



**POLITECNICO
DI MILANO 1863**

SCUOLA DI ARCHITETTURA, URBANISTICA
INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI

ARCHITETTURA - ARCHITETTURA DELLE COSTRUZIONI
Anno Accademico 2022/2023

EMPORION

NUOVO POLO MUSEALE A ORTIGIA

MATERIALI

Relatore:

Prof. Tomaso Monestiroli

Correlatori:

Prof. Vassillis Mpampatsikos

Prof. Fulvio Re Cecconi

Prof. Paolo Oliaro

Prof.ssa Paola Gallo Stampino

Studenti:

Lucrezia Borsari 995471

Michele Vezzoli 994342

Francesco Zugni 993926

- 5. Descrizione del progetto**
 - Masterplan e contesto
 - Museo
 - Arsenale
 - Portico e celle

- 15. Metodologia LCA**
 - Normativa di riferimento
 - Processo metodologico

- 23. Museo**
 - Analisi dell'inventario
 - Valutazione degli impatti ambientali

- 37. Arsenale**
 - Analisi dell'inventario
 - Valutazione degli impatti ambientali

- 51. Portico e celle**
 - Analisi dell'inventario
 - Valutazione degli impatti ambientali

- 65. Compensazione impatti**

- 71. Bibliografia e sitografia**

Descrizione del progetto

Masterplan e contesto



Ortofoto

L'area di progetto si trova nella punta Nord dell'isola di Ortigia, centro storico della nota città di Siracusa.

Il progetto si pone come obiettivo quello di costruire un nuovo polo museale per la riqualifica di un'area che, allo stato di fatto, è degradata e occupata da un parcheggio coperto in calcestruzzo armato (di cui è prevista la demolizione). Il nuovo complesso vuole rendere l'area uno spazio più fruibile e di qualità, con più servizi pubblici rivolti alla città.

Il Nuovo Polo museale si pone, nei confronti dell'isola di Ortigia, come un grande spazio pubblico di intermezzo tra la grande densità costruttiva del centro storico e il mare. La configurazione formale e distributiva degli edifici riprende le direzioni principali del contesto, andando a raccogliere le direttrici più importanti provenienti dalla città antica.

I due edifici principali, posti all'estremità dell'area di intervento, esaltano la direttrice parallela al mare, delineando un'organizzazione interna definita e ortogonale. L'edificio posto più a Nord, si contraddistingue dal precedente grazie ad una doppia direzionalità. Infatti, oltre a cercare il collegamento con l'altro edificio museale posto a Sud, cerca di connettersi alla città, diventando un punto di snodo importante per i due sistemi. Questi due edifici, posti come estremità dell'area di progetto, contengono funzioni esclusivamente museali ed espositive.

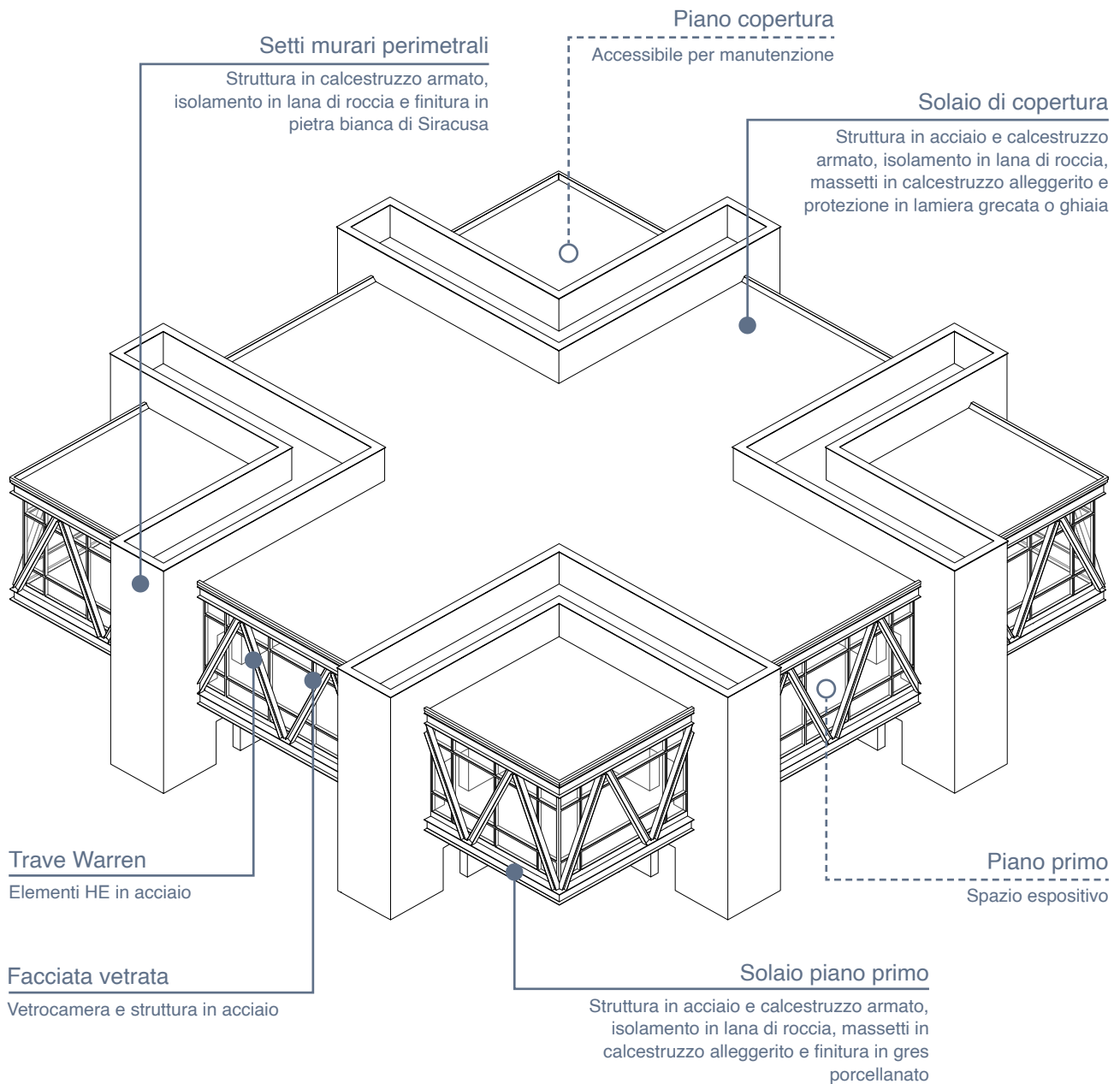
Tra i due edifici principali è pensata una piazza d'acqua, tagliata da alcune passerelle che, a loro volta, sono il prolungamento degli assi principali della città. Alcune di queste vengono valorizzate da delle piattaforme che rendono la piazza un luogo ad uso ludico e collettivo. Questo spazio aperto garantisce una vista privilegiata del mare e della costa siracusana.

Oltre ai due edifici principali è presente un terzo edificio che, attraverso la sua forma a stecca, richiama l'idea di passeggiata sul mare in quanto dispone di un lungo porticato sul fronte Nord. Inoltre, il camminamento consente il raccordo tra gli elementi che compongono l'intervento.

Ben diverso è il fronte su strada di quest'ultimo edificio che, invece, si articola in diversi blocchi commerciali andando a creare un fronte urbano. Proprio per questa forte ricerca di connettersi alla città storica, i blocchi sono adibiti a spazi commerciali, distaccandosi dal ruolo museale del resto del sistema.

Infine, l'intervento comprende anche la sistemazione e l'ampliamento del parco adiacente alle antiche mura di epoca spagnola e la ripavimentazione delle aree circostanti andando a comprendere anche l'area attorno al Palazzo delle ex-Poste.

L'elemento protagonista e caratteristico del progetto è il setto murario che, i tre edifici, anche se in differenti modalità, sfruttano per definire assi e separazioni.



Il primo edificio, il Museo, è realizzato attraverso un sistema strutturale misto tra calcestruzzo armato e acciaio.

In particolare, gli elementi verticali sono realizzati esclusivamente attraverso setti in calcestruzzo armato che percorrono in elevazione, senza discontinuità, tutti e due piani di cui l'edificio è composto. Questi setti sono disposti accoppiati a due a due per formare quattro sistemi murari piegati a creare una sorta di croce svuotata in centro. Questi elementi murari sono rivestiti verso l'esterno con uno strato di pietra bianca di Siracusa, materiale molto presente in zona e scelto, oltre che per le sue caratteristiche estetiche, per ridurre gli impatti dati dal trasporto. Verso l'interno è stato posizionato uno strato in lana di roccia per garantire l'isolamento termico necessario per ridurre, nella fase di uso dell'edificio, l'energia necessaria per la climatizzazione e di conseguenza le emissioni di anidride carbonica.

È stata scelta la lana di roccia perché si otteneva il grado di trasmittanza da noi scelto, con dimensioni coerenti allo spessore dei setti e inoltre, tra tutti i materiali isolanti, è uno di quelli che impattano di meno sull'ambiente. Lo strato isolante è rifinito, nelle aree principali, sempre con pietra bianca di Siracusa mentre, nelle aree di servizio, con lastre in cartongesso.

Il vero e proprio spazio museale si articola al piano primo ed è un sistema strutturale scatolare in acciaio formato da quattro travi reticolari di tipo Warren in facciata che, con il contributo dei setti, sostengono i solai cassettonati in acciaio.

Nella parte posteriore della trave Warren, è stata posizionata una facciata vetrata a montanti e traversi con trasmittanza molto ridotta in modo da ridurre l'energia necessaria per la climatizzazione e gli impatti ambientali.

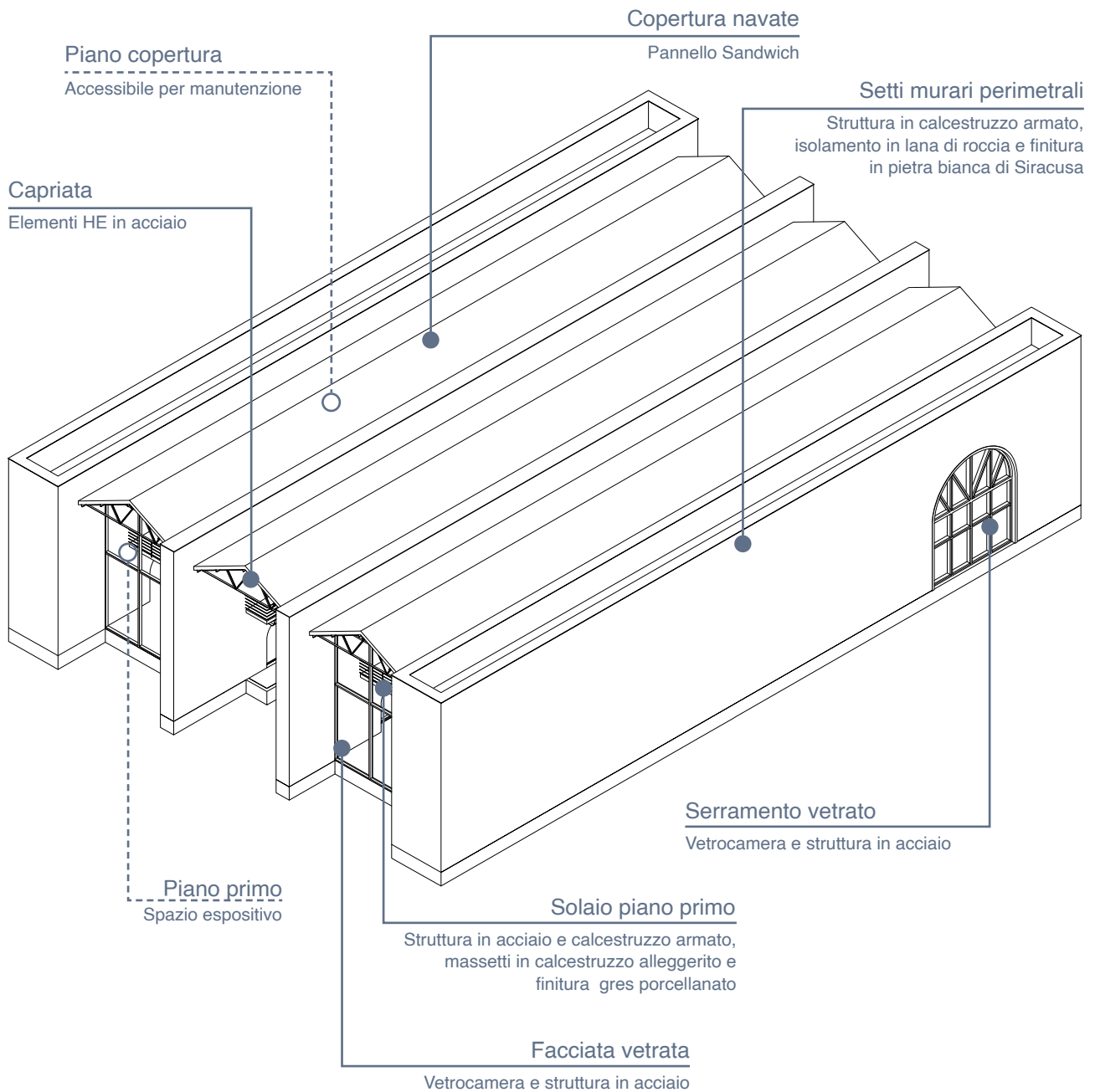
Il solaio del piano primo è completato nell'estradosso con un massetto in calcestruzzo leggero per il passaggio degli impianti, uno strato in lana di roccia per l'isolamento termico, una cappa in calcestruzzo armato per la ripartizione dei carichi e la finitura in gres porcellanato.

Diversamente, il solaio di copertura è rivestito nell'intradosso da lana di roccia, per garantire la chiusura dell'involucro isolante ed evitare ponti termici, mentre nell'estradosso, invece, è presente un massetto per impianti/pendenza sormontato, per migliorare il comfort termico all'interno degli spazi, da una lamiera grecata in metallo.

Per concludere, le partizioni interne delle celle sono di tipo leggero, montate a secco, composte da una lastra in cartongesso per lato, con isolante in lana di roccia e sorrette da una serie di montanti e traversi in alluminio. Le partizioni dei bagni, invece, si differenziano in quanto è stato inserito all'interno un blocco di calcestruzzo accoppiato con isolante, poi rivestito sempre in cartongesso.

Tutte le soluzioni stratigrafiche sono pensate per diminuire della metà il valore minimo di trasmittanza imposto da normativa in modo tale da ridurre, in fase d'uso, l'impiego di risorse energetiche per la climatizzazione dei locali interni. Questa scelta è stata fatta pensando che la vita utile dell'edificio sia molto lunga rispetto ad un normale edificio (dato che diventerà un elemento strategico e importante nel contesto siracusano) e che quindi, gli impatti energetici in fase d'uso siano una notevole quota rispetto alle emissioni di tutto il ciclo di vita. Inoltre, per ridurre ulteriormente le necessità energetiche sono stati pensati pannelli solari in modo tale da produrre in modo rinnovabile un'importante percentuale del fabbisogno energetico.

Infine, ogni materiale è stato definito in base alla sua reperibilità, al suo impatto ambientale in fase di produzione (certificato dalle EPD) e dalla sua possibilità di circolarità a fine vita.



Il secondo edificio, l'Arsenale, è realizzato, come nel caso precedente, da un sistema misto tra calcestruzzo armato e acciaio.

Gli elementi verticali sono realizzati esclusivamente attraverso setti in calcestruzzo armato che percorrono in elevazione, senza discontinuità, tutti i due piani di cui l'edificio è composto. Questi setti sono disposti parallelamente e a distanze variabili tra di loro. Gli elementi murari sono rivestiti verso l'esterno con uno strato di pietra bianca di Siracusa materiale molto presente in zona e scelto, oltre che per le sue caratteristiche estetiche, per ridurre gli impatti dati dal trasporto.

Tra la struttura portante e la finitura è posizionato lo strato isolante a cappotto in lana di roccia, necessario per ridurre, nella fase di uso dell'edificio, l'energia necessaria per la climatizzazione e di conseguenza le emissioni di anidride carbonica.

L'interno è rivestito sempre con pietra bianca di Siracusa mentre, nelle aree di servizio, con lastre in cartongesso.

Il solaio del piano primo è realizzato attraverso un sistema strutturale in acciaio. Infatti, il solaio in lamiera grecata strutturale con getto in calcestruzzo armato collaborante è posato al di sopra di una serie di travi HE che collegano ortogonalmente i differenti setti murari.

Lo strato strutturale del piano primo nell'intradosso è a vista e sormontato nell'estradosso da un massetto in calcestruzzo leggero per il passaggio degli impianti e dal pavimento in gres porcellanato. Per quanto riguarda il piano copertura sono stati sfruttati due sistemi differenti. Tra i setti accoppiati esterni la copertura è garantita da un solaio in lamiera grecata strutturale con getto in calcestruzzo armato collaborante, posato al di sopra di una serie di travi HE, isolato da uno strato di lana di roccia e protetto da un massetto in calcestruzzo alleggerito e da ghiaia.

Le navate centrali, diversamente, sono coperte attraverso pannelli Sandwich in lamiera grecata posizionati lungo travi di supporto longitudinali in acciaio, a loro volta queste travi in acciaio sono sorrette da una serie di capriate in acciaio.

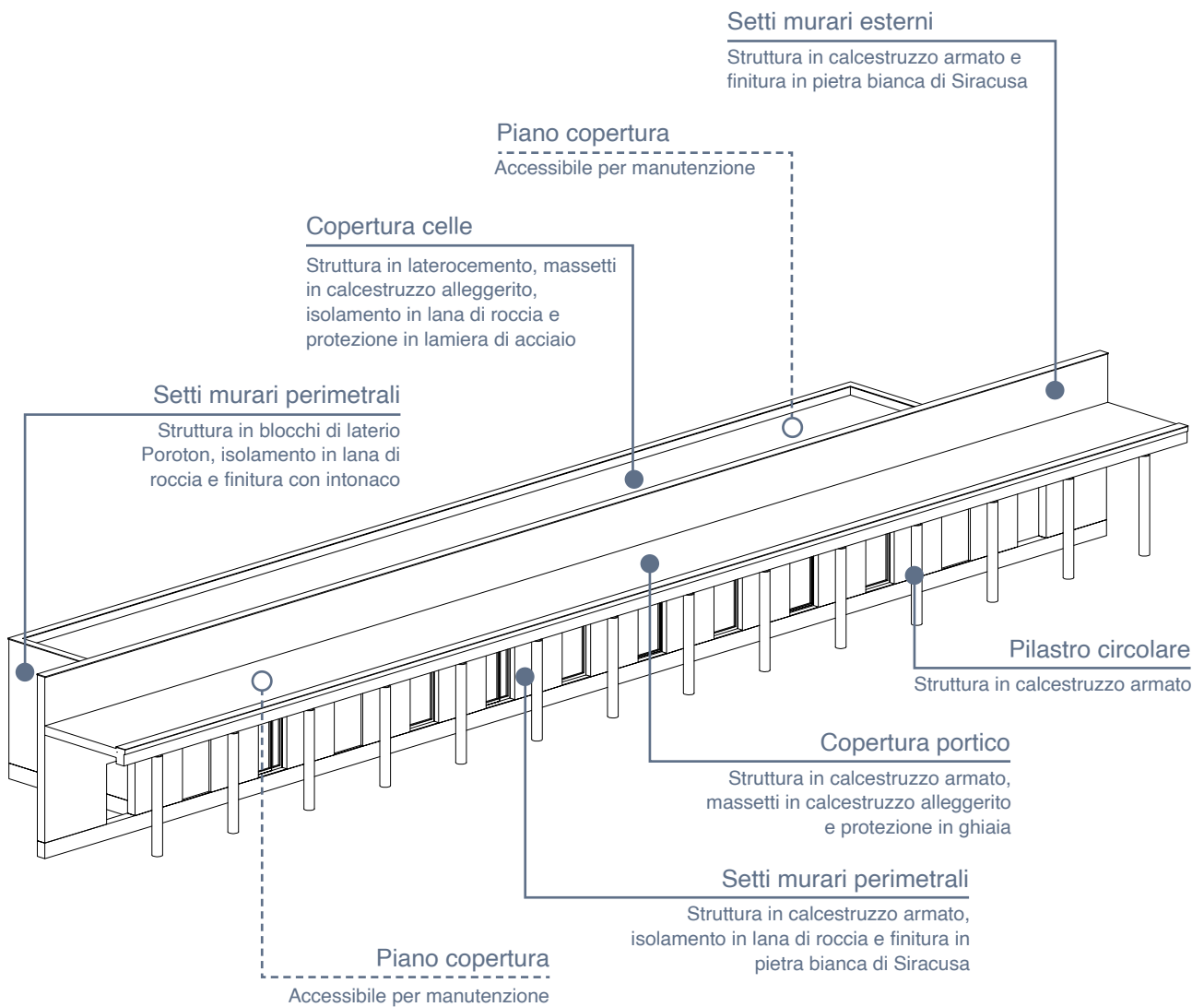
Le porzioni perimetrali dove non sono presenti i setti murari sono compensate da alte facciate vetrate in montanti e traversi con trasmittanza molto ridotta in modo da ridurre l'energia necessaria per la climatizzazione e gli impatti ambientali.

Per concludere, le partizioni interne delle celle sono di tipo leggero, montate a secco, composte da una lastra in cartongesso per lato con all'interno isolante in lana di roccia e sorrette da una serie di montanti e traversi in alluminio. Le partizioni dei bagni, invece, si differenziano in quanto è stato inserito all'interno un blocco in calcestruzzo accoppiato con isolante, poi rivestito sempre in cartongesso.

Come per il Museo, tutte le soluzioni stratigrafiche sono pensate per ridurre della metà il valore minimo di trasmittanza imposto da normativa in modo tale da ridurre, in fase d'uso, l'impiego di risorse energetiche per la climatizzazione dei locali interni. Inoltre, per ridurre ulteriormente le necessità energetiche sono stati pensati pannelli solari in modo tale da produrre in modo rinnovabile un'importante percentuale del fabbisogno energetico.

Infine, ogni materiale è stato definito in base alla sua reperibilità, al suo impatto ambientale in fase di produzione (certificato dalle EPD) e dalla sua possibilità di circolarità a fine vita.

Portico e celle



La struttura del porticato si compone di un telaio di travi e pilastri in calcestruzzo armato con tamponamento in blocchi Poroton di laterizio. L'isolamento dei volumi è stato posizionato all'interno dei sistemi murari e dei solai per evitare numerosi ponti termici che potrebbero crearsi date le numerose compenetrazioni di elementi.

Il muro centrale, quello principale che separa lo spazio delle celle con il porticato, è realizzato in calcestruzzo armato susseguito verso l'interno da un isolante di lana di roccia rivestito con una lastra di cartongesso. Per quanto riguarda la finitura esterna del muro centrale, si è deciso di adottare un rivestimento in pietra bianca di Siracusa. Differentemente, le restanti chiusure verticali sono realizzate con blocchi Poroton rivestiti verso l'interno di isolante e cartongesso mentre, verso l'esterno con un intonaco a base di calce.

I serramenti impiegati sono di diverso tipo: lungo il porticato sono collocati dei serramenti fissi in acciaio e porte di ingresso ai locali che presentano una parte fissa ed una mobile (sempre realizzati in acciaio). Similmente, il lato Sud delle celle presenta delle finestre a vasistas a tutta altezza in alluminio.

L'ultimo elemento verticale esterno di questo edificio sono le colonne del porticato che sono state realizzate in calcestruzzo armato e poi rasate per far sì che si ottenga una superficie uniforme.

Le chiusure orizzontali sono state pensate con diverse soluzioni stratigrafiche. Per la copertura della cella è stata adottata una soluzione in laterocemento. Al di sopra della struttura è posto uno strato di calcestruzzo leggero per il passaggio degli impianti, mentre, al di sotto, lana di roccia nascosta nel controsoffitto. Infine, è stata posizionata in copertura una lamiera grecata in metallo. Diversamente, il solaio del portico è realizzato con una soletta piena in calcestruzzo armato a cui è interposto uno strato per garantire la pendenza, la membrana impermeabile e la ghiaia. L'intradosso è rifinito con uno strato di intonaco.

Per concludere, le partizioni interne delle celle sono di tipo leggero, montate a secco, composte da una lastra in cartongesso per lato con all'interno isolante in lana di roccia e sorrette da una serie di montanti e traversi in alluminio. Le partizioni dei bagni, invece, si differenziano in quanto è stato inserito al loro interno un blocco il calcestruzzo accoppiato isolante, poi rivestito sempre in cartongesso.

Come per i due edifici principali, tutte le soluzioni stratigrafiche sono pensate per ridurre della metà il valore minimo di trasmittanza imposto da normativa in modo tale da ridurre, in fase d'uso, l'impiego di risorse energetiche per la climatizzazione dei locali interni. Inoltre, per ridurre ulteriormente le necessità energetiche sono stati pensati pannelli solari in modo tale da produrre in modo rinnovabile un'importante percentuale del fabbisogno energetico.

Infine, ogni materiale è stato definito in base alla sua reperibilità, al suo impatto ambientale in fase di produzione (certificato dalle EPD) e dalla sua possibilità di circolarità a fine vita.

Metodologia LCA

Metodologia LCA

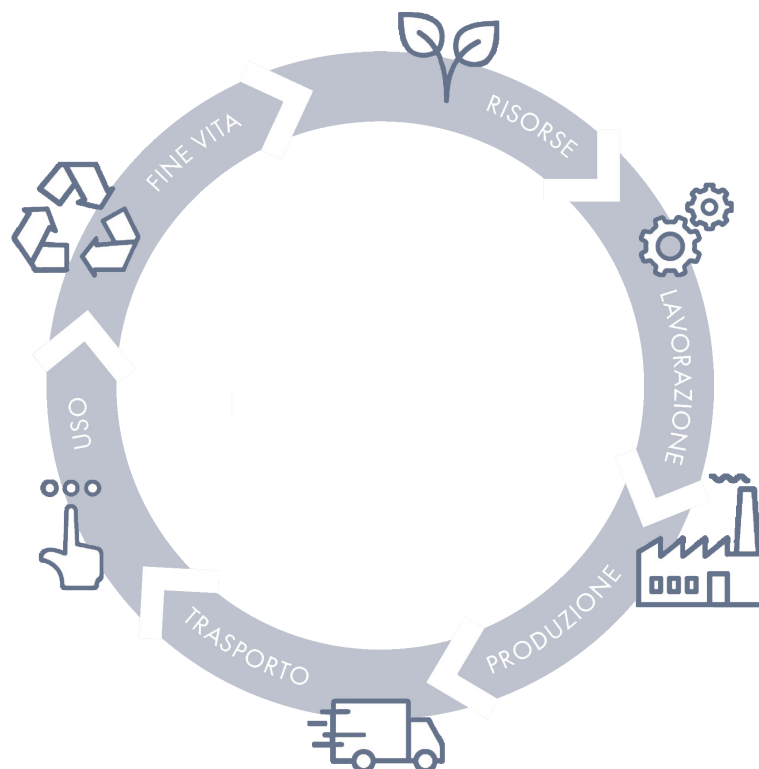
LCA (*Life Cycle Assessment*), secondo la definizione ufficiale della SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), “è un processo che permette di valutare i carichi ambientali associati a un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando l’energia, i materiali usati e i rifiuti rilasciati nell’ambiente, al fine di stabilire gli impatti e di identificare e valutare le opportunità di miglioramento. La valutazione include l’intero ciclo di vita dei prodotti, dall’estrazione e lavorazione di materiali grezzi, alla trasformazione, al trasporto e distribuzione, passando dall’uso e al ri-uso, alla manutenzione e infine, al riciclo e alla dismissione finale”¹.

Sostanzialmente, questa metodologia, nata intorno agli anni ‘60 dalla necessità di ridurre l’uso delle risorse, permette di scattare una sorta di fotografia sull’impatto che un determinato prodotto crea in tutto il suo ciclo di vita.

È possibile definire l’LCA come un metodo oggettivo perché basato su criteri specifici e indipendenti da qualsiasi pensiero soggettivo, quantitativo perché si basa sul calcolo delle quantità dei materiali utilizzati che poi vengono convertiti in categorie d’impatto e relativo poiché si riferisce alla singola unità funzionale.

LCA è una valutazione degli impatti ambientali che si può applicare non solo ad un prodotto ma anche a un processo o un servizio ed inoltre, è possibile considerarlo come un processo iterativo, in quanto, alla luce dei risultati, consente di tornare alle fasi precedenti, apportando modifiche e migliorare, di conseguenza, l’impatto finale.

Recentemente, il concetto di ciclo di vita assume un visone circolare in cui il prodotto, piuttosto che essere gettato direttamente in discarica, viene valorizzato attraverso pratiche di riuso o riciclo.



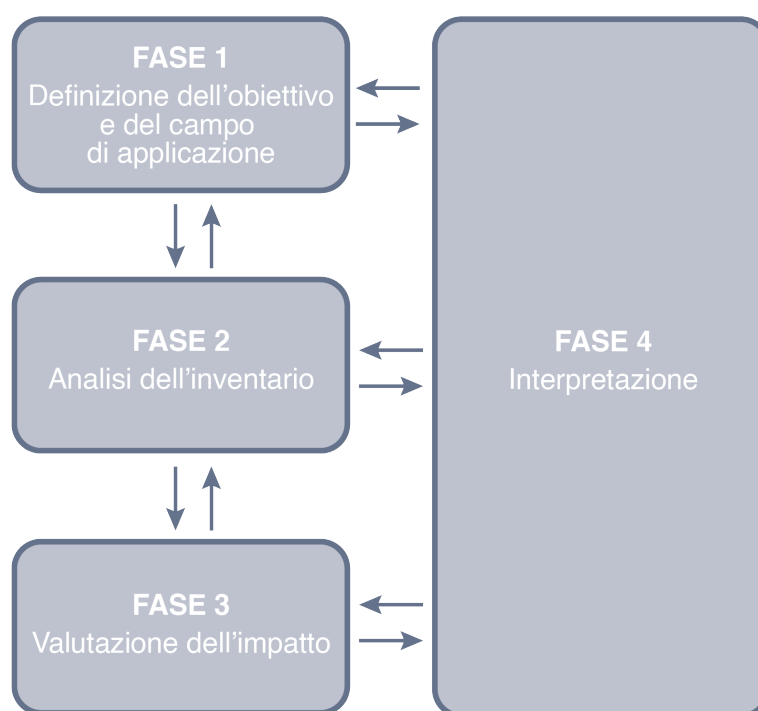
Circularità del ciclo di vita

¹ The Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC, Congresso di Vermont, Canada 1993

L'Analisi del Ciclo di Vita è normata dall'ente internazionale ISO (*International Organization for Standardization*), la più importante organizzazione a livello globale per la definizione di norme tecniche. L'LCA è un metodo definito dagli standard internazionali ISO 14040:2006¹ e ISO 14044:2006² che sono parte del gruppo di norme tecniche ISO 14000 "*Environmental management*"³ che ha l'obiettivo di definire e regolamentare tutti gli aspetti relativi alla gestione dell'impatto ambientale delle attività di un'organizzazione.

Le norme ISO 14040 e la ISO 14044 definiscono una struttura dell'LCA organizzata in quattro fasi:

- 1 - Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione;
- 2 - Raccolta dati o analisi d'inventario, LCI: "*Inventory analysis involves data collection and calculation procedures to quantify relevant inputs and outputs of a product system*" (ISO 14040, paragrafo 5.3.1);
- 3 - Calcolo degli impatti ambientali, LCIA: "*The impact assessment phase of LCA is aimed at evaluating the significance of potential environmental impacts using the LCI results. In general, this process involves associating inventory data with specific environmental impact categories and category indicators*" (ISO 14040, paragrafo 5.4.1);
- 4 - Interpretazione dei risultati.



Quadro di riferimento per valutazione del ciclo di vita

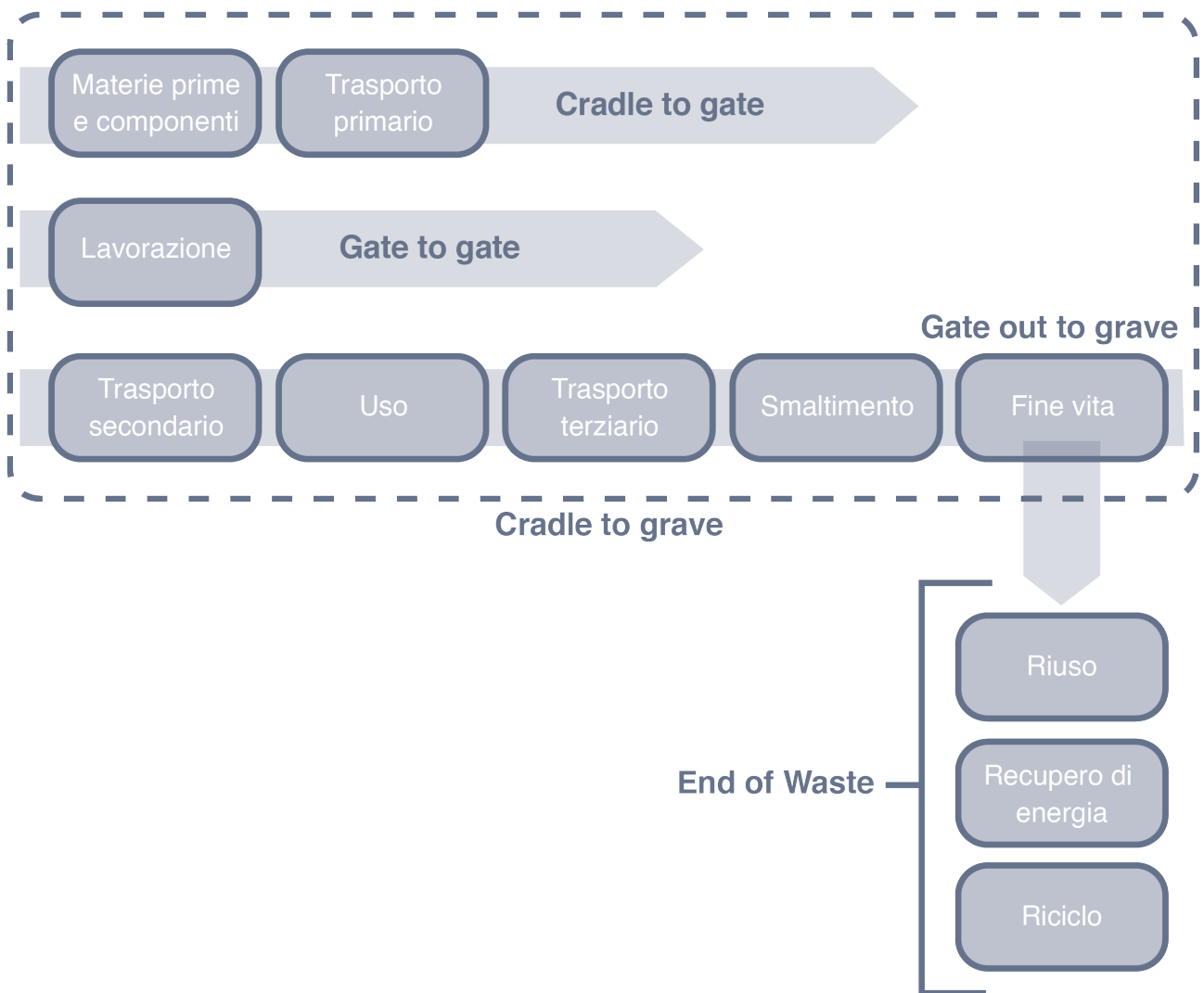
¹ Norma ISO 14040:2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*, Giugno 2006

² Norma ISO 14044:2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*, Giugno 2006

³ Norme tecniche ISO 14000, *Environmental management*

Processo metodologico

Fase 1 - Obiettivi e campo di applicazione



Confini del sistema

Questo studio LCA applica l'approccio dalla culla alla tomba (*cradle-to-grave*) che permette di considerare l'intero ciclo di vita di ogni singolo elemento impiegato per comporre l'intervento complessivo ed evita di trascurare, di conseguenza, ogni tipo di fattore d'impatto ambientale.

Infatti, oltre che considerare l'impatto di ogni singola unità funzionale, si considera anche l'impatto della fase di costruzione (trasporto e cantiere), della fase di utilizzo degli edifici stessi e infine, del fine vita.

In questo studio si vuole valutare e ottimizzare l'impatto dei tre edifici principali, dai singoli elementi costruttivi, agli impatti energetici e per concludere il fine vita di ogni materiale in modo tale da avere un quadro il più completo possibile.

L'analisi LCA ha come finalità l'ottimizzazione delle risorse impiegate, dei processi produttivi e la riduzione degli impatti ambientali (*eco-design*).

In particolare, si è scelto di approfondire, come categoria d'impatto, il *Global Warming Potential* (GWP) ovvero il parametro che indica in che entità un gas è in grado di riscaldare l'atmosfera.

Inoltre, si è scelto di approfondire e analizzare la circolarità degli edifici in relazione ai materiali impiegati, in modo tale da utilizzare tecnologie che prima di finire in discarica possano essere riciclati, riusati o valorizzati in altri modi.

Lo studio LCA è eseguito attraverso il software OneClick LCA che permette, in modo semplice e automatizzato, di considerare tutte le fasi che caratterizzano l'edificio, di inserire precisamente la quantità di ogni materiale impiegato all'intero progetto e di valutare le soluzioni migliori per ogni fattore d'impatto ambientale.

| | |
|-----------------------------|---|
| CAMBIAMENTO CLIMATICO (GWP) | Ridurre l'impatto ambientale utilizzando risorse, materiali e processi che mirano alla sostenibilità durante tutto il ciclo di vita |
| CIRCOLARITA' | Monitorare, quantificare e ottimizzare la circolarità dei materiali approvvigionati e utilizzati durante il ciclo di vita dell'edificio, nonché la circolarità alla fine della vita |

Obiettivi dell'analisi LCA

Processo metodologico

Fase 2 - Analisi dell'inventario

La seconda fase dell'analisi (LCI) consiste in un'operazione di inventario e raccolta dati relativi a tutte le fasi del ciclo di vita. In particolare, si definiscono i dati d'ingresso e di uscita da sistema per rispondere in modo quantitativo allo studio. Questa seconda fase può essere vista come la parte sperimentale dove si ricavano i dati per fare i calcoli successivi.

L'analisi di inventario è la fase più lunga e complicata dell'analisi LCA in quanto comprende quattro fasi: la definizione di un modello, utile per l'individuazione dei flussi di qualsiasi grandezza fisica rilevante per lo studio, la raccolta dati dei flussi individuati, la validazione dei dati e il trattamento degli stessi.

Esistono diversi tipi di dati utili per l'analisi LCA come, ad esempio, l'energia, le materie prime, i prodotti ancillari, i rifiuti, le emissioni in aria, gli scarichi idrici, le emissioni al suolo e altri aspetti ambientali.

Questa fase potrebbe risultare molto complicata e lunga, soprattutto se si parla di innumerevoli processi e materiali usati come nel caso della costruzione di un edificio. Per questo motivo vengono utilizzati strumenti di supporto come il software OneClick LCA che contiene già al suo interno numero dati utili. Infatti, i dati possono essere primari, se ricavati da certificazioni esterne (es. EPD) o secondari, se raccolti da banche dati.

Per quanto riguarda il calcolo delle quantità dei diversi materiali impiegati si esegue un computo metrico dove materiali e geometrie sono ben definiti. Nel nostro caso, poiché lo studio è basato su un computo metrico che riguarda, nella sua complessità, tutto l'edificio, sono stati esclusi quegli elementi presenti nel progetto in modo puntuale o che interessano una superficie particolarmente ridotta rispetto a quella totale. Questo è stato fatto al fine di semplificare il modello di calcolo.

Il computo metrico è stato fatto, in modo pressoché immediato e semplice, attraverso il software BIM: Revit e importato successivamente, attraverso un Plug-in, sul software OneClick LCA.

In seguito, sempre grazie al software, sono stati attribuiti i dati raccolti alle diverse unità del processo ed è stato associato a ogni materiale un EPD di riferimento. La scelta dell'EPD di ciascun materiale è stata fatta scegliendo quella che forniva il minore impatto di GWP rispetto alla singola unità di materiale.

Si sono infine definite le altre informazioni necessarie per la valutazione finale come la distanza di trasporto, il tipo di trasporto, la percentuale di riciclato, il rifiuto prodotto e il loro fine vita.

Tutti questi dati sono stati riportati in tabelle suddivise in strutture verticali, strutture orizzontali e altre strutture.

La compilazione di queste tabelle è frutto di un processo iterativo di diverse combinazioni di dati e di risultati, per cui, i valori ottenuti sono quelli che definiscono il minore impatto ambientale e la maggiore circolarità.

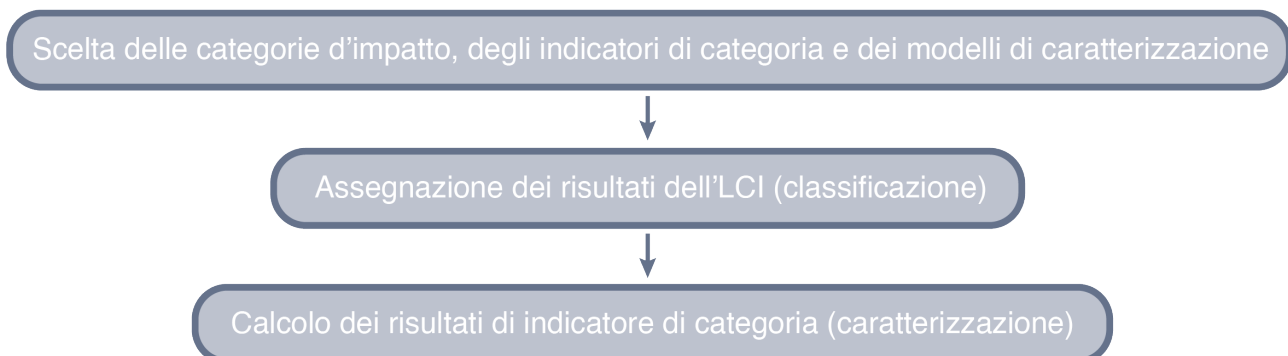
Fase 3 - Valutazione degli impatti ambientali

La fase di analisi degli impatti è volta a valutare gli impatti ambientali potenziali usando i risultati della fase di inventario. Questa fase implica un processo di revisione degli obiettivi e degli scopi dello studio.

Per la valutazione vengono riportati in grafici (nel nostro caso grafici a torta) i risultati dell'LCA secondo le diverse categorie di impatto scelte di studiare (es. GWP). In seguito, si esegue il calcolo degli indicatori di categoria (caratterizzazione). I fattori di caratterizzazione sono quei fattori di conversione che permettono di convertire un flusso elementare di materia o energia in un valore di impatto ambientale.

La relazione tra i singoli materiali e i valori delle categorie di impatto associate ad essi, viene svolta tramite i dati presenti negli EPD forniti dai produttori. Tale passaggio è reso semplice ed immediato dall'utilizzo di OneClick, poiché esso elabora automaticamente grafici che esplicano i risultati di questo studio e consentono di svolgerne un'interpretazione.

Il software lavora incrociando le informazioni fornite dagli EPD presenti nel database, in base ai materiali che sono stati selezionati, e le quantità immesse.



Schema della valutazione dell'impatto del ciclo di vita

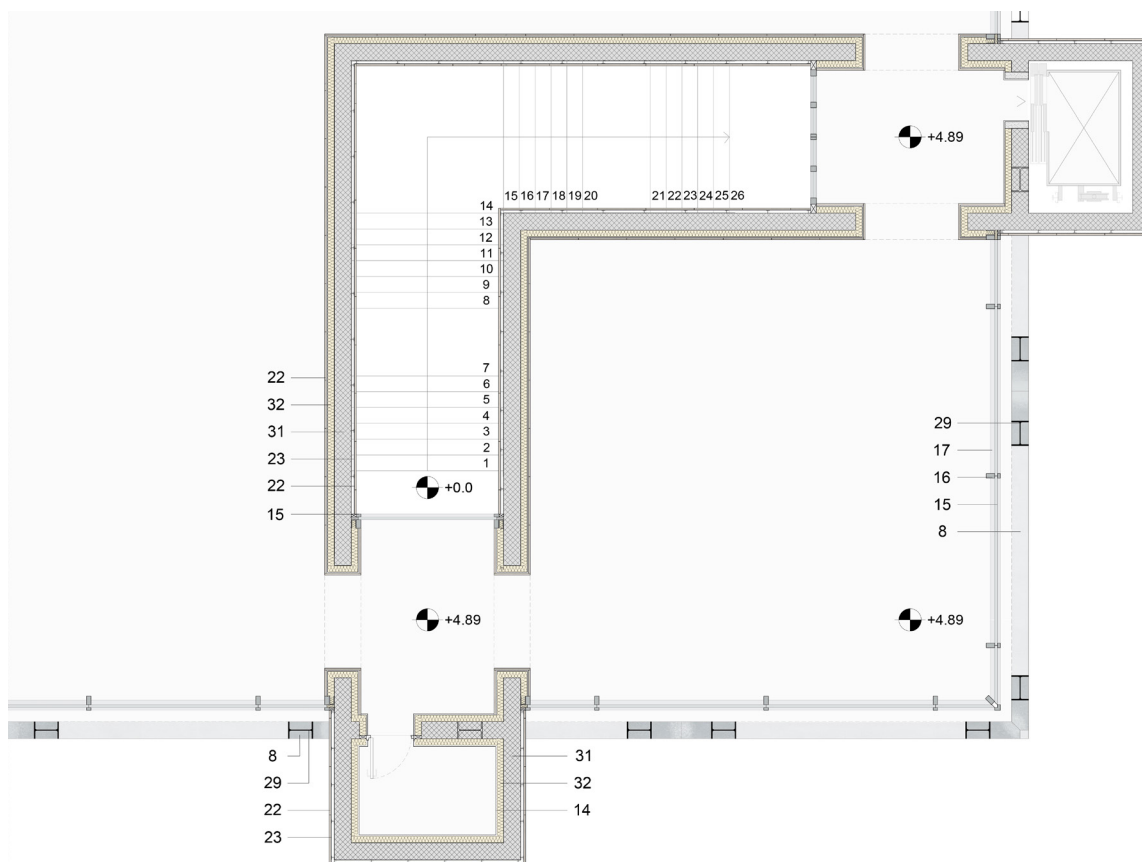
Fase 4 - Interpretazione dei risultati

L'interpretazione degli impatti del ciclo di vita è la fase finale della procedura LCA. In cui i risultati di una LCI o di LCIA, o entrambi, sono riassunti e discussi come base per conclusioni, raccomandazioni e decisioni in conformità con l'obiettivo e definizione dello studio.

In questo studio, l'interpretazione dei dati ha permesso di cambiare i dati di input in modo da raggiungere il minor impatto ambientale e la massima circolarità possibile dei materiali usati (processo iterativo).

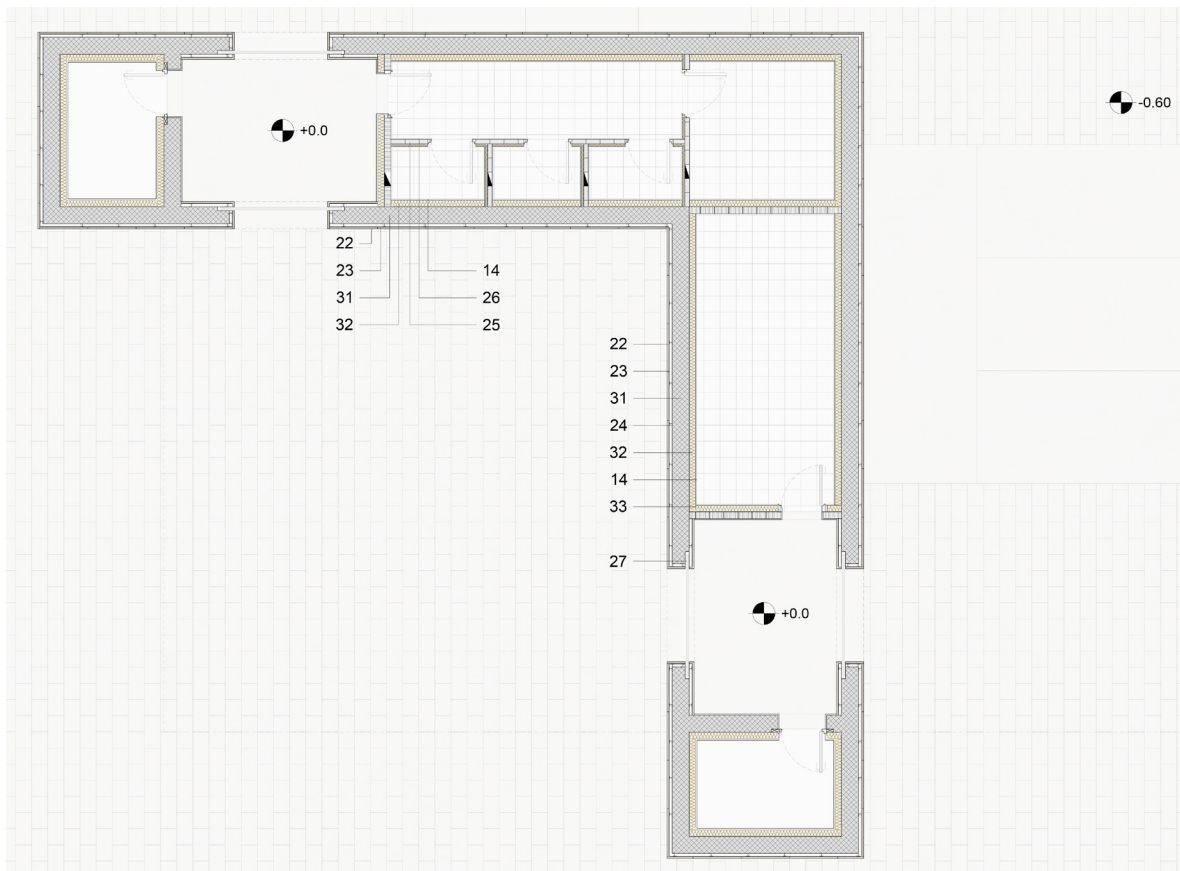
Museo

Analisi dell'inventario

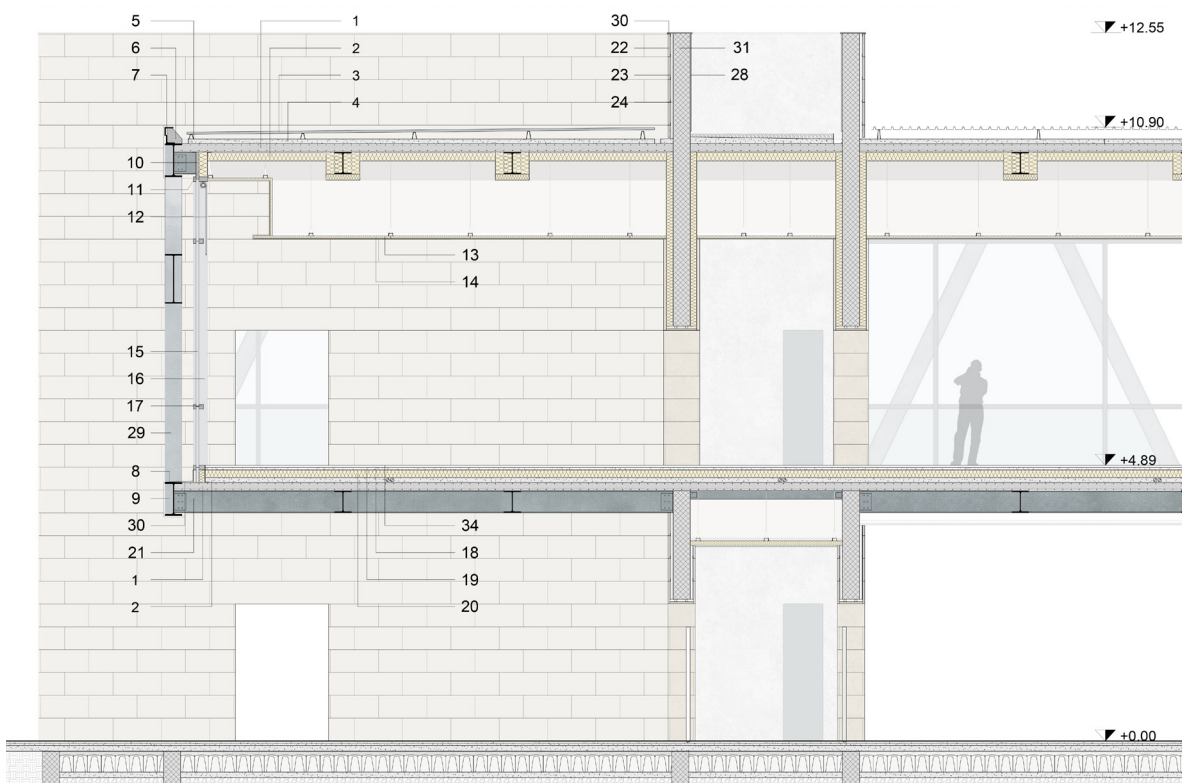


Pianta piano primo

- | | |
|--|--|
| 1 Soletta collaborante sp.15cm | 21 Trave HEA400 |
| 2 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.16cm | 22 Lastra in pietra bianca di Siracusa sp.3cm |
| 3 Lamiera grecata SAND 38 | 23 Corrente ORAS - Sistema AliStone 2 |
| 4 Massetto per impianti sp.8cm | 24 Piolo + sostegno |
| 5 Sostegno metallico puntuale h.variabale | 25 Blocco in calcestruzzo sp.8cm |
| 6 Cordolo in legno | 26 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.4cm |
| 7 Profilo angolare 150x60 | 27 Grata a scorrimento GruppoEsse |
| 8 Trave Warren HEA600 | 28 Intonaco sp.2cm |
| 9 Profilo di sostegno a L | 29 Diagonale Trave Warren HEA340 |
| 10 Pannello in compensato rivestito | 30 Scossalina |
| 11 Chiusura isolante | 31 Setto in calcestruzzo sp.30cm |
| 12 Tende a rullo per interni Solaris | 32 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.12cm |
| 13 Pannello in lana minerale sp.4.5cm | 33 Laterizio sp.12cm |
| 14 Lastra in cartongesso sp.1.25cm | 34 Pavimentazione in gres sp.2cm |
| 15 Curtain wall Schuco FSW 35PD | 35 Guaina impermeabile |
| 16 Montante in acciaio 8x15cm | 36 Pressore e copri pressore |
| 17 Montante in acciaio 8x12cm | 37 Traverso acciaio 8x12cm |
| 18 Malta sp.2cm | 38 Ganci di sospensione metallici |
| 19 Massetto di ripartizione dei carichi sp.4cm | 39 Sostegno a "C" metallico 18/48 |
| 20 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.14cm | |



Pianta piano terra



Sezione trasversale

Analisi dell'inventario

Global Warming Potential (GWP)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 891,4 mc | 60 km | Camion betoniera | 153.89 kg CO ₂ e / mc |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2807,4 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 204795 kg | 10 km | Combinazione rimorchio | 0.0654 kg CO ₂ e / kg |
| Vetro | Saint-Gobain Glass France | 562 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 9.12 kg CO ₂ e / mq |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 11758,8 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 2.22 kg CO ₂ e / mq |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 24716 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.11 kg CO ₂ e / kg |
| Acciaio | Database OneClick LCA | 152524 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.87 kg CO ₂ e / kg |
| Legno | Artuso Legnami S.r.l. | 1,8 mc | 220 km | Combinazione rimorchio | 116.33 kg CO ₂ e / mc |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 478,2 mc | 60 km | Camion betoniera | 153.89 kg CO ₂ e / mc |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 3894,8 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Malta | Weber | 310500 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.13 kg CO ₂ e / kg |
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 63884 kg | 40 km | Autocarri ribaltabile | 0.0029 kg CO ₂ e / kg |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1302,2 mq | 60 km | Combinazione rimorchio | 5.61 kg CO ₂ e / mq |
| Acciaio S275 | Database OneClick LCA | 234840 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.74 kg CO ₂ e / kg |
| Legno | Database OneClick LCA | 6,17 mc | 220 km | Combinazione rimorchio | 83.58 kg CO ₂ e / mc |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|---------------------------------|
| Acciaio (Scala) | Database OneClick LCA | 19000 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.74 kg CO ₂ e / kg |
| Serramenti in acciaio e vetro | Union Des Metalliers | 0,41 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 182 kg CO ₂ e / mq |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 216,9 mq | 350 km | Combinazione rimorchio | 18.41 kg CO ₂ e / mq |

Inventario Altre strutture e materiali

Analizzando i dati riportati nell'inventario riguardante il GWP, ci si può aspettare che la maggior parte degli impatti dati dalla produzione di materiali siano del calcestruzzo e dell'acciaio in quanto sono i materiali nettamente più utilizzati nell'edificio.

Per le analisi finali, inoltre, si è considerato un consumo di energia elettrica annua di circa 47500 kWh (togliendo la metà fornita dai pannelli solari) e un consumo annuo di acqua di circa 260000 kg (stime eseguite con dati della relazione d'impianti).

Circularità

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 891,4 mc | 60% | 4% | NO | Frantumato in aggregato |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2807,4 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 204795 kg | 0% | 4,5% | SI | Riempimento come inerte |
| Vetro | Saint-Gobain Glass France | 562 mq | 13% | 1% | NO | Riciclo |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 11758,8 mq | 3% | 12,5% | NO | Riciclo |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 24716 kg | 0% | 13% | NO | Riempimento come inerte |
| Acciaio | Database OneClick LCA | 152524 kg | 100% | 3,3% | NO | Riciclo |
| Legno | Artuso Legnami S.r.l. | 1,8 mc | 100% | 13% | SI | Riuso |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 478,2 mc | 60% | 4% | NO | Frantumato in aggregato |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 3894,8 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Malta | Weber | 310500 kg | 20% | 13% | NO | Riempimento come inerte |
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 63884 kg | 0% | 0% | NO | Riuso |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1302,2 mq | 0% | 4,5% | NO | Riempimento come inerte |
| Acciaio S275 | Database OneClick LCA | 234840 kg | 90% | 3,3% | NO | Riciclo |
| Legno | Database OneClick LCA | 6,17 mc | 100% | 18% | SI | Riuso |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|
| Acciaio (Scala) | Database OneClick LCA | 19000 kg | 100% | 3,3% | NO | Riciclo |
| Serramenti in acciaio e vetro | Union Des Metalliers | 0,41 mq | 0% | 0% | SI | Riciclo |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 216,9 mq | 86% | 0% | SI | Riuso |

Inventario Altre strutture e materiali

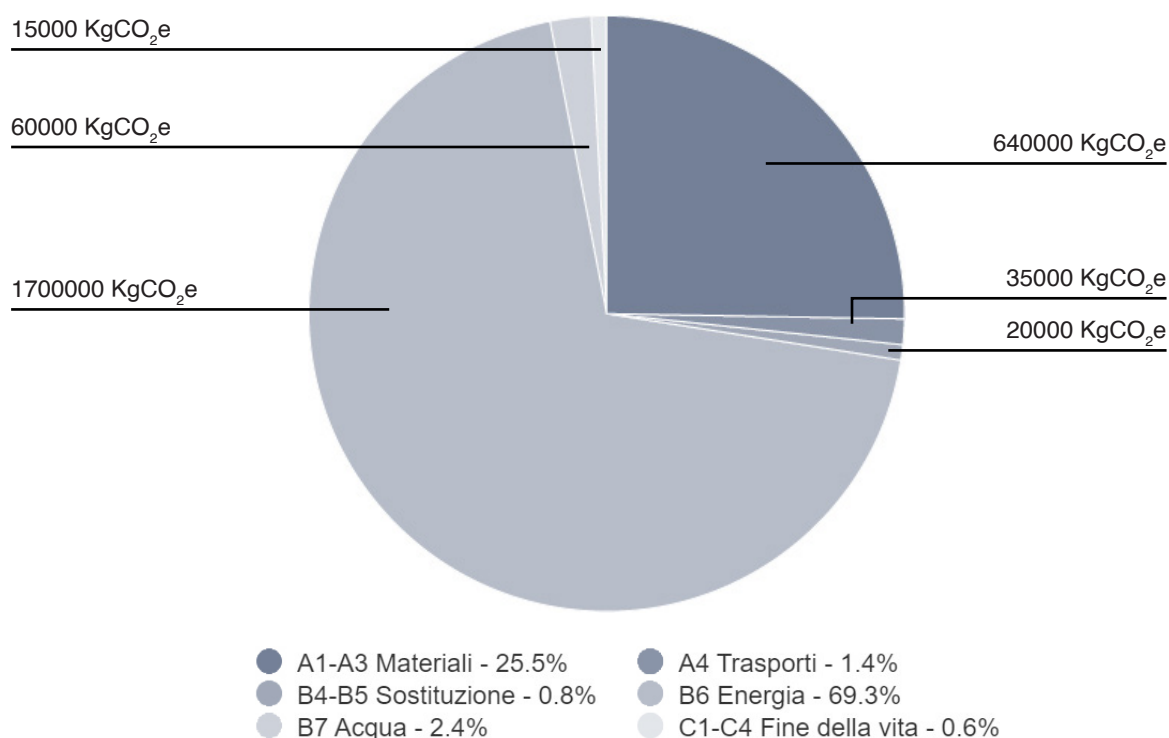
Osservando i dati riportati nell'inventario riguardante la circolarità è possibile notare che la maggior parte dei materiali scelti vengono prodotti con una parte di riciclato e, di conseguenza, utilizzano per la loro produzione meno materie prime.

Inoltre, tutti i materiali utilizzati non vengono smaltiti direttamente in discarica ma vengono destinati a un fine vita più virtuoso come il *downcycling*, il riutilizzo e il riciclo.

Valutazione degli impatti ambientali

Global Warming Potential (GWP)

| FASI DEL CICLO DI VITA | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| A1-A3 Materiali | 640000 | 25,5% |
| A4 Trasporto | 35000 | 1,4% |
| B1-B5 Manutenzione e sostituzione | 20000 | 0,8% |
| B6 Energia | 1700000 | 69,3% |
| B7 Acqua | 60000 | 2,4% |
| C1-CA Fine vita | 15000 | 0,6% |
| TOTALE | 2470000 | 100,0% |

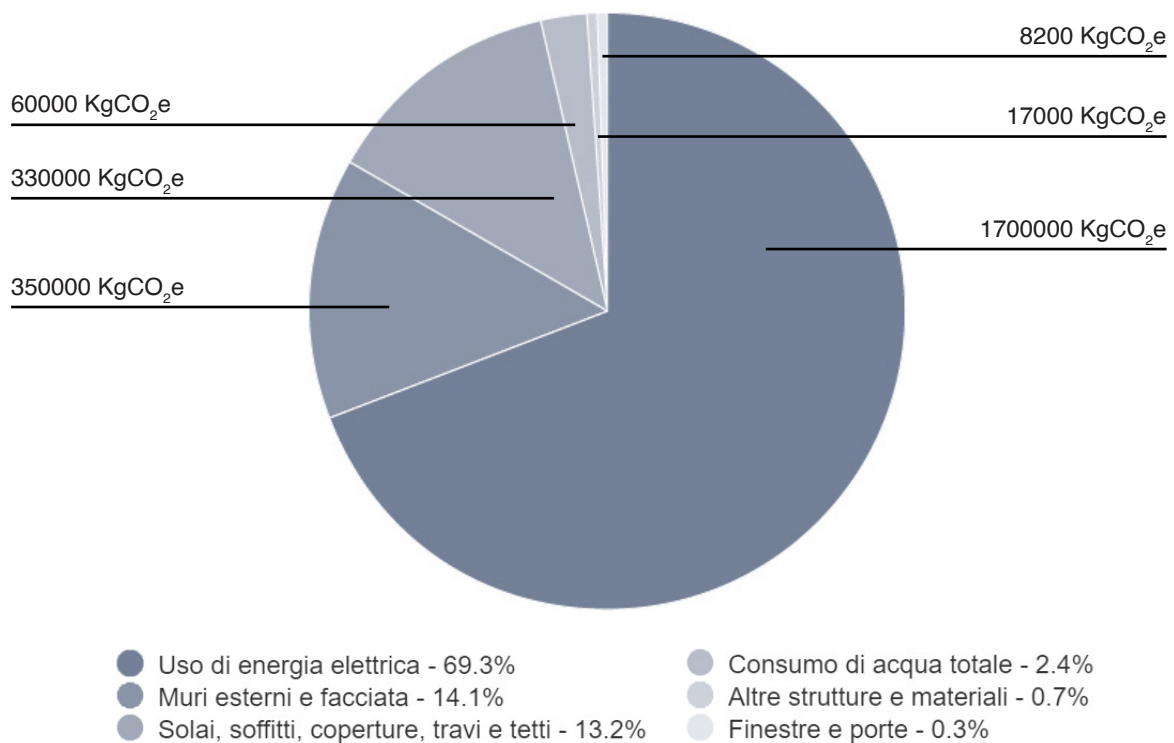


L'analisi relativa alle emissioni di KgCO₂e, ovvero i dati che esprimono il potenziale contribuito all'effetto serra a livello globale (GWP), evidenziano come all'interno del progetto, l'aspetto che maggiormente contribuisce a questo fenomeno, sia legato al consumo elettrico durante la vita utile dell'edificio (B6). Bisogna considerare il fatto che gli impatti dati dall'uso di energia sono legati alla vita stessa dell'edificio che, per quest'analisi, è stata considerata di 75 anni.

Nonostante questo, anche la produzione dei materiali usati (A1-A3) rappresenta una buona percentuale sugli impatti totali del ciclo di vita.

Valutazione degli impatti ambientali

| CLASSIFICAZIONI | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Uso di energia elettrica | 1700000 | 69,3% |
| Muri esterni e facciata | 350000 | 14,1% |
| Solai, travi e coperture | 330000 | 13,2% |
| Consumo di acqua totale | 60000 | 2,4% |
| Altre strutture e materiali | 17000 | 0,7% |
| Finestre e porte | 8200 | 0,3% |
| TOTALE | 2470000 | 100,0% |

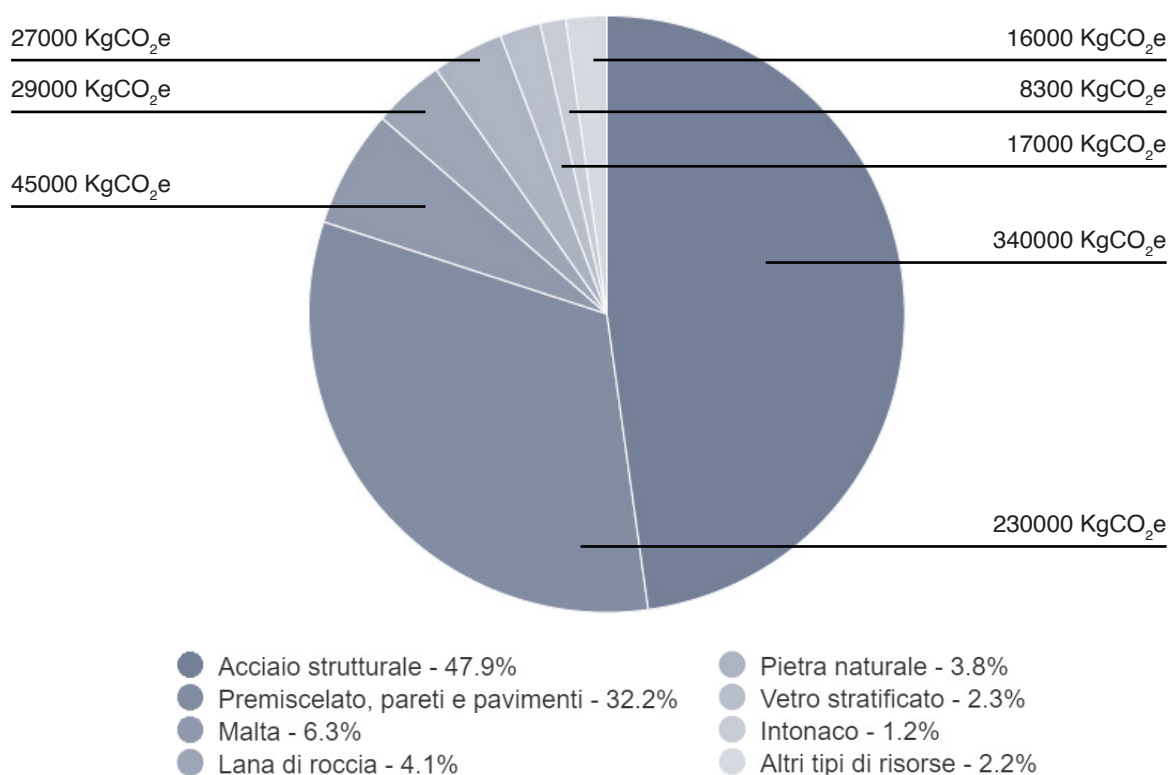


Dai grafici si evince che le strutture verticali e quelle orizzontali sono gli elementi che impattano maggiormente (escludendo il contributo dell'energia elettrica). Questo dato è confermato dal fatto che al loro interno contengono grandi quantità di calcestruzzo armato e acciaio, materiali che, come si è notato nell'inventario, sono tra i più impattanti.

Si aggiunge inoltre che, relativamente al trasporto dei materiali (A4), gli impatti sono molto ridotti in quanto si è cercato di utilizzare materiali e tecnologie prodotti il più vicino possibile al sito di progetto.

Valutazione degli impatti ambientali

| TIPI DI RISORSA | | |
|-----------------------|---------------------|---------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Acciaio strutturale | 340000 | 47,9% |
| Calcestruzzo | 230000 | 32,2% |
| Malta | 45000 | 6,3% |
| Lana di roccia | 29000 | 4,1% |
| Pietra naturale | 27000 | 3,8% |
| Vetro stratificato | 17000 | 2,3% |
| Intonaco | 8300 | 1,2% |
| Altra tipi di risorse | 16000 | 2,2% |
| TOTALE | 712300 | 100,0% |

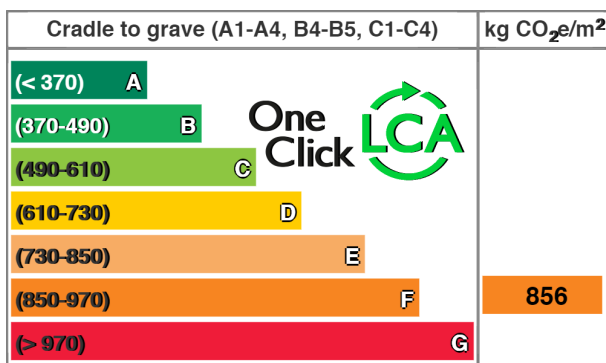


Prendendo in esame esclusivamente i contributi dei materiali usati, si evince che sono due le componenti che impattano maggiormente: l'acciaio strutturale (47.9%) e il calcestruzzo (32.2%). Risulta quindi evidente che per ridurre l'impatto bisogna assolutamente lavorare e utilizzare materiali strutturali più sostenibili.

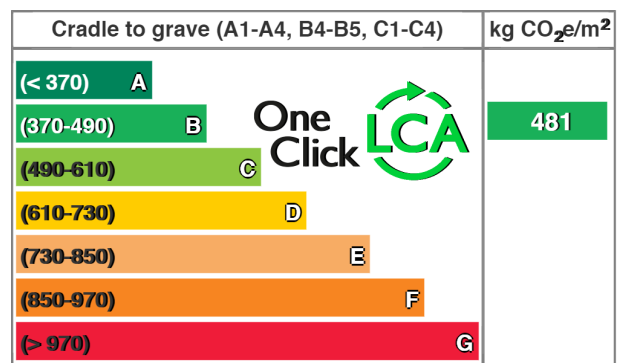
Valutazione degli impatti ambientali

| No. | Risorsa | Cradle to gate impacts (A1-A3) | Cradle to gate (A1-A3) |
|-----|--|----------------------------------|------------------------|
| 1. | Calcestruzzo preconfezionato, ordinario, generico, C28/35 (4000/5000 PSI) with CEM III/A, 60% GGBS content (300 kg/m ³ ; 18.7 lbs/ft ³ total cement) | 195 tonnellate CO ₂ e | 30.4 % |
| 2. | Profilati di acciaio strutturale, generico, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355 | 179 tonnellate CO ₂ e | 27.9 % |
| 3. | Fogli di acciaio, generico, 100% recycled content, S235, S275 and S355 | 153 tonnellate CO ₂ e | 23.9 % |
| 4. | Leveling screed and render, 5-40mm layer thickness, 34 kg/m ² | 43 tonnellate CO ₂ e | 6.7 % |
| 5. | Rock wool insulation, L= 0.035 W/mK, R= 4.00 m ² k/W, 140 mm, 4.9 kg/m ² , Lambda=0.035 W/(m.K) | 22 tonnellate CO ₂ e | 3.4 % |
| 6. | Sandstone cladding, 30 mm, 2550 kg/m ³ | 18 tonnellate CO ₂ e | 2.9 % |
| 7. | Marble slabs, 2 cm, 54 kg/m ² , 2700 kg/m ³ | 7,3 tonnellate CO ₂ e | 1.1 % |
| 8. | Body-tinted flat glass, bronze, 4 mm, 10 kg/m ² , LT 60.4%, RLE 6.0%, SF 0.68 | 5,5 tonnellate CO ₂ e | 0.9 % |
| 9. | Gypsum board, 12.5 mm, 11.8 kg/m ² , 944 kg/m ³ | 4,7 tonnellate CO ₂ e | 0.7 % |
| 10. | Rock wool insulation, L=0.037 W/mK, R=4.3 m ² k/W, ép. 160mm, 4.8 kg/m ² , 30 kg/m ³ , Lambda=0.037 W/(m.K) | 4,2 tonnellate CO ₂ e | 0.6 % |

3.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato)



3.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base)



3.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato)

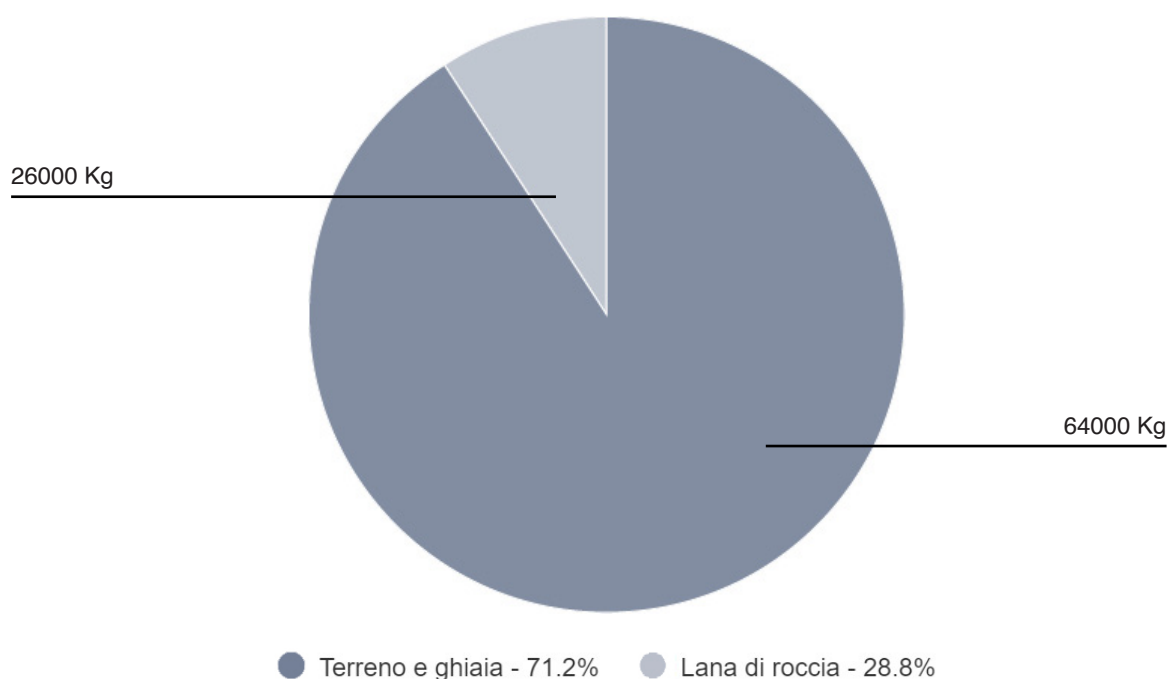
In base al contributo di ogni materiale, relativamente alle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, l'edificio risulta in classe B, essendo il valore pari a 481 KgCO₂e/mq, come si evince dal grafico. Questo risultato è stato ottenuto scegliendo materiali più sostenibili rispetto a materiali più comuni e tradizionali che, al contrario, impattavano maggiormente sull'ambiente (856 KgCO₂e/mq - Classe F).

Valutazione degli impatti ambientali

Circolarità

Riutilizzati come materiale

| TIPI DI RISORSA | | |
|------------------|------------|-------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Terreno e ghiaia | 64 | 71,2% |
| Lana di roccia | 26 | 29,8% |
| TOTALE | 90 | 100,0% |



La prima soluzione per evitare il conferimento di materiale a fine vita in discarica e, di conseguenza, l'utilizzo di nuove materie prime è il metodo del riutilizzo. In particolare, questa soluzione prevede un'azione immediata che ripristini la funzionalità dell'oggetto anche diversa dall'originale senza subire alcun tipo di processo trasformativo.

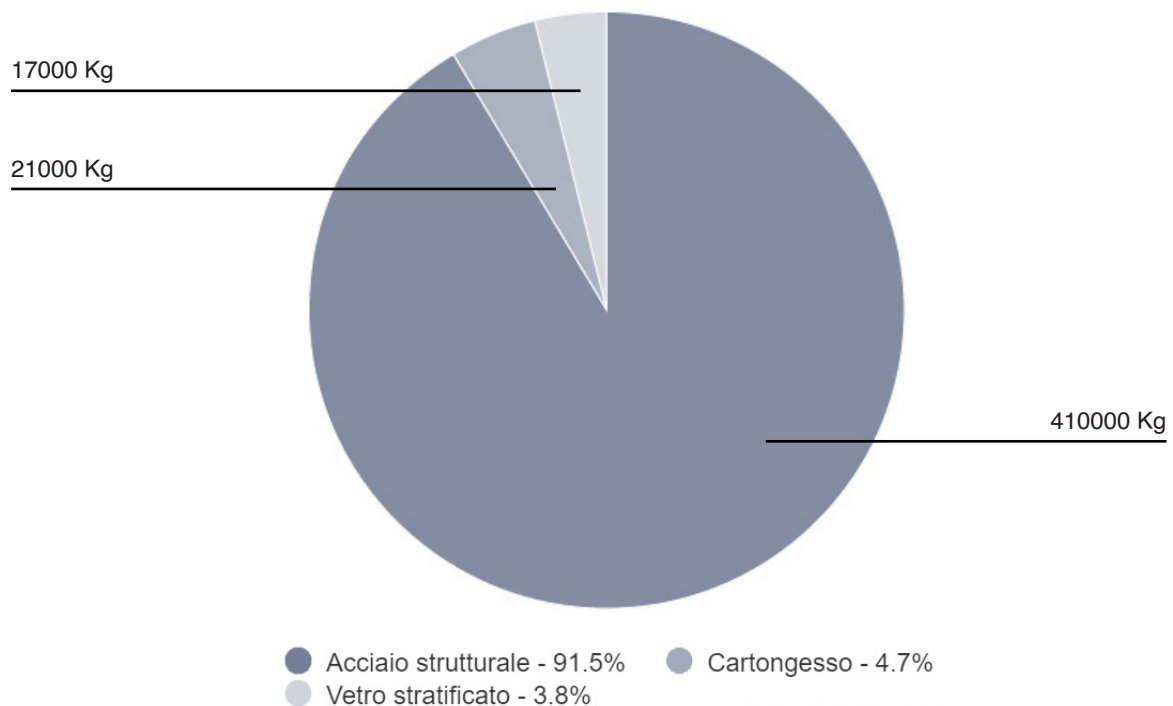
In questo caso, i materiali che si prestano a questa tipologia di fine vita sono la ghiaia, utilizzata come strato protettivo in copertura, e i pannelli di lana di roccia, montati a secco nelle diverse soluzioni tecnologiche.

In questo modo, si riemettono in un nuovo ciclo di vita circa 90 tonnellate di materiale, evitando numerosi sprechi e nuovi impatti ambientali.

Valutazione degli impatti ambientali

Riciclo

| TIPI DI RISORSA | | |
|---------------------|------------|---------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Acciaio strutturale | 410 | 91,5% |
| Cartongesso | 21 | 4,7% |
| Vetro stratificato | 17 | 3,8% |
| TOTALE | 431 | 100,0% |



La seconda soluzione che permette di evitare sprechi materici, di ridurre l'utilizzo di materie prime e di limitare le emissioni è il metodo del riciclo.

Il riciclaggio dei rifiuti è quel processo che permette di recuperare e riutilizzare un materiale che nella sua fase finale di vita si presenta come uno scarto. Letteralmente significa renderlo di nuovo utilizzabile anche con funzioni diverse dall'originarie.

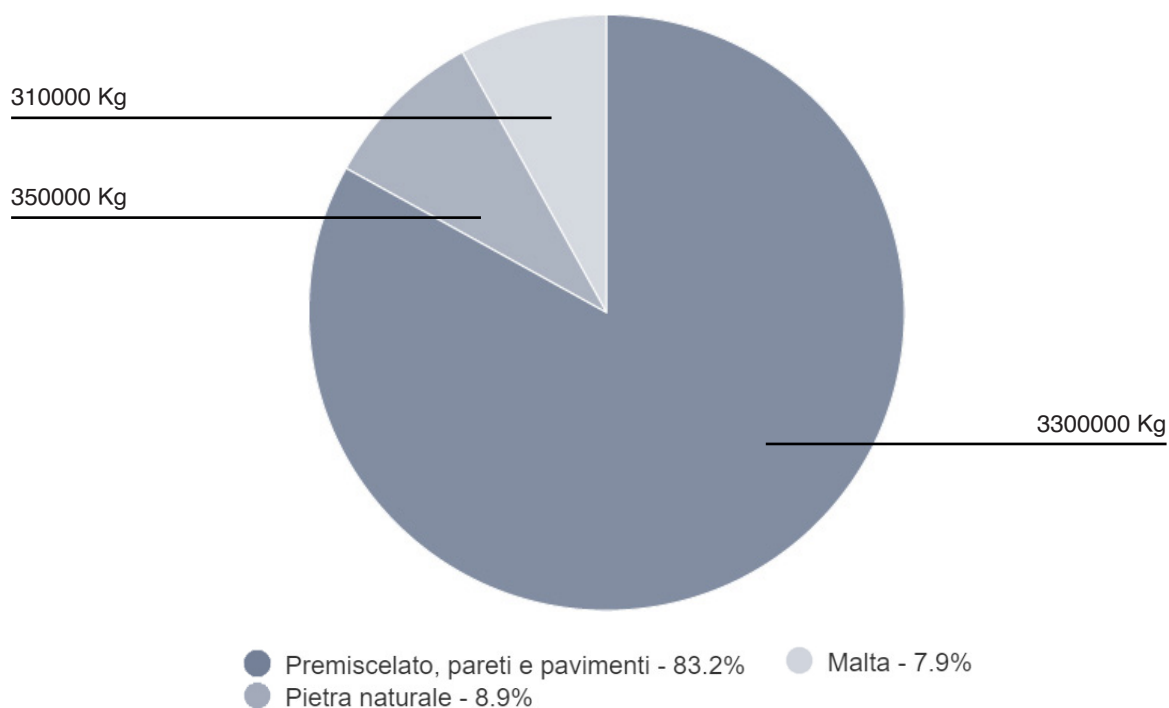
Nell'edificio del Museo i materiali che si prestano a fine vita a questa soluzione sono l'acciaio strutturale, il vetro stratificato e il cartongesso.

Il loro riciclo consente un risparmio finale di circa 431 tonnellate di materie prime per la produzione di nuovi prodotti.

Valutazione degli impatti ambientali

Downcycling

| TIPI DI RISORSA | | |
|-----------------|------------|-------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Calcestruzzo | 3300 | 83,2% |
| Pietra naturale | 350 | 8,9% |
| Malta | 310 | 7,9% |
| TOTALE | 3650 | 100,0% |



L'ultima alternativa che eviti lo smaltimento dei materiali direttamente in discarica è la metodologia del downcycling. Con questa soluzione il rifiuto viene trasformato in un materiale o in un oggetto dotato di un valore minore rispetto allo scarto da cui viene generato.

Quando si intraprende un processo di downcycling, dunque, i prodotti ottenuti sono più economici e meno durevoli rispetto agli oggetti lavorati per realizzarli. Nonostante ciò, questo metodo permette di ridurre gli impatti ambientali.

In questo progetto i materiali pensati per questa tipologia di fine vita sono il calcestruzzo, la malta e la pietra di rivestimento delle facciate. In particolare, queste componenti sono destinate a essere frantumate ed essere utilizzate come inerte in nuovi prodotti.

Valutazione degli impatti ambientali

Materiale Recuperato 3.4 %

| | |
|--------------|--------|
| Vergine | 96.6 % |
| Rinnovabile | 0.1 % |
| Riciclato | 3.3 % |
| Riutilizzato | 0 % |

Materiale Restituito 43.1 %

| | |
|---------------------------|--------|
| Riutilizza come materiale | 0 % |
| Riciclo | 3.6 % |
| Downcycling | 78.8 % |
| Utilizzare come energia | 0.2 % |
| Smaltimento | 2.6 % |

23 %

3.4. Circolarità finale (modello base)

Materiale Recuperato 53.4 %

| | |
|--------------|--------|
| Vergine | 46.6 % |
| Rinnovabile | 0.3 % |
| Riciclato | 53.1 % |
| Riutilizzato | 0 % |

Materiale Restituito 55 %

| | |
|---------------------------|--------|
| Riutilizza come materiale | 1.9 % |
| Riciclo | 9.6 % |
| Downcycling | 86.5 % |
| Utilizzare come energia | 0.3 % |
| Smaltimento | 1.6 % |

54 %

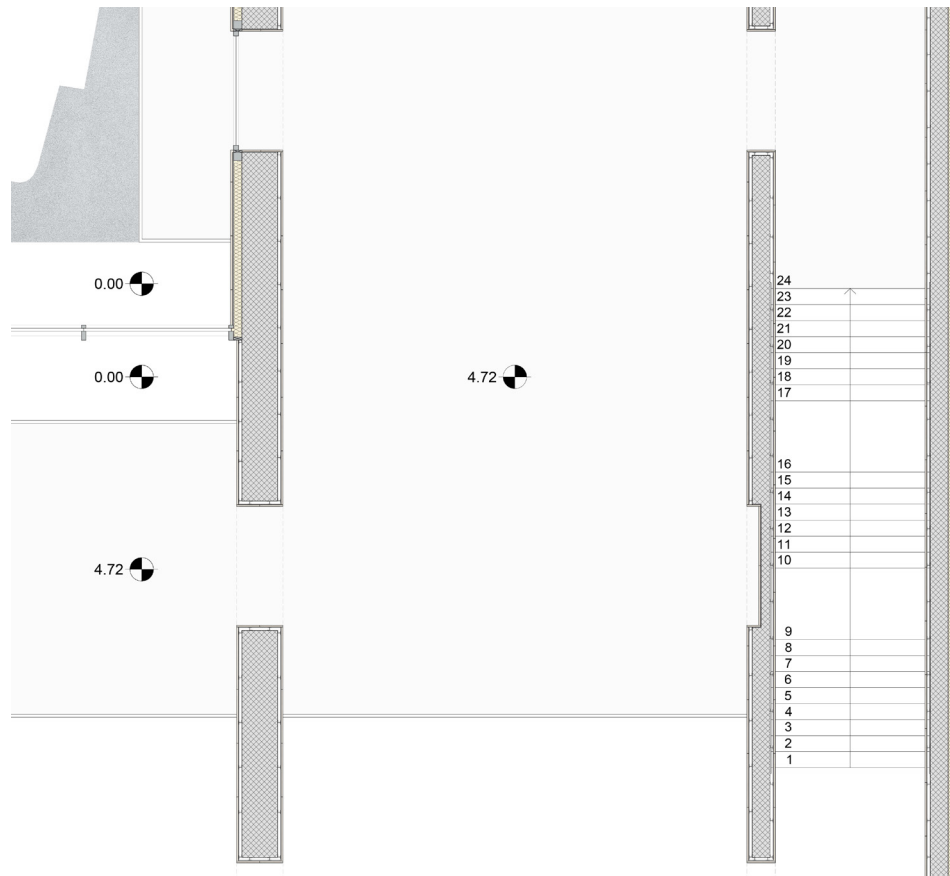
3.5. Circolarità finale (modello ottimizzato)

In base al contributo di ogni materiale, l'edificio raggiunge un punteggio di Building Circularity del 54%. Questo dato rappresenta la circolarità totale sia nell'uso dei materiali per il progetto che nella movimentazione a fine vita utile. È calcolato come la media dei materiali recuperati (che rappresenta l'uso di prodotti circolari nel progetto) e dei materiali restituiti (che rappresenta l'efficacia con cui vengono restituiti, invece di essere smaltiti o declassati in valore).

Questo risultato è stato ottenuto scegliendo e valutando tutti i fine vita e la sostenibilità dei materiali rispetto a materiali più comuni e tradizionali (circolarità del 27%).

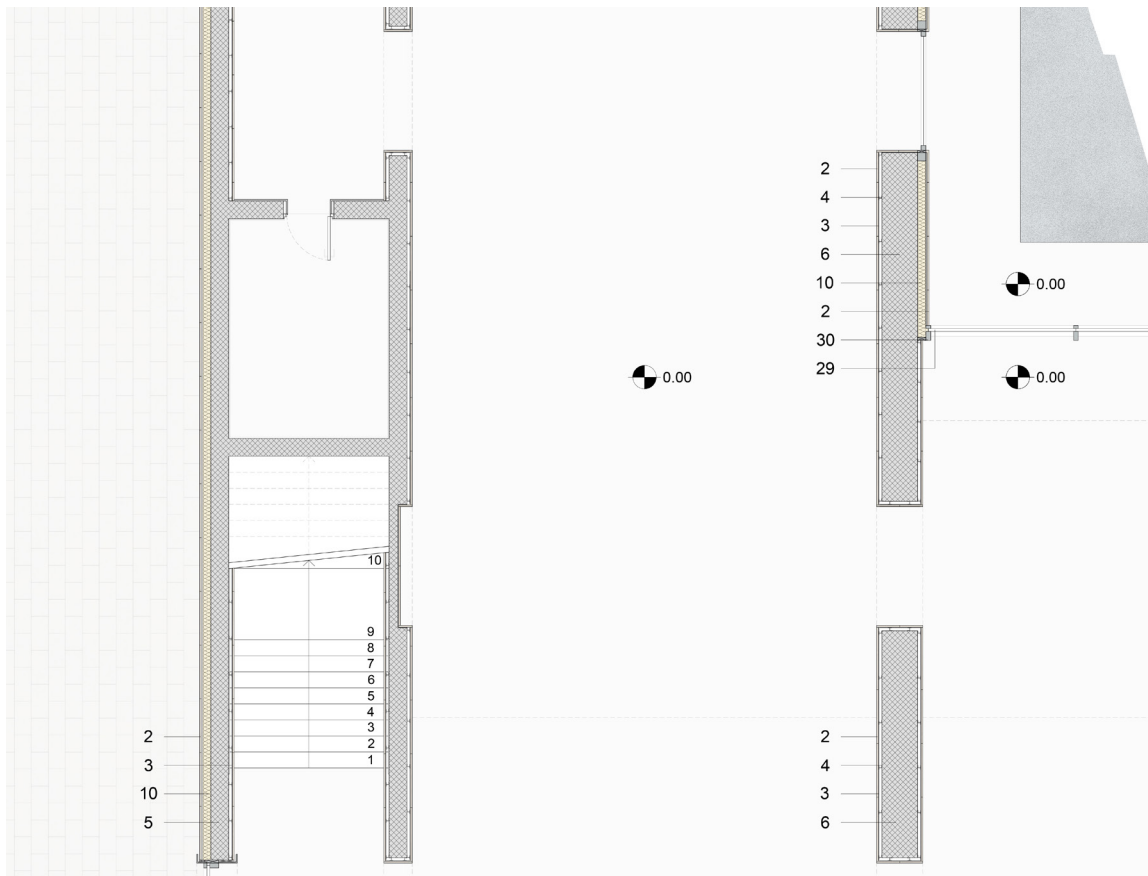
Arsenale

Analisi dell'inventario

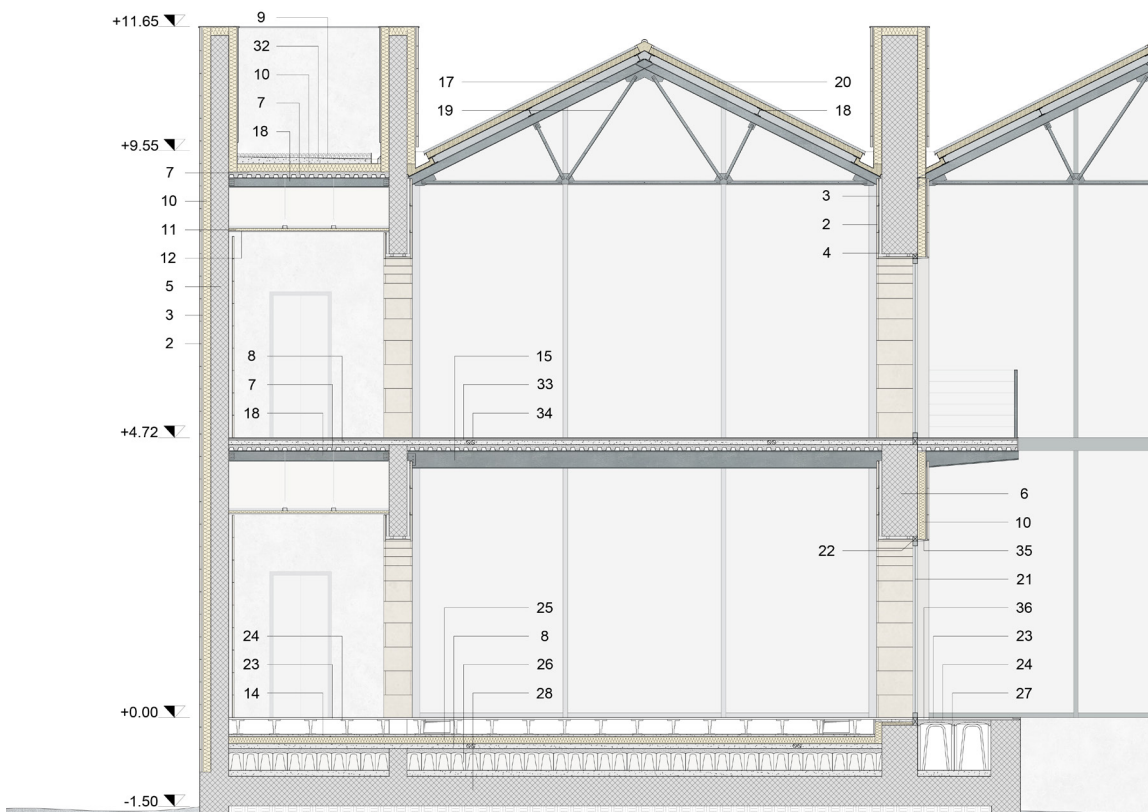


Pianta piano primo

- | | |
|--|--|
| 1 Soletta collaborante sp.15cm | 21 Trave HEA400 |
| 2 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.16cm | 22 Lastra in pietra bianca di Siracusa sp.3cm |
| 3 Lamiera grecata SAND 38 | 23 Corrente ORAS - Sistema AliStone 2 |
| 4 Massetto per impianti sp.8cm | 24 Piolo + sostegno |
| 5 Sostegno metallico puntuale h.variabale | 25 Blocco in calcestruzzo sp.8cm |
| 6 Cordolo in legno | 26 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.4cm |
| 7 Profilo angolare 150x60 | 27 Grata a scorrimento GruppoEsse |
| 8 Trave Warren HEA600 | 28 Intonaco sp.2cm |
| 9 Profilo di sostegno a L | 29 Diagonale Trave Warren HEA340 |
| 10 Pannello in compensato rivestito | 30 Scossalina |
| 11 Chiusura isolante | 31 Setto in calcestruzzo sp.30cm |
| 12 Tende a rullo per interni Solaris | 32 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.12cm |
| 13 Pannello in lana minerale sp.4.5cm | 33 Laterizio sp.12cm |
| 14 Lastra in cartongesso sp.1.25cm | 34 Pavimentazione in gres sp.2cm |
| 15 Curtain wall Schuco FSW 35PD | 35 Guaina impermeabile |
| 16 Montante in acciaio 8x15cm | 36 Pressore e copri pressore |
| 17 Montante in acciaio 8x12cm | 37 Traverso acciaio 8x12cm |
| 18 Malta sp.2cm | 38 Ganci di sospensione metallici |
| 19 Massetto di ripartizione dei carichi sp.4cm | 39 Sostegno a "C" metallico 18/48 |
| 20 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.14cm | |



Pianta piano terra



Sezione trasversale

Analisi dell'inventario

Global Warming Potential (GWP)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 1274,4 mc | 60 km | Camion betoniera | 153.89 kg CO ₂ e / mc |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2958 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 355065 kg | 10 km | Combinazione rimorchio | 0.0654 kg CO ₂ e / kg |
| Vetro | Saint-Gobain Glass France | 425,3 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 9.12 kg CO ₂ e / mq |
| Mattoni forati | Database OneClick LCA | 191,1 mq | 80 km | Combinazione rimorchio | 5.23 kg CO ₂ e / mq |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 781,4 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 2.22 kg CO ₂ e / mq |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 33400 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.11 kg CO ₂ e / kg |
| Acciaio galvanizzato | Database OneClick LCA | 60294 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 1.32 kg CO ₂ e / kg |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 433900 kg | 40 km | Autocarri ribaltabile | 0.0029 kg CO ₂ e / kg |
| Pannello isolante XPS | Database OneClick LCA | 1206,1 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 8.61 kg CO ₂ e / mq |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 1363,8 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Malta | Mapei | 123580 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.14 kg CO ₂ e / kg |
| Calcestruzzo alleggerito | Database OneClick LCA | 98,3 mc | 60 km | Camion betoniera | 149.41 kg CO ₂ e / mc |
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 79,8 mc | 60 km | Camion betoniera | 153.89 kg CO ₂ e / mc |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1803,8 mq | 60 km | Combinazione rimorchio | 5.61 kg CO ₂ e / mq |
| Acciaio S275 | Database OneClick LCA | 57989 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.74 kg CO ₂ e / kg |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|---------------------------------|
| Acciaio (Scala) | Database OneClick LCA | 15000 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.74 kg CO ₂ e / kg |
| Telai in acciaio | Union Des Metalliers | 0,34 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 182 kg CO ₂ e / mq |
| Vetro serramenti | VetroTech | 89,5 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 43.8 kg CO ₂ e / mq |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 146,1 mq | 350 km | Combinazione rimorchio | 18.41 kg CO ₂ e / mq |

Inventario Altre strutture e materiali

Per le analisi finali, oltre ai dati dei materiali, si è considerato un consumo di energia elettrica annua di circa 40000 kWh (togliendo la metà fornita dai pannelli solari) e un consumo annuo di acqua di circa 420000 kg (stime eseguite con dati della relazione d'impianti).

Circularità

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 1274,4 mc | 60% | 4% | NO | Frantumato in aggregato |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2958 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 355065 kg | 0% | 4,5% | SI | Riempimento come inerte |
| Vetro | Saint-Gobain Glass France | 425,3 mq | 60% | 10% | NO | Riciclo |
| Mattoni forati | Database OneClick LCA | 191,1 mq | 30% | 4% | NO | Riempimento come inerte |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 781,4 mq | 25% | 12,5% | NO | Riciclo |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 33400 kg | 0% | 13% | NO | Riempimento come inerte |
| Acciaio galvanizzato | Database OneClick LCA | 60294 kg | 100% | 8% | NO | Riciclo |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 433900 kg | 0% | 0% | NO | Riuso |
| Pannello isolante XPS | Database OneClick LCA | 1206,1 mq | 40% | 4% | SI | Riuso |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 1363,8 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Malta | Mapei | 123580 kg | 0% | 13% | NO | Riempimento come inerte |
| Calcestruzzo alleggerito | Database OneClick LCA | 98,3 mc | 40% | 5% | NO | Frantumato in aggregato |
| Calcestruzzo preconfezionato C28/35 | Database OneClick LCA | 79,8 mc | 60% | 5% | NO | Frantumato in aggregato |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1803,8 mq | 0% | 4,5% | NO | Riempimento come inerte |
| Acciaio S275 | Database OneClick LCA | 57989 kg | 100% | 3,3% | NO | Riciclo |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|
| Acciaio (Scala) | Database OneClick LCA | 15000 kg | 3% | 3,3% | NO | Riciclo |
| Telai in acciaio | Union Des Metalliers | 0,34 mq | 30% | 0% | NO | Riciclo |
| Vetro serramenti | VetroTech | 89,5 mq | 8% | 0% | NO | Riciclo |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 146,1 mq | 3% | 0% | SI | Riuso |

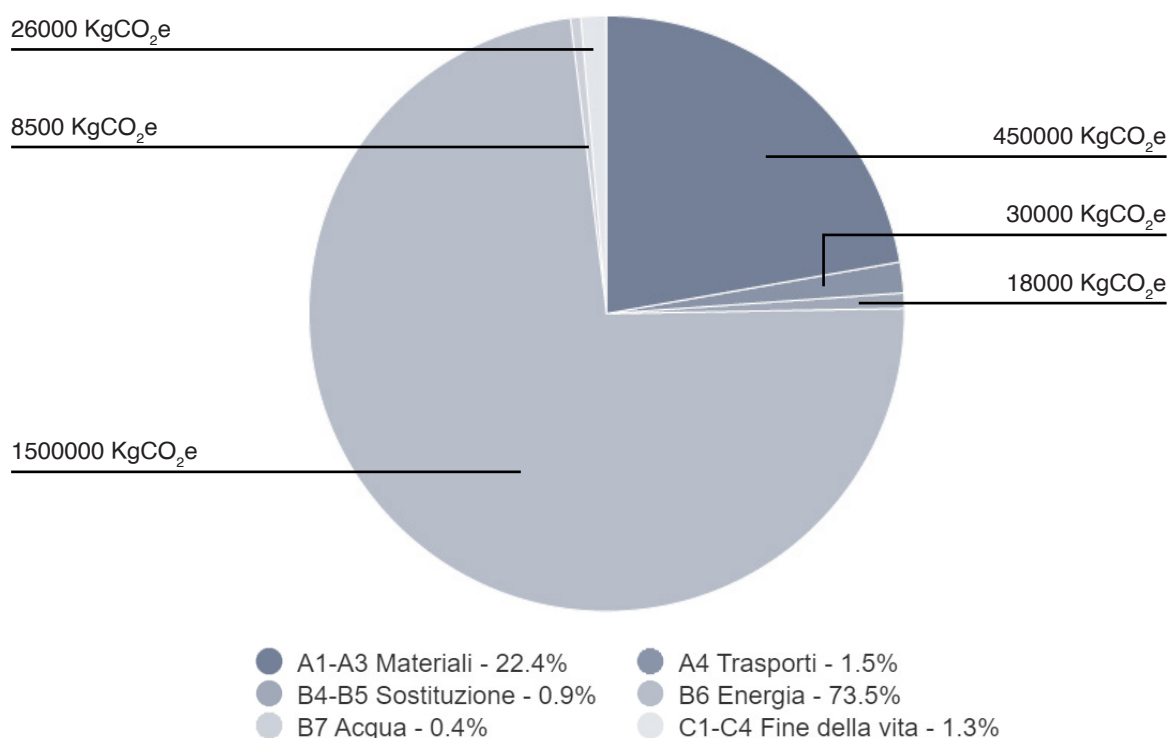
Inventario Altre strutture e materiali

Osservando i dati riportati nell'inventario riguardante la circolarità è possibile notare che la maggior parte dei materiali scelti vengono prodotti con una parte di riciclato e che, a fine vita, non vengono smaltiti direttamente in discarica, ma vengono destinati a un fine vita più virtuoso.

Valutazione degli impatti ambientali

Global Warming Potential (GWP)

| FASI DEL CICLO DI VITA | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| A1-A3 Materiali | 450000 | 22,4% |
| A4 Trasporto | 30000 | 1,5% |
| B1-B5 Manutenzione e sostituzione | 18000 | 0,9% |
| B6 Energia | 1500000 | 73,5% |
| B7 Acqua | 8500 | 0,4% |
| C1-CA Fine vita | 26000 | 1,3% |
| TOTALE | 2033500 | 100,0% |

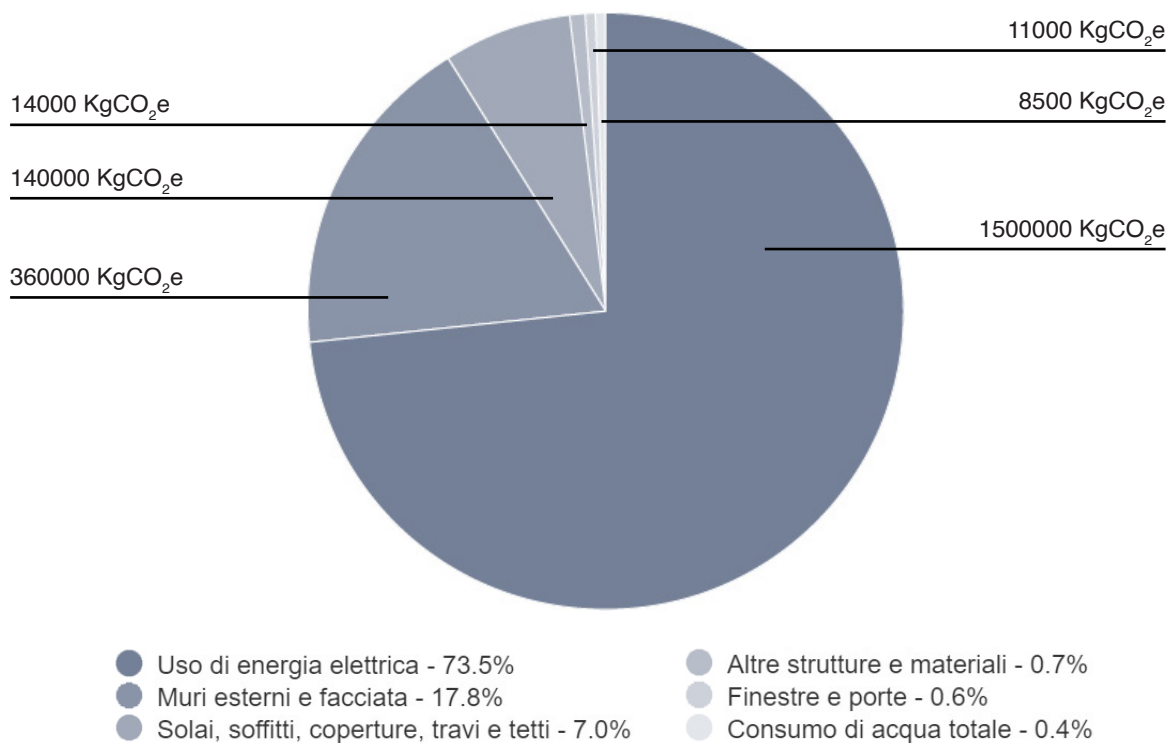


L'analisi relativa alle emissioni di KgCO₂e, ovvero i dati che esprimono il potenziale contribuito all'effetto serra a livello globale (GWP), evidenziano come all'interno del progetto, l'aspetto che maggiormente contribuisce a questo fenomeno, sia legato al consumo elettrico durante la vita utile dell'edificio (B6). Bisogna considerare il fatto che gli impatti dati dall'uso di energia sono legati alla vita stessa dell'edificio che, per quest'analisi, è stata considerata di 75 anni.

Nonostante questo, anche la produzione dei materiali usati (A1-A3) rappresenta una buona percentuale sugli impatti totali del ciclo di vita.

Valutazione degli impatti ambientali

| CLASSIFICAZIONI | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Uso di energia elettrica | 1500000 | 73,5% |
| Muri esterni e facciata | 360000 | 17,8% |
| Solai, travi e coperture | 140000 | 7,1% |
| Altre strutture e materiali | 14000 | 0,7% |
| Finestre e porte | 11000 | 0,6% |
| Consumo di acqua totale | 8500 | 0,4% |
| TOTALE | 2033500 | 100,0% |

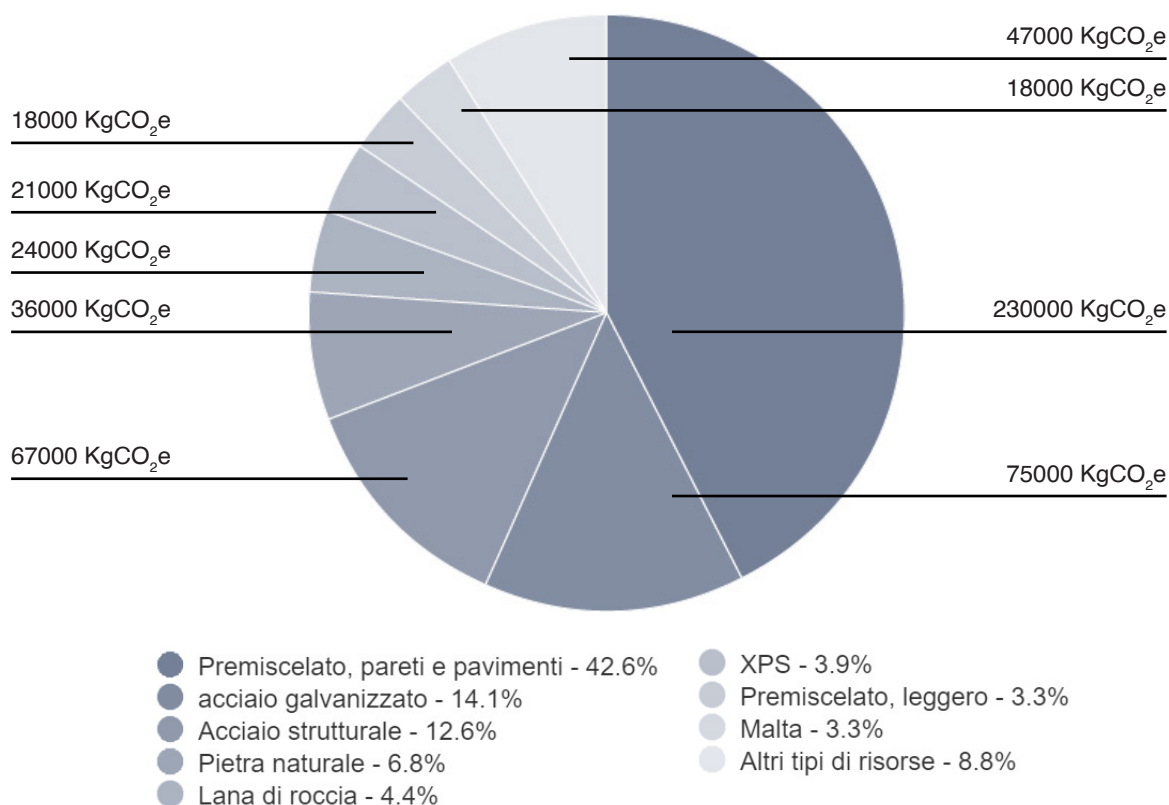


Dai grafici si evince che le strutture verticali e quelle orizzontali sono gli elementi che impattano maggiormente (escludendo il contributo dell'energia elettrica). Questo dato è confermato dal fatto che al loro interno contengono grandi quantità di calcestruzzo armato e acciaio, materiali che, come si è notato nell'inventario, sono tra i più impattanti.

Si aggiunge inoltre che, relativamente al trasporto dei materiali (A4), gli impatti sono molto ridotti in quanto si è cercato di utilizzare materiali e tecnologie prodotti il più vicino possibile al sito di progetto.

Valutazione degli impatti ambientali

| TIPI DI RISORSA | | |
|-----------------------|---------------------|---------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Calcestruzzo | 230000 | 42,6% |
| Acciaio galvanizzato | 75000 | 14,1% |
| Acciaio strutturale | 67000 | 12,6% |
| Pietra naturale | 36000 | 2,8% |
| Lana di roccia | 24000 | 4,4% |
| XPS | 21000 | 3,9% |
| Calcestruzzo leggero | 18000 | 3,3% |
| Malta | 18000 | 3,3% |
| Altra tipi di risorse | 47000 | 8,8% |
| TOTALE | 536000 | 100,0% |

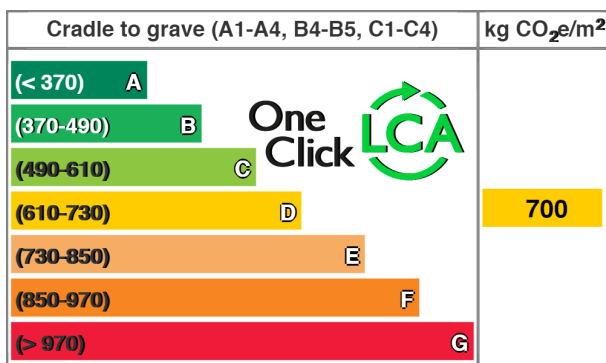


Prendendo in esame esclusivamente i contributi dei materiali usati, si evince che sono due le componenti che impattano maggiormente: l'acciaio strutturale (26.7%) e il calcestruzzo (42.6%).

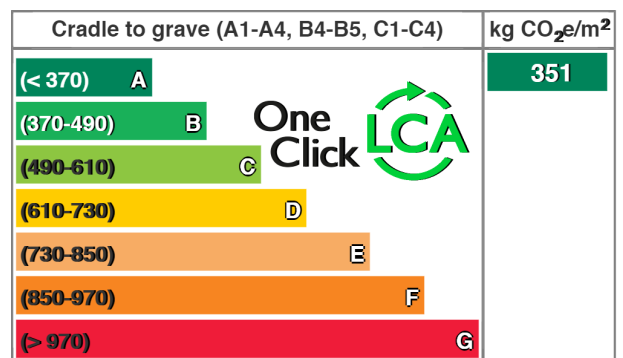
Valutazione degli impatti ambientali

| No. | Risorsa | Cradle to gate impacts (A1-A3) | Cradle to gate (A1-A3) |
|-----|--|----------------------------------|------------------------|
| 1. | Calcestruzzo preconfezionato, ordinario, generico, C28/35 (4000/5000 PSI) with CEM III/A, 60% GGBS content (300 kg/m ³ ; 18.7 lbs/ft ³ total cement) | 193 tonnellate CO ₂ e | 43.0 % |
| 2. | Lastre di acciaio zincato a caldo, Steel thickness range: 0.4-3.0 mm (0.015-0.12 in), zinc coating: 20 µm (787.4 µin) (0.28kg/m ² / 0.057 lbs/ft ² sheet steel), 100% recycled content | 74 tonnellate CO ₂ e | 16.5 % |
| 3. | Fogli di acciaio, generico, 100% recycled content, S235, S275 and S355 | 65 tonnellate CO ₂ e | 14.5 % |
| 4. | Sandstone cladding, 30 mm, 2550 kg/m ³ | 24 tonnellate CO ₂ e | 5.4 % |
| 5. | Rock wool insulation, L= 0.035 W/mK, R= 4.00 m ² k/W, 140 mm, 4.9 kg/m ² , Lambda=0.035 W/(m.K) | 22 tonnellate CO ₂ e | 5.0 % |
| 6. | Mortar, pre-blended, 1500 kg/m ³ (bulk), 2100 kg/m ³ (mixture) | 17 tonnellate CO ₂ e | 3.7 % |
| 7. | Calcestruzzo preconfezionato, depotenziato, generico, C12/15 (1700/2200 PSI), 40% recycled binders in cement (220 kg/m ³ / 13.73 lbs/ft ³) | 15 tonnellate CO ₂ e | 3.3 % |
| 8. | Marble slabs, 2 cm, 54 kg/m ² , 2700 kg/m ³ | 10 tonnellate CO ₂ e | 2.3 % |
| 9. | XPS insulation panels, L=0.035 W/mK, R=2.85 m ² k/W, 100 mm, 3.8 kg/m ² , 38 kg/m ³ , compressive strength 500 kPa, 40% recycled polystyrene, CO ₂ blowing agent, Lambda=0.035 W/(m.K) | 9,1 tonnellate CO ₂ e | 2.0 % |
| 10. | Fire-resistant Insulating Glass Unit (IGU), double glazed, 6-15-4, 25 mm, 25 kg/m ² | 5,5 tonnellate CO ₂ e | 1.2 % |

4.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato)



4.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base)



4.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato)

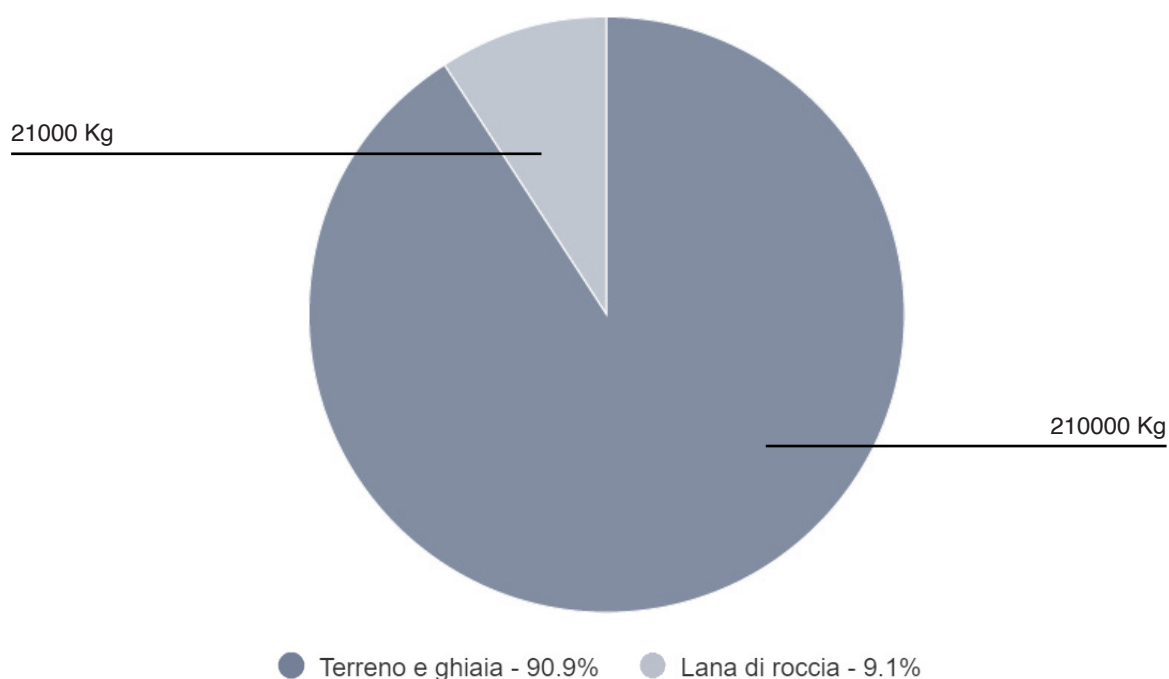
In base al contributo di ogni materiale, relativamente alle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, l'edificio risulta in classe A, essendo il valore pari a 351 KgCO₂e/mq, come si evince dal grafico. Questo risultato è stato ottenuto scegliendo materiali più sostenibili rispetto a materiali più comuni e tradizionali che, al contrario, impattavano maggiormente sull'ambiente (700 KgCO₂e/mq - Classe D).

Valutazione degli impatti ambientali

Circularità

Riutilizzati come materiale

| TIPI DI RISORSA | | |
|------------------|------------|-------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Terreno e ghiaia | 210 | 90,9% |
| Lana di roccia | 21 | 9,1% |
| TOTALE | 231 | 100,0% |



La prima soluzione per evitare il conferimento di materiale a fine vita in discarica e, di conseguenza, l'utilizzo di nuove materie prime è il metodo del riutilizzo. In particolare, questa soluzione prevede un'azione immediata che ripristini la funzionalità dell'oggetto anche diversa dall'originale senza subire alcun tipo di processo trasformativo.

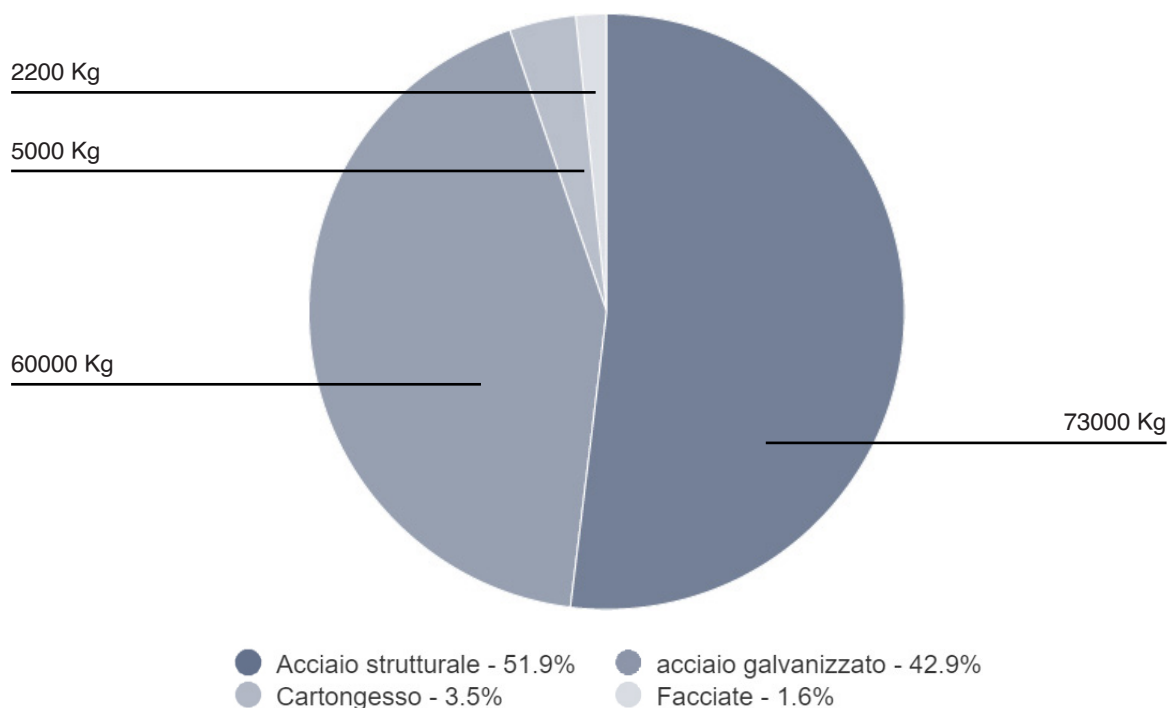
In questo caso, i materiali che si prestano a tale tipologia di fine vita sono la ghiaia, utilizzata come strato protettivo in copertura, e i pannelli di lana di roccia, montati a secco nelle diverse soluzioni tecnologiche.

In questo modo, si rimettono in un nuovo ciclo di vita circa 231 tonnellate di materiale, evitando numerosi sprechi e nuovi impatti ambientali.

Valutazione degli impatti ambientali

Riciclo

| TIPI DI RISORSA | | |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Acciaio strutturale | 73 | 52,0% |
| Acciaio galvanizzato | 60 | 42,9% |
| Cartongesso | 5 | 3,5% |
| Vetro stratificato e facciate | 2,2 | 1,6% |
| TOTALE | 140,2 | 100,0% |

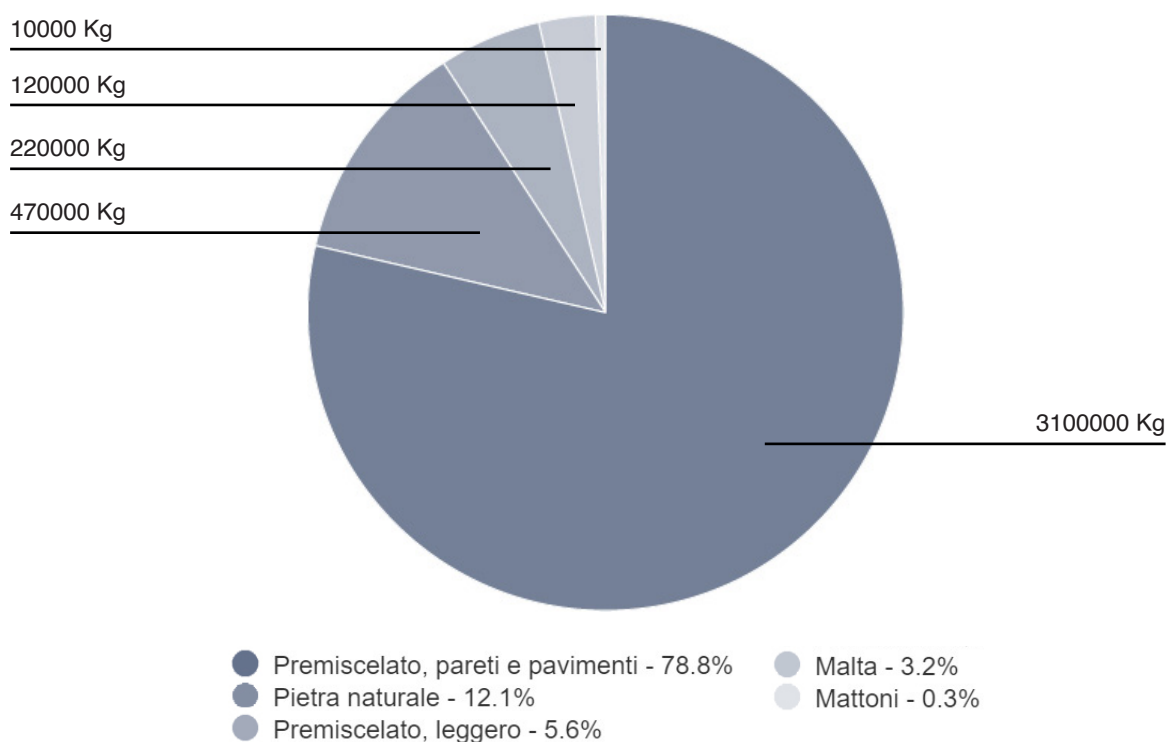


La seconda soluzione che permette di evitare sprechi materici, di ridurre l'utilizzo di materie prime e di limitare le emissioni è il metodo del riciclo. Il riciclaggio dei rifiuti è quel processo che permette di recuperare e riutilizzare un materiale che nella sua fase finale di vita si presenta come uno scarto. Letteralmente significa renderlo di nuovo utilizzabile anche con funzioni diverse dall'originarie. Nell'edificio Arsenale il materiale che più verrà riciclato sarà l'acciaio, sia normale che galvanizzato, utilizzato per le strutture del solaio del piano primo (travi HE e lamiera grecata) e per le capriate in copertura. Gli altri materiali che si prestano a fine vita a questa soluzione sono il vetro stratificato (facciate vetrate) e il cartongesso. Il loro riciclo consente un risparmio finale di circa 140 tonnellate di materie prime per la produzione di nuovi prodotti.

Valutazione degli impatti ambientali

Downcycling

| TIPI DI RISORSA | | |
|----------------------|-------------|---------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Calcestruzzo | 3100 | 78,8% |
| Pietra naturale | 470 | 12,1% |
| Calcestruzzo leggero | 220 | 5,6% |
| Malta | 120 | 3,2% |
| Mattoni forati | 10 | 0,3% |
| TOTALE | 3920 | 100,0% |



L'ultima alternativa che eviti lo smaltimento dei materiali direttamente in discarica è la metodologia del downcycling. Con questa soluzione il rifiuto viene trasformato in un materiale o in un oggetto dotato di un valore minore rispetto allo scarto da cui viene generato.

In questo progetto i materiali pensati a questa tipologia di fine vita sono il calcestruzzo, la malta, la pietra di rivestimento delle facciate e i mattoni forati. In particolare, queste componenti (circa 3920 tonnellate) sono destinate a essere frantumate ed essere utilizzate come inerte in nuovi prodotti.

Valutazione degli impatti ambientali

Materiale Recuperato 3.8 %



27 %

Materiale Restituito 50.9 %



4.4. Circolarità finale (modello base)

Materiale Recuperato 48.1 %



49 %

Materiale Restituito 50.6 %



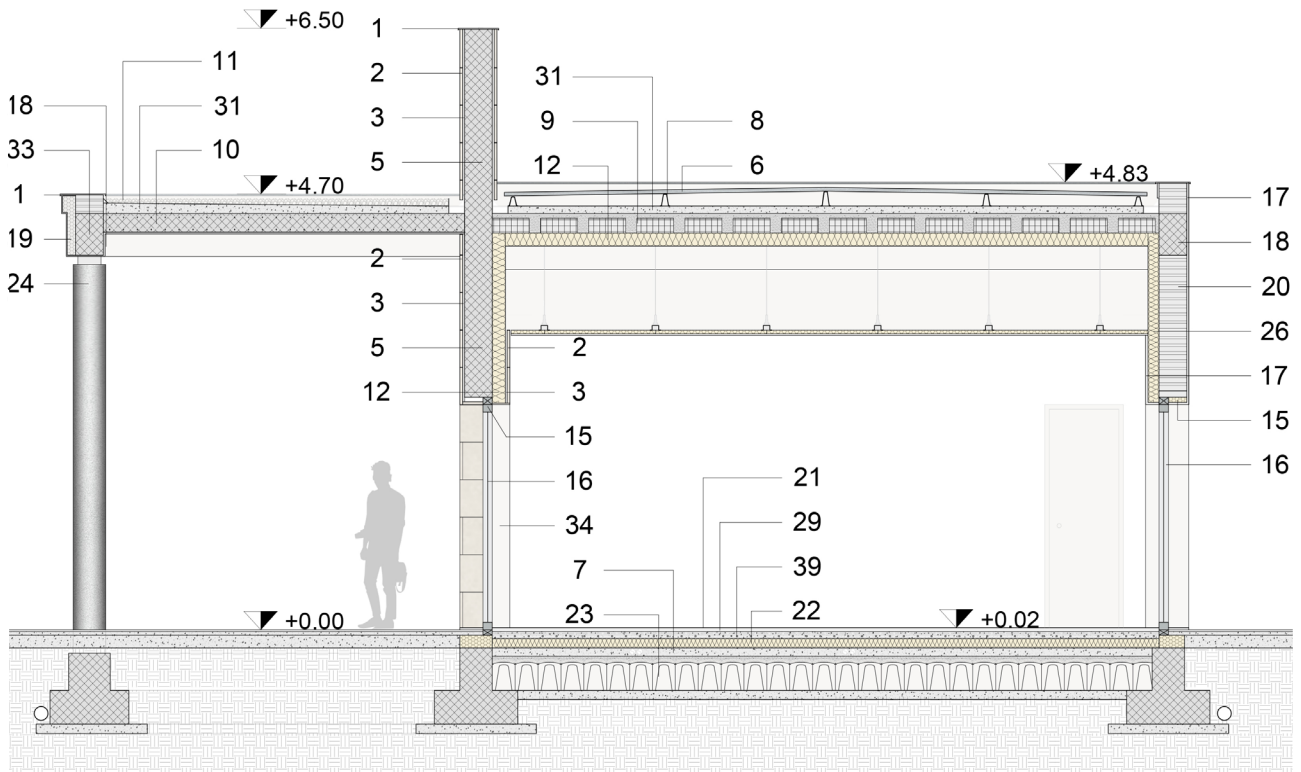
4.5. Circolarità finale (modello ottimizzato)

In base al contributo di ogni materiale, l'edificio raggiunge un punteggio di Building Circularity del 49%. Questo dato rappresenta la circolarità totale sia nell'uso dei materiali per il progetto che nella movimentazione a fine vita utile. È calcolato come la media dei materiali recuperati (che rappresenta l'uso di prodotti circolari nel progetto) e dei materiali restituiti (che rappresenta l'efficacia con cui vengono restituiti, invece di essere smaltiti o declassati in valore).

Questo risultato è stato ottenuto scegliendo e valutando tutti i fine vita e la sostenibilità dei materiali rispetto a materiali più comuni e tradizionali (circolarità del 27%).

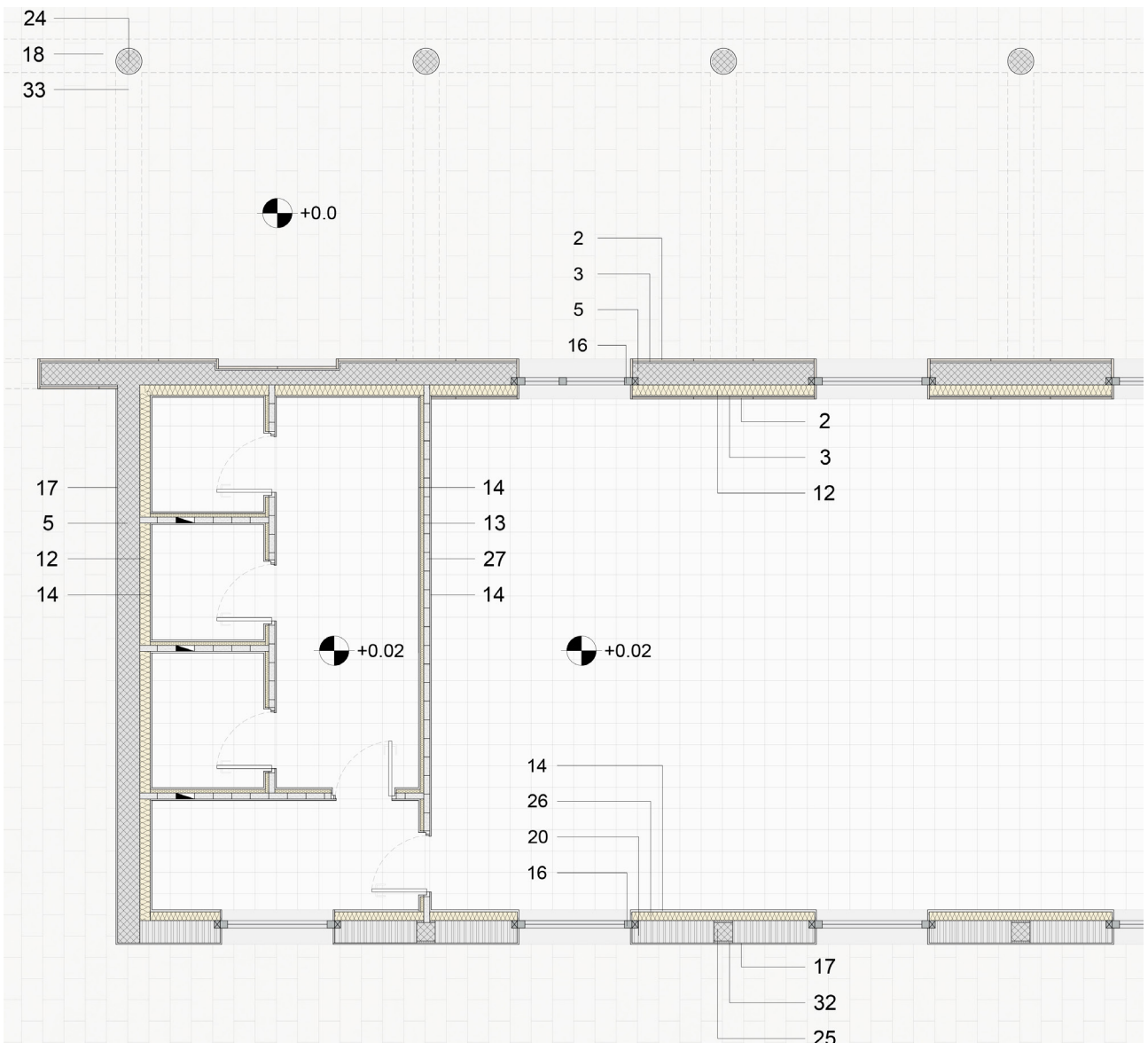
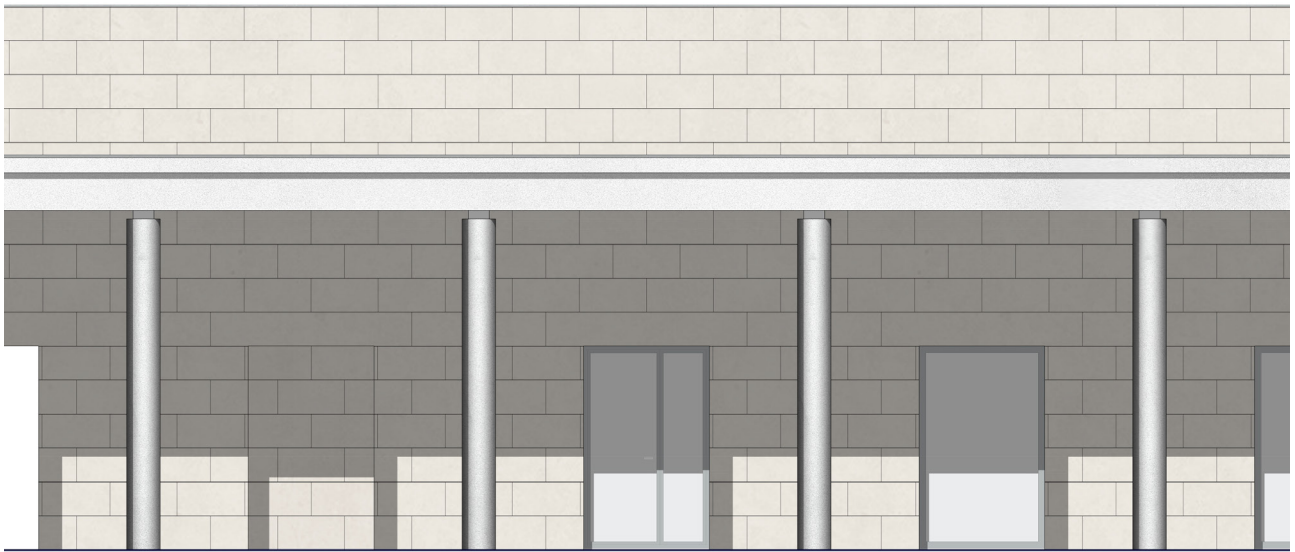
Portico e celle

Analisi dell'inventario



Sezione trasversale

- | | |
|--|--|
| 1 Soletta collaborante sp.15cm | 21 Trave HEA400 |
| 2 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.16cm | 22 Lastra in pietra bianca di Siracusa sp.3cm |
| 3 Lamiera grecata SAND 38 | 23 Corrente ORAS - Sistema AliStone 2 |
| 4 Massetto per impianti sp.8cm | 24 Piolo + sostegno |
| 5 Sostegno metallico puntuale h.variabile | 25 Blocco in calcestruzzo sp.8cm |
| 6 Cordolo in legno | 26 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.4cm |
| 7 Profilo angolare 150x60 | 27 Grata a scorrimento GruppoEsse |
| 8 Trave Warren HEA600 | 28 Intonaco sp.2cm |
| 9 Profilo di sostegno a L | 29 Diagonale Trave Warren HEA340 |
| 10 Pannello in compensato rivestito | 30 Scossalina |
| 11 Chiusura isolante | 31 Setto in calcestruzzo sp.30cm |
| 12 Tende a rullo per interni Solaris | 32 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.12cm |
| 13 Pannello in lana minerale sp.4.5cm | 33 Laterizio sp.12cm |
| 14 Lastra in cartongesso sp.1.25cm | 34 Pavimentazione in gres sp.2cm |
| 15 Curtain wall Schuco FSW 35PD | 35 Guaina impermeabile |
| 16 Montante in acciaio 8x15cm | 36 Pressore e copri pressore |
| 17 Montante in acciaio 8x12cm | 37 Traverso acciaio 8x12cm |
| 18 Malta sp.2cm | 38 Ganci di sospensione metallici |
| 19 Massetto di ripartizione dei carichi sp.4cm | 39 Sostegno a "C" metallico 18/48 |
| 20 Isolante in lana di roccia Rockwool sp.14cm | |



Partito architettonico

Analisi dell'inventario

Global Warming Potential (GWP)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Mattoni forati | Database OneClick LCA | 1271,8 | 50 km | Combinazione rimorchio | 5.57 kg CO ₂ e / mq |
| Calcestruzzo preconfezionato C30/37 | Database OneClick LCA | 717,5 mc | 60 km | Camion betoniera | 172.0 kg CO ₂ e / mc |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2491,9 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 161000 kg | 10 km | Combinazione rimorchio | 0.0654 kg CO ₂ e / kg |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 2979,3 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 2.22 kg CO ₂ e / mq |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 43500 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.11 kg CO ₂ e / kg |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 530000 kg | 40 km | Autocarro ribaltabile | 0.0029 kg CO ₂ e / kg |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2730,1 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 4.72 kg CO ₂ e / mq |
| Calcestruzzo preconfezionato C30/37 | Database OneClick LCA | 470,0 mc | 60 km | Camion betoniera | 172.0 kg CO ₂ e / mc |
| Calcestruzzo alleggerito | Database OneClick LCA | 322 mc | 60 km | Camion betoniera | 149.41 kg CO ₂ e / mc |
| Malta | Mapei | 267000 kg | 110 km | Combinazione rimorchio | 0.14 kg CO ₂ e / kg |
| Controsoffitto composito | RockWool Italia | 1896,6 mq | 1060 km | Combinazione rimorchio | 1.38 kg CO ₂ e / mq |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1360,6 mq | 60 km | Combinazione rimorchio | 5.61 kg CO ₂ e / mq |
| Acciaio per armatura | Database OneClick LCA | 4366 kg | 370 km | Combinazione rimorchio | 0.92 kg CO ₂ e / kg |
| Pignatte in laterizio | Centre Technique | 1000 mq | 60 km | Combinazione rimorchio | 19.6 kg CO ₂ e / mq |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | TRASPORTO | TIPO DI STRASPORTO | GWP |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|---------------------------------|
| Telai in acciaio | Union Des Metalliers | 0,29 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 182 kg CO ₂ e / mq |
| Vetro serramenti | VetroTech | 238,4 mq | 380 km | Combinazione rimorchio | 43.8 kg CO ₂ e / mq |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 122,98 mq | 350 km | Combinazione rimorchio | 18.41 kg CO ₂ e / mq |

Inventario Altre strutture e materiali

Analizzando i dati riportati nell'inventario riguardante il GWP, ci si può aspettare che la maggior parte degli impatti dati dalla produzione di materiali siano del calcestruzzo (componente nettamente più utilizzato nell'edificio).

Per le analisi finali, inoltre, si è considerato un consumo di energia elettrica annua di circa 27500 kWh (togliendo la metà fornita dai pannelli solari) e un consumo annuo di acqua di circa 250000 kg (stime eseguite con dati della relazione d'impianti).

Circularità

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Mattoni forati | Database OneClick LCA | 1271,8 | 30% | 4% | NO | Riempimento come inerte |
| Calcestruzzo preconfezionato C30/37 | Database OneClick LCA | 717,5 mc | 60% | 4% | NO | Frantumato in aggregato |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2491,9 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Lastre in pietra bianca di Siracusa | Casone Group | 161000 kg | 0% | 4,5% | SI | Riempimento come inerte |
| Lastre in cartongesso | Placoplantre | 2979,3 mq | 25% | 12,5% | NO | Riciclo |
| Intonaco | Miniera San Romedio Srl | 43500 kg | 0% | 13% | NO | Riempimento come inerte |

Inventario Strutture verticali e facciate

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------------|
| Ghiaia | Database OneClick LCA | 530000 kg | 0% | 0% | NO | Riuso |
| Lana di roccia | RockWool Italia | 2730,1 mq | 55% | 8% | SI | Riuso |
| Calcestruzzo preconfezionato C30/37 | Database OneClick LCA | 470,0 mc | 60% | 5% | NO | Frantumato in aggregato |
| Calcestruzzo alleggerito | Database OneClick LCA | 322 mc | 40% | 5% | NO | Frantumato in aggregato |
| Malta | Mapei | 267000 kg | 0% | 13% | NO | Riempimento come inerte |
| Controsoffitto composito | RockWool Italia | 1896,6 mq | 43% | 8,0% | NO | Riempimento come inerte |
| Gres porcellanato | Franchi Umberto S.p.A. | 1360,6 mq | 0% | 4,5% | NO | Riempimento come inerte |
| Acciaio per armatura | Database OneClick LCA | 4366 kg | 80% | 2% | NO | Riciclo |
| Pignatte in laterizio | Centre Technique | 1000 mq | 20% | 2% | NO | Riempimento come inerte |

Inventario Strutture orizzontali (travi solai e tetti)

| MATERIALE | FONTE | QUANTITA' | RICICLATO | RIFIUTO | SMONTABILE | FINE VITA |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|
| Telai in acciaio | Union Des Metalliers | 0,29 mq | 30% | 0% | NO | Riciclo |
| Vetro serramenti | VetroTech | 238,4 mq | 8% | 0% | NO | Riciclo |
| Porte in legno | Database OneClick LCA | 122,98 mq | 3% | 0% | SI | Riuso |

Inventario Altre strutture e materiali

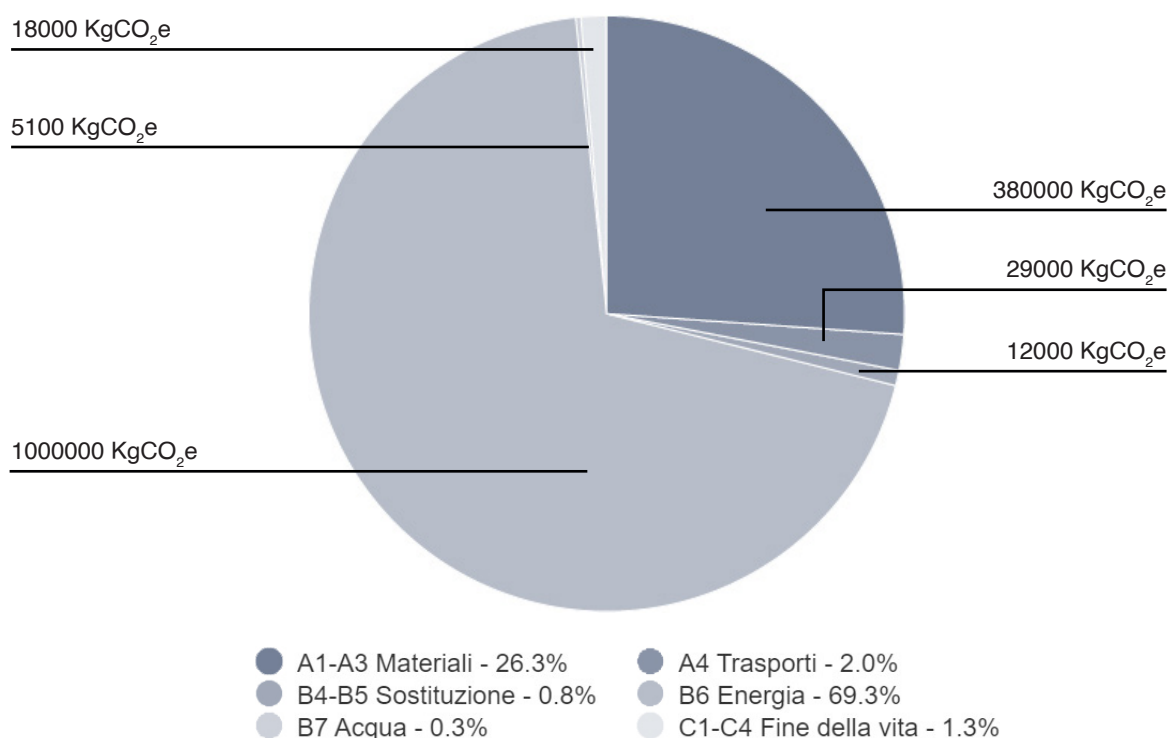
Osservando i dati riportati nell'inventario riguardante la circolarità è possibile notare che la maggior parte dei materiali scelti vengono prodotti con una parte di riciclato e, di conseguenza, utilizzano per la loro produzione meno materie prime.

Inoltre, tutti i materiali utilizzati non vengono smaltiti direttamente in discarica ma vengono destinati a un fine vita più virtuoso come il *downcycling*, il riutilizzo e il riciclo.

Valutazione degli impatti ambientali

Global Warming Potential (GWP)

| FASI DEL CICLO DI VITA | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| A1-A3 Materiali | 380000 | 26,3% |
| A4 Trasporto | 29000 | 2,0% |
| B1-B5 Manutenzione e sostituzione | 12000 | 0,8% |
| B6 Energia | 1000000 | 69,3% |
| B7 Acqua | 5100 | 0,4% |
| C1-CA Fine vita | 18000 | 1,3% |
| TOTALE | 1440600 | 100,0% |

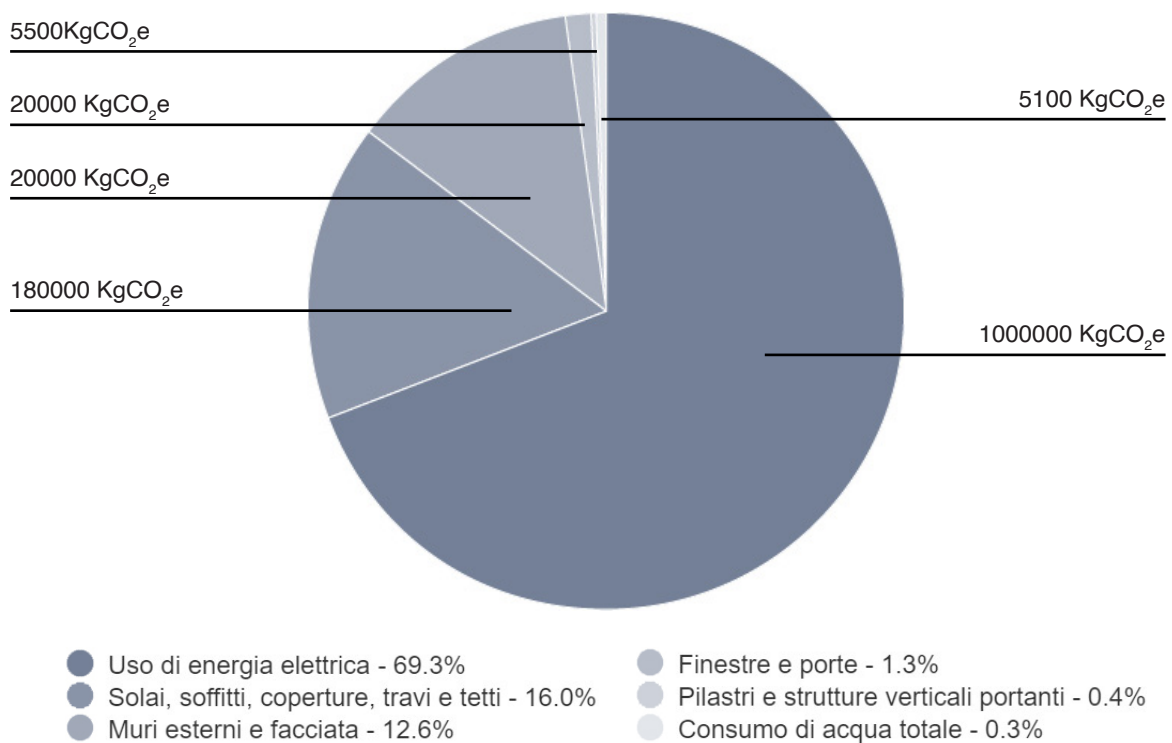


L'analisi relativa alle emissioni di KgCO₂e, ovvero i dati che esprimono il potenziale contribuito all'effetto serra a livello globale (GWP), evidenziano come all'interno del progetto, l'aspetto che maggiormente contribuisce a questo fenomeno, sia legato al consumo elettrico durante la vita utile dell'edificio (B6). Bisogna considerare il fatto che gli impatti dati dall'uso di energia sono legati alla vita stessa dell'edificio che, per quest'analisi, è stata considerata di 75 anni.

Nonostante questo, anche la produzione dei materiali usati (A1-A3) rappresenta una buona percentuale sugli impatti totali del ciclo di vita.

Valutazione degli impatti ambientali

| CLASSIFICAZIONI | | |
|---|---------------------|-------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Uso di energia elettrica | 1000000 | 69,3% |
| Solai, travi e coperture | 230000 | 16,0% |
| Muri esterni e facciata | 180000 | 12,6% |
| Finestre e porte | 20000 | 1,3% |
| Pilastrini e strutture verticali portanti | 5500 | 0,4% |
| Consumo di acqua totale | 5100 | 0,3% |
| TOTALE | 1440600 | 100,0% |

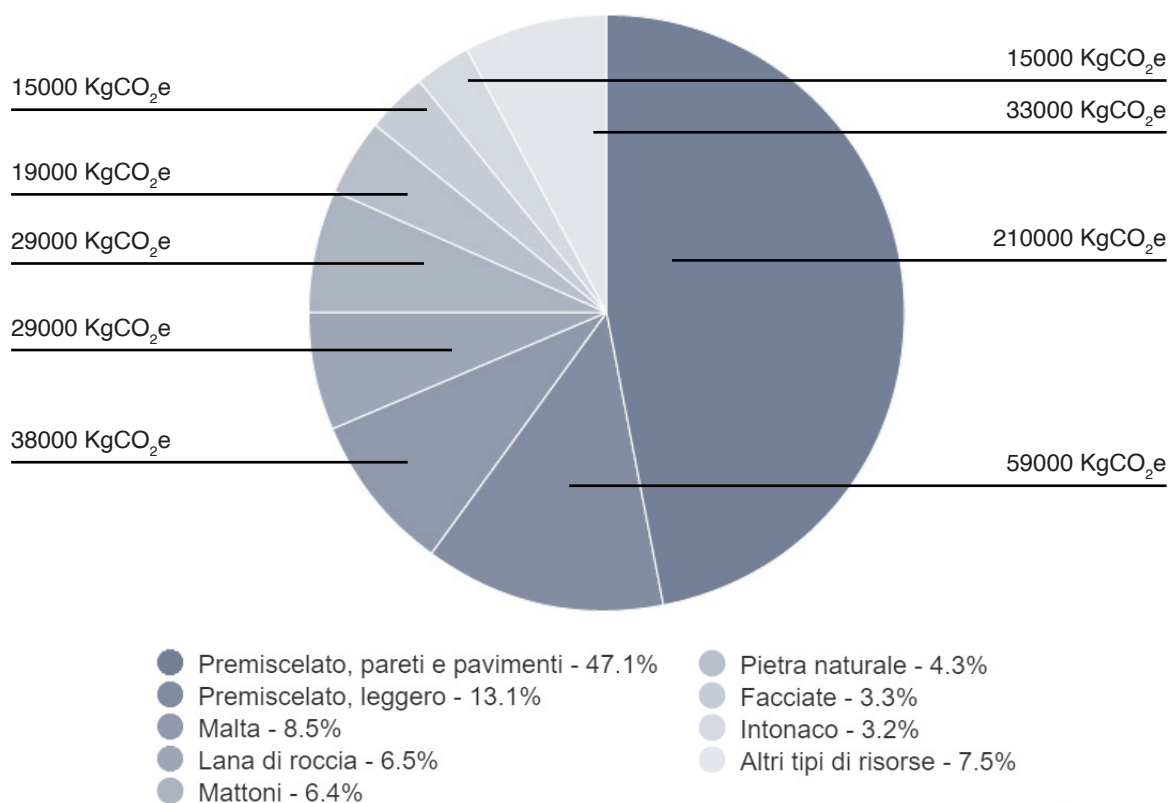


Dai grafici si evince che le strutture verticali e quelle orizzontali sono gli elementi che impattano maggiormente (escludendo il contributo dell'energia elettrica). Questo dato è confermato dal fatto che al loro interno contengono grandi quantità di calcestruzzo armato, materiale che, come si è notato nell'inventario, è tra i più impattanti.

Si aggiunge inoltre che, relativamente al trasporto dei materiali (A4), gli impatti sono molto ridotti in quanto si è cercato di utilizzare materiali e tecnologie prodotti il più vicino possibile al sito di progetto.

Valutazione degli impatti ambientali

| TIPI DI RISORSA | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|
| ELEMENTO | KgCO ₂ e | PERCENTUALE |
| Calcestruzzo | 210000 | 47,1% |
| Calcestruzzo leggero | 59000 | 13,1% |
| Malta | 38000 | 8,5% |
| Lana di roccia | 29000 | 6,5% |
| Mattoni forati | 29000 | 6,4% |
| Pietra naturale | 19000 | 4,3% |
| Vetro stratificato e facciata | 15000 | 3,3% |
| Intonaco | 15000 | 3,2% |
| Altra tipi di risorse | 33000 | 7,5% |
| TOTALE | 447000 | 100,0% |

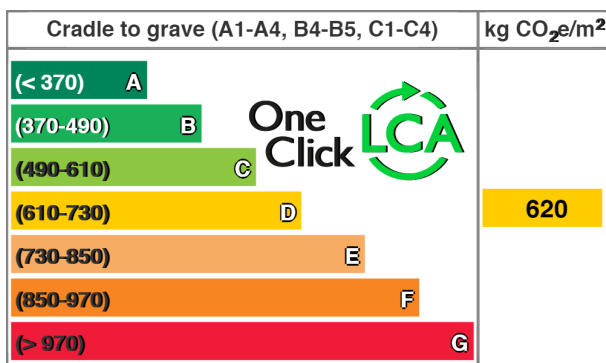


Prendendo in esame esclusivamente i contributi dei materiali usati, si evince che il calcestruzzo è la risorsa che impatta maggiormente (calcestruzzo strutturale 47.1% e calcestruzzo leggero 13.1%).

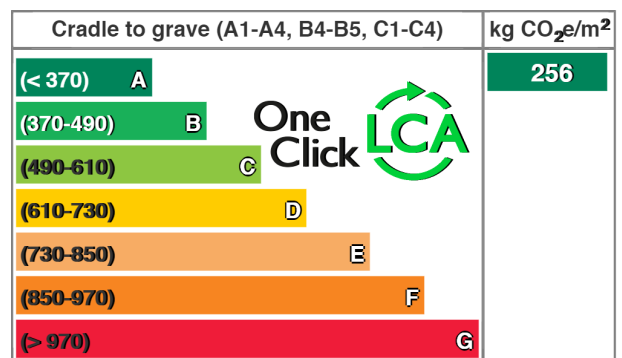
Valutazione degli impatti ambientali

| No. | Risorsa | Cradle to gate impacts (A1-A3) | Cradle to gate (A1-A3) |
|-----|--|----------------------------------|------------------------|
| 1. | Calcestruzzo preconfezionato, ordinario, generico, C28/35 (4000/5000 PSI) with CEM III/A, 60% GGBS content (300 kg/m ³ ; 18.7 lbs/ft ³ total cement) | 193 tonnellate CO ₂ e | 43.0 % |
| 2. | Lastre di acciaio zincato a caldo, Steel thickness range: 0.4-3.0 mm (0.015-0.12 in), zinc coating: 20 μm (787.4 μin) (0.28kg/m ² / 0.057 lbs/ft ² sheet steel), 100% recycled content | 74 tonnellate CO ₂ e | 16.5 % |
| 3. | Fogli di acciaio, generico, 100% recycled content, S235, S275 and S355 | 65 tonnellate CO ₂ e | 14.5 % |
| 4. | Sandstone cladding, 30 mm, 2550 kg/m ³ | 24 tonnellate CO ₂ e | 5.4 % |
| 5. | Rock wool insulation, L= 0.035 W/mK, R= 4.00 m ² k/W, 140 mm, 4.9 kg/m ² , Lambda=0.035 W/(m.K) | 22 tonnellate CO ₂ e | 5.0 % |
| 6. | Mortar, pre-blended, 1500 kg/m ³ (bulk), 2100 kg/m ³ (mixture) | 17 tonnellate CO ₂ e | 3.7 % |
| 7. | Calcestruzzo preconfezionato, depotenziato, generico, C12/15 (1700/2200 PSI), 40% recycled binders in cement (220 kg/m ³ / 13.73 lbs/ft ³) | 15 tonnellate CO ₂ e | 3.3 % |
| 8. | Marble slabs, 2 cm, 54 kg/m ² , 2700 kg/m ³ | 10 tonnellate CO ₂ e | 2.3 % |
| 9. | XPS insulation panels, L=0.035 W/mK, R=2.85 m ² k/W, 100 mm, 3.8 kg/m ² , 38 kg/m ³ , compressive strength 500 kPa, 40% recycled polystyrene, CO ₂ blowing agent, Lambda=0.035 W/(m.K) | 9,1 tonnellate CO ₂ e | 2.0 % |
| 10. | Fire-resistant Insulating Glass Unit (IGU), double glazed, 6-15-4, 25 mm, 25 kg/m ² | 5,5 tonnellate CO ₂ e | 1.2 % |

5.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato)



5.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base)



5.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato)

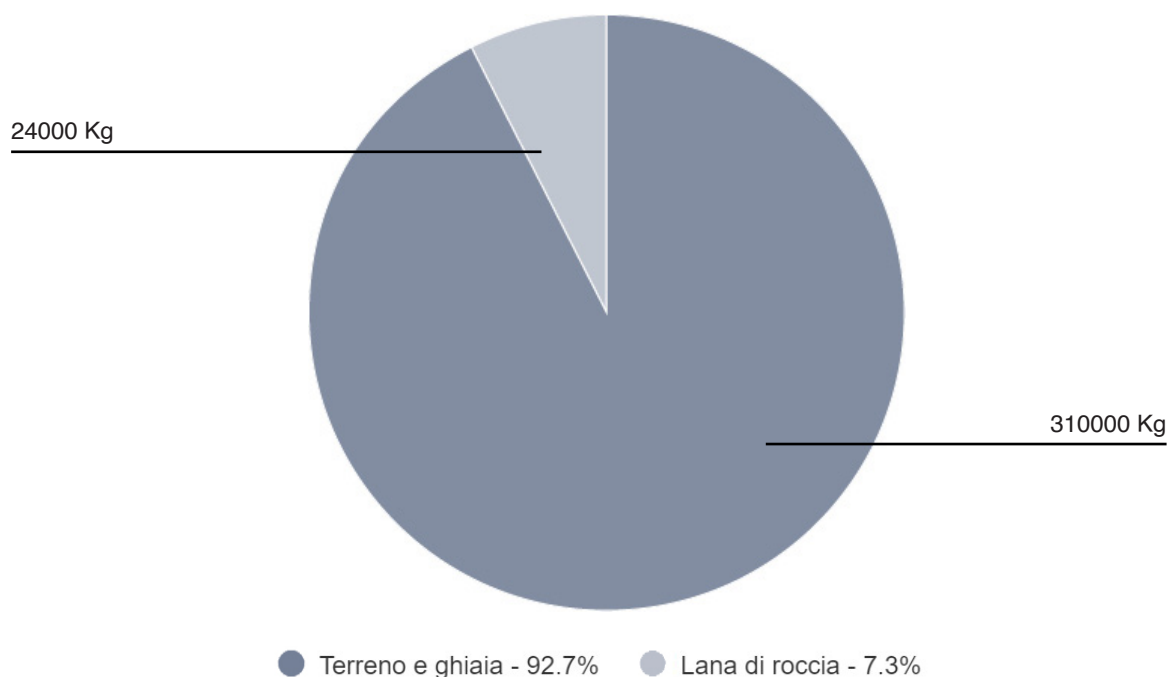
In base al contributo di ogni materiale, relativamente alle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, l'edificio risulta in classe A, essendo il valore pari a 256 KgCO₂e/mq, come si evince dal grafico. Questo risultato è stato ottenuto scegliendo materiali più sostenibili rispetto a materiali più comuni e tradizionali che, al contrario, impattavano maggiormente sull'ambiente (620 KgCO₂e/mq - Classe D).

Valutazione degli impatti ambientali

Circolarità

Riutilizzati come materiale

| TIPI DI RISORSA | | |
|------------------|------------|-------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Terreno e ghiaia | 310 | 92,7% |
| Lana di roccia | 24 | 7,3% |
| TOTALE | 334 | 100,0% |



La prima soluzione per evitare il conferimento di materiale a fine vita in discarica e, di conseguenza, l'utilizzo di nuove materie prime è il metodo del riutilizzo. In particolare, questa soluzione prevede un'azione immediata che ripristini la funzionalità dell'oggetto anche diversa dall'originale senza subire alcun tipo di processo trasformativo.

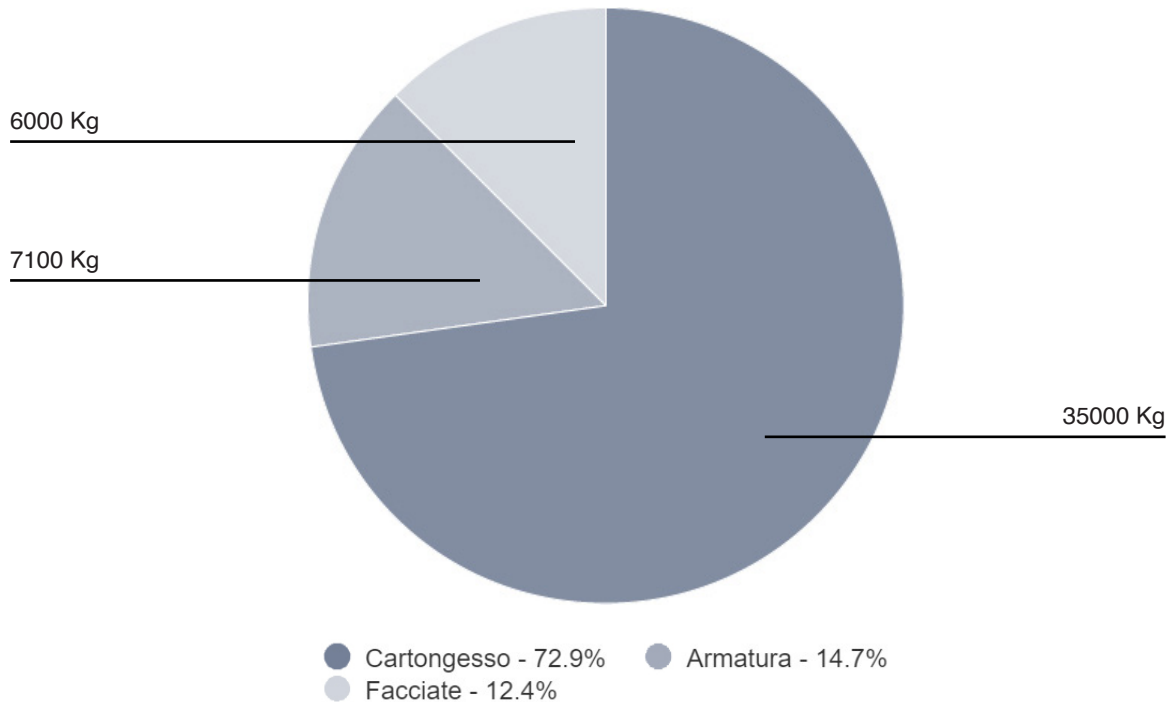
In questo caso, i materiali che si prestano a questa tipologia di fine vita sono la ghiaia, utilizzata come strato protettivo in copertura, e i pannelli di lana di roccia, montati a secco nelle diverse soluzioni tecnologiche.

In questo modo, si rimettono in un nuovo ciclo di vita circa 334 tonnellate di materiale, evitando numerosi sprechi e nuovi impatti ambientali.

Valutazione degli impatti ambientali

Riciclo

| TIPI DI RISORSA | | |
|-------------------------------|------------|---------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Cartongesso | 35 | 72,9% |
| Acciaio per armatura | 7,1 | 14,7% |
| Vetro stratificato e facciata | 6 | 12,4% |
| TOTALE | 48 | 100,0% |

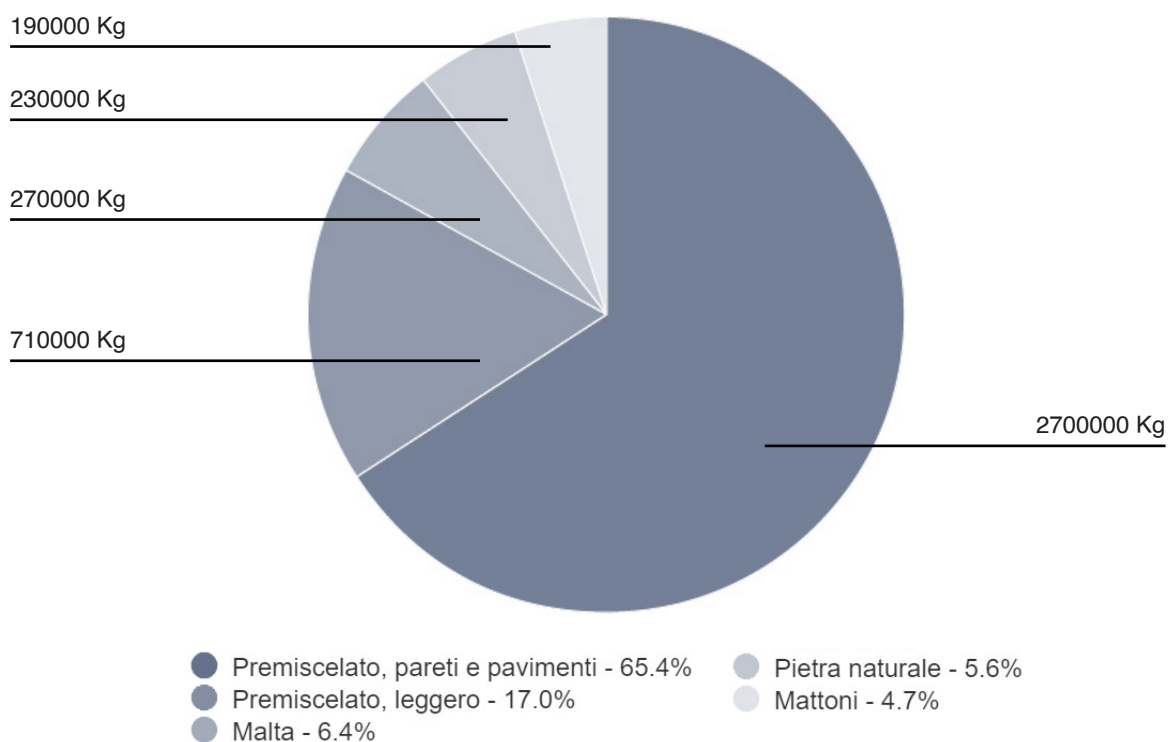


La seconda soluzione che permette di evitare sprechi materici, di ridurre l'utilizzo di materie prime e di limitare le emissioni è il metodo del riciclo. Il riciclaggio dei rifiuti è quel processo che permette di recuperare e riutilizzare un materiale che nella sua fase finale di vita si presenta come uno scarto. Letteralmente significa renderlo di nuovo utilizzabile anche con funzioni diverse da quelle originarie. Nell'ultimo edificio (portico e celle) i materiali che verranno riciclati sono il cartongesso, il vetro e i telai in acciaio dei serramenti e l'acciaio usato per armare le strutture. Il loro riciclo consente un risparmio finale di circa 48 tonnellate di materie prime per la produzione di nuovi prodotti.

Valutazione degli impatti ambientali

Downcycling

| TIPI DI RISORSA | | |
|----------------------|-------------|---------------|
| ELEMENTO | TONNELLATE | PERCENTUALE |
| Calcestruzzo | 2700 | 65,4% |
| Calcestruzzo leggero | 710 | 17,0% |
| Malta | 270 | 6,4% |
| Pietra naturale | 230 | 5,6% |
| Mattoni forati | 190 | 4,7% |
| TOTALE | 3680 | 100,0% |



L'ultima alternativa che eviti lo smaltimento dei materiali direttamente in discarica è la metodologia del downcycling. Con questa soluzione il rifiuto viene trasformato in un materiale o in un oggetto dotato di un valore minore rispetto allo scarto da cui viene generato.

In questo progetto i materiali pensati a questa tipologia di fine vita sono il calcestruzzo, la malta, la pietra di rivestimento delle facciate e i mattoni forati. In particolare, queste componenti (circa 3680 tonnellate) sono destinate a essere frantumate ed essere utilizzate come inerte in nuovi prodotti.

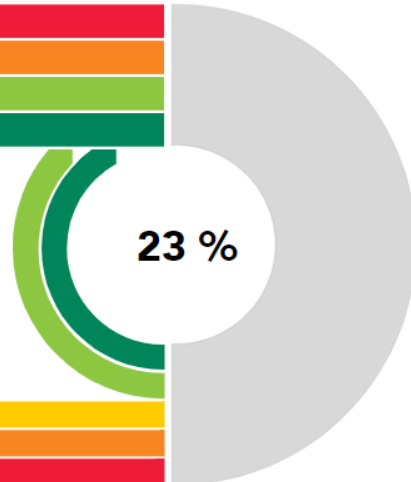
Valutazione degli impatti ambientali

Materiale Recuperato 4.2 %

| | |
|--------------|--------|
| Vergine | 95.8 % |
| Rinnovabile | 2.4 % |
| Riciclato | 1.7 % |
| Riutilizzato | 0 % |

Materiale Restituito 41 %

| | |
|---------------------------|--------|
| Riutilizza come materiale | 0 % |
| Riciclo | 3.8 % |
| Downcycling | 71.9 % |
| Utilizzare come energia | 2.4 % |
| Smaltimento | 3.9 % |



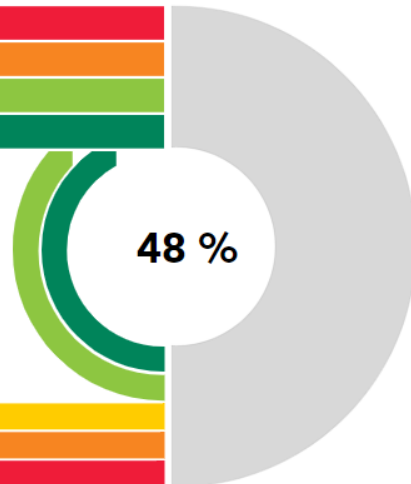
5.4. Circolarità finale (modello base)

Materiale Recuperato 42.4 %

| | |
|--------------|--------|
| Vergine | 57.6 % |
| Rinnovabile | 0.1 % |
| Riciclato | 42.3 % |
| Riutilizzato | 0 % |

Materiale Restituito 52.6 %

| | |
|---------------------------|-------|
| Riutilizza come materiale | 6.9 % |
| Riciclo | 1.1 % |
| Downcycling | 89 % |
| Utilizzare come energia | 0.1 % |
| Smaltimento | 2.9 % |



5.5. Circolarità finale (modello ottimizzato)

In base al contributo di ogni materiale, l'edificio raggiunge un punteggio di Building Circularity del 48%. Questo dato rappresenta la circolarità totale sia nell'uso dei materiali per il progetto che nella movimentazione a fine vita utile. È calcolato come la media dei materiali recuperati (che rappresenta l'uso di prodotti circolari nel progetto) e dei materiali restituiti (che rappresenta l'efficacia con cui vengono restituiti, invece di essere smaltiti o declassati in valore).

Questo risultato è stato ottenuto scegliendo e valutando tutti i fine vita e la sostenibilità dei materiali rispetto a materiali più comuni e tradizionali (circolarità del 23%).

Compensazione impatti

Compensazione impatti



6.1. Localizzazione Orniello



6.2. Localizzazione Bagolaro

Grazie all'analisi LCA dei singoli edifici è stato possibile conoscere il valore di CO₂ emessa dal l'intero progetto (considerando una vita utile pari a 75 anni). Suddividendo questo dato per in numero di anni considerati è possibile trovare il valore di emissioni di un anno.

Questo dato permette di svolgere un approfondimento il cui fine è una maggiore comprensione e consapevolezza delle ripercussioni che un intervento di questa portata e di queste dimensioni ha sull'ambiente. Si è quindi sviluppato un semplice calcolo volto a stimare il numero di alberi necessari per compensare l'emissione di anidride carbonica data dalla realizzazione del nuovo polo museale.

| EDIFICIO | EMISSIONI TOTALI | ANNI | EMISSIONI PER ANNO |
|-----------------|---------------------------|------|-------------------------------|
| Museo | 2470000 kgCo ₂ | 75 | 32933 kgCo ₂ /anno |
| Arsenale | 2033500 kgCo ₂ | 75 | 27113 kgCo ₂ /anno |
| Portico e celle | 1440600 kgCo ₂ | 75 | 19208 kgCo ₂ /anno |
| TOTALE | 5944100 kgCo ₂ | 75 | 79255 kgCo ₂ /anno |

Tabella riassuntiva emissioni

Le tipologie di alberature individuate per la compensazione sono il Bagolaro e l'Orniello. Sono state scelte specie di albusti perché sono molto diffusi nella zona mediterranea e, di conseguenza, anche a Siracusa. Gli alberi considerati hanno caratteristiche formali e dimensionali differenti, e inoltre, hanno una capacità di assorbimento diversa.

In particolare, il Bagolaro assorbe in media all'anno circa 140 kg di CO₂ ma occupa, dato il diametro della sua chioma di 15 metri, un'area di 225 metri quadrati, mentre l'Orniello assorbe circa 85 kg di CO₂ ma, data la sua chioma ridotta, occupa solo 36 metri quadrati¹.

Per questa stima si considera che ogni tipologia assorba la metà delle emissioni prodotte dal progetto.

| TIPOLOGIA | CO ₂ ASSORBITA IN 20 ANNI | CO ₂ ASSORBITA NEI PRIMI 5 ANNI | CO ₂ ASSORBITA MASSIMA ANNUA | CO ₂ ASSORBITA MEDIA PER ANNO | DIAMETRO CHIOMA | AREA OCCUPATA DA UN SINGOLO ALBERO |
|-----------|--------------------------------------|--|---|--|-----------------|------------------------------------|
| Bagolaro | 2200 kg | 103 kg | 155 kg | 140 kg | 15 m | 225 mq |
| Orniello | 1700 kg | 61 kg | 92 kg | 85 kg | 6 m | 36 mq |

Caratteristiche alberature scelte

¹ <https://www.gestireilverde.it/quanta-co2-viene-assorbita-da-un-albero/>

Compensazione impatti



Possibile disposizione alberature (area di progetto)



Percorso alberato - Ciclovia Rossana Maiorca (5 Km)

Compensazione impatti

Considerando che, in base alle condizioni ambientali, questi alberi sono in grado di assorbire tra i 85 e 140 kg di CO₂ all'anno e che ogni albero occupa uno spazio compreso tra 36 e 225 mq, dividendo le emissioni totali in modo equo, tra le due tipologie, è inevitabile notare come l'area necessaria per la nuova piantumazione sia rilevante: circa 80451 mq (circa 18 campi da calcio) per un totale di 749 spece arboree.

| TIPOLOGIA | CO ₂ ASSORBITA MEDIA PER ANNO | EMISSIONI ASSORBITE | NUMERO ALBERI NECESSARI | AREA OCCUPATA DA UN SINGOLO ALBERO | AREA OCCUPATA |
|-----------|--|---------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------|
| Bagolaro | 140 kg | 50% | 283 | 225 mq | 63675 mq |
| Orniello | 85 kg | 50% | 466 | 36 mq | 16776 mq |
| TOTALE | - | 100% | 749 | - | 80451 mq |

Tabella riassuntiva della compensazione degli impatti

Per la piantumazione degli alberi si sono prese in considerazione due zone. La prima corrisponde all'area di progetto, a cui verranno destinati circa 110 piante in modo tale da integrare gli spazi aperti di progetto.

La seconda area presa in esame è la ciclovia Rossana Maiorca che percorre tutta la costa del comune di Siracusa. Questa pista ciclopedonale è da molto tempo un'obiettivo di riforestazione urbana e un collegamento strategico che, partendo da Targia, intercetta alcune perle del Parco archeologico, l'isola di Ortigia e il mare¹.

I rimanenti 639 alberi permetteranno la completa creazione di un doppio filare alberato che costeggia il percorso della pista ciclopedonale per una lunghezza di circa 5 km.

¹ <https://www.siracusaoggi.it/siracusa-finanziamenti-per-opere-pubbliche-jackpot-da-12-mln-la-sfida-della-realizzazione/>

Bibliografia e sitografia

Indice delle figure

- 3.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato), pag. 31 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 3.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base), pag. 31 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 3.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato). pag, 31 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 3.4. Circolarità finale (modello base), pag. 35 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 3.5. Circolarità finale (modello ottimizzato), pag. 35 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)

- 4.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato), pag. 45 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 4.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base), pag. 45 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 4.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato), pag. 45 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 4.4. Circolarità finale (modello base), pag. 49 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 4.5. Circolarità finale (modello ottimizzato), pag. 49 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)

- 5.1. Materiali più utilizzati (modello ottimizzato), pag. 59 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 5.2. Carbon Heroes Benchmark (modello base), pag. 59 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 5.3. Carbon Heroes Benchmark (modello ottimizzato), pag. 59 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 5.4. Circolarità finale (modello base), pag. 63 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)
- 5.5. Circolarità finale (modello ottimizzato), pag. 63 (fonte: <https://www.oneclicklca.com/>)

- 6.1. Localizzazione Orniello, pag. 66 (fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Fraxinus_ornus/)
- 6.2. Localizzazione Bagolaro, pag. 66(fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Celtis_australis/)

Bibliografia

Organizzazione internazionale per la normazione, 2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006)*, Giugno 2006

Organizzazione internazionale per la normazione, 2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)*, Giugno 2006

Organizzazione internazionale per la normazione, 2006, *Environmental management (ISO 14000)*, Giugno 2006

The Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC, *Congresso di Vermont*, Canada, 1993

Sitografia

<https://www.siracusaoggi.it/siracusa-finanziamenti-per-opere-pubbliche-jackpot-da-12-mln-la-sfida-della-realizzazione/>

<https://www.gestireilverde.it/quanta-co2-viene-assorbita-da-un-albero/>

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Architettura - Architettura delle Costruzioni

Relatore:

Prof. Tomaso Monestiroli

Correlatori:

Prof. Vassillis Mpampatsikos

Prof. Fulvio Re Cecconi

Prof. Paolo Oliaro

Prof.ssa Paola Gallo Stampino

Studenti:

Lucrezia Borsari 995471

Michele Vezzoli 994342

Francesco Zugni 993926