equazioni allometriche. L'allometria è la scienza che studia la crescita e i rapporti dimensionali che si sviluppano in una determinata specie vegetale o animale. Per compensare **41 tonnellate** di CO<sub>2</sub>eq emessa in 50 anni bisognerebbe piantare, in sincronia alla fase iniziale, **un boschetto di 50 pini** in un'area di 800 m<sup>2</sup>. Al termine dei 50 anni gli alberi avranno un'altezza di 6 metri e un diametro ad altezza del petto di 50cm. Per mitigare la sola fase di elitransporto periodico (23tonnellate) ne servirebbero 19. Per ogni metro quadro del rifugio bisognerebbe piantare 0,25 alberi. Effettuando l'operazione di piantumazione degli alberi in sincronia con la fase iniziale si verifica a fine vita un bilancio negativo di CO<sub>2</sub>eq.

È possibile scegliere fra molte specie vegetali per progettare la piantumazione degli alberi al fine di compensare le emissioni del ciclo di vita di un edificio: bisogna tenere in considerazione la piantumazione di specie idonee ad un determinato territorio e piantare specie autoctone.

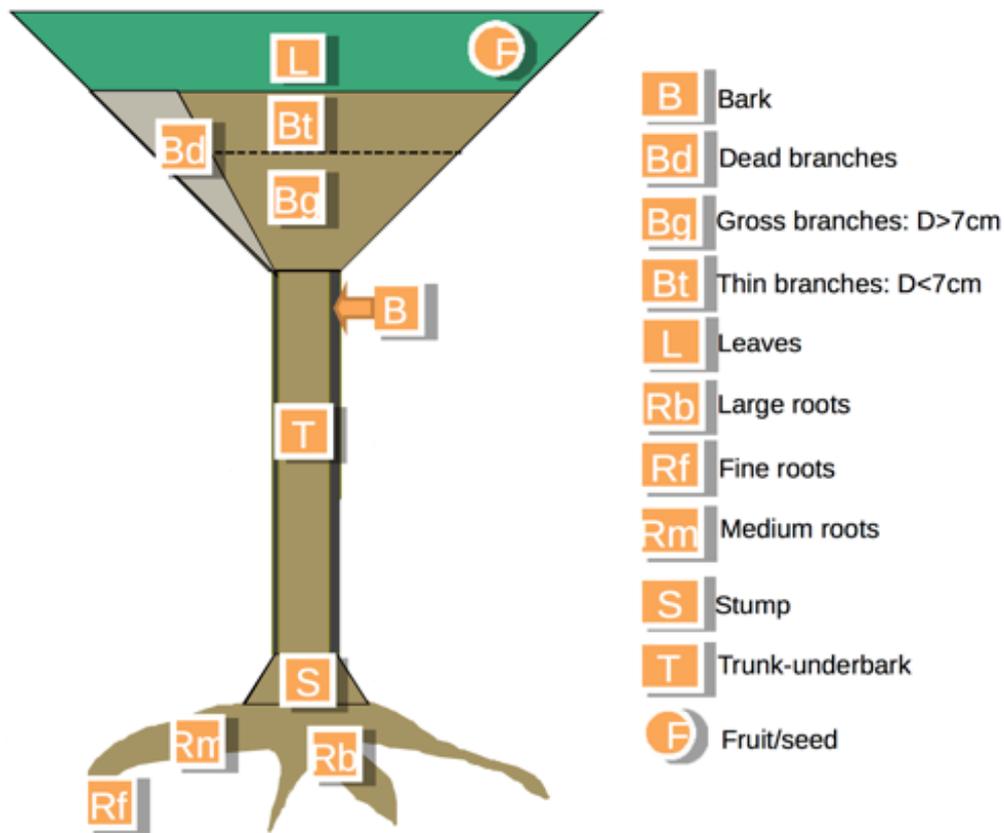


Figura 22 – Elementi dell'albero (GlobAllomTree)

### Equation

$$\text{Volume} = 1.480589 * ((\text{DBH})^{1.982459514}) * ((\text{H})^{0.742674501})$$

### Output

Volume

### Reference

Corona, P. and Ferrara, A. 1987. Dendrometrical investigations on *Pinus sylvestris* in Trentino-Alto Adige. *Monti e Boschi* (38) 51-54

### Reference Year

1987

### FAO Biomes

Temperate mountain system

### Species

Pinaceae *Pinus sylvestris*

### Locations

Italy (lat 46.428, lon 11.1613)

( esempio di equazione allometrica: pino silvestre dal diametro al petto di 55cm e altezza di 6 metri in 50 anni)

$$\text{Volume} = 1.480589 * ((0,55)^{1.982459514}) * ((6)^{0.742674501})$$

$$\text{Volume} = 1,7\text{m}^3$$

Biomassa umida = 850kg - Biomassa secca = 600kg

Tonnellate CO2 sottratte all'ambiente: 0,8

**Box 1:**

Parameters can be set up to obtain a power relation between tree diameter and biomass:

$$\underbrace{\text{Biomass}}_{\text{variable to be explained}} = b \times \underbrace{\text{Diameter}}_{\text{explanatory variable}}^a$$

Statistical adjustment is based on calculating parameters ( $a$  and  $b$ ) which relate most accurately biomass to diameter in a target area.

Figura 23 – Fonte GlobAllomTree

**Box 2:**

The mathematical expression of the proportional relation between biomass ( $B$ ) and diameter ( $D$ ) is:

$$\frac{dB}{B} = a \times \frac{dD}{D}$$

which has the integral:

$$B = bD^a$$

where  $a$  and  $b$  are the parameters of the model.

Figura 24 - Fonte GlobAllomTree

**Box 3:**

For the sampling step, the confidence interval of the predictions is an inverse function of the standard deviation of a selected explanatory variable  $X$ . The half amplitude of the confidence interval at a given threshold is illustrated by the following formula:

$$t_{n-2} \frac{\hat{\sigma}}{S_X \sqrt{n}} \text{ where } S_X^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \text{ and } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

where  $t_{n-2}$  is the  $1 - \alpha/2$  of a Student t-distribution with  $n-2$  degrees of liberty,  $\hat{\sigma}$  is the empirical standard deviation of the model's residuals,  $n$  is the size of the sample and  $S_X$  the standard deviation of the empirical explanatory variable  $X$  in the sample.

This formula shows that the bigger the sampling size (i.e.  $\sqrt{n}$  increases) the smaller the confidence interval (i.e. the accuracy is high). The standard deviation  $S_X$  follows the same trend, so sampling trees among the entire selected explanatory variable range leads to higher accuracy.

Figura 25 - Fonte GlobAllomTree

**Box 5:**

The number of plots ( $n$ ), the sampling error ( $E$ ) and the biomass coefficient of variation within the stand ( $CV_B$ ) are linked by a mathematical formula. After simplifications, the formula gives the number of plots:

$$n \approx \left(\frac{2CV_B}{E}\right)^2 + 1 \text{ where } CV_X = \frac{S_B}{\bar{B}}$$

$\bar{B}$  and  $S_B$  are respectively the biomass mean and standard deviation within the stand.

The coefficient of variation within a plot is a key element in building the sampling plan. It is linked to the plot area ( $A$ ) by a power relation, as illustrated by the following formula:

$$CV_B = kA^{-c}$$

In this formula,  $c$  represents the biomass aggregation within the stand. If  $c < 0.5$  the stand biomass is aggregated, or else its spatial distribution is regular.

Figura 26 - Fonte GlobAllomTree

## 5.2 Dove possiamo intervenire e dove è impossibile “tagliare” le emissioni.

Il primo passo per costruire un’architettura sostenibile in un simile contesto è la progettazione di un edificio compatto e un sistema edilizio leggero e di fare ricorso al legno per quanto più possibile. Bisogna ottimizzare al meglio la fase di utilizzo attraverso l’utilizzo dell’energia disponibile in sito (solare) e sistemi di raccolta delle acque.

I rivestimenti in legno necessitano una sostituzione in 50 anni. Elitrasportare il vecchio rivestimento e quello nuovo provoca una quantità non trascurabile di emissioni di CO<sub>2</sub>eq. Ipotizzare di riciclare in sito il legno vecchio potrebbe evitare nuove emissioni: i possibili utilizzi possono essere cartellonistica nei sentieri.

Oltre a tutte le strategie che oggi si adottano per ottimizzare materiali, trasporti, carburanti e sistemi di propulsione, far volare un **elicottero a cherosene** non sarà mai, dal punto di vista ambientale, un’azione potenzialmente rinnovabile.

Fra i principali modelli di visione adottabili c’è la soluzione **tecnocentrica** e quella **biocentrica**: la prima ripone nello sviluppo tecnologico la chiave di sviluppo, la seconda impone un cambio di paradigma. Entrambe le soluzioni recano dei cambiamenti nella costruzione e nella gestione di un architettura.

Energie rinnovabili e trasporti “puliti” fanno parte della prima categoria: si è visto dall’analisi dei capitoli precedenti che l’elitrasporto per costruzione, demolizione e gestione del rifugio sono la fase più consistente e meno sostituibile. Se si potesse azzerare l’impatto dell’elitrasporto, il bilancio di emissioni sarebbe negativo e quindi l’architettura, intesa come intero processo, sostenibile.

Un **cambio di paradigma** è un processo lento che trova applicazione nelle abitudini degli uomini: oggi è richiesto un minimo di comfort nei rifugi alpini: alla domanda crescente di comfort corrisponde una risposta impiantistica adeguata e una qualità dell’ambiente interno piuttosto elevata. Nessuno potrebbe rinunciare ai servizi igienici all’interno della struttura e ipotizzare di autogestire i propri bisogni in maniera autonoma. Tuttavia, negli ultimi anni, cresce un modello di turismo “soft”, una sorta di riavvicinamento alla natura.

### 5.3 Uno sviluppo sostenibile per il trasporto aereo: “Velodrone”, cosa comporta costruire con limitazioni di carico utile massimo a 140kg?

A 90 km a nord-ovest di Stoccarda, a Bruchsal, si trova la sede di Volocopter. L'azienda nel 2018 ha lanciato Volodrone, un drone totalmente elettrico composto in nylon composito e alluminio, capace di trasportare fino a **200kg** sul livello del mare con autonomia di **40km** e velocità di crociera di 80km/h e velocità massima di **110km/h**. L'azienda è attualmente intenta a risolvere problemi tecnici.

Una capacità di carico così ridotta comporta una progettazione diversa da quella attualmente condivisa. Attualmente si tende a prefabbricare il più possibile per ridurre al minimo i lavori da effettuare in sito. La possibilità di **prefabbricazione tridimensionale** non è più assicurata e di conseguenza si dilatano i tempi della costruzione in opera. È necessario trasportare elementi facilmente assemblabili tra loro piuttosto che un elemento di massa maggiore preassemblato. Sistemi costruttivi in legno o acciaio a rapido montaggio sono la soluzione. Il drone elettrico tuttavia sarà condizionato dalle condizioni climatiche: alle altitudini più elevate la capacità di carico massima sarà inferiore a causa della rarefazione dell'aria.

L' utilizzo di un drone elettrico per le sole fasi di elitransporto periodico (rifornimento cibo, pellet...) consentirebbe di abbattere in modo significativo gli impatti ambientali.



Figura 27 – Volodrone con gancio baricentrico (fonte Volocopter)

<https://press.volocopter.com/index.php/media-images/products>

ipotizzando di svolgere i lavori a un'altitudine compresa tra i 2000 e i 3000 metri s.l.m., andremo a considerare un fattore di riduzione del carico massimo del 30 %, quindi **140kg** anziché 200kg.

- HEA 4 metri → max 160
- HEA 5 metri → max 140
- HEA 6 metri → max 120
- HEA 7 metri → max 100

In legno con carico utile massimo a 140kg è possibile elitrasportare

- 3 metri → 2x 12/32 (115kg) 2 ton x metro
- 3,5 metri → 1x 14/32 (78kg) 2 ton x metro
- 4 metri → 1x 16/36 (115kg) 2 ton x metro
- 4,5 metri → 1x 16/36 (130 kg) 1,5 ton x metro
- 5 metri → 1x 14/36 (126kg) 1 ton x metro



Figura 28 – Volodrone in industria (fonte Volocopter)

<https://press.volocopter.com/index.php/media-images/products>

## 6 Appendice A - Algoritmi

Calcolo di EE, EC nel trasporto in elicottero:

Rc - Rotazione completa [minuti]

Cu - Carico utile [ton]

Cu max - Carico utile massimo [ton]

LTO - consumo per decollo e atterraggio

Y – da normativa uni 16258

$(Cu/Cu \text{ max}) \times (((\text{distanza} / \text{velocità}) \times 2) + 1) \times (\text{consumo orario}) / 60 + (\text{consumo LTO}) \times (Cu/Cu \text{ max}) \times (((\text{distanza} / \text{velocità}) \times 2) + 1) / 180)) \times Y$

**$(n^\circ \text{ Rc}) \times (\text{durata Rc}) \times (\text{consumo al minuto}) + (\text{consumo LTO}) \times (n^\circ \text{ Rc}) \times (n^\circ \text{ LTO}) \times Y$**

$[n^\circ] \times [\text{min}] \times ([\text{kg}/\text{min}] + [\text{kg}/\text{min}]) \times [\text{MJ}/\text{kg}] = \text{MJ}$

Il n° LTO è calcolato in base alla capienza del serbatoio, ma per semplificazione ipotizziamo che l'elicottero non possa lavorare per più di 3 ore consecutive

**\*CERCA.VERT(N8;'C!\$AB\$69:\$AD\$104;3;FALSO)\*CERCA.VERT(Trasporti!G8;'C!\$AH\$76:\$AO\$78;8;FALSO)/60+CERCA.VERT(Trasporti!G8;'C!\$AH\$76:\$AM\$78;6;FALSO)\*ARROTONDA.ECCESSO((D8/J8\*CERCA.VERT(N8;'C!\$AB\$69:\$AD\$104;3;FALSO))/180;0))\*44,1**

Formula per l'anidride carbonica sottratta da un albero:

Dopo aver ricavato il volume di una determinata specie arborea tramite equazioni allometriche si moltiplica per la densità dell'albero, ottenendo la biomassa umida. Sottraendo circa il 30% si ottiene la biomassa secca. Ogni chilogrammo di biomassa secca ha sottratto all'atmosfera 1,325 kg di CO<sub>2</sub>.

### 1) Pannelli isox con anima in polistirene espanso e rivestimento in legno

kg/m <sup>2</sup>	kg tot	EC/m <sup>2</sup>	EC parz.	[min]	EC elitr.	EC c&d	EC s	EC tot
48,9	6405,9	-75,58	-9900,98	15	3562	-6338,98	1092	<b>-5247</b>
				30	7124	-2776,98	2020	<b>-756,98</b>
				45	10688	787,02	2944	<b>3731,02</b>
				60	14250	4349,02	3870	<b>8219,02</b>

### 2) Pannelli isox con anima in fibra di legno e rivestimento in legno

kg/m <sup>2</sup>	kg tot	EC/m <sup>2</sup>	EC parz	[min]	EC elitr.	EC c&d	EC s	EC tot
63	8253	-61,14	-8009,34	15	4488	-3521,34	1092	<b>-2429,3</b>
				30	8976	966,66	2020	<b>2986,66</b>
				45	13466	5456,66	2944	<b>8400,66</b>
				60	17954	9944,66	3870	<b>13814,7</b>

### 3) Pannelli isox con anima in polistirene espanso e rivestimento in rheinzink

kg/m <sup>2</sup>	kg tot	EC/m <sup>2</sup>	EC parz.	[min]	EC elitr.	EC c&d	EC s	EC tot
44,9	5881,9	-37,82	-4954,42	15	3254	-1700,42	0	<b>-1700,4</b>
				30	6506	1551,58	0	<b>1551,58</b>
				45	9760	4805,58	0	<b>4805,58</b>
				60	12848	7893,58	0	<b>7893,58</b>

### 4) Pannelli isox con anima in fibra di legno espanso e rivestimento in rheinzink

kg/m <sup>2</sup>	kg tot	EC/m <sup>2</sup>	EC parz	[min]	EC elitr.	EC c&d	EC s	EC tot
58	7598	-18,63	-2440,53	15	4180	1739,47	0	<b>1739,47</b>
				30	8360	5919,47	0	<b>5919,47</b>
				45	12538	10097,47	0	<b>10097,5</b>
				60	16720	14279,47	0	<b>14279,5</b>

EE	EE non rinnovabile [GJ]	EE rinnovabile [GJ]	kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>TOTALE</b>	<b>1160,8</b>		<b>35,72684</b>
Iniziale	364,5	445,9	11,2185
Periodica	30,2	35	0,929489
Fine vita	3,1		0,095411
Trasporti su gomma	20		0,615556
Elitransporto	123		3,785667
Elitransporto periodico	320		9,848889
OE (50 anni)	300		9,233333
OE (50 anni)	300		9,233333
EE	860		26,46889

EC	[ton CO <sub>2</sub> eq]	kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>TOTALE</b>	<b>41,04</b>	<b>3,078</b>
Iniziale	-7,7	-0,5775
Manutenzione e sostituzione	-2,5	-0,1875
Fine vita	0,24	0,018
Trasporti su gomma c & d	3	0,225
Elitransporto c & d	18	1,35
Elitransporto periodico (50 anni)	23	1,725
OC (50 anni)	7	0,525

Equazione allometrica di un pino silvestre in Trentino Alto Adige

	V	DBH	H
<b>Pino silvestre</b>	<b>1,9202</b>	<b>0,55</b>	<b>7</b>
Biomassa umida	960,1008		
Biomassa secca	672,0706		
CO <sub>2</sub> sottratta	890,4935		

$$V = 1,480589 * ((DBH)^{1,982459514}) * ((H)^{0,742674501})$$

## 6.1 Appendice B – Schede tecniche

### AS 350 B3



#### **SPECIFICATIONS**

<b>MOTORE/1: (ENGINE/S)</b>		<b>PESI: KG (LBS) (WEIGHT)</b>	
<b>TIPO (TYPE)</b>	<b>N° 1 ARRIEL 2B [2D]</b>	<b>PESO MASSIMO AL DECOLLO (CARICO INTERNO) (MAXIMUM GROSS WEIGHT (INTERNAL LOAD))</b>	<b>2.250 (4.960)</b>
<b>COSTRUTTORE (MANUFACTURER)</b>	<b>TURBOMECA GRUPPO SAFRAN</b>	<b>PESO MASSIMO AL DECOLLO (CARICO ESTERNO) (MAXIMUM GROSS WEIGHT (EXTERNAL LOAD))</b>	<b>2.800 (6.173)</b>
<b>POTENZA MOTORE: HP (KW) (ENGINE RATINGS)</b>		<b>CARBURANTE: LITRI (KG) (FUEL)</b>	
<b>DECOLLO (SOLO MOTORE) (TAKE OFF (ENGINE ONLY))</b>	<b>746 [802] (556 [598])</b>	<b>TIPO (TYPE)</b>	<b>JET A-1</b>
		<b>TOTAL CAPACITY (TOTAL CAPACITY)</b>	<b>540 (421)</b>
<b>POTENZA ELICOTTERO: HP (KW) (TRANSMISSION RATINGS)</b>		<b>CAPACITA' DI CARICO: KG (LBS) (CARGO CAPACITY)</b>	
<b>POTENZA MAX TRASMISS (MAX POWER AT MAIST)</b>	<b>848 [848] (632 [632])</b>	<b>CESTELLO (MAXWT)</b>	<b>91 (200)</b>
<b>POTENZA CONTINUA TRASMISS. (CONTINUOUS POWER AT MAIST)</b>	<b>728 [728] (543 [543])</b>	<b>GANCIO BARICENTRICO AL LIVELLO DEL MARE (CARGO HOOK AT SEA LEVEL)</b>	<b>1.400 (3.110)</b>
		<b>PASSEGGERI TOTALI (CON PILOTA) (MAX PASSENGER WITH PILOT)</b>	<b>6</b>

#### **PERFORMANCE**

<b>MAXIMUM SPEED IAS (SL) – KM/HR (KN)</b>	<b>287 (155)</b>
<b>MAXIMUM RANGE - KM (NM)</b>	<b>710 (394)</b>

\* DATI INDICATI RISPETTIVAMENTE PER B3 [B3e] INDICATED DATA ARE VALID FOR B3 [B3e]

<http://www.airgreen.it/index.php/it/>

## SA 315B



### SPECIFICATIONS

<b>MOTORE/Is (ENGINE/S)</b>		<b>PESI: KG (LBS) (WEIGHT)</b>	
TIPO (TYPE)	N° 1 ARTOUSTE III B1	PESO MASSIMO AL DECOLLO (CARICO INTERNO) (MAXIMUM GROSS WEIGHT (INTERNAL LOAD))	1.950 (4.300)
COSTRUTTORE (MANUFACTURER)	TURBOMECA GRUPPO SAFRAN	PESO MASSIMO AL DECOLLO (CARICO ESTERNO) (MAXIMUM GROSS WEIGHT (EXTERNAL LOAD))	2.300 (5.070)
<b>POTENZA MOTORE: HP (KW) (ENGINE RATINGS)</b>		<b>CARBURANTE: LITRI (KG) (FUEL)</b>	
DECOLLO (SOLO MOTORE) (TAKE OFF (ENGINE ONLY))	860 (640)	TIPO (TYPE)	JET A-1
CONTINUA (SOLO MOTORE) (CONTINUOUS (ENGINE ONLY))	690 (515)	TOTAL CAPACITY (TOTAL CAPACITY)	575 (448)
<b>POTENZA ELICOTTERO: HP (KW) (TRANSMISSION RATINGS)</b>		<b>CAPACITA' DI CARICO: KG (LBS) (CARGO CAPACITY)</b>	
POTENZA MAX TRASMISS. (MAX POWER AT MAIST)	562 (418)	CESTELLO (BASKET)	100 (220)
POTENZA CONTINUA TRASMISS. (CONTINUOUS POWER AT MAIST)	494 (368)	GANCIO BARICENTRICO (CARGO HOOK)	1.000 (2.204)
		PASSEGGERI TOTALI (CON PILOTA) (MAX PASSENGER WITH PILOT)	5

### PERFORMANCE

MAXIMUM SPEED IAS (SL) – KM/HR (KN)	209 (113)
MAXIMUM RANGE - KM (NM)	300 (161)

<http://www.airgreen.it/index.php/it/>

# YSOX®

## Les madriers Ysox® Die Ysox® Balken

Avec les 3 types de madriers Samvaz, vous couvrez tous vos besoins. Pour être encore plus performant et plus efficace.

### Madrier Ysox® plein (type 0)

Le madrier plein est principalement utilisé pour la pose de planchers et de dalles. Grâce au système de liaison entre poteaux et madriers, il est également utilisé en façade.

### Madrier YSOX® isolant (white)

En raison de ses qualités thermiques exceptionnelles, il convient particulièrement bien pour l'édification rationnelle de bâtiments isolés. Les madriers sont rainés-crêtés avec précision, ce qui garantit une étanchéité parfaite. Extrêmement durable et recyclable, le Polystyrène utilisé est du type expansé de densité 30 kg/m<sup>3</sup>, difficilement combustible (catégorie pour la Suisse S.1). Le polystyrène a été testé et approuvé par l'EMPA et possède le label Minergie.

### Madrier YSOX® graphite

Identique au madrier isolant YSOX white, mais avec du polystyrène expansé contenant du graphite, lui conférant un pouvoir isolant de 10% supérieur à l'YSOX white.

### Madrier YSOX® fibre

Identique au madrier isolant YSOX white, mais avec un cœur en fibres de bois 100% écologique avec densité accrue pour une isolation phonique excellente et un déphasage de 10-12 heures.

### YSOX® phonic

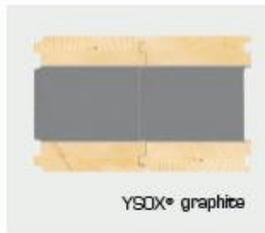
Atténuation phonique pour tous les types de madrier (en option).



YSOX® Type / Typ 0



YSOX® white



YSOX® graphite



YSOX® fibre



YSOX® phonic

Mit den 3 Balkentypen von Samvaz decken Sie alle Ihre Bedürfnisse. Um noch leistungstärker und wirksamer zu sein.

### YSOX® Balken voll (Typ 0)

Der Vollbalken wird hauptsächlich für die Verlegung von Böden und Platten benutzt. Dank dem Verbindungssystem zwischen Pfosten und Balken, ist er auch ideal für Fassaden.

### Isolierbalken YSOX® (white)

Dank seinen aussergewöhnlichen thermischen Eigenschaften, eignet er sich insbesondere für das rationale Einrichten von isolierten Gebäuden. Er ist mit präzise gearbeiteter Nut und Kamm versehen, was eine vollkommene Abdichtung garantiert. Das verwendete expandierte Polystyrol (EPS) besitzt eine Dichte von 30 kg/m<sup>3</sup> und ist schwer brennbar (Kategorie für die Schweiz S.1). Extrem dauerhaft und recycelbar. Das Polystyrol wurde von der EMPA geprüft und besitzt das Label „Minergie“.

### Isolierbalken YSOX® graphite

Identisch zum Isolierbalken YSOX white jedoch mit graphit-angereicherterem Polystyrol. Dieser Zusatz gibt dem Isolierbalken 10% mehr Isolierungswert gegenüber dem YSOX white.

### Isolierbalken YSOX® fibre

Identisch zum Isolierbalken YSOX white jedoch mit 100% ökologischer Holzfasernisolation. Optimale Schelldämmung und Phasenverschiebung von 10 bis 12 Stunden.

### YSOX® phonic

Schelldämmung für sämtliche YSOX-Balken-Type (optional).



6

<https://www.samvaz.ch/jo25/en/>

## Normes techniques

## Technische Normen

Cotes/Abmessung	A (mm)	B (mm)	E (mm)	Y (mm)	Isolation U W/m <sup>2</sup> K	Poids propre Eigengewicht Kg/m <sup>2</sup>	Charge totale admissible entre 2 appuis Zulässige Gesamtlast zwischen 2 Auflagen Kg/m <sup>2</sup>			
							L = 2000 mm	L = 3000 mm	L = 4000 mm	L = 5000 mm
<b>YBOX® Type/Typ 0 Plein/voll</b>										
	140	100			1.131	46	2222	7720	326	167
	140	120			0.974	55	3840	1138	480	246
	140	140			0.855	64	6098	1807	762	390
	140	160			0.762	74	8533	2360	996	510
	140	180			0.687	83	10900	3840	1620	829
	140	200			0.626	92	13332	5267	2222	1138
	140	220			0.551	102	16100	7169	2958	1514
	140	240			0.510	111	19200	8333	3516	1800
<b>YBOX® Type/Typ 1 Polystyrène/Isolierbalken</b>										
	140	120	40	40	0.493	36.7	800	360	200	130
	140	140	40	60	0.38	37.3	1070	520	290	185
	140	160	40	80	0.309	37.9	1340	680	380	240
	140	180	40	100	0.26	38.5	1600	790	470	290
	140	200	40	120	0.225	39.1	1870	900	570	400
	140	220	40	140	0.198	39.7	2140	985	620	410
	140	240	40	160	0.177	40.3	2400	1070	670	420
<b>YBOX® Graphite</b>										
	140	120	40	40	0.455	36.7	800	360	200	130
	140	140	40	60	0.347	37.3	1070	520	290	185
	140	160	40	80	0.280	37.9	1340	680	380	240
	140	180	40	100	0.234	38.5	1600	790	470	290
	140	200	40	120	0.202	39.1	1870	900	570	400
	140	220	40	140	0.177	39.7	2140	985	620	410
	140	240	40	160	0.158	40.3	2400	1070	670	420
<b>YBOX® Fibre</b>										
	140	120	40	40	0.573	44	800	360	200	130
	140	140	40	60	0.452	48	1070	520	290	185
	140	160	40	80	0.374	52	1340	680	380	240
	140	180	40	100	0.318	56	1600	790	470	290
	140	200	40	120	0.277	60	1870	900	570	400
	140	220	40	140	0.246	63	2140	985	620	410
	140	240	40	160	0.220	67	2400	1070	670	420



<https://www.samvaz.ch/jo25/en/>

Theoretically, to determine the carbon stock of tree, one must weigh all its compartments (Figure 2). These measurements become difficult or impossible to obtain at the forest scale for two reasons: (1) they are destructive and often prohibited on a large scale, and (2) the cost, time and labor are unrealistic. To measure the carbon content of tree roots, field work is even more tedious and is often replaced by the use of factors directly applied to the aboveground biomass.

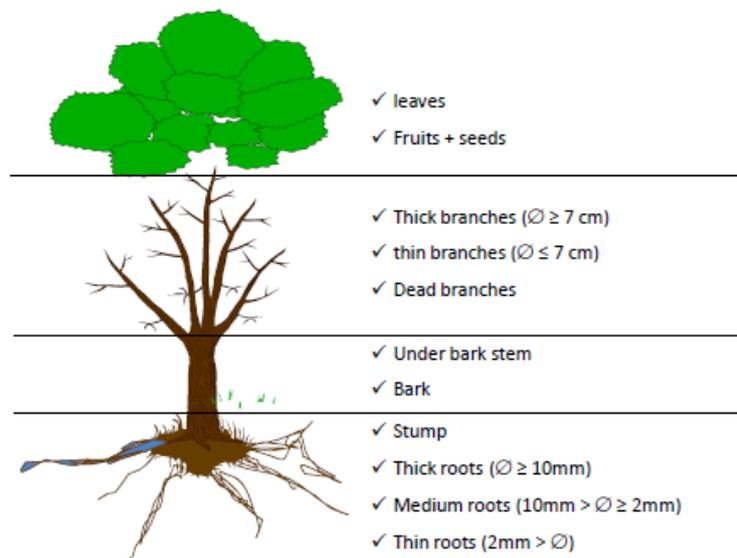


Figure 2. compartments of a tree.

Another methodology to obtain an estimate of tree biomass is based on the relation between the diameter and biomass of a given tree. This is the stage at which allometric equations are used. Allometry refers to the statistical relation between two size characteristics of individuals in a population. Therefore a statistical relation can be developed between easy to measure tree characteristics (i.e. diameter, height or density) and difficult to measure variables such as biomass or volume. Consequently, costly and destructive measurements can be limited to a sample of trees and the results can be extrapolated to all trees in a given area (box 1).

**Box 1:**

Parameters can be set up to obtain a power relation between tree diameter and biomass:

$$\underbrace{\text{Biomass}}_{\text{variable to be explained}} = b \times \underbrace{\text{Diameter}}_{\text{explanatory variable}}^a$$

Statistical adjustment is based on calculating parameters ( $a$  and  $b$ ) which relate most accurately biomass to diameter in a target area.

With the statistical tools presented in this report, the error of prediction can be calcula-

<http://www.globallometree.org/>

ted. Once the needs for carbon stock assessment have been identified, the manual develops a seven step methodology (Figure 3) to provide accurate allometric equations, from the selection of explanatory variables to the best fitting allometric equation calculation and validation.

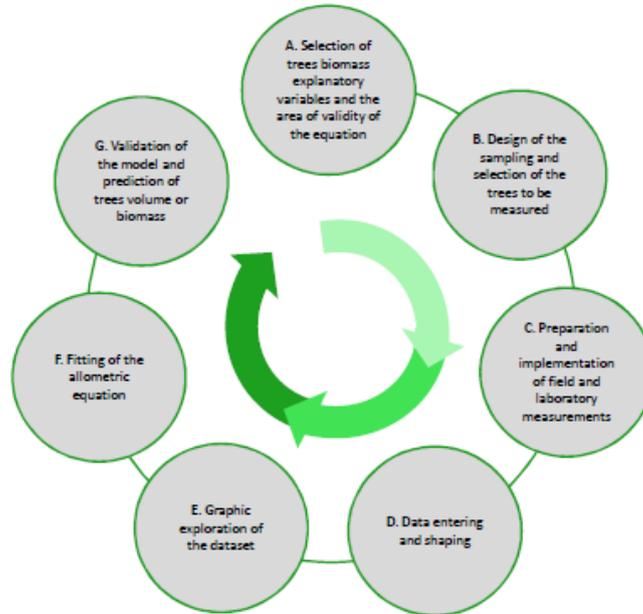


Figure 3. The seven steps of the methodology presented in the manual.

### Choice of the factors influencing tree biomass and the area of validity of the equation

The relevance of allometric equations is based on the proportional relation between relative growth of individual measurements. Thus, the biomass of a tree is related to its diameter (see Box 2). However, finding a statistical relation between biomass and explanatory factors is meaningless if this relation does not have a biological reality and its use can lead to error. The explanatory variables should be sought among those that influence tree growth.

**Box 2:**

The mathematical expression of the proportional relation between biomass ( $B$ ) and diameter ( $D$ ) is:

$$\frac{dB}{B} = a \times \frac{dD}{D}$$

which has the integral:

$$B = bD^a$$

where  $a$  and  $b$  are the parameters of the model.

<http://www.globalloometree.org/>

**Box 5:**

The number of plots ( $n$ ), the sampling error ( $E$ ) and the biomass coefficient of variation within the stand ( $CV_B$ ) are linked by a mathematical formula. After simplifications, the formula gives the number of plots:

$$n \approx \left(\frac{2CV_B}{E}\right)^2 + 1 \text{ where } CV_B = \frac{S_B}{\bar{B}}$$

$\bar{B}$  and  $S_B$  are respectively the biomass mean and standard deviation within the stand.

The coefficient of variation within a plot is a key element in building the sampling plan. It is linked to the plot area ( $A$ ) by a power relation, as illustrated by the following formula:

$$CV_B = kA^{-c}$$

In this formula,  $c$  represents the biomass aggregation within the stand. If  $c < 0.5$  the stand biomass is aggregated, or else its spatial distribution is regular.

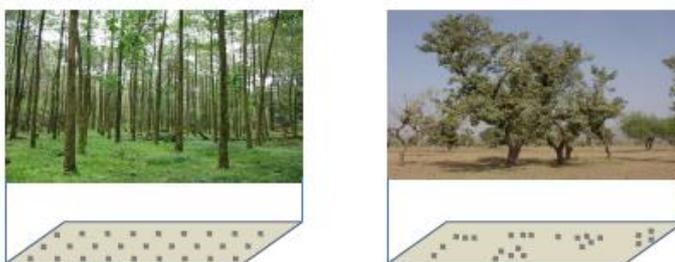


Figure 4. On the left the figure shows a regular spatial distribution of a tree population. On the right, the population is aggregated.

Finally, it is important to remember that apart from these tools to improve the accuracy of sampling, the construction of an allometric equation depends on many other financial, human, technical and environmental factors. Each will impose its own limits and the art of achieving the best equation lies in finding the optimal compromise.

### Advice for field and laboratory data collection

Field errors are costly and cannot be corrected. To minimize them, three key principles should be followed:

- it is better to weigh all tree compartments in the field;
- for each sample, it is always better to weigh the total mass of the sample and of the sample at the same time to monitor moisture loss from the plant material;
- biomass campaigns consume time and money, other measurements can be done to avoid going back on the ground (for example stem profile or mineralomass sampling).

Field measurements are usually destructive because of the need to weigh all the tree compartments on the site. However, it is not always possible (e.g. trees are too heavy, or there is a logging ban) or desirable (dry forests, for example) to fell all trees in a given area. Therefore, instructions will be given for direct measurement in the field, followed by advice on overcoming a lack of capacity for destructive field measurement.

<http://www.globalometree.org/>



## Design specifications, October 2019

Calculated approximations not yet tested in flight

### 1 General

Aircraft type	Unmanned multicopter
Aspired Certification	<a href="#">EASA CS UAS</a>
Power type	Electric/batteries

### 2 Performance

Max. take-off mass (MTOM)	800 kg
Max. payload	200 kg
Equipment	Box, sling, sprayer, spreader, customised gear
Range	40 km
Cruise speed (Vc)	80 km/h
Max speed (Vne)	110 km/h

### 3 Structures

Materials used	Composite, aluminium, 3D printed nylon
Number of rotors	18

### 4 Powertrain

#### a) Power supply & battery

Power supply	Battery packs
Battery type	Lithium-ion
Battery system	Exchangeable rechargeable battery packs
Battery swapping time	< 5 min

#### b) Motors

Engine type	Brushless DC electric motor (BLDC)
Number of motors	18

## 7 Bibliografia

- GIORDANO R., I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.
- Luca Gibello, Progettare al limite i rifugi alpini di G Studio, Cantieri d'alta quota, 2017
- Gilles Clement, Giardini, paesaggio e genio naturale, Macerata, Quodlibet, 2013
- Meadows e Randers, i nuovi limiti dello sviluppo, Milano Arnoldo Mondadori Editore, 2006.
- Alessandro Rogora e Davide Lo Bartolo, Costruire alternativo, Wolters Kluwer, 2013
- Archalp, rivista internazionale, Istituto di architettura montana (IAM) Polito
- Noi Alpi! Uomini e donne costruiscono il futuro 3° rapporto sullo stato delle alpi, 2007
- Metodologie integrate di valutazione applicate ai materiali di un edificio ad alta quota - Roberto Giordano, Francesca Thiebata, Valentina Serrab, Ema Madalina Budaua.
- Nicolas Picard, Laurent Saint-Andrè, Manual for building tree volume and biomass allometric equations. Cirad et Fao 2012
- Andrea Bocco, Gianfranco Cavaglià, Cultura tecnologica dell'architettura, pensieri e parole, prima dei disegni. Carrocci editore, Roma, 2014
- Cipra, Rapporto sullo stato delle Alpi, Centro Documentazione Alpina, Torino, 2001
- Demaria, E., Duzel A., Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building": ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica, rel. Roberto Giordano, Valentina Serra, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale Architettura per il progetto sostenibile, febbraio 2016.

- Gallina, B., Quaglio F., Eureka, un modello di analisi e valutazione parametrica degli impatti energetico ambientali del ciclo di vita degli edifici. Il caso studio della Vivienda Social, nell'ambito del Concorso internazionale Solar Decathlon LAC 2019.
- Antonio De Rossi e Roberto Dini, Architettura alpina contemporanea, Priuli e Verdacca, Scarmagno, 2012

## 7.1 Sitografia

- <https://www.samvaz.ch/jo25/en/>
- <http://www.airgreen.it/index.php/it/>
- <http://www.arpat.toscana.it/notizie/arpatnews/2018/025-18/uno-studio-comparativo-sulle-emissioni-di-apparecchi-a-gas-gpl-gasolio-e-pellet>
- <http://www.constructivealps.net/it/cabane-rambert/>
- <https://www.giornaledibrescia.it/valcamonica/presena-via-la-coperta-si-aspettano-le-nevicate-1.3398205>
- <https://www.dataholz.eu/>
- <https://www.volocopter.com/en/volodrone/>
- <http://www.globallometree.org/>
- [www.alpconv.org](http://www.alpconv.org) Turismo sostenibile nelle alpi, Relazione sullo stato delle Alpi
- [www.alpconv.org](http://www.alpconv.org) Linee guida per l'adattamento locale ai cambiamenti climatici nelle Alpi
- Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258
- Cipra, Alpiscena
- Swiss Confederation, Theo Rindlisbacher / Lucien Chabbey. Guidance on the Determination of Helicopter Emissions