

Materiali sostenibili per l'architettura

# **IMMUTABILI VARIAZIONI**

Progetto per il nuovo Polo Sportivo di Siracusa

Stefania **Celentano**

Daniela **Loliva**





**Politecnico di Milano**

Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni

Corso di Laurea Magistrale in Architettura delle Costruzioni

Anno Accademico 2022-2023

## **IMMUTABILI VARIAZIONI**

### **Progetto per il nuovo Polo Sportivo di Siracusa**

**Relatore:**

Prof. Tomaso Monestiroli

**Correlatori:**

Prof.ssa Paola Gallo Stampino

Prof. Vassilis Mpampatsikos

Prof. Paolo Oliaro

Prof. Fulvio Re Cecconi

**Candidati:**

Stefania Celentano, 994075

Daniela Loliva, 993811

9 Aprile 2024

# Indice

## **Abstract**

# **01** ARCHITETTURA E SOSTENIBILITÀ

1.1 Descrizione del progetto	10
1.2 La sostenibilità in architettura	12
1.3 Life Cycle Assessment	14

# **02** LCA DEL PROGETTO

2.1 Il processo metodologico	20
2.2 L'analisi dell'inventario	21
2.3 La valutazione degli impatti ambientali	36
2.4 L'interpretazione dei risultati	40

# **03** LE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>

3.1 La compensazione degli impatti	52
------------------------------------	----

## **Appendice**

## **Bibliografia**

## **Sitografia**

# Abstract

Il progetto di tesi si pone l'obiettivo di realizzare un nuovo Polo Sportivo nell'area costiera Targia, nella città di Siracusa. In questo contesto, attualmente occupato dal polo petrolchimico siracusano e destinato ad ospitare un campus universitario, si delinea la necessità di concepire la progettazione dello spazio su più ampia scala, al fine di garantire che l'intervento non si limiti semplicemente a risolvere un problema funzionale, ma diventi piuttosto un processo di rigenerazione e recupero. Il progetto si inserisce all'interno di un masterplan più ampio, il cui elemento generatore risulta essere un grande parco urbano, che collega la città al mare. Lo schema insediativo, apparentemente rigido e regolare, subisce delle variazioni in corrispondenza degli elementi caratterizzanti l'area, tra cui la Rada di Santa Panagia, mantenuta come memoria storica del luogo. È in corrispondenza di questa che si sviluppa il progetto del Polo Sportivo costituito dal Palazzetto dello Sport, dalla Piscina per Apnea e da una Torre Panoramica, che grazie alla sua forma

riesce ad assorbire le diverse inclinazioni e a definire ulteriormente lo spazio. Il carattere collettivo dei due edifici sportivi si identifica in due strutture ad aula, uguali nella forma ma che assumono inclinazioni diverse e che si collocano al di sopra di un basamento, elemento di mediazione tra paesaggio, suolo ed edificio. Il basamento diviene anche una grande piazza pavimentata, che si affaccia sul mare e che consente il collegamento non solo con il grande parco urbano, ma anche con il sistema residenziale adiacente. Al fine di attuare una progettazione integrata, la tesi sviluppa vari aspetti, tra cui quelli architettonici, strutturali, tecnologici, impiantistici ed ambientali, la cui integrazione mira a rispondere a un complesso panorama di esigenze, requisiti e prestazioni per raggiungere una progettazione attenta e consapevole. "Immutabili variazioni" è un concetto che, seppur apparentemente contraddittorio, riesce a raccontare la chiave del progetto: da una parte suggerisce l'idea di inalterabilità e permanenza, dall'altra racconta le possibilità di cambiamenti.





The thesis project aims to realise a new Sports Centre in the coastal area of Targia, in the city of Syracuse. In this context, currently occupied by the petrochemical complex of Syracuse and set to host a university campus, it is necessary to conceive design on a larger scale. The goal is to guarantee that the project will not only solve a functional problem, but it will rather start a process of urban regeneration. The project falls within a larger masterplan, in which the generative element is a wide linear park that connects the city to the sea. The settlement model, apparently rigid and regular, undergoes variations in correspondence with the elements that characterise the area, including the Santa Panagia Cove, preserved as a historical memory of the place. In this location the new Sports Centre will develop: it consists of a Sports Arena, a Freediving Pool and a Panoramic Tower, whose form ranges to absorb the different inclinations and further defines the space. The collective character of the two sports buildings is embodied in two hall structures, identical in form

but with two different inclinations. These structures are placed above a podium, a mediating element between landscape, ground and building. The podium is also a large paved square, overlooking the sea and facilitating connections not only with the linear park but also with the residential system. In order to improve an integrated design, the thesis develops multiple aspects including architectural, structural, technological, plant engineering and environmental considerations. The integration of these aspects aims to respond to a complex landscape of needs, requirements and performances, to achieve a careful and conscious design. "Immutabili variazioni" represents a concept that - although apparently contradictory - is able to convey the essence of the project. On one hand it evokes the idea of permanence and inalterability, while on the other hand, it describes the possibilities of change.

01

# **ARCHITETTURA E SOSTENIBILITÀ**

## 1.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La tesi sviluppa il progetto di un impianto sportivo che si colloca nell'area costiera **Targia a Siracusa**, attualmente occupata dal polo petrolchimico siracusano e destinata ad ospitare un campus universitario. In questo contesto, si evidenzia l'importanza di concepire la progettazione dello spazio a una scala più ampia, al fine di garantire che l'intervento non si limiti semplicemente a risolvere un problema funzionale, ma diventi piuttosto un processo di rigenerazione e recupero.

La dimensione dell'area e la sua natura morfologica hanno permesso di definire un **grande parco urbano**, elemento generatore del progetto e luogo della collettività. Al suo interno, sono le architetture dei singoli edifici e le interconnessioni tra di essi a definire la configurazione dei luoghi.

Il masterplan, basato su un impianto regolare e ripetibile, presenta degli elementi

di spicco in corrispondenza dei quali subisce delle variazioni, tra cui la Rada di Santa Panagia. È proprio in corrispondenza di questo "asse del mare" che si sviluppa il progetto del **Polo Sportivo**.

Il processo compositivo nasce dalla definizione di **due edifici ad aula**, uguali nella forma ma diversi nel loro orientamento, caratterizzati da uno spazio indiviso e continuo che governa l'intera composizione. I due volumi, che ospitano un **Palazzetto dello Sport** e una **Piscina per Apnea**, sono posti al di sopra di un **basamento**, che accoglie gli ambienti accessori e che al livello superiore si configura come una grande piazza pavimentata. A completare la composizione, è posta una **torre di pianta circolare** che grazie alla sua forma e alla sua collocazione riesce ad assorbire le diverse inclinazioni e a definire la misura dello spazio che si crea tra i due edifici.

La progettazione si è concentrata su vari aspetti, tra cui quelli architettonici, strutturali, tecnologici, impiantistici ed ambientali, con l'obiettivo di coordinare e integrare organicamente le diverse discipline coinvolte nella pratica edilizia.

Questo elaborato illustra il processo che ha portato alla **scelta consapevole dei materiali** per la realizzazione del complesso edilizio, attraverso lo studio delle loro caratteristiche, delle loro proprietà principali e del loro comportamento nel tempo. Di supporto a questa fase è stata condotta l'**analisi del Ciclo di Vita** dei materiali, che ha seguito l'approccio "***From cradle to grave***" (dalla Culla alla Tomba). Il software *OneClick LCA* ha consentito di categorizzare i diversi materiali impiegati secondo molteplici parametri come le caratteristiche tecniche, la quantità, la vita utile, la distanza dal sito di progetto, e l'impatto energetico. Per approfondire e arricchire lo studio è stato eseguito un **confronto tra due ipotesi** progettuali diverse nei materiali con l'obiettivo di

individuare la scelta più sostenibile.

I dati che emergono da questa analisi portano con sé una serie di riflessioni e soluzioni che migliorano il progetto arricchendolo di una più completa e attenta sensibilità in merito alla **sostenibilità ambientale** per una **progettazione responsabile e consapevole**.

## 1.2 LA SOSTENIBILITÀ IN ARCHITETTURA

Il **concetto di sostenibilità** è stato introdotto per la prima volta nel 1972 a Stoccolma durante la *Conferenza dell'ONU sull'ambiente*<sup>1</sup>. Tuttavia, solo nel 1987 è stato definito in modo chiaro l'obiettivo dello sviluppo sostenibile con la pubblicazione del *Rapporto Brundtland*<sup>2</sup>. Si definisce lo **sviluppo sostenibile** "uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri"<sup>3</sup>.

Il medesimo rapporto ha presentato i **tre pilastri fondamentali della sostenibilità ambientale, sociale ed economica** (ESG). Esiste tra loro una forte interconnessione, poiché ogni azione eseguita in ognuno di questi ambiti ha impatti diretti sugli altri.

Dunque, per raggiungere il concetto di sviluppo sostenibile si è reso necessario stabilire una serie di **accordi e obiettivi** internazionali, che



sono stati poi implementati su scala nazionale e nelle comunità coinvolte. I più noti tra questi sono:

- la *Convenzione quadro delle Nazioni Unite* sui cambiamenti climatici e sui protocolli, la quale stabilisce gli impegni per ridurre le emissioni di gas serra;
- la *Convenzione sulla diversità biologica (CBD)*, volta a promuovere la conservazione della biodiversità;
- l'*Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, un programma d'azione

1. Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano, tenutasi a Stoccolma nel 1972

2. Rapporto finale, denominato "Our Common Future", della commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo istituita in ambito ONU nel 1983 e presieduta da Gro Harlem Brundtland

3. Definizione di sviluppo sostenibile tratta dal Rapporto Brundtland

Fig. 1 Schema dello sviluppo sostenibile

per le persone, il pianeta e la prosperità, sottoscritta dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU.

Nello specifico quest'ultima fissa **17 Obiettivi** per lo Sviluppo Sostenibile da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale entro il 2030.



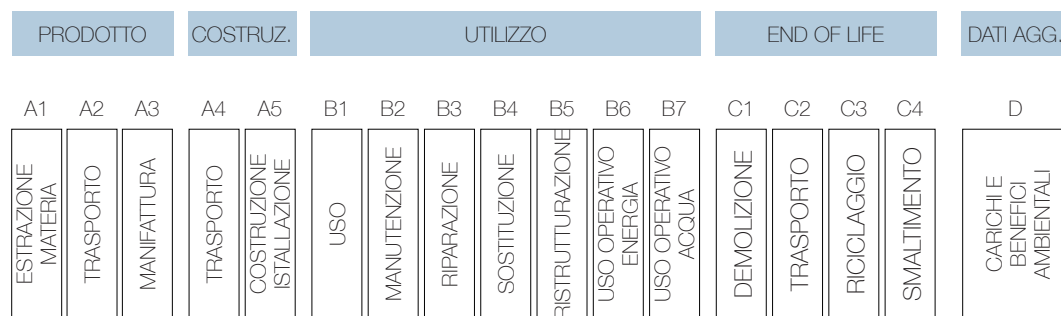
Fig. 2  
I 17 obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile fissati dall'Agenda 2030

## 1.3 LIFE CYCLE ASSESSMENT

La **Valutazione del Ciclo di Vita** (Life Cycle Assessment) è un elemento chiave per implementare una *Politica Integrata dei Prodotti* ed è il principale strumento pratico del *“Life Cycle Thinking”*. Questo metodo fornisce una valutazione oggettiva e una quantificazione dei carichi energetici, degli impatti ambientali e dei potenziali effetti legati a un prodotto, processo o attività lungo l'intero ciclo di vita, dalla fase di acquisizione delle materie prime a quella di fine vita (“dalla Culla alla Tomba”).

Il ciclo di vita di un prodotto è diviso in **quattro fasi** principali:

- Produzione dei materiali (fasi A1-A3)
- Costruzione (fasi A4-A5)
- Uso, vita utile (fasi B1-B7)
- Fine vita (fasi C1-C4)
- Benefici oltre i confini del sistema (fase D)



**Fig. 3**  
Schema delle fasi del ciclo di vita secondo la normativa europea





**Fig. 4**  
*Schema delle fasi del ciclo di vita*

La **prima fase** coinvolge l'estrazione delle materie prime, la produzione dei materiali e il loro trasporto dal luogo di estrazione al cantiere. La **fase successiva** comprende il trasporto, i processi di fabbricazione e di costruzione del prodotto. La **fase B** raggruppa la fase di utilizzo dell'edificio, le riparazioni, le ristrutturazioni e le sostituzioni. La **fase C** coinvolge i processi di fine vita dell'organismo edilizio. L'**ultima fase** include gli impatti ambientali positivi e negativi associati all'adozione di materiali riciclati, che non vengono inclusi nella durata di vita dell'edificio ma sono considerati come dati supplementari.

All'interno dell'analisi del Ciclo di Vita (LCA), la **sostenibilità** è prevalentemente esaminata dal punto di vista ambientale. Tuttavia, è possibile ampliare questa analisi includendo anche aspetti sociali (S-LCA) ed economici (E-LCA). Le normative che regolano la LCA includono le *UNI EN ISO 14040*, *14044*, *15804+A1* e *15978*.

L'analisi LCA comprende **quattro fasi**:

- **la definizione degli obiettivi e del campo di applicazione;**
- **l'analisi dell'inventario** (Life Cycle Inventory, LCI);
- **la valutazione dell'impatto** (Life Cycle Impact Assessment, LCIA);
- **l'interpretazione** (Life Cycle Interpretation).

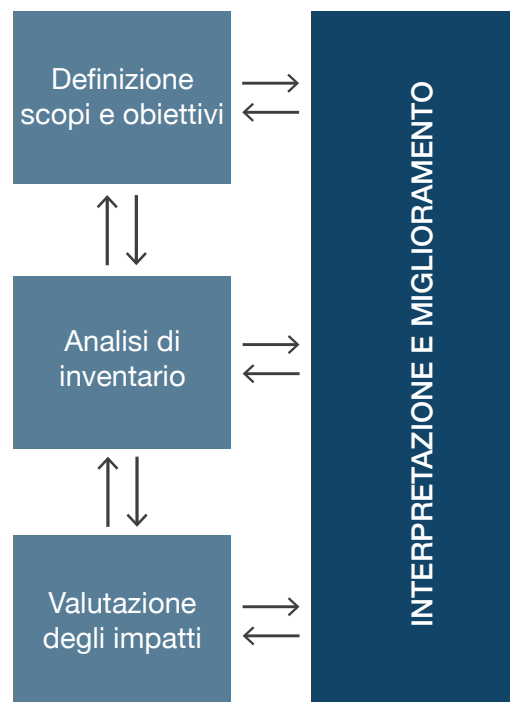
La **fase iniziale** dell'analisi consiste nella definizione degli scopi, degli obiettivi e delle categorie di impatto da esaminare. Particolare attenzione è data alla definizione dei confini del sistema analizzato, che è costituito da unità di processo interconnesse attraverso flussi di prodotti, come definito dalla *norma ISO 14040*. Inoltre, si attribuisce grande importanza all'identificazione dell'unità funzionale, che rappresenta il prodotto, il servizio o la funzione su cui basare l'analisi e il confronto con alternative possibili.

Successivamente, la **fase di realizzazione e analisi dell'inventario** (LCI) coinvolge la raccolta di dati utilizzati

per quantificare gli impatti generati dal sistema analizzato. Questa fase prevede la creazione di un diagramma di flusso per identificare le operazioni principali del processo, la raccolta di dati primari, secondari e terziari e l'elaborazione dei risultati in diverse categorie relative all'unità funzionale precedentemente identificata.

La **valutazione degli impatti** si suddivide in due fasi obbligatorie (classificazione e caratterizzazione) e due facoltative (normalizzazione e pesatura). La **classificazione** suddivide i dati raccolti in categorie d'impatto specifiche a livello locale, regionale e globale. La **caratterizzazione** mira a determinare in modo omogeneo e quantitativo il contributo delle singole emissioni attraverso indicatori specifici.

L'**ultima fase** prevede l'interpretazione dei risultati e le attività di miglioramento. Vengono, dunque, analizzati i risultati per identificare le componenti del sistema da migliorare, al fine di mitigare gli impatti ambientali generati.



**Fig. 5**  
*Schema delle fasi di lavoro secondo la norma ISO 14040*

02

# **LCA DEL PROGETTO**

## 2.1 IL PROCESSO METODOLOGICO

L'analisi LCA si pone l'obiettivo di valutare l'impatto ambientale del progetto, studiandone le scelte compositive e costruttive.

L'analisi segue l'approccio "***From cradle to grave***" (dalla Culla alla Tomba). Si focalizza principalmente sulle fasi di produzione e trasporto delle componenti edilizie (A1-A4), sull'impiego di energia (B6) e sul fine vita delle componenti (C3-C4, D). I **flussi in entrata** sono sia le materie prime utilizzate nella realizzazione e nel processo di smaltimento o di riciclo, sia l'energia necessaria per l'utilizzo dell'edificio. I **flussi in uscita** comprendono le emissioni gassose e i rifiuti generati durante la produzione, il trasporto dei materiali, l'utilizzo dell'edificio e il fine vita delle diverse componenti.

L'obiettivo di questo studio è stato esaminare e migliorare l'impatto dei due edifici progettati, analizzando

i componenti costruttivi, i consumi energetici e la gestione finale dei materiali. L'analisi LCA si propone di ottimizzare l'utilizzo delle risorse, i metodi di produzione e di minimizzare gli impatti ambientali attraverso l'eco-design.

Per effettuare l'analisi LCA è stato utilizzato il software *OneClick LCA*. Grazie al plug-in per i *programmi BIM*, è stato possibile inserire ed analizzare il modello tridimensionale realizzato con il software *Autodesk Revit*.

## 2.2 L'ANALISI DELL'INVENTARIO

La fase successiva dell'analisi consiste in un'**operazione di inventario** dei dati relativi alle fasi del ciclo di vita dell'oggetto in esame. Si identificano i dati d'ingresso e d'uscita dal sistema per fornire una valutazione quantitativa dell'analisi. Questa fase è la più estesa e complessa dell'analisi LCA e comprende diverse fasi: la creazione di un modello, la raccolta dei dati, la loro validazione e il loro successivo trattamento.

Per determinare le quantità dei vari materiali utilizzati, è stata effettuata una valutazione dettagliata attraverso un **computo metrico**, che ha definito con precisione sia i materiali che le geometrie. Questo è stato eseguito utilizzando il software *Autodesk Revit*, successivamente importato nel software *OneClick LCA* tramite un plug-in. Con l'ausilio del software, i dati raccolti sono stati assegnati alle diverse unità del processo, associando a ciascun materiale una specifica Dichiarazione Ambientale

di Prodotto (EPD). Infine, sono state definite altre informazioni cruciali per una valutazione completa, come la **distanza** e il **tipo di trasporto**, la **percentuale di materiale riciclato**, i **rifiuti** prodotti e la loro **destinazione finale**. Tutti questi dati sono stati organizzati in tabelle divise in categorie come strutture verticali, orizzontali e altre specifiche. La compilazione di queste tabelle ha richiesto un **approccio iterativo**, combinando diversi dati e risultati per identificare le soluzioni con il **minor impatto ambientale** e la **maggiore sostenibilità**.

Al fine di comprendere l'impatto ambientale del complesso edilizio, è stato utile lo sviluppo di due modelli BIM, analoghi per dimensioni e geometrie ma differenti per la natura dei materiali.

## Alternativa n.1

L'alternativa n.1 è basata sulle scelte tecnologiche adottate durante la fase di progettazione. Tutti i materiali sono stati inseriti nel software *OneClick LCA* e successivamente modificati scegliendo quelli con minore impatto ambientale.

I **materiali** della struttura portante sono rimasti invariati: per l'aula è stato, dunque, selezionato l'**acciaio**, mentre per il basamento il **calcestruzzo**. L'unica modifica apportata ha riguardato l'isolante. Rispetto alle scelte iniziali, che prevedevano pannelli in lana di roccia, si è optato per pannelli in **fibra di canapa**. Il vantaggio di tale materiale è la possibilità di realizzare edifici più sostenibili ed efficienti, in particolare nelle aree mediterranee a clima caldo temperato.

I test effettuati dall'ente di ricerca italiano che opera nei settori dell'energia, dell'ambiente e delle nuove tecnologie ENEA hanno dimostrato che la fibra di canapa presenta delle ottime prestazioni energetiche, una bassa conducibilità

termica e una buona resistenza al fuoco. Rispetto alla lana di roccia, infatti, la fibra di canapa ha un minore impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo e risulta, dunque, più sostenibile. Inoltre, la sua coltivazione è benefica sia per la biodiversità che per l'agricoltura, in quanto con le sue radici riesce ad aerare il suolo e ad assorbire le sostanze inquinanti.<sup>4</sup>

4.

*Dati ricavati dal sito <https://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/la-fibra-di-canapa-come-isolante-funziona-secondo-i-nuovi-test-dellenea/>*



## 1. Fondazioni e sottostruttura

Fondazione, sottosuolo, seminterrato e muri di sostegno

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	3,88 m <sup>3</sup>	0,52 t	Calcestruzzo frantumato

## 2. Strutture verticali e facciata

Muri esterni e facciata

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	99 m <sup>2</sup> x 250 mm	4,70 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	104,92 m <sup>2</sup> x 300 mm	6 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1990 m <sup>3</sup>	358 t	Calcestruzzo frantumato
Isolante in fibra di canapa	168,15 m <sup>2</sup> x 30 mm	16 kg	Discarica
Isolante in fibra di canapa	9315,15 m <sup>2</sup> x 50 mm	1,5 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	1242,10 m <sup>2</sup> x 70 mm	0,28 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	1650,91 m <sup>2</sup> x 100 mm	0,53 t	Discarica
Pannello in cartongesso	1109,12 m <sup>2</sup> x 12,5 mm	2,6 t	Riciclo del gesso
Pannello in cartongesso	11817 m <sup>2</sup> x 25 mm	56 t	Riciclo del gesso
Pannello in cartongesso	157,80 m <sup>3</sup>	30 t	Riciclo del gesso
Profili strutturali laminati a caldo	18,02 m <sup>3</sup>	103 t	Riciclaggio dell'acciaio
Vetro	2001,09 m <sup>2</sup>	5,90 t	Riciclaggio del vetro

Colonne e strutture verticali portanti

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	755,91 m <sup>3</sup>	136 t	Calcestruzzo frantumato
Lamiere di acciaio	226,93 m <sup>3</sup>	1594 t	Riciclaggio dell'acciaio

### 3. Strutture orizzontali: travi, solai e coperture

Solai, solai di copertura, travi e tetto

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	75369,53 m <sup>2</sup> x 75 mm	850 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	104,33 m <sup>2</sup> x 100 mm	2 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1109,33 m <sup>2</sup> x 150 mm	32 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	4158,72 m <sup>2</sup> x 180 mm	142 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1503,46 m <sup>2</sup> x 230 mm	66 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	7330,84 m <sup>2</sup> x 450 mm	627 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	938,44 m <sup>3</sup>	178 t	Calcestruzzo frantumato
Isolante in fibra di canapa	12392,57 m <sup>2</sup> x 20 mm	0,79 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	11633,41 m <sup>2</sup> x 80 mm	3 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	7244,56 m <sup>2</sup> x 100 mm	2,30 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	5662,18 m <sup>2</sup> x 220 mm	4 t	Discarica
Lamiere di acciaio	5662,18 m <sup>2</sup> x 4 mm	159 t	Riciclaggio dell'acciaio
Lamiere di acciaio	257,54 m <sup>3</sup>	1805 t	Riciclaggio dell'acciaio

### 4. Altre strutture e materiali

Altre strutture e materiali

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	342,05 m <sup>3</sup>	70 t	Calcestruzzo frantumato

Finiture e rivestimenti

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Pavimento in legno massello	11324,38 m <sup>2</sup> x 24 mm	23 t	Incenerimento del legno
Rivestimento in arenaria	16180,08 m <sup>2</sup> x 50 mm	8 t	Frantumazione

**Tab. 1**  
*Alternativa n. 1*  
*I materiali da costruzione*

## Alternativa n.2

L'alternativa n.2 ha previsto la sostituzione della struttura in acciaio delle due aule con una in **legno**.

La volontà è stata quella di ricercare una **riduzione dell'impatto ambientale** della prima alternativa, nel tentativo di dimostrare le potenzialità di un approccio attento alla questione ambientale rispetto all'ipotesi di una costruzione tradizionale in acciaio. L'impiego del legno, infatti, influisce sull'efficienza ambientale consentendo un salto di classe nella valutazione LCA.

Rispetto all'alternativa n.1, la struttura in **calcestruzzo** del basamento non ha subito modifiche.

## 1. Fondazioni e sottostruttura

Fondazione, sottosuolo, seminterrato e muri di sostegno

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	3,88 m <sup>3</sup>	0,52 t	Calcestruzzo frantumato

## 2. Strutture verticali e facciata

Muri esterni e facciata

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	99 m <sup>2</sup> x 250 mm	4,70 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	104,92 m <sup>2</sup> x 300 mm	6 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1990 m <sup>3</sup>	358 t	Calcestruzzo frantumato
Isolante in fibra di canapa	168,15 m <sup>2</sup> x 30 mm	16 kg	Discarica
Isolante in fibra di canapa	9315,15 m <sup>2</sup> x 50 mm	1,50 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	1242,10 m <sup>2</sup> x 70 mm	0,28 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	1650,91 m <sup>2</sup> x 100 mm	0,53 t	Discarica
Pannello in cartongesso	1109,12m <sup>2</sup> x 12,50 mm	2,60 t	Riciclo del gesso
Pannello in cartongesso	11817m <sup>2</sup> x 25 mm	56 t	Riciclo del gesso
Pannello in cartongesso	157,80 m <sup>3</sup>	30 t	Riciclo del gesso
Serramenti esterni in legno	18,02 m <sup>3</sup>	45 t	Riciclaggio del vetro
Vetro	2001,09 m <sup>2</sup>	5,90 t	Riciclaggio del vetro

Colonne e strutture verticali portanti

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	755,91 m <sup>3</sup>	136 t	Calcestruzzo frantumato
Trave di legno tenero	226,93 m <sup>3</sup>	22 t	Incenerimento

### 3. Strutture orizzontali: travi, solai e coperture

Solai, solai di copertura, travi e tetto

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	75369,53 m <sup>2</sup> x 75 mm	850 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	104,33 m <sup>2</sup> x 100 mm	2 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1109,33 m <sup>2</sup> x 150 mm	32 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	4158,72 m <sup>2</sup> x 180 mm	142 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	1503,46 m <sup>2</sup> x 230 mm	66 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	7330,84 m <sup>2</sup> x 450 mm	627 t	Calcestruzzo frantumato
Calcestruzzo preconfezionato	938,44m <sup>3</sup>	178 t	Calcestruzzo frantumato
Isolante in fibra di canapa	12392,57 m <sup>2</sup> x 20 mm	0,79 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	11633,41 m <sup>2</sup> x 80 mm	3 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	7244,56 m <sup>2</sup> x 100 mm	2,30 t	Discarica
Isolante in fibra di canapa	5662,18 m <sup>2</sup> x 220 mm	4 t	Discarica
Trave di legno tenero	5919,72 m <sup>3</sup>	577 t	Incenerimento

### 4. Altre strutture e materiali

Altre strutture e materiali

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Calcestruzzo preconfezionato	342,05 m <sup>3</sup>	70 t	Calcestruzzo frantumato

Finiture e rivestimenti

Risorsa	Quantità	CO <sub>2</sub>	EOL
Pavimento in legno massello	11324,38 m <sup>2</sup> x 24 mm	23 t	Incenerimento del legno
Rivestimento in legno trattato	16180,08 m <sup>2</sup> x 50 mm	4,30 t	Incenerimento

Tab. 2

Alternativa n.2

I materiali da costruzione



<b>Prodotto</b>	<b>Calcestruzzo C25/30</b>
<b>Densità</b>	2,40 g/cm <sup>3</sup>
<b>Provenienza</b>	Italia
<b>Produttore</b>	-
<b>Standard</b>	EN15804+41, EN15804+A2
<b>Fonte utilizzata</b>	One Click LCA
<b>Impiego</b>	Fondazioni

Prodotto	Calcestruzzo C32/40
Densità	2,40 g/cm <sup>3</sup>
Provenienza	Italia
Produttore	-
Standard	EN15804+41, EN15804+A2
Fonte utilizzata	One Click LCA
Impiego	Struttura portante





Prodotto	<b>Vetro</b>
Densità	2,50 g/cm <sup>3</sup>
Provenienza	Germania
Produttore	Guardian
Standard	EN15804+41
Fonte utilizzata	ift Rosenheim
Impiego	Facciate continue, serramenti



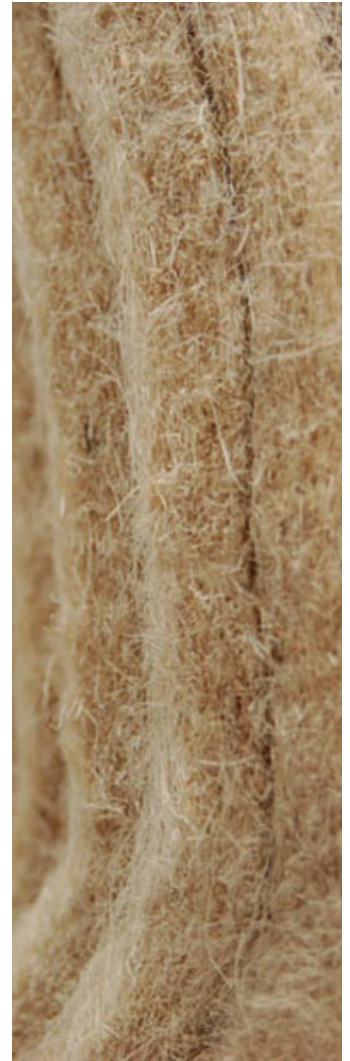
Prodotto	<b>Acciaio</b>
Densità	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Provenienza	Italia
Produttore	-
Standard	EN15804+41, EN15804+A2
Fonte utilizzata	One Click LCA
Impiego	Struttura portante





<b>Prodotto</b>	<b>Cartongesso</b>
<b>Densità</b>	0,0897 g/cm <sup>3</sup>
<b>Provenienza</b>	Italia
<b>Produttore</b>	Gyproc
<b>Standard</b>	EN15804+41
<b>Fonte utilizzata</b>	International EPD System
<b>Impiego</b>	Chiusure verticali opache, partizioni interne leggere

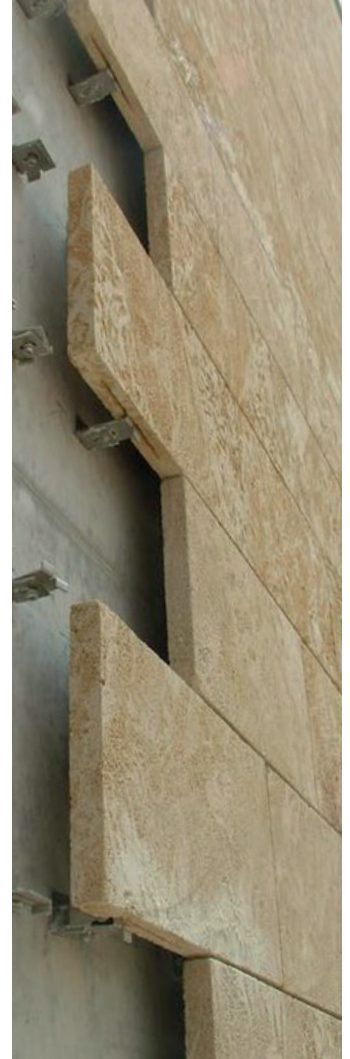
Prodotto	Fibra di canapa
Densità	0,02 g/cm <sup>3</sup>
Provenienza	Francia
Produttore	TECHNICHANVRE
Standard	EN15804+41
Fonte utilizzata	INIES
Impiego	Isolante





<b>Prodotto</b>	<b>Legno</b>
<b>Densità</b>	0,657 g/cm <sup>3</sup>
<b>Provenienza</b>	Italia
<b>Produttore</b>	OneClick LCA
<b>Standard</b>	EN15804+41, EN15804+A2
<b>Fonte utilizzata</b>	OneClick LCA
<b>Impiego</b>	Pavimento

Prodotto	<b>Pietra</b>
Densità	2,50 g/cm <sup>3</sup>
Provenienza	Italia
Produttore	Casone Group
Standard	EN15804+41
Fonte utilizzata	EPD Italy
Impiego	Rivestimento esterno



## 2.3 LA 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.

*OneClick LCA* è un software web based che permette di effettuare con facilità e rapidità un'analisi del ciclo di vita di un edificio. Utilizzando un plug-in, le informazioni sui materiali vengono inserite e automaticamente associate, dal software, alle specifiche **Dichiarazioni Ambientali di Prodotto** (EPD) presenti nel suo database. Questo processo consente al software di determinare i valori relativi alle categorie di impatto ambientale basandosi sui materiali utilizzati.

Le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) sono documenti standardizzati che forniscono informazioni verificate sugli impatti ambientali di un prodotto durante l'intero ciclo di vita. Questi documenti sono in conformità con le normative ISO

14025 e derivano da analisi condotte attraverso il metodo LCA, che sono poi verificate da terze parti indipendenti.

Per assicurare un'analisi accurata, sono stati inseriti ulteriori dati. È stata definita l'**area totale di costruzione** e la **vita utile** dell'edificio posta pari a cinquant'anni, in quanto si tratta di una costruzione ordinaria. Al termine di questo periodo, fenomeni come la corrosione, l'esposizione alle condizioni atmosferiche e l'azione antropica potrebbero compromettere la resistenza dei materiali. Sono stati, poi, inseriti i **consumi energetici annuali**, determinati attraverso il calcolo delle dimensioni degli impianti.

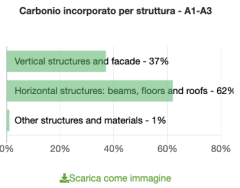
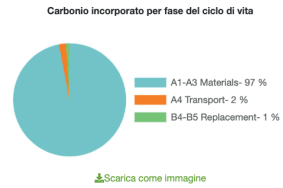
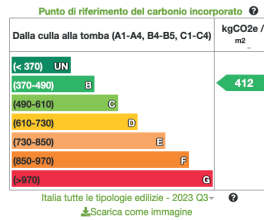
Grazie allo studio delle quantità materiche, è stato possibile analizzare l'incidenza percentuale della quantità relativa di ogni singolo materiale da costruzione utilizzato nel progetto.



informazioni generali

Risultati e benchmarking- Design: 3 - Targia 01- Ottimizzato

Seleziona il disegno



Fase di progettazione: 4 disegni (2 disegni nascosti)

Parametri\* Aggiungi un disegno Confronta i dati Progettista di carbonio 3D\* Utensili\*

Atrezzo	Unità	3 - Targia 01- Ottim*	3 - Targia 01- Legno*
LCA, EN-15978 ? Aiuto	kg di co2 es	23 920 328	20 240 559
Costo del ciclo di vita (CML) ? Aiuto	€	9 110 686	9 756 224
LCA, EN-15978 (completo)	kg di co2 es	24 094 067	20 724 925
Costruire la circolarità ? Aiuto	%	78	30

Grafici - Valutazione del ciclo di vita, EN-15978, Riscaldamento globale

Tutte le categorie di impatto Fasi del ciclo di vita Elementi Confronta gli elementi Elementi e fasi del ciclo di vita Tutti i grafici

Valutazione del ciclo di vita, EN-15978 - Tutte le categorie di impatto

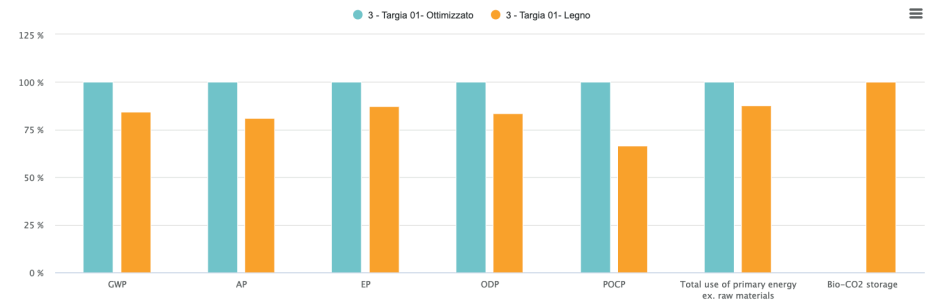


Fig. 6  
Schermata ottenuta tramite  
il software OneClick LCA










▼ Materiali che contribuiscono maggiormente (riscaldamento globale)		Confronta i dati			
NO.	Risorsa	Impatti dalla culla al cancello (A1-A3)	Dalla culla al cancello (A1-A3)	Alternative sostenibili	
1.	Lamiere di acciaio, generiche, contenuto riciclato al 100%, S235, S275 e S355  ?	3 522 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	58,8%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
2.	Calcestruzzo preconfezionato, resistenza normale, generico, C32/40 (4600/5800 PSI) con CEM III/A, contenuto di ceneri volanti del 40% nel cemento (300 kg/m <sup>3</sup> ; 18,7 lbs/ft <sup>3</sup> cemento totale)  ?	969 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	16,2%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
3.	Calcestruzzo preconfezionato, resistenza normale, generico, C30/37 (4400/5400 PSI) con CEM III/A, contenuto GGBS del 60% nel cemento (300 kg/m <sup>3</sup> ; 18,7 lbs/ft <sup>3</sup> cemento totale)  ?	798 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	13,3%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
4.	Calcestruzzo preconfezionato, resistenza normale, generico, C32/40 (4600/5800 PSI) con CEM III/A, contenuto GGBS del 50% nel cemento (300 kg/m <sup>3</sup> ; 18,7 lbs/ft <sup>3</sup> cemento totale)  ?	451 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	7,5%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
5.	Profilati strutturali laminati a caldo e laminati mercantili, profilati a I, T, angolari, angolari a spigolo vivo, piatti, larghi piatti, quadri, tondi, canali a U, 7850 kg/m <sup>3</sup>  ?	103 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	1,7%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
6.	Pannello in cartongesso, resistente al fuoco, 12,5 mm, 10,1 kg/m <sup>2</sup> , 773 - 793 kg/m <sup>3</sup>  ?	82 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	1,4%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
7.	Calcestruzzo preconfezionato, resistenza normale, generico, C20/25 (2900/3600 PSI), 40% leganti riciclati in cemento (240 kg/m <sup>3</sup> / 14,98 lbs/ft <sup>3</sup> )  ?	59 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	1,0%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
8.	Vetro float, non rivestito, 1 mm  ?	5,7 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	0,1%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare
9.	Calcestruzzo preconfezionato, resistenza normale, generico, C25/30 (3600/4400 PSI) con CEM III/A, contenuto GGBS del 60% (280 kg/m <sup>3</sup> ; 18,7 lbs/ft <sup>3</sup> cemento totale)  ?	0,49 tonnellate di CO <sub>2</sub> e	0,0%	Mostra alternative sostenibili	Aggiungi per confrontare

Fig. 7  
 Alternativa n.1  
 Lista dei materiali che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale



## Indicatori che descrivono gli impatti ambientali

Categoria dei risultati		Riscaldamento globale kg CO2e <sup>⑦</sup>	Acidificazione kg SO2e <sup>⑦</sup>	Eutrofizzazione kg PO4e <sup>⑦</sup>	Riduzione dell'ozono kg CFC11e <sup>⑦</sup>	Formazione di ozono della bassa atmosfera kg Ethenee <sup>⑦</sup>	Potenziale di esaurimento abiotico (elementi ADP) per risorse non fossili kg Sbe <sup>⑦</sup>	Potenziale di esaurimento abiotico (combustibili fossili ADP) per le risorse fossili MJ <sup>⑦</sup>	
A1-A3 <sup>⑦</sup>	Materiali di costruzione	2,67E+06	4,28E+03	1,47E+03	1,99E-01	2,57E+02	2,14E+02	2,01E+07	<a href="#">Dettagli</a>
A4 <sup>⑦</sup>	Trasporto al sito	1,02E+05	2,15E+02	4,51E+01	1,77E-02	1,33E+01	1,52E+02	1,66E+06	<a href="#">Dettagli</a>
A5 <sup>⑦</sup>	Processo di costruzione/installazione	2,37E+05	1,12E+03	2,40E+02	3,47E-02	5,68E+01	6,10E-01	5,48E+06	<a href="#">Dettagli</a>
B4-B5 <sup>⑦</sup>	Sostituzione e rinnovamento dei materiali								<a href="#">Nascondi vuoto</a>
B6 <sup>⑦</sup>	Consumo di energia	1,76E+07	6,22E+04	1,23E+04	1,42E+00	2,62E+03	5,54E+01	2,59E+08	<a href="#">Dettagli</a>
B7 <sup>⑦</sup>	Utilizzo dell'acqua								<a href="#">Nascondi vuoto</a>
C1-C4 <sup>⑦</sup>	Decostruzione	4,84E+05	1,38E+03	3,95E+02	2,00E-03	1,18E+02	5,73E+01	2,99E+06	<a href="#">Dettagli</a>
D <sup>⑦</sup>	Impatti esterni (non inclusi nei totali)	-2,99E+06	-4,10E+03	-1,00E+03	-2,24E-02	-3,44E+02	-3,56E+00	-3,08E+07	<a href="#">Dettagli</a>
<b>Totale</b>		<b>2,11E+07</b>	<b>6,92E+04</b>	<b>1,44E+04</b>	<b>1,68E+00</b>	<b>3,07E+03</b>	<b>4,79E+02</b>	<b>2,89E+08</b>	
<b>Risultati per denominatore</b>									
Superficie Interna Lorda (PMS/RICS) 15.000,0 m <sup>2</sup>		1,40E+03	4,61E+00	9,61E-01	1,12E-04	2,04E-01	3,19E-02	1,93E+04	

Fig. 8  
 Alternativa n.2  
 Lista dei materiali che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale

## 2.4 L'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

### Embodied Carbon Benchmark

La valutazione dell'impatto ambientale si basa sull'impronta di carbonio generata dal ciclo di vita del complesso edilizio, misurata in  $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ . Questo valore indica il **potenziale di riscaldamento globale** (GWP), che riflette le variazioni nella temperatura causate dall'incremento dell'effetto serra nell'atmosfera a livello locale, regionale o globale.

I dati raccolti vengono categorizzati utilizzando una scala di riferimento fornita dal software *OneClick LCA*. I valori si riferiscono al ciclo di vita dell'edificio, dalla fase A1 (Estrazione delle materie prime) fino alla fase C4 (Smaltimento). Per questo calcolo, le fasi A5 (costruzione e installazione) e B6 (consumo energetico operativo) sono escluse.

Confrontando i due risultati ottenuti, emerge una significativa discrepanza tra le due alternative. In particolare, l'alternativa

che prevede una struttura in acciaio presenta un'impronta di carbonio di **412  $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$**  e rientra nella **classe B**, mentre quella realizzata in legno raggiunge i **191  $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$**  e rientra nella **classe A**.

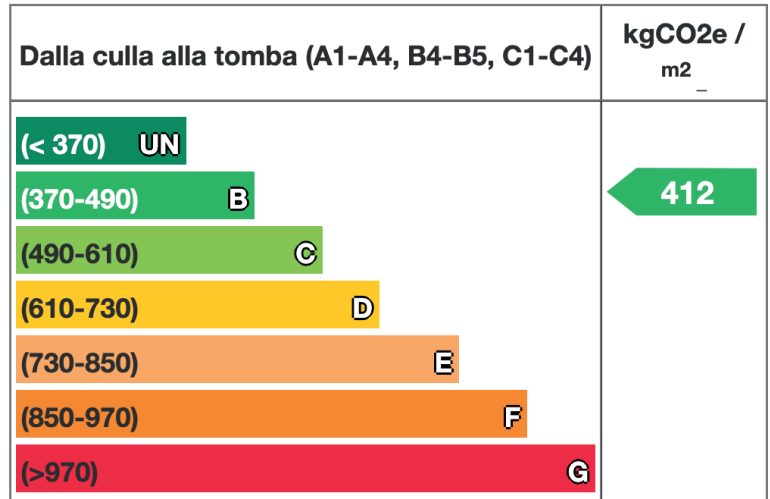


Fig. 9

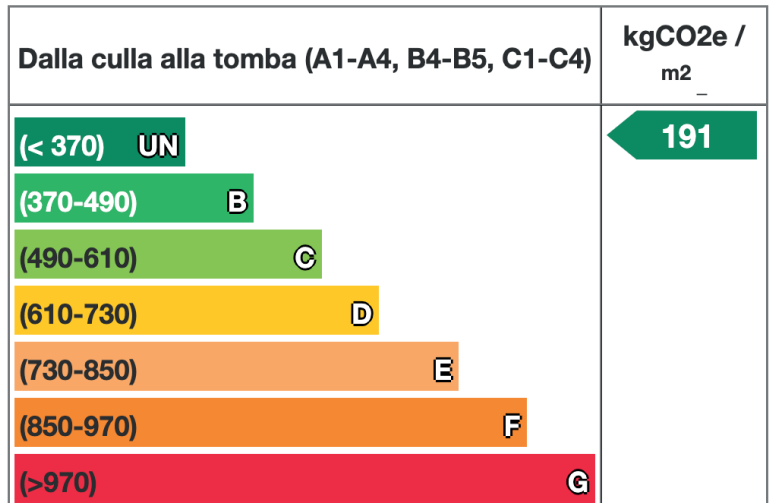


Fig. 10

Fig. 9  
 Alternativa n.1  
 Carbon Heroes Benchmark

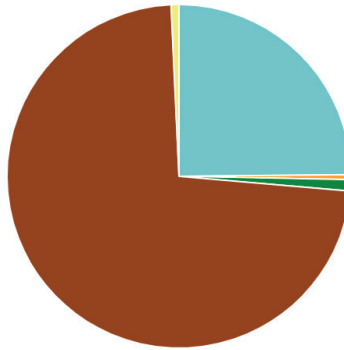
Fig. 10  
 Alternativa n.2  
 Carbon Heroes Benchmark

## Le fasi del ciclo di vita

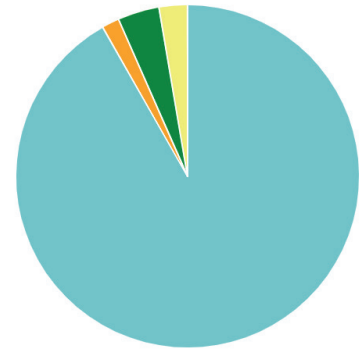
L'analisi dei risultati si è poi focalizzata sullo studio delle varie fasi del ciclo di vita che incidono sull'**impronta ambientale**.

Un aspetto significativo è che la **fase B6**, legata al consumo di energia durante l'operatività dell'edificio, contribuisce con oltre il 70% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>, evidenziandone quindi l'importanza cruciale. Il software *OneClick LCA* traduce i dati dei consumi energetici in impatti ambientali senza però considerare l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici, che nel progetto sono stati dimensionati per coprire la quasi totalità del fabbisogno.

Considerando questo aspetto, è stato elaborato un secondo grafico che esclude la fase B6, permettendo una migliore visualizzazione dell'interazione tra le altre fasi del ciclo di vita. Da questo emerge che il maggiore impatto ecologico è associato alle **fasi A1-A3**, che comprendono l'estrazione e la lavorazione delle materie prime.

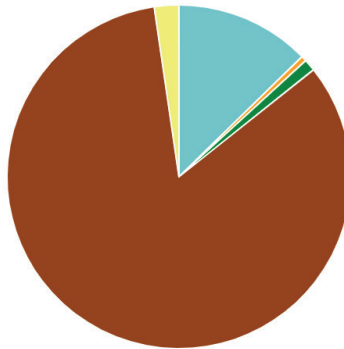


● A1-A3 Materials - 24.9%    ● A4 Transport - 0.4%  
● A5 Construction - 1.1%    ● B6 Energy - 72.9%  
● C1-C4 End of life - 0.7%

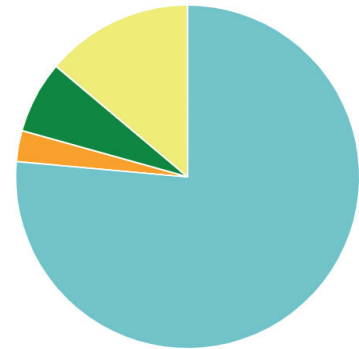


● A1-A3 Materials - 91.8%    ● A4 Transport - 1.6%  
● A5 Construction - 3.9%    ● B6 Energy - 0.0%  
● C1-C4 End of life - 2.7%

Fig. 11



● A1-A3 Materials - 12.7%    ● A4 Transport - 0.5%  
● A5 Construction - 1.1%    ● B6 Energy - 83.4%  
● C1-C4 End of life - 2.3%



● A1-A3 Materials - 76.4%    ● A4 Transport - 2.9%  
● A5 Construction - 6.8%    ● B6 Energy - 0.0%  
● C1-C4 End of life - 13.9%

Fig. 12

Fig. 11

Alternativa n.1  
 Riscaldamento globale kg  
 CO<sub>2</sub> - fasi del ciclo di vita

Fig. 12

Alternativa n.2  
 Riscaldamento globale kg  
 CO<sub>2</sub> - fasi del ciclo di vita

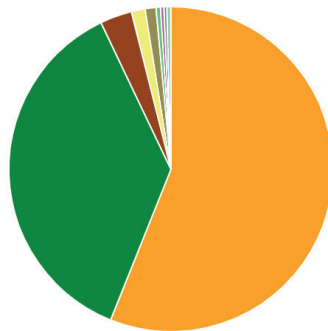
## I tipi di risorse

Dato l'importante impatto ambientale delle fasi A1-A3, sono state approfondite le differenze relative ai materiali adottati nel progetto. Dai grafici emerge che nell'alternativa n.1 l'**acciaio**, utilizzato per la struttura portante, risulta essere quello predominante. Per tale motivo, si è scelto nell'alternativa n.2 di sostituirlo con il **legno**, il cui impatto risulta essere notevolmente inferiore.

l'uso di leganti alternativi come ceneri volanti e scorie di altoforno granulato.

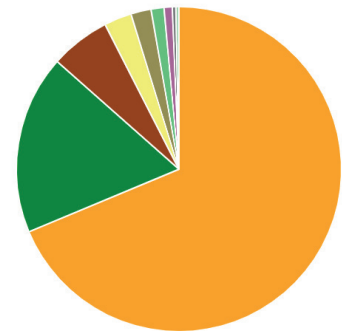
Un aspetto cruciale di questo materiale è il suo ciclo di vita. La soluzione più eco-compatibile dovrebbe prevedere il riutilizzo e il riciclaggio del legno. Sebbene l'incenerimento possa rappresentare una fonte di energia alternativa ai combustibili fossili, è fondamentale limitare l'uso di tali materiali per garantire una prospettiva di sostenibilità.

Per quanto riguarda il **calcestruzzo**, altro materiale con un forte impatto ambientale, si è scelto, per entrambe le alternative, di utilizzare un calcestruzzo con un ridotto impatto ambientale, con



- Structural steel and steel profiles - 56.1%
- Ready-mix concrete for external walls and floors - 36.8%
- Other site operation - 3.2%
- Specialty gypsum board - 1.4%
- Ready-mix concrete for foundations and internal walls - 1.1%
- Mineral waste - 0.4%
- Plain wood/timber (softwood and hardwood) - 0.3%
- Metal waste - 0.3%
- Other resource types - 0.4%

Fig. 13



- Ready-mix concrete for external walls and floors - 68.7%
- Plain wood/timber (softwood and hardwood) - 17.8%
- Other site operation - 6.0%
- Specialty gypsum board - 2.7%
- Ready-mix concrete for foundations and internal walls - 2.0%
- Wooden frame windows - 1.3%
- Mineral waste - 0.8%
- Organic insulation - 0.4%
- Other resource types - 0.3%

Fig. 14

Fig. 13  
 Alternativa n.1  
 Tipi di risorse

Fig. 14  
 Alternativa n.2  
 Tipi di risorse

## La circolarità

La **valutazione della circolarità** del complesso edilizio si basa su un modello di economia pensata per potersi rigenerare da sola, privilegiando il riutilizzo e il riciclo dei materiali, riducendo i rifiuti al minimo e limitando l'impatto dei processi di estrazione, trasporto e utilizzo delle materie prime sull'ambiente.

Tale analisi è stata effettuata considerando vari parametri, tra cui la percentuale di **materiali riciclati**, quella destinata allo **smaltimento** e la **destinazione finale** del materiale, determinati attraverso le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) per ciascun materiale.

Utilizzando questi dati, il software *OneClick LCA* ha generato dei punteggi per rendere confrontabili le due opzioni. In particolare, l'alternativa realizzata in acciaio presenta una circolarità del **78%**, mentre quella in legno raggiunge il **57%**. Questa differenza è influenzata dalle caratteristiche intrinseche dei materiali inizialmente utilizzati nella

costruzione, come la quantità di materiale vergine impiegato, che nella seconda alternativa risulta essere maggiore.

In relazione alla categoria "*material returned*", il concetto di "*downcycling*" svolge un ruolo significativo per entrambe le opzioni. In entrambi i casi, la destinazione finale del calcestruzzo è rilevante, con l'ipotesi che venga frantumato per produrre aggregati, evidenziando l'importanza della gestione sostenibile e responsabile dei materiali nel ciclo di vita complessivo.



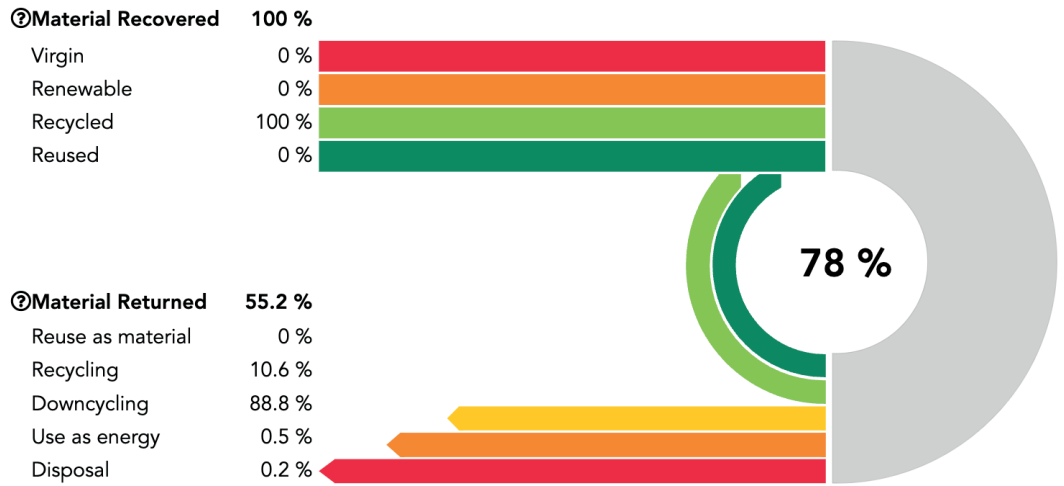


Fig. 15

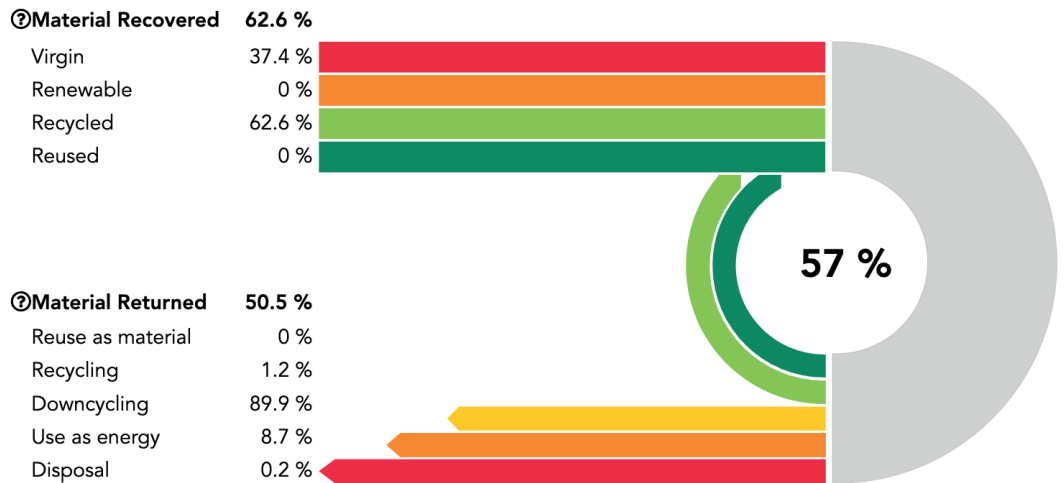


Fig. 16

Fig. 15  
 Alternativa n.1  
 Circolarità dell'edificio

Fig. 16  
 Alternativa n.2  
 Circolarità dell'edificio

## Le categorie di impatto

La valutazione del **Potenziale di riscaldamento globale (GWP)** è stata confrontata in termini percentuali con altre categorie di impatto ambientale. Nel grafico, l'opzione meno impattante è rappresentata in percentuale rispetto all'opzione più impattante, considerata al 100%.

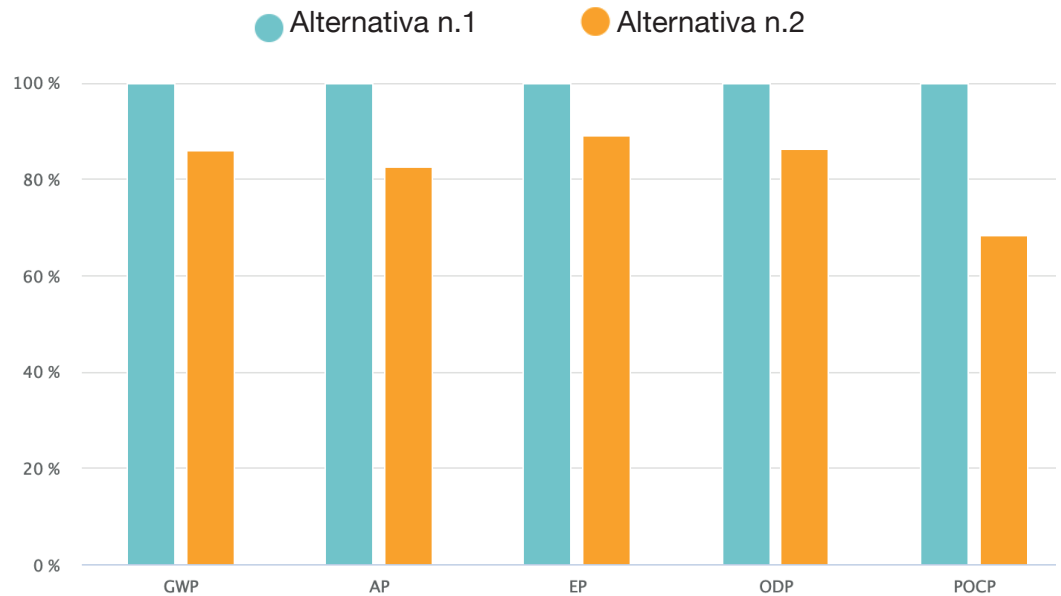
Tra i risultati si riportano le cinque categorie di impatto dei materiali da costruzione:

- **GWP**, Global Warming Potential;
- **ODP**, Ozone Depletion Potential;
- **POCP**, Photochemical ozone creation potentials;
- **AP**, Acidification Potential;
- **EP**, Eutrophication Potential.

Queste categorie sono contenute all'interno della piramide "*Construction Material Pyramid*", sviluppata dalla *CINARK, Royal Danish Academy Center for Industrialized Architecture*, che tiene conto dei principali materiali da costruzione, soffermandosi sull'analisi LCA. In altre parole, la piramide dei

materiali da costruzione è un modo per visualizzare l'impatto ambientale associato alla produzione di materiali.

Dai grafici emerge un'evidente differenza nella categoria del *Potenziale di formazione di ozono nella bassa atmosfera*, evidenziando che l'approccio più sostenibile basato sull'utilizzo del legno risulta più vantaggioso in questo ambito.



**GWP:** la capacità di un gas di riscaldare l'atmosfera contribuendo ad aumentare l'effetto serra in un determinato arco temporale. Si calcola in rapporto al GWP di 1 kg di CO<sub>2</sub>.

**AP:** il potenziale di acidificazione misura la capacità di una molecola di aumentare la concentrazione di ioni idrogeno in presenza di acqua, riducendo il valore del pH, come avviene nel fenomeno della pioggia acida.

**EP:** il potenziale di eutrofizzazione è il rilascio in acqua di composti a base di fosforo, azoto e sostanze organiche che porta dunque a un aumento notevole di sostanze fertilizzanti rilasciate in acqua.

**ODP:** il potenziale di eliminazione dell'ozono è il valore relativo di degrado della fascia di ozono che un materiale può causare.

**POCP:** il potenziale di formazione di ozono fotochimico è il potenziale di composti organici volatili in relazione ad altri composti a formare ozono per reazione con ossidi di azoto in presenza di luce solare.

**Fig. 17**

*Confronto normalizzato e pesato degli indicatori che descrivono gli impatti ambientali dei materiali da costruzione nelle due ipotesi analizzate*

03

# LE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>

### 3.1 LA COMPENSAZIONE DEGLI IMPATTI

A fronte delle emissioni di CO<sub>2</sub> generate dalla costruzione del Polo Sportivo, sono stati eseguiti una serie di calcoli che definiscono la **compensazione delle emissioni** con il ricorso di accorgimenti che favoriscono una progettazione sempre più consapevole, sostenibile e sensibile alla materia ambientale.

La prima riflessione riguarda il numero di **alberi** necessari ad assorbire la quantità di CO<sub>2</sub> emessa dal progetto nell'arco temporale fissato di cinquant'anni. L'area di progetto situata sulla costa siracusana, risulta essere poco urbanizzata e per tale motivo è stata considerata un'essenza arborea che vegeta in un contesto naturale e che può assorbire **tra i 20 e i 50 kg di CO<sub>2</sub> all'anno**<sup>5</sup>. Concorrono al raggiungimento di questo obiettivo gli alberi posizionati nella piazza pavimentata e quelli posti nel grande parco lineare.

La seconda riflessione riguarda, invece, un confronto tra la quantità di CO<sub>2</sub> emessa dal progetto e il numero di **uomini** necessari a produrne il medesimo quantitativo. L'anidride carbonica prodotta da un singolo individuo in un anno, viene dedotta dallo studio "La tua impronta"<sup>6</sup>, effettuato dall'azienda *Vaillant*. Tale studio raccoglie i dati a livello europeo e nazionale sui consumi degli uomini in base alle abitudini quotidiane, in materia di trasporti, alimentazione, trattamento dei rifiuti, illuminazione, uso degli elettrodomestici e riscaldamento. Ne emerge che a livello europeo il consumo medio è di **8.700 kg di CO<sub>2</sub> per persona**, mentre la media italiana è di **7.050 kg CO<sub>2</sub> per persona**.<sup>7</sup>

Un'ulteriore considerazione riguarda gli **allevamenti intensivi di animali**, che sono una delle cause maggiori di inquinamento. In questa analisi, si è tenuto conto della produzione di CO<sub>2</sub> causata

5.

*Rete Clima, Assorbimento forestale di CO2: l'albero "mangia" la CO2 (e fa offset del carbonio atmosferico), Capiago Intimiano, da: <https://www.reteclima.it/1-albero-mangia-la-co2/>*

6.

*Impatto ambientale dell'uomo sull'ambiente, da: <https://latuaimpronta.vaillant.it>*

7.

*Dati Ispra 2018*

dall'allevamento di bovini, che mediamente risulta essere pari a **2.000 kg di CO<sub>2</sub> all'anno per ogni bovino allevato.**<sup>8</sup>

Infine, l'ultima riflessione riguarda i **mezzi di trasporto** più comuni come auto, treno e aereo e l'impatto che questi hanno sull'emissione di CO<sub>2</sub>.<sup>9</sup>

8.  
Dati dedotti dall'articolo "E' vero che anche mucche e maiali contribuiscono al riscaldamento globale?", da: <https://www.ansa.it>

9.  
Dati dedotti da: <https://www.ecopassenger.org>

**Fig. 18**  
*Schema dei fattori analizzati e che influiscono sulle emissioni di CO<sub>2</sub>*



## Alberi

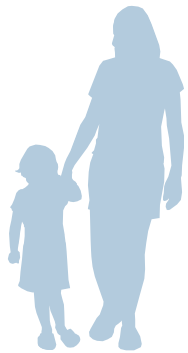
CO <sub>2</sub> singolo albero:	35 kg/anno
Tempo:	50 anni
CO <sub>2</sub> (t=50):	1750 kg
CO <sub>2</sub> ipotesi I (t=50):	25815000 kg
N° alberi:	<b>14751</b>
Area occupata albero singolo:	10 mq
Area totale occupata:	14,7 ha = 21 campi da calcio





## Persone

CO <sub>2</sub> singola persona:	7050 kg/anno
Tempo:	1 anno
CO <sub>2</sub> (t=1):	7050 kg
CO <sub>2</sub> ipotesi I (t=1):	516300 kg
N° persone:	<b>73</b>



## Animali

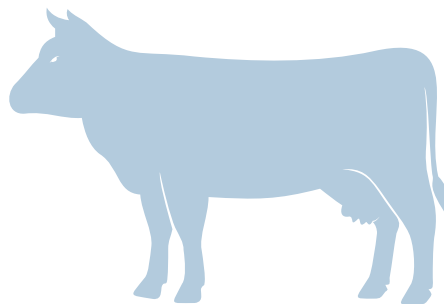
CO<sub>2</sub> singola mucca: 2000 kg/anno

Tempo: 1 anno

CO<sub>2</sub>(t=1): 2000 kg

CO<sub>2</sub> ipotesi I (t=1): 516300 kg

N° mucche: **258**



## Trasporti

CO <sub>2</sub> Milano - Roma:	14 kg - treno (più sostenibile)
CO <sub>2</sub> Milano - Roma:	66 kg - auto
CO <sub>2</sub> Milano - Roma:	94 kg - aereo
CO <sub>2</sub> ipotesi I (t=1):	516300 kg
CO <sub>2</sub> treno (t = 7 volte al giorno):	98 kg
N° viaggi:	<b>5268 giorni = 14 anni</b>



# Appendice





## DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO

in conformità alla ISO 14025 e EN 15804

### **RIVESTIMENTO IN PIETRA SERENA DI FIRENZUOLA CON SUPERFICIE NATURALE E SABBIAIA CON BORDI RIFILATI**

Program Operator	EPDItaly
Pubblicata da	EPDItaly
Numero di registrazione	EPDITALY0065
Data di Emissione	06.03.2019
Valida fino al	06.03.2024
Versione	n.2 (26/02/2019)

CASONE GROUP



# 1. INFORMAZIONI GENERALI

## 1.1 Prodotto

Pietra arenaria di colore grigio, commercialmente denominata Pietra Serena di Firenzuola, dalla superficie sabbiata, con bordi rifilati.

## 1.2 Titolare del programma

EPD Italy  
Via Gaetano De Castilia, 10  
20124 – Milano (MI)  
email: info@epditaly.it

## 1.3 La presente dichiarazione si basa sulle seguenti regole per categoria di prodotto (PCR):

PCR ICMQ-001/15 (rev.2) "Construction product and Construction service"  
Fa utile riferimento la PCR-IBU-Part B (v. 1.6, 30.11.2017) "Requirements on the EPD for Dimension stone for roof, wall and floor applications".

## 1.4 Codice CPC

37

## 1.5 Prodotto dichiarato / unità di misura dichiarata

Produzione di 1 tonnellata di Pietra Serena di Firenzuola, superficie sabbiata con bordi rifilati.

## 1.6 EPD elaborato da

Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen, RWTH Aachen University.

## 1.7 Verifica

Verifica indipendente svolta da: ICMQ s.p.a., via Gaetano de Castilia 10, Milano (Mi), Italia."

X Esternamente  Internamente

## 1.8 Proprietario della dichiarazione

Casone Group srl  
via Toscana, 114 - 40035  
Castiglione dei Pepoli (BO)  
Referente: Alberto Bartolomei  
email: info@casonegroup.com

## 1.9 Unità Dichiarata

L'unità dichiarata è una tonnellata di rivestimento di Pietra Serena estratta nel distretto di Firenzuola (Firenze), con superficie levigata negli spessori compresi tra 2 e 6 cm.

## 1.10 Luogo di Produzione

via Imolese, 98 - 50033  
Firenzuola (FI) - Italia

## 1.11 Validità (dal – al)

Dal 06.03.2019 al 06.03.2024

## 1.12 Comparabilità

Dichiarazioni ambientali pubblicate all'interno della stessa categoria di prodotto, se originate da diversi programmi potrebbero non essere comparabili. In particolare, EPD di prodotti da costruzione potrebbero non essere comparabili se non sono conformi alla EN 15804:2012+A1:2013.

## 1.13 Dichiarazione

EPDItaly è sollevata da qualunque inosservanza del rispetto della legislazione ambientale auto-dichiarata dal produttore.

## 2. PRODOTTO

### 2.1 Descrizione del materiale

La Pietra Serena di Firenzuola è una sedimentaria clastica appartenente alla formazione Marnoso-Arenacea, denominata in petrografia "sand-stone light grey" (UNI EN 12440), viene estratta nello storico comprensorio Brento Sanico di Firenzuola.

In base al filone di cava da cui proviene il blocco escavato si ottengono prodotti in pietra serena con caratteristiche e qualità abbastanza diverse.

Gli strati coltivati nel bacino estrattivo a cui appartiene la famiglia delle pietre grigie che prendono il nome di "Pietra serena di Firenzuola", partendo dal livello più basso dello schema stratigrafico, in passato erano rispettivamente: lo strato 'Contessa' e gli strati 'Masso Grosso' e 'Filaretti', da cui provenivano le relative areniti. Attualmente di questi viene estratto solo il 'Filare', che è l'ultimo strato.

Il processo attraverso il quale si ricava la pietra serena di Firenzuola si suddivide nelle tre macro-fasi, sinteticamente rappresentate in Figura 1, che sono: coltivazione (in cava), trasporto dalla cava in stabilimento e lavorazione (in stabilimento).

La prima fase della coltivazione, detta "scopertura", e consiste nella asportazione del cappellaccio (porzione di manto terreno) sino ad arrivare allo strato cosiddetto 'coltivabile'.

Eliminato il manto terroso mediante l'uso di esplosivo, il cui materiale rimosso (manto terroso e detriti marnosi argillosi) viene trattenuto in cava per le operazioni di ripristino, si procede alla estrazione vera e propria in quella porzione di cava in cui il materiale è privo di alterazioni, impurità o discontinuità.

I blocchi così estratti vengono trasportati allo stabilimento di lavorazione a Firenzuola, distante circa 15 km.

Nel laboratorio il materiale è sottoposto al seguente ciclo di produzione:

- segazione dei blocchi in lastre di spessore variabile a seconda dell'uso applicativo, tra 2 e 6 cm.;
- trattamento superficiale di sabbiatura della lastra;
- taglio delle lastre a misura.

### 2.2 Descrizione del prodotto

Il prodotto viene commercializzato sottoforma di lastre, ovvero presenta una dimensione (spessore) considerevolmente inferiore rispetto alle altre due (larghezza e lunghezza). Tale lavorazione viene realizzata nello stabilimento, insieme alla rifinitura dei bordi, dando luogo ad un manufatto edilizio in genere utilizzato per rivestimenti e/o pavimentazioni, dallo spessore variabile da 2 a 6 cm.

### 2.3 Destinazione d'uso

Le lastre di Pietra Serena di Firenzuola, sia senza (naturale) che con trattamento superficiale di sabbiatura (sabbiate), sono destinate a essere applicate a rivestimenti sia parietali che di pavimentazioni e a essere installate sia in ambienti interni che esterni a uso residenziale, non residenziale e commerciale.

### 2.4 Dati tecnici

Spessore: variabile da 2 a 6 cm (superficie: variabile da 20,5 m<sup>2</sup> a 6,8 m<sup>2</sup>)

Caratteristica	Norma di riferimento	Valore
Massa volumica	UNI EN 1936	2550 Kg/m <sup>3</sup>
Imbibizione	UNI EN 13755	2,00 %
Resistenza a compressione semplice	UNI EN 1926	110 MPa (perpendicolare al verso allo stato secco)
Resistenza a compressione dopo gelività	UNI EN 12371	105 MPa (dopo 48 cicli di gelività)
Resistenza a flessione	UNI EN 12372	11 MPa (dimensione provini 180x60x30 mm distanza appoggi 150 mm)
Resistenza a flessione dopo gelività	UNI EN 12371	10 MPa (dopo 48 cicli di gelività, dimensione provini 180x60x30 mm distanza appoggi 150 mm)
Gelività	UNI EN 1341/1342/1343	Resistente (esame obiettivo)
Resistenza all'abrasione	UNI EN 1341	21,00 mm
Resistenza allo scivolamento	UNI EN 14231	65 USRV
Rottura fori di fissaggio	UNI EN 13364	1600 N

Il prodotto non presenta SVHC (*Substances of very high concern*).



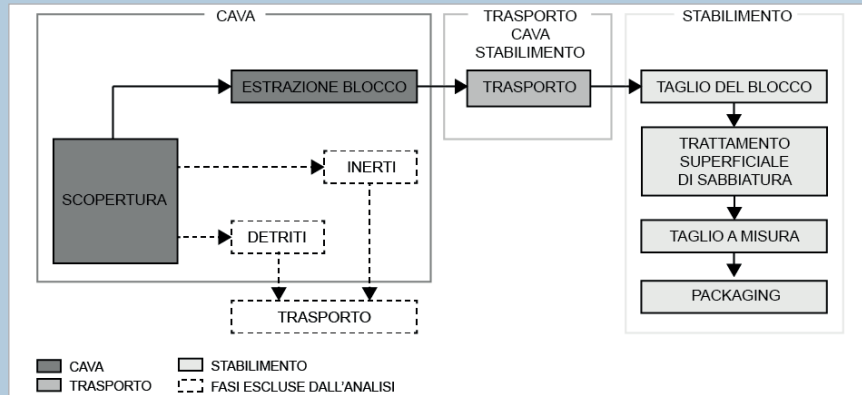


Fig. 1 – Fasi del ciclo del ciclo di produzione della Pietra Serena di Firenzuola LCA

### 3. LCA: REGOLE PER IL CALCOLO

#### 3.1 Unità Dichiarata

L'unità dichiarata è una tonnellata di rivestimento di Pietra Serena estratta nel Distretto di Firenzuola (Firenzuola), rifilata, con superficie levigata negli spessori compresi tra 2 e 6 cm.

#### 3.2 Confini del sistema

Lo studio LCA è di tipo *cradle-to-gate*. Pertanto, vengono considerati i moduli da A1 ad A3 che tengono conto rispettivamente delle seguenti fasi: estrazione della materia prima in cava (A1), trasporto del materiale dalla cava allo stabilimento di produzione e ritorno (A2) e lavorazione del prodotto presso il laboratorio di Firenzuola (A3), in provincia di Firenze.

Nello specifico:

- il modulo A1 considera tutte le fasi necessarie per estrarre la materia prima lapidea in cava contemplando i consumi energetici, i materiali e le emissioni in aria prodotte da tali operazioni;
- il modulo A2 analizza il trasporto del materiale lapideo (in blocchi) dalla cava allo stabilimento;
- il modulo A3 prende in considerazione tutte le fasi relative alla lavorazione del materiale in stabilimento, quali la segazione del blocco in lastre, la rifilatura in elementi da rivestimento, il trattamento superficiale di sabbaiatura e l'imballaggio finale.

#### 3.3 Qualità dei dati

I dati relativi ai moduli A1 e A3, dalla estrazione della materia prima in cava, al trasporto in stabilimento e alla lavorazione finale, si basano sui dati primari raccolti presso la sede di lavorazione di Firenzuola (FI), riferiti all'anno 2017 (tranne per le emissioni in aria e acqua che si riferiscono all'anno 2018). I dati generici fanno riferimento alla banca dati Ecoinvent v.3.0, adottata nel software di simulazione SimaPro v.8.5. Per i trasporti è stata utilizzata la banca dati Agri-footprint v.4.0 adottata nel medesimo software di simulazione.

Il metodo utilizzato è CML- 2001 baseline, con fattore di caratterizzazione EU25+3/2000.

#### 3.4 Cut Off Criteria

Tutte le materie prime, i consumi energetici e le emissioni significative sono state incluse nell'analisi. Dal processo di produzione sono stati esclusi i flussi la cui massa è al di sotto dell'1% del totale dei flussi di input all'unità di processo.

### 3.5 Allocazione

Nello studio si è fatto riferimento all'allocazione per massa. Consumi energetici, di gas e di acqua relativi alla fase di manifattura sono stati allocati al prodotto in base alla massa di rivestimenti in Pietra Serena prodotta annualmente. La differenza nel consumo di materiale, energia e rifiuti prodotti nel ciclo produttivo dei differenti manufatti (lastre, piastrelle, elementi speciali, etc.) è considerata marginale, poiché si tratta di processi di produzione pressoché identici.

## 4. LCA: Scenari e Informazioni tecniche aggiuntive

Le informazioni che seguono descrivono gli scenari adottati nei moduli da A1 ad A3. Tutti gli impatti sono relativi alla tonnellata di rivestimento in Pietra Serena, rifilata e con trattamento superficiale di sabbiatura, distinti negli spessori commerciali da 2 a 6 cm.

### 4.1a Trasporto dalla cava di estrazione allo stabilimento (A2)

Tutta la materia prima viene estratta nel comprensorio Brento Sannico in località Firenzuola e viene normalmente trasportata nello stabilimento di Firenzuola. Si assume come scenario di calcolo una distanza di circa 15 Km, adottando un camion di portata > 20t motorizzato EURO 5.

### 4.1.b Caratteristiche del mezzo di trasporto (A2)

Il mezzo utilizzato per trasportare i blocchi è un camion Euro 5 di portata superiore alle 20 tonnellate.

Caratteristica	Valore	U.d.M.
Titologia	Camion	-
Capacità di utilizzo (andata e ritorno)	80	%
Portata	> 20	t
Motorizzazione	EURO5	-
Distanza (Andata e Ritorno)	26	Km

### 4.2 Movimentazione interna (A3)

Il mezzo utilizzato per la movimentazione interna delle lastre è un muletto Euro 3, avente portata massima di 4 tonnellate.

### 4.3 Informazioni aggiuntive

I valori di impatto della tonnellata al m<sup>2</sup> di rivestimento possono essere ottenuti moltiplicando i risultati con lo spessore del rivestimento possono essere ottenuti moltiplicando i risultati con lo spessore del rivestimento espresso in metri e la massa volumica del materiale (2,45 t/m<sup>3</sup>).

Gli spessori commercializzati variano da 2 a 6 cm. A titolo esemplificativo, considerando uno spessore di 5 cm, il valore di impatto relativo all'indicatore GWP (Kg CO<sub>2</sub> equivalente): 35,9 Kg CO<sub>2</sub>e/t x 0,05 m x 2,45 t/m<sup>3</sup> = 4,40 Kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> di rivestimento in Pietra Serena sabbiata.

## 5. LCA: Risultati

I risultati relativi alle fasi da A1 ad A3 sono suddivisi per trattamento superficiale e per spessore commerciale.

**Confini del sistema (X = Incluso, MND = Modulo Non Dichiarato)**

Fase di Produzione			Fase di Costruzione e Posa in Opera		Fase di Esercizio							Fase di Fine Vita				Confini oltre il sistema	
Materie Prime	Trasporto	Manifattura	Trasporto dal cancello al sito	Installazione	Uso	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ristrutturazione	Utilizzo dell'energia di esercizio	Utilizzo dell'acqua di esercizio	Smontaggio	Demolizione	Trasporto	Trattamento dei rifiuti	Amalimento	Potenziale di Utilizzo – Recupero – Riciclaggio
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B5	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

**Impatti Ambientali per 1 tonnellata di lastre rifilate, naturali (NAT) e sabbiate (SAB), spessore 2 cm**

PARAMETRI		FASI				
ACRONIMO	UM	A1-A3 nat	A1-A3 sab	B1-B7	C1-C4	D
GWP	[kgCO <sub>2</sub> -eq]	5,94E+01	6,84E+01	MND	MND	MND
ODP	[kgCFC11-eq]	1,82E-05	1,92E-05	MND	MND	MND
POCP	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq]	1,68E-02	1,82E-02	MND	MND	MND
AP	[kgSO <sub>2</sub> -eq]	3,05E-01	3,36E-01	MND	MND	MND
EP	[kgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq]	7,53E-02	8,66E-02	MND	MND	MND
ADPM	[kgSb-eq]	7,60E-05	8,07E-05	MND	MND	MND
ADPE	[MJ]	1,73E+03	1,84E+03	MND	MND	MND

**GWP** = Global warming potential; **ODP** = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; **AP** = Acidification potential of land and water; **EP** = Eutrophication potential; **POCP** = Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants; **ADPE** = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; **ADPF** = Abiotic depletion potential for fossil resources. **MND**: Module Not Declared.

**Impatti Ambientali per 1 tonnellata di lastre rifilate e sabbiate, spessori 3-4 cm**

PARAMETRI			FASI			
ACRONIMO	UM	A1-A3 sp. 3 cm	A1-A3 Sp. 4 cm	B1-B7	C1-C4	D
GWP	[kgCO <sub>2</sub> -eq]	6,54E+01	6,39E+01	MND	MND	MND
ODP	[kgCFC11-eq]	1,89E-05	1,87E-05	MND	MND	MND
POCP	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq]	1,77E-02	1,75E-02	MND	MND	MND
AP	[kgSO <sub>2</sub> -eq]	3,26E-01	3,21E-01	MND	MND	MND
EP	[kgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq]	8,28E-02	8,09E-02	MND	MND	MND
ADPM	[kgSb-eq]	7,91E-05	7,83E-05	MND	MND	MND
ADPE	[MJ]	1,80E+03	1,79E+03	MND	MND	MND

**GWP** = Global warming potential; **ODP** = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; **AP** = Acidification potential of land and water; **EP** = Eutrophication potential; **POCP** = Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants; **ADPE** = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; **ADPF** = Abiotic depletion potential for fossil resources. **MND**: Module Not Declared.

**Impatti Ambientali per 1 tonnellata di lastre rifilate e sabbiate, spessori 5-6 cm**

PARAMETRI			FASI			
ACRONIMO	UM	A1-A3 sp. 5 cm	A1-A3 Sp. 6 cm	B1-B7	C1-C4	D
GWP	[kgCO <sub>2</sub> -eq]	6,30E+01	6,24E+01	MND	MND	MND
ODP	[kgCFC11-eq]	1,86E-05	1,85E-05	MND	MND	MND
POCP	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq]	1,73E-02	1,72E-02	MND	MND	MND
AP	[kgSO <sub>2</sub> -eq]	3,17E-01	3,15E-01	MND	MND	MND
EP	[kgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq]	7,98E-02	7,90E-02	MND	MND	MND
ADPM	[kgSb-eq]	7,79E-05	7,75E-05	MND	MND	MND
ADPE	[MJ]	1,78E+03	1,77E+03	MND	MND	MND

**GWP** = Global warming potential; **ODP** = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; **AP** = Acidification potential of land and water; **EP** = Eutrophication potential; **POCP** = Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants; **ADPE** = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; **ADPF** = Abiotic depletion potential for fossil resources. **MND**: Module Not Declared.

Usi di Risorse per 1 tonnellata di lastre rifilate, naturali (NAT) e sabbiate (SAB), spessore 2 cm

PARAMETRI				FASI		
ACRONYM	UM	A1-A3 NAT	A1-A3 SAB	B1-B7	C1-C4	D
PERE	[MJ]	2,11E+02	2,21E+02	MND	MND	MND
PERM	[MJ]	1,13E+02	1,13E+02	MND	MND	MND
PERT	[MJ]	3,24E+02	3,30E+02	MND	MND	MND
PENRE	[MJ]	1,82E+03	1,96E+03	MND	MND	MND
PENRM	[MJ]	9,38E+01	9,38E+01	MND	MND	MND
PENRT	[MJ]	1,92E+03	2,05E+03	MND	MND	MND
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
FW	[m <sup>3</sup> ]	3,00E+00	3,00E+00	MND	MND	MND

**PERE** = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; **PERM** = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; **PERT** = Total use of renewable primary energy resources; **PENRE** = Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials; **PENRM** = Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials; **PENRT** = Total use of non-renewable primary energy resources; **SM** = Use of secondary material; **RSF** = Use of renewable secondary fuels; **NRSF** = Use of non-renewable secondary fuels; **FW** = Use of net fresh water.

Usi di Risorse per 1 tonnellata di lastre rifilate, sabbiate, spessori 3 e 4 cm

PARAMETRI				FASI		
ACRONYM	UM	A1-A3 sp. 3 cm	A1-A3 sp. 4 cm	B1-B7	C1-C4	D
PERE	[MJ]	2,17E+02	2,16E+02	MND	MND	MND
PERM	[MJ]	1,13E+02	1,13E+02	MND	MND	MND
PERT	[MJ]	3,30E+02	3,28E+02	MND	MND	MND
PENRE	[MJ]	1,91E+03	1, 89E+03	MND	MND	MND
PENRM	[MJ]	9,38E+01	9,38E+01	MND	MND	MND
PENRT	[MJ]	2,01E+03	1,98E+03	MND	MND	MND
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
FW	[m <sup>3</sup> ]	3,00E+00	3,00E+00	MND	MND	MND

**PERE** = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; **PERM** = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; **PERT** = Total use of renewable primary energy resources; **PENRE** = Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary

energy resources used as raw materials; **PENRM** = Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials; **PENRT** = Total use of non-renewable primary energy resources; **SM** = Use of secondary material; **RSF** = Use of renewable secondary fuels; **NRSF** = Use of non-renewable secondary fuels; **FW** = Use of net fresh water.

#### Usi di Risorse per 1 tonnellata di lastre rifilate, sabbiate, spessori 5 e 6 cm

PARAMETRI		FASI				
ACRONYM	UM	A1-A3 sp. 5 cm	A1-A3 sp. 6 cm	B1-B7	C1-C4	D
PERE	[MJ]	2,15E+02	2,14E+02	MND	MND	MND
PERM	[MJ]	1,13E+02	1,13E+02	MND	MND	MND
PERT	[MJ]	3,27E+02	3,27E+02	MND	MND	MND
PENRE	[MJ]	1,88E+03	1, 87E+03	MND	MND	MND
PENRM	[MJ]	9,38E+01	9,38E+01	MND	MND	MND
PENRT	[MJ]	1,97E+03	1,96E+03	MND	MND	MND
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
FW	[m <sup>3</sup> ]	3,00E+00	3,00E+00	MND	MND	MND

**PERE** = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; **PERM** = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; **PERT** = Total use of renewable primary energy resources; **PENRE** = Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials; **PENRM** = Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials; **PENRT** = Total use of non-renewable primary energy resources; **SM** = Use of secondary material; **RSF** = Use of renewable secondary fuels; **NRSF** = Use of non-renewable secondary fuels; **FW** = Use of net fresh water.

#### FLUSSI DI OUTPUT E RIFIUTI: per 1 tonnellata di lastre rifilate, naturali (NAT) e sabbiate (SAB), spessore 2 cm

PARAMETRI		FASI				
ACRONYM	UM	A1-A3 NAT	A1-A3 SAB	B1-B7	C1-C4	D
HDW	[kg]	3,82E-06	3,82E-06	MND	MND	MND
NHWD	[kg]	1,30E+03	1,30E+03	MND	MND	MND
RWD	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
CRU	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
MFR	[kg]	1,17E+01	1,17E+01	MND	MND	MND
MER	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
EEE	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND
EET	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND

**HWD** = Hazardous waste disposed; **NHWD** = Non-hazardous waste disposed; **RWD** = Radioactive waste disposed; **CRU** = Components for re-use; **MFR** = Materials for recycling; **MER** = Materials for energy recovery; **EEE** = Exported electrical energy; **EET** = Exported thermal energy **INA**=Indicator not assessed

**FLUSSI DI OUTPUT E RIFIUTI: per 1 tonnellata di lastre rifilate, sabbiate, spessori 3 e 4 cm**

PARAMETRI		FASI				
ACRONYM	UM	A1-A3 NAT	A1-A3 SAB	B1-B7	C1-C4	D
HDW	[kg]	3,82E-06	3,82E-06	MND	MND	MND
NHWD	[kg]	1,30E+03	1,30E+03	MND	MND	MND
RWD	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
CRU	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
MFR	[kg]	1,17E+01	1,17E+01	MND	MND	MND
MER	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
EEE	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND
EET	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND

**HWD** = Hazardous waste disposed; **NHWD** = Non-hazardous waste disposed; **RWD** = Radioactive waste disposed; **CRU** = Components for re-use; **MFR** = Materials for recycling; **MER** = Materials for energy recovery; **EEE** = Exported electrical energy; **EET** = Exported thermal energy **INA**=Indicator not assessed

**FLUSSI DI OUTPUT E RIFIUTI: per 1 tonnellata di lastre rifilate, sabbiate, spessori 5 e 6 cm**

PARAMETRI		FASI				
ACRONYM	UM	A1-A3 NAT	A1-A3 SAB	B1-B7	C1-C4	D
HDW	[kg]	3,82E-06	3,82E-06	MND	MND	MND
NHWD	[kg]	1,30E+03	1,30E+03	MND	MND	MND
RWD	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	MND	MND	MND
CRU	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
MFR	[kg]	1,17E+01	1,17E+01	MND	MND	MND
MER	[kg]	INA	INA	MND	MND	MND
EEE	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND
EET	[MJ]	INA	INA	MND	MND	MND

**HWD** = Hazardous waste disposed; **NHWD** = Non-hazardous waste disposed; **RWD** = Radioactive waste disposed; **CRU** = Components for re-use; **MFR** = Materials for recycling; **MER** = Materials for energy recovery; **EEE** = Exported electrical energy; **EET** = Exported thermal energy **INA**=Indicator not assessed

## 6. References

- [1] UNI EN 15804:2014 “Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto”.
- [2] Institut Bauen und Umwelt e.V., “*Dimension stone for roof, wall and floor applications* (v. 1.6, 30.11.2017)“.
- [3] Gargari Caterina, Innocenti Elisa, Palumbo Elisabetta, *Il profilo ambientale delle coperture in laterizio*, in *Costruire in Laterizio*, n.138.
- [4] The norwegian EPD foundation, available in: [http://www.epd-norge.no/?lang=en\\_GB](http://www.epd-norge.no/?lang=en_GB)
- [5] Institut Bauen und Umwelt e.V. <http://ibu-epd.com>
- [6] Documento di Analisi dei Rischi, redatto da R. Tocchini (22.03.2017)
- [7] Torricelli, Maria Chiara (a cura di) (2015), *ES-LCA e patrimonio naturale: Life Cycle Analisi ambientale e sociale di un'area protetta*, Firenze University Press.
- [8] Traverso, Marzia, Rizzo Gianfranco, Finkbeiner Matthias (2010), *Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble*, The International Journal of Life Cycle Assessment, Int J Life Cycle Assess, n. 15, pp. 104–114.
- [9] Torricelli, M.C., Palumbo, E., Gargari, C. (2013)- Profilo Ambientale della pietra serena di Firenzuola: processo produttivo e nuovi impieghi (Scalbi S., Reale F. - *Life Cycle Assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici* - ENEA - Agenzia per le Nuove tecnologie l'Energia e lo sviluppo economico sostenibile Roma (ITA) - n. volume - pp. da 163 a 169 ISBN: 9788882862923 [Atto di Convegno (in Volume) - Relazione in Volume di Atti di Convegno].
- [10] Torricelli M.C., Palumbo E. (2010), Profilo ambientale di materiali e prodotti lapidei nel ciclo di vita, in Garzonio C.A., Montanari F., Torricelli M.C., (a cura di) (2010) *Pietra serena Qualità del prodotto e sostenibilità ambientale*, Libria, Melfi, pp.16-61.
- [11] Torricelli M. C., Piferi C., Palumbo E. (2008), Qualità e impieghi della pietra serena. In: Bartolomei A., Montanari F. (a cura di), “*Pietra serena. Materia della città*”, Firenze, Aida.
- [12] Palumbo Elisabetta, *LCA Natural Stone. Strumenti e indicatori per la progettazione sostenibile di involucri litici secondo un approccio Life Cycle* (2018), p. 1-306, Firenze:Didapress, ISBN: 978-88-3338-025-4.
- [13] Torricelli M. C., Piferi C., Palumbo E., Qualità e impieghi della pietra serena (2008). In: Bartolomei A., Montanari F. (a cura di), “*Pietra serena. Materia della città*”, Firenze, Aida.
- [14] Esposito Corcione C, Palumbo E, Masciullo A, Montagna F, Torricelli M C (2018). Fused Deposition Modeling (FDM): An innovative technique aimed at reusing Lecce stone waste for industrial design and building applications. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, vol. 158, p. 276-284, ISSN: 0950-0618, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.10.011.





# Bibliografia

**Normativa UNI EN ISO 14040:2021**, *Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento ISO 14040*

**Normativa UNI EN ISO 14025:2010**, *Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III - Principi e procedure*

**Normativa UNI EN ISO 14044:2021**, *Tutela dell'ambiente e valutazione del ciclo di vita – LCA – Life cycle assessment*

# Sitografia

**Cariplo factory**

<https://www.cariplofactory.it>

**EPD Italy**

<https://www.epditaly.it>

**European Environment Agency**

<https://www.eea.europa.eu>

**Federal Office for Spatial Development ARE**

<https://www.are.admin.ch/>

**Gyproc**

<https://www.gyproc.it>

**ift Rosenheim**

<https://www.ift-rosenheim.de>

**inies**

<https://www.inies.fr>

**ISO**

<https://www.iso.org>

**ISPRA**

<https://www.isprambiente.gov.it>



**One Click LCA**

<https://oneclicklcaapp.com>

**Rete clima**

<https://www.reteclima.it>

**Setac**

<https://www.setac.org>

**Sphera**

<https://sphera.com>

**The construction material pyramid**

<https://www.materialepyramiden.dk>

**The New York Times**

<https://www.nytimes.com>

**Vaillant**

<https://latuaimpronta.vaillant.it>