



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture



**PIETRA
NATURALE
AUTENTICA**

Life Cycle Assessment (LCA) di lastre in Breccia Marina Blu (azienda: Marmi Ghirardi Srl)



Torino, agosto 2025

Autori dello studio:

Morvidoni Laura - Politecnico di Torino

Pezzin Giulia - Politecnico di Torino

PhD Bianco Isabella - Politecnico di Torino

Ing. Chiappino Claudia

Committente della ricerca: Pietra Naturale Autentica (PNA), Corso Sempione 30, Milano

Sommario

Il processo produttivo delle lastre in pietra è suddiviso nelle fasi di estrazione della pietra, taglio in lastre, finitura superficiale e imballaggio delle lastre. La rete Pietra Naturale Autentica (PNA), che comprende aziende operanti in ciascuna di queste fasi, ha incaricato il Politecnico di Torino di realizzare uno studio finalizzato a quantificare gli impatti ambientali di 1 m² di lastra con spessore di 2 cm. Questo studio si configura come l'aggiornamento e l'ampliamento di un'analisi precedente svolta nel 2024, con l'ulteriore obiettivo di ottenere un'EPD di settore basata su un prodotto medio (1 m² di lastra media con spessore di 2 cm). A tale scopo è stata utilizzata la metodologia di Life Cycle Assessment (LCA), basata sulla norma ISO 14040-44 e sulle linee guida della Commissione Europea. Lo studio è stato condotto seguendo le indicazioni contenute nelle Product Category Rules (PCR) per i prodotti da costruzione 2019:14 Versione 2.0.1 e nella EN 15804:2012+2019:A2/AC:2021.

Sono stati analizzati 15 materiali estratti e lavorati in Italia e per ciascun materiale sono stati calcolati gli impatti ambientali di 1 m² di lastra. L'impatto sul cambiamento climatico varia tra 3,4 e 37,9 kg CO₂ eq./m². Considerando tutti i materiali analizzati, la media ponderata dell'impatto sul cambiamento climatico è pari a 13,5 kg CO₂ eq./m² per i moduli A1-A3 (cradle-to-gate), ai quali si aggiungono 0,94 kg CO₂ eq./m² per la fase di fine vita della lastra, considerando uno scenario di smaltimento al 100% (moduli C1-C4 + D). Questo report fornisce, oltre ai risultati complessivi dello studio, anche i dettagli relativi alle lastre di Breccia Marina Blu prodotte dall'azienda Marmi Ghirardi Srl. In particolare, **l'impatto sul cambiamento climatico di una lastra di 2 cm in Breccia Marina Blu risulta essere pari a 11.2 kg CO₂ eq/m².**

L'energia (elettricità e gasolio) consumata sia nelle fasi di estrazione che di trasformazione fornisce un contributo significativo (circa l'80%) all'impatto totale del modulo A1-A3 della lastra media. Tuttavia, il contributo dell'energia è piuttosto variabile, poiché dipende dalle fonti energetiche utilizzate, dalle caratteristiche della pietra, dalle tecnologie impiegate e dalla resa di lavorazione. I materiali consumati e i rifiuti prodotti in cava sono quasi sempre molto limitati, mentre nelle fasi di taglio/finitura essi forniscono un contributo non trascurabile, pari in media al 14,7%. Quest'ultimo contributo è dovuto soprattutto al consumo di utensili diamantati, abrasivi e resina.

Lo studio risulta accurato poiché si basa quasi interamente su dati raccolti direttamente in cava o presso gli impianti di lavorazione. È inoltre sufficientemente rappresentativo dal punto di vista geografico, in quanto considera diversi litotipi provenienti da aree geografiche differenti dell'Italia centrale e settentrionale, come illustrato in Figura 1. Infine, la rappresentatività temporale è eccellente, poiché i dati relativi a tutti i materiali sono recenti (anno 2024).

Lo studio costituisce il rapporto LCA per la certificazione ambientale EPD di settore relativa alle lastre prodotte in Italia. Inoltre, a livello internazionale, contribuisce alla futura definizione di linee guida per l'armonizzazione degli studi LCA nel settore della pietra ornamentale.



Figura 1. Localizzazione geografica delle cave e degli impianti di lavorazione per i 15 materiali analizzati.

Versione

Versione finale del report LCA, 2025-08-08

INDICE

Sommario.....	3
Versione.....	3
INDICE.....	4
Indice delle tabelle.....	5
Indice delle figure.....	6
2. Metodologia LCA	7
2.1 Introduzione alla metodologia LCA	7
2.2 Processi multi-output: allocazione ed espansione del sistema	8
3. Definizione degli obiettivi e delle ipotesi di lavoro	10
In generale l'obiettivo è stimare gli impatti ambientali medi associati all'intero ciclo di vita delle lastre di pietra con finitura superficiale, fino allo scenario di fine vita. Un ulteriore obiettivo dello studio è identificare i processi maggiormente responsabili, in media, dell'impatto potenziale sul cambiamento climatico, fornendo così informazioni utili per interventi di miglioramento ambientale.....	10
Il principale gruppo target di questa EPD di settore è costituito dagli stakeholder business-to-business (B2B), come architetti, designer, imprese di costruzione e professionisti degli approvvigionamenti. Questi risultati possono essere utilizzati anche per la comunicazione business-to-consumer (B2C), fornendo dati ambientali trasparenti agli utenti finali e ai clienti interessati alla sostenibilità dei materiali lapidei naturali.....	10
3.1 Descrizione del prodotto e dichiarazione del contenuto	10
3.2 Confini di sistema	11
I confini temporali si riferiscono all'anno solare 2024 e includono quindi tutti i dati di consumo, produzione e trasporto relativi a questo periodo, dal 1° gennaio 2024 al 31 dicembre 2024.....	11
3.2.1 Esclusioni dai confini del sistema	11
3.2.2 Criteri di cut-off e dati proxy	12
3.2.3 Moduli dichiarati e contenuto delle fasi del ciclo di vita	12
3.3 Unità dichiarata	12
In particolare, nei casi in cui l'unità dichiarata non sia espressa in massa, viene applicato un fattore di conversione basato sulla densità apparente del materiale (Tabella 1), in linea con le disposizioni della normativa di riferimento. Per la valutazione degli impatti relativi ai moduli downstream e ai benefici, si considera una densità apparente media del materiale pari a 2,6 t/m ³ , quindi 1 m ² di lastra spessa 2 cm corrisponde a 0,052 t.....	13
3.4 Valutazione della qualità dei dati e tool IT per LCA	13
4. Analisi dell'Inventario (LCI)	14
4.7 Breccia Marina Blu (azienda: Marmi Ghirardi Srl)	15
La Breccia Marina Blu viene estratta a Gavardo (BS), a 35 km dall'impianto dove avviene la trasformazione in lastre. I dati raccolti si riferiscono alla produzione dell'anno 2024.....	15
4.7.1 Fase di estrazione e trasporto della Breccia Marina Blu (A1-A2)	15
4.7.2 Fase di taglio e finitura del Breccia Marina Blu (A3)	15
4.17 Fase di fine vita	15
4.17.1 Descrizione dello scenario	15
4.17.2 Analisi dei moduli C + D	16
5. Analisi degli impatti (LCIA)	18
5.1 Metodologia di valutazione degli impatti	18
5.2 Risultati degli impatti ambientali per singolo materiale	19
5.3 EPD di settore: risultati aggregati di impatto ambientale	21
5.3.1 Risultati dichiarati	21
5.4 Interpretazione: analisi di contributo, analisi di sensibilità e analisi d'incertezza	22
Questo paragrafo approfondisce i risultati di impatto ottenuti per l'indicatore cambiamento climatico e mira a identificare il contributo che le diverse fasi del processo di produzione della lastra hanno sull'impatto totale.....	22
5.4.1 Analisi dei contributi	22
5.4.2 Analisi di sensibilità e incertezza	24
6. Conclusioni e raccomandazioni	26
Bibliografia	27
Appendice 1	28
Appendice 2	30

Indice delle tabelle

Tabella 1. Aziende e materiali inclusi nello studio.....	10
Tabella 2. Dichiarazione del contenuto del prodotto – Media di settore.....	11
Tabella 3. Dichiarazione del contenuto degli imballaggi – Media di settore	11
Tabella 4. Moduli dichiarati, copertura geografica e origine dei dati	12
Tabella 5. Struttura e contenuti per fase del ciclo di vita secondo EN 15804	12
Tabella 6. Unità dichiarate adottate per ciascun modulo del ciclo di vita	13
Tabella 7. Dichiarazione delle fonti, anni di riferimento, categorie e quota di dati primari.....	13
Tabella 9. Mix energetico italiano per l'anno 2022 (AIB, 2023).....	15
Tabella 10. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Basaltina	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 11. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Basaltina	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 12. Inventario relativo alla produzione di lastre di Basaltina	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 13. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Bianco Avorio	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 14. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Bianco Avorio	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 15. Inventario relativo alla produzione di lastre di Bianco Avorio	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 16. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Bianco Avorio (sp.2 cm)	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 17. Inventario relativo all'imballaggio finale delle lastre di Bianco Avorio	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 18. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Grigio Alpi	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 19. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Grigio Alpi	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 20. Inventario relativo alla produzione di lastre di Grigio Alpi	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 21. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Grigio Alpi (sp.2 cm)	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 22. Inventario relativo all'imballaggio finale delle lastre di Grigio Alpi	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 23. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Pietra del Cardoso	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 24. Inventario relativo alla produzione di lastre di Pietra del Cardoso	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 25. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Pietra del Cardoso (sp.2 cm)	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 26. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Botticino Classico	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 27. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Botticino Classico	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 28. Inventario relativo alla produzione di lastre di Botticino Classico	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 29. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Botticino Classico (sp.2 cm)	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 30. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Breccia Aurora	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 31. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Breccia Aurora	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 32. Inventario relativo alla produzione di lastre di Breccia Aurora	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 33. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Breccia Aurora (sp.2 cm)	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 34. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Breccia Marina Blu.....	15
Tabella 35. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Breccia Marina Blu.....	15
Tabella 36. Inventario relativo alla produzione di lastre di Breccia Marina Blu	15
Tabella 37. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Breccia Marina Blu (sp.2 cm)	15
Tabella 38. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Pietra di Luserna.....	15
Tabella 39. Inventario relativo alla produzione di lastre di Pietra di Luserna.....	15
Tabella 40. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Pietra di Luserna (sp.2 cm).	15
Tabella 41. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Marmo Bettogli	15
Tabella 42. Inventario relativo alla produzione di lastre di Marmo Bettogli.....	15
Tabella 43. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Marmo Bettogli (sp.2 cm)....	15
Tabella 44. Inventario relativo all'imballaggio delle lastre di Marmo Bettogli (sp.2 cm)	15
Tabella 45. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Ceppo di Grè	15
Tabella 46. Inventario relativo alla produzione di lastre di Ceppo di Grè.....	15
Tabella 47. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Ceppo di Grè (sp.2 cm)	15

Tabella 48. Inventario relativo al imballaggio finale delle lastre di Ceppo di Grè.....	15
Tabella 49. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Caldia.....	15
Tabella 50. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Caldia.....	15
Tabella 51. Inventario relativo alla produzione di lastre di Caldia.....	15
Tabella 52. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Caldia (sp.2 cm).....	15
Tabella 53. Inventario relativo al imballaggio finale delle lastre di Caldia.....	15
Tabella 54. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Alps Glitter.....	15
Tabella 55. Inventario relativo alla produzione di lastre di Alps Glitter.....	15
Tabella 56. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Alps Glitter (sp.2 cm).....	15
Tabella 57. Inventario relativo al imballaggio finale delle lastre di Alps Glitter.....	15
Tabella 58. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Marmo Grolla.....	15
Tabella 59. Inventario relativo alla squadratura dei blocchi di Marmo Grolla.....	15
Tabella 60. Inventario relativo alla produzione di lastre di Marmo Grolla.....	15
Tabella 61. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Marmo Grolla (sp.2 cm).....	15
Tabella 62. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Cipollino.....	15
Tabella 63. Inventario relativo alla produzione di lastre di Cipollino.....	15
Tabella 64. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Cipollino (sp.2 cm).....	15
Tabella 65. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Bianco Cattani.....	15
Tabella 66. Inventario relativo alla produzione di lastre di Bianco Cattani.....	15
Tabella 67. Inventario relativo alla finitura superficiale delle lastre di Bianco Cattani (sp.2 cm)....	15
Tabella 68. Scenario di fine vita.....	16
Tabella 69. Parametri assunti per la modellizzazione dei moduli C di fine vita.....	16
Tabella 70. Indicatori ambientali principali e aggiuntivi (in grigio) con unità di misura, avvertenze e modelli di caratterizzazione	18
Tabella 71. Risultati di impatto ambientale per 1 m ² di lastra (spessore 2 cm), per ciascun materiale analizzato	19
Tabella 72. Valori di riferimento per il calcolo della media ponderata.....	21
Tabella 73. Scenario di smaltimento al 100%.....	21
Tabella 74. Analisi dei contributi sull'indicatore di cambiamento climatico: per ciascun materiale è indicato l'impatto dovuto all'energia (in cava/in stabilimento), all'uso di materiali e al trattamento rifiuti (in cava/in stabilimento) e al trasporto dalla cava allo stabilimento. Sono riportati anche i valori medi, minimi e massimi per la pietra. Per maggiore leggibilità, i colori associati a ciascuna linea sono quelli indicati nel grafico precedente	23
Tabella 75. Contributi percentuali delle diverse fasi del processo produttivo all'indicatore complessivo di cambiamento climatico per la lastra media considerata.....	24
Tabella 76. Analisi di incertezza eseguita tramite simulazione Montecarlo (95 ripetizioni), risultati per l'indicatore di cambiamento climatico	25
Tabella 77. Valutazione della qualità dei dati.....	28

Indice delle figure

Figura 1. Localizzazione geografica delle cave e degli impianti di lavorazione analizzati per i 15 materiali	3
Figura 2. Schema operativo della LCA.....	7
Figura 3. Schema LCA secondo ISO 14040.....	8
Figura 4. Processi multi-output: approccio di allocazione economica per il calcolo degli impatti.....	8
Figura 5. Confini del sistema LCA: la linea blu tratteggiata delimita i confini del sistema per il calcolo degli impatti delle lastre durante il loro ciclo di vita.....	14
Figura 6. Impatti sul cambiamento climatico di 1 m ² di lastra (spessore 2 cm) per tutti i materiali analizzati e indicazione del valore medio (indicatore totale cambiamento climatico, GWP-total).....	23
Figura 7. Contributo, in valore assoluto, delle varie fasi del processo all'indicatore di cambiamento climatico (GWP-total)	23
Figura 8. Analisi di incertezza del prodotto medio ponderato (1 m ² di lastra finale) con metodo EN 15804, intervallo di confidenza: 95%, indicatore cambiamento climatico.....	25

1. Contesto e obiettivi dello studio

Il presente studio è stato commissionato dalla rete Pietra Naturale Autentica (PNA), composta da decine di aziende operanti nella filiera italiana della pietra naturale. La rete PNA comprende quindi imprese coinvolte nell'estrazione della pietra e nelle successive fasi di taglio e finitura, nonché aziende produttrici di macchinari e utensili.

Questo studio si configura come un aggiornamento e un approfondimento di una precedente analisi svolta dallo stesso team di ricerca nel 2024, ed è finalizzato all'ottenimento della certificazione EPD di settore basata su un prodotto medio.

Il rapporto descrive sinteticamente la metodologia LCA (Capitolo 2), identifica gli obiettivi specifici dello studio e i confini dell'analisi (Capitolo 3), fornisce i dettagli dei dati di inventario utilizzati nella modellazione LCA per il materiale oggetto dello studio (Capitolo 4) e quantifica e dichiara gli impatti ambientali (Capitolo 5) di 1 m² di lastra finita, calcolati come media di tutti i materiali analizzati. Infine, il Capitolo 6 riporta le raccomandazioni e le conclusioni degli autori dello studio.

L'Appendice 2 descrive la procedura di follow-up definita per monitorare la validità del EPD dichiarato.

2. Metodologia LCA

In questo studio è stata utilizzata la metodologia LCA (Life Cycle Assessment) seguendo la norma ISO 14040-44, il sistema di riferimento internazionale International Reference Life Cycle Data System (ILCD), le linee guida Product Environmental Footprint (PEF) della Commissione Europea, I Product Category Rules (PCR) 2019:14 Versione 2.0.1 e la letteratura scientifica internazionale.

2.1 Introduzione alla metodologia LCA

La metodologia di **Life Cycle Assessment (LCA)**, codificata dalle norme della serie **UNI EN ISO 14040**, può essere definita come una tecnica di valutazione ambientale oggettiva finalizzata a quantificare gli impatti ambientali di un prodotto o di un processo durante tutte le fasi del suo ciclo di vita, attraverso la misurazione sistematica di tutti gli scambi fisici con il sistema ambientale.

Questa metodologia (Figura 2) si basa su criteri oggettivi che consentono di identificare e valutare i potenziali impatti ambientali e i carichi energetici di un prodotto/processo produttivo, attraverso l'individuazione dei flussi in ingresso (materiali, risorse ed energia) e dei flussi in uscita (rifiuti ed emissioni inquinanti nell'ambiente) lungo l'intero ciclo di vita.

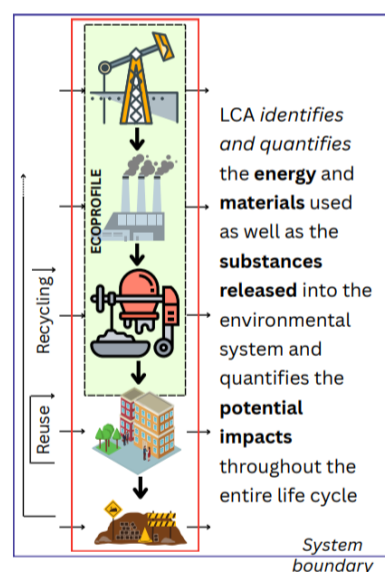


Figura 2. Schema operativo della LCA.

L'approccio LCA, di natura quantitativa e quindi strettamente ingegneristico, è stato sviluppato nei primi anni '70 e ha visto una crescente diffusione a partire dagli anni '90. Si tratta di una metodologia innovativa per affrontare le problematiche ambientali legate a un prodotto o a un processo, poiché consente una valutazione complessiva degli impatti lungo l'intero ciclo di vita.

Attraverso un'analisi **"dalla culla alla tomba" (cradle-to-grave)**, il sistema produttivo viene considerato nella sua interezza: per questo motivo, eventuali ipotesi e/o tentativi di miglioramento specifico vengono valutati con riferimento all'intero ciclo di vita.

La valutazione comprende le fasi di estrazione e trattamento delle materie prime, produzione, trasporto e distribuzione, fino all'uso, riuso, riciclo e smaltimento finale.

Inizialmente adottata soprattutto nel settore industriale, l'analisi LCA è oggi ampiamente applicata in diversi ambiti, dimostrando la sua versatilità e rilevanza trasversale.

Secondo la norma **ISO 14040**, le fasi di un'analisi del ciclo di vita (LCA) (Figura 3) sono le seguenti:

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Questa è la fase iniziale, in cui vengono definiti gli scopi e i confini dello studio LCA, l'unità funzionale e i limiti del sistema. Tale fase determina quindi l'intero assetto dell'analisi, descrive il sistema oggetto di studio e stabilisce le categorie di dati da raccogliere, le ipotesi e i limiti considerati.

2. Life Cycle Inventory Analysis (LCI)

Questa fase comprende la raccolta dei dati e le procedure di calcolo che consentono la quantificazione dei flussi in ingresso e in uscita di un sistema-prodotto. Si tratta certamente della fase più importante di uno studio LCA: essa crea un modello del sistema reale esaminato e permette di determinare gli input e output fisici in funzione degli obiettivi dello studio. Per questo motivo, questa fase è solitamente supportata da software e database dedicati.

3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

È la fase di elaborazione dei risultati dell'inventario, con lo scopo di valutare l'entità dei potenziali impatti ambientali e quindi evidenziare l'ampiezza delle modificazioni ambientali generate dai rilasci nell'ambiente (emissioni o scarichi idrici) e dal consumo di risorse causato dall'attività produttiva.

4. Life Cycle Interpretation and Improvement

È la fase finale della valutazione del ciclo di vita, in cui i risultati ottenuti nell'analisi dell'inventario e nella valutazione degli impatti vengono combinati in modo coerente con l'obiettivo predefinito e lo scopo da raggiungere. La fase di interpretazione ha l'obiettivo di ottenere conclusioni e raccomandazioni necessarie a ridurre l'impatto ambientale dei processi o delle attività considerate, valutandole in modo iterativo con la stessa metodologia.

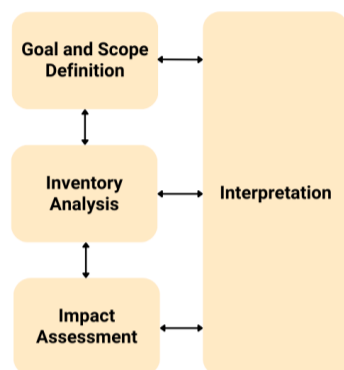


Figure 3. Schema della metodologia LCA secondo ISO 14040.

2.2 Processi multi-output: allocazione¹ ed espansione² del sistema

Nel caso in cui lo stesso processo generi due o più sottoprodotti, la distribuzione degli impatti può essere effettuata con approcci diversi. I principali metodi di distribuzione utilizzati in LCA sono rispettivamente l'allocazione e l'espansione del sistema. Poiché la scelta dipende fortemente dagli obiettivi dello studio, dai confini del sistema individuati e dal tipo di processo, attualmente non esiste un metodo universalmente condiviso dalla comunità scientifica.

L'allocazione è il processo mediante il quale gli impatti ambientali generati da un sistema vengono suddivisi tra i diversi co-prodotti in uscita. Questa distribuzione può essere effettuata secondo criteri differenti, a seconda delle caratteristiche specifiche del caso di studio. È possibile effettuare un'allocazione su base fisica, in cui gli impatti vengono distribuiti in base alle proprietà fisiche dei co-prodotti, come massa, volume o contenuto energetico.

Tuttavia, questo approccio può risultare inadeguato quando i co-prodotti presentano qualità o valori molto diversi. In tali situazioni, è possibile adottare un criterio economico, che attribuisce gli impatti ambientali in proporzione al valore di mercato dei singoli co-prodotti.

Questo è l'approccio utilizzato nello studio qui presentato, in conformità con quanto previsto dalle Product Category Rules (PCR) 2019:14.

Ad esempio, nel caso dell'estrazione della pietra, è possibile assegnare valori di mercato ai blocchi regolari, ai blocchi irregolari e alle scaglie terrose, distribuendo così gli impatti dell'estrazione in proporzione al valore economico di ciascun prodotto. Supponendo, ad esempio, che 1 t di materiale estratto produca 0,3 t di blocchi regolari (prezzo di mercato: 150 €/t), 0,1 t di blocchi irregolari (90 €/t) e 0,6 t di cocciame terroso (2 €/t), per un valore totale di: $0,3 \cdot 150 + 0,1 \cdot 90 + 0,6 \cdot 2 = 55,2$ €, otteniamo:

- Impatti allocati ai blocchi regolari: $(0,3 \cdot 150) / 55,2 = 82\%$
- Impatti allocati ai blocchi irregolari: $(0,1 \cdot 90) / 55,2 = 16\%$
- Impatti allocati al cocciame terroso: $(0,6 \cdot 2) / 55,2 = 2\%$

La Figura 4 illustra il concetto alla base dell'allocazione economica applicata.

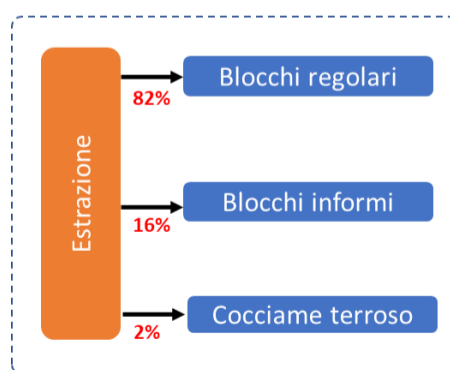


Figure 4. Processi a multi-output: approccio di allocazione economica per il calcolo degli impatti.

¹ Procedure utilizzate in questo studio

² Non utilizzate nel presente studio, riportate a titolo di completezza e a scopo informativo

Nell'**espansione di sistema** i coprodotti sono considerati in sostituzione di altri prodotti presenti sul mercato. Questo approccio tiene in considerazione gli impatti/benefici indiretti di sistemi inter-connessi ed inter-dipendenti, sottraendo gli impatti del/i prodotto/i evitato/i. Tale approccio richiede un'attenta individuazione dei processi produttivi che vengono evitati come conseguenza della disponibilità, sul mercato, dei coprodotti analizzati. Nel caso della filiera della pietra, l'individuazione di catene produttive alternative per la produzione dei coprodotti dell'estrazione (blocchi informi, cocciame terroso, in riferimento al precedente esempio) risulterebbe discutibile e poco significativa, in quanto essi solitamente non sono prodotti principali nemmeno in altre filiere. Per tale ragione l'approccio di espansione del sistema non è stato considerato nel presente studio.

3. Definizione degli obiettivi e delle ipotesi di lavoro

In uno studio LCA, è fondamentale definire con precisione gli obiettivi, al fine di disporre di uno strumento in grado di cogliere tutte le implicazioni ambientali associate al sistema analizzato e di fornire risposte coerenti alle tematiche considerate rilevanti.

Questo studio è stato realizzato per conto della Rete PNA ed è propedeutico alla pubblicazione della Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) presso The International EPD® System (EPD International AB Box 210 60, SE-100 31 Stoccolma, Svezia), in particolare alla dichiarazione EPD di settore per il comparto della pietra naturale italiana.

Pertanto, l'obiettivo principale è analizzare, quantificare e verificare gli impatti ambientali medi generati dal ciclo di vita di 1 m² di lastra di spessore 2 cm, estratta e lavorata all'interno dei confini italiani, mediante la metodologia LCA e in conformità alle disposizioni delle Product Category Rules (PCR) 2019:14 – Construction products, Versione 2.0.1 e delle General Programme Instructions (GPI) per l'International EPD® System, Versione 5.0.0.

Poiché attualmente non è disponibile una c-PCR (Complementary PCR) specifica per il materiale in esame, ci si è riferiti ai requisiti generali stabiliti nelle PCR e nelle normative internazionali pertinenti: EN 15804:2012+2019:A2/AC:2021, ISO 14040:2006, ISO 14044:2018, ISO 14025:2010 e ISO 21930:2017.

In particolare, lo studio riguarda 15 prodotti realizzati da 11 aziende facenti parte della rete PNA e riportate nella Tabella 1. Per ottenere la dichiarazione ambientale, sarà presentata un'analisi d'impatto relativa a una lastra "media" tra tutte quelle incluse nello studio (EPD di settore).

Tabella 1. Aziende e materiali inclusi nello studio.

Aziende	Materiali	Regioni	Densità apparente [t/m ³]
CMP Solmar S.r.l.	Pietra del Cardoso	Toscana	2.7
Marmi Faedo	Marmo Grolla	Veneto	2.7
Franchi Umberto Marmi S.p.A.	Marmo Bettogli	Toscana	2.7
Marmi Minucciano	Cipollino	Toscana	2.7
	Bianco Cattani	Toscana	2.7
Grassi Pietre S.r.l.	Bianco Avorio	Veneto	1.9
	Grigio Alpi	Veneto	2.4
Marini Marmi	Ceppo di Gré	Lombardia	2.5
Nikolaus Bagnara	Alps Glitter	Trentino-Alto Adige	3
Marmi Ghirardi S.r.l.	Botticino Classico	Lombardia	2.7
	Breccia Aurora Classica	Lombardia	2.7
	Breccia Marina Blu	Lombardia	2.7
Beltramo Fratelli s.n.c.	Pietra di Luserna	Piemonte	2.7
Basaltina S.r.l.	Basaltina	Lazio	2.5
Marmi e Graniti d'Italia S.r.l.	Caldia	Toscana	2.7

In generale l'obiettivo è stimare gli impatti ambientali medi associati all'intero ciclo di vita delle lastre di pietra con finitura superficiale, fino allo scenario di fine vita. Un ulteriore obiettivo dello studio è identificare i processi maggiormente responsabili, in media, dell'impatto potenziale sul cambiamento climatico, fornendo così informazioni utili per interventi di miglioramento ambientale.

Il principale gruppo target di questa EPD di settore è costituito dagli stakeholder business-to-business (B2B), come architetti, designer, imprese di costruzione e professionisti degli approvvigionamenti. Questi risultati possono essere utilizzati anche per la comunicazione business-to-consumer (B2C), fornendo dati ambientali trasparenti agli utenti finali e ai clienti interessati alla sostenibilità dei materiali lapidei naturali.

3.1 Descrizione del prodotto e dichiarazione del contenuto

I prodotti analizzati nello studio LCA sono lastre di pietra naturale dello spessore di 2 cm, destinate a un'ampia gamma di applicazioni nel settore delle costruzioni, tra cui rivestimenti interni ed esterni, pavimentazioni ed elementi per opere architettoniche. I materiali analizzati, precedentemente elencati, rappresentano varietà di rocce sedimentarie ampiamente utilizzati nel settore delle costruzioni italiane.

Secondo la classificazione delle Nazioni Unite, i prodotti rientrano nel codice CPC 15120 - "Marmo e altre pietre calcaree monumentali o da costruzione", sotto la categoria 151 "Pietre monumentali e da costruzione", e sono caratterizzati da elevata durabilità e prestazioni tecniche stabili nel tempo. A questo proposito, la Vita Utile di Riferimento (RSL, Reference Service Life) dei prodotti, considerando la loro natura e le applicazioni previste, è stata

assunta pari a 50 anni, corrispondente alla vita utile media di un edificio. Va comunque sottolineato che la pietra naturale possiede una longevità intrinseca potenzialmente infinita, rendendola un materiale particolarmente adatto a strategie costruttive durevoli e sostenibili.

Dal punto di vista della sicurezza chimica, nessuno dei prodotti studiati contiene sostanze incluse nella lista SVHC (Substances of Very High Concern) redatta dall'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche (ECHA) in concentrazioni superiori allo 0,1% in peso, garantendo così la conformità ai requisiti REACH per la salute umana e per l'ambiente.

Infine, i materiali sono stati reperiti esclusivamente da cave situate sul territorio italiano, distribuite in diverse regioni, come illustrato nella Tabella 1, contribuendo a ridurre l'impatto del trasporto e valorizzando la filiera nazionale della pietra ornamentale.

Per la valutazione degli impatti legati ai moduli a valle e ai moduli di beneficio, si considera una densità apparente media del materiale pari a 2,6 t/m³, per cui 1 m² di lastra spessa 2 cm corrisponde a 0,052 t.

Le Tabelle 2 e 3 riportano la Dichiarazione del Contenuto del Prodotto e la dichiarazione del contenuto dell'imballaggio, con informazioni sul contenuto biogenico e altri dettagli relativi al prodotto e all'imballaggio analizzati. Si assume un contenuto di C pari al 50% nel legno e un potere calorifico di 17 MJ/kg. Non sono presenti materiali riciclati come input/output del sistema.

Tabella 2. Dichiarazione del contenuto del prodotto – Media di settore.

Componente	Densità apparente media [kg/m ³]	Peso medio [kg]	Materiale riciclato post-consumo, peso-% del prodotto	Materiale biogenico, peso-% del prodotto
Pietra ornamentale	2600	52	-	-
TOTALE	-	52	-	-

Commentato [GP1]: Le tabelle le lascerei in inglese visto che sono quelle previste proprio da normativa

Tabella 3. Dichiarazione del contenuto dell'imballaggio – Media di settore.

Materiale per imballaggio	Peso [kg/m ²]	Peso [% dell'unità di peso dichiarata]	Peso carbonio biogenico [kg C/m ²]
Legno	0,21	0,41%	0,11
Polietilene	0,004	0,01%	-
Polistirene	0,002	0,004%	-
Acciaio	0,0002	0,0004%	-
TOTALE	0,22	0,42%	0,11

3.2 Confini di sistema

La definizione dei confini di sistema rappresenta uno degli aspetti più cruciali e delicati di uno studio LCA, poiché le scelte effettuate in questa fase influenzano in maniera significativa i risultati finali e la loro interpretazione. È quindi essenziale stabilire con precisione quali fasi del ciclo di vita del prodotto e quali segmenti della catena produttiva siano inclusi nell'analisi. Questo passaggio garantisce coerenza metodologica e completezza nella valutazione degli impatti ambientali.

Nel caso della produzione di lastre in pietra, gli impatti ambientali non si limitano ai processi svolti all'interno degli stabilimenti direttamente controllati dalle aziende di estrazione, squadratura e finitura. Infatti, le conseguenze ambientali indirette, cioè quelle che si verificano al di fuori dei confini fisici degli stabilimenti ma che sono attribuibili al prodotto analizzato, possono essere anche maggiori di quelle dirette.

Il confine del sistema oggetto di studio non si limita quindi ai confini fisici di cave e stabilimenti, ma si estende a monte e a valle per includere l'intera filiera, comprendendo i seguenti sottosistemi:

- produzione e approvvigionamento di materie prime e materiali ausiliari (filo diamantato, esplosivi, dischi, lame, abrasivi, ...);
- produzione e utilizzo dell'energia consumata nei vari processi (dalla produzione dei combustibili primari alla vendita di energia elettrica);
- utilizzo dei sistemi di trasporto stradale e navale;
- attività di lavorazione interna nelle cave e negli stabilimenti: estrazione, squadratura, taglio e finitura superficiale;
- trattamento e gestione dei rifiuti;
- operazioni di imballaggio e preparazione del prodotto finito;
- fasi di fine vita, inclusi demolizione, trattamento e smaltimento.

I **confini geografici** sono identificabili come:

- area nazionale italiana (IT) per quanto riguarda le fasi di estrazione e trasporto delle materie prime e per le lavorazioni effettuate nelle singole aziende;
- globale (GLO) per lo scenario di fine vita dei prodotti (modulo C) ed Europa (EU27) per i benefici del modulo D.

I **confini temporali** si riferiscono all'anno solare 2024 e includono quindi tutti i dati di consumo, produzione e trasporto relativi a questo periodo, dal 1° gennaio 2024 al 31 dicembre 2024.

3.2.1 Esclusioni dai confini del sistema

Inoltre, sono state effettuate le seguenti esclusioni dai confini del sistema, in linea con le indicazioni della PCR di riferimento:

- la costruzione degli edifici aziendali e delle relative infrastrutture (cioè beni capitali);
- la produzione e la manutenzione di macchinari e attrezzature (cioè beni capitali);
- le attività legate al personale (cioè processi del personale);
- la manutenzione e la produzione di pezzi di ricambio con un ciclo di vita superiore a tre anni;

- le operazioni di manutenzione dei mezzi da cava;
- i flussi di rifiuti non strettamente legati alle attività di lavorazione;
- tutte le operazioni aziendali non correlate alla lavorazione del materiale considerato nello studio.

3.2.2 Criteri di cut-off e dati proxy

Non sono stati applicati criteri di cut-off: sono stati considerati tutti gli input e gli output noti. Non sono stati utilizzati dati proxy per questo studio.

3.2.3 Moduli dichiarati e contenuto delle fasi del ciclo di vita

Questo studio è conforme alla norma EN 15804:2012+2019:A2/AC:2021 e adotta un approccio "dalla culla al cancello con moduli C1-C4 e modulo D", includendo nello specifico i moduli C1-C4 e il modulo D, relativi al fine vita e ai potenziali benefici.

Di seguito, la Tabella 4 fornisce una panoramica informativa dei moduli del ciclo di vita dichiarati nello studio, specificando per ciascuno di essi l'ambito geografico di riferimento, la fonte dei dati e la copertura prevista secondo la norma. Per garantire una valutazione ambientale coerente, trasparente e comparabile, lo studio utilizza un modello suddiviso in tre fasi principali: upstream, core e downstream, con l'inclusione del modulo D. La Tabella 5 descrive i contenuti specifici inclusi in ciascuna fase del ciclo di vita, seguendo la struttura definita dalla norma di riferimento.

Tabella 4. Moduli dichiarati, area geografica e origine dei dati.

	Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage				Resource recovery stage
	Fornitura di materie prime	Trasporto delle materie prime	Produzione	Trasporto al cliente	Installazione	Uso	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ristrutturazione	Consumo di energia operativo	Consumo di acqua operativo	Smontaggio/Demolizione	Trasporto al trattamento dei rifiuti	Trattamento dei rifiuti	Smaltimento	
Modulo	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Modulo dichiarato	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	X	X	X	X	X
Geografia	IT	IT	IT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	GLO	GLO	GLO	GLO	EU27
Dati Specifici	>90%			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variazione - Prodotti	-71%/+177%			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variazione - Siti	Non applicabile			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 5. Struttura e contenuti per fase del ciclo di vita secondo EN 15804.

Fase	Modulo	Contenuti principali
UPSTREAM	A1	Estrazione della pietra Produzione di materiali ausiliari Trattamento e gestione dei rifiuti di cava
	A2	Trasporto dei blocchi e dei materiali ausiliari allo stabilimento di produzione
CORE	A3	Processi interni di lavorazione del marmo (taglio, squadratura e finitura superficiale) Trattamento e gestione dei rifiuti prodotti nei laboratori di taglio e levigatura Imballaggio per la spedizione del prodotto finito (se applicabile)
DOWNSTREAM	C1	Rimozione e demolizione delle lastre a fine vita utile
	C2	Trasporto dei materiali all'impianto di trattamento o smaltimento
	C4	Smaltimento in discarica (scenario di smaltimento al 100%)
BENEFITS	D	Attività di recupero, riuso o riciclo del materiale lapideo giunto a fine vita

3.3 Unità dichiarata

Per il confronto e la valutazione degli impatti ambientali medi delle lastre in pietra naturale, l'unità dichiarata adottata è pari a 1 m² di lastra con finitura superficiale, spessore 2 cm, pronta per la consegna al consumatore, in conformità con la PCR di riferimento. Tuttavia, ai fini del calcolo degli impatti ambientali lungo le varie fasi del ciclo di vita del prodotto, sono state definite unità dichiarate specifiche per ciascun modulo, in relazione alla natura dei processi coinvolti, come riportato in Tabella 6.

Tabella 6. Unità dichiarate adottate per ciascun modulo del ciclo di vita.

Moduli	Unità dichiarata
A1	1 t di materiale estratto
A2	1 t di materiale trasportato allo stabilimento
A3	1 m ² di lastra spessa 2 cm imballata per la consegna
C + D	1 m ² di lastra smaltita

In particolare, nei casi in cui l'unità dichiarata non sia espressa in massa, viene applicato un fattore di conversione basato sulla densità apparente del materiale (Tabella 1), in linea con le disposizioni della normativa di riferimento. Per la valutazione degli impatti relativi ai moduli downstream e ai benefici, si considera una densità apparente media del materiale pari a 2,6 t/m³, quindi 1 m² di lastra spessa 2 cm corrisponde a 0,052 t.

3.4 Valutazione della qualità dei dati e tool IT per LCA

Ogni azienda partecipante al progetto ha fornito dati specifici relativi alla propria produzione, sia nelle cave che negli stabilimenti di lavorazione. Tutti i dati primari utilizzati nel modello sono stati raccolti tramite questionari compilati dai rappresentanti aziendali tra marzo e maggio 2025 e si riferiscono all'anno solare 2024, dal 1° gennaio 2024 al 31 dicembre 2024. Tutti i dati impiegati nel modello per il modulo A3 provengono dalla raccolta dati, pertanto l'anno di riferimento è il 2024.

La Tabella 7 dichiara la fonte, l'anno di riferimento, la categoria dei dati e la quota di dati primari dei risultati GWP-GHG per tutti i processi che contribuiscono per più del 10% ai risultati GWP-GHG dei moduli A1-A3, oltre ad altri processi rilevanti, che complessivamente contribuiscono a più dell'80% dei risultati dichiarati. La quota di dati primari è calcolata sulla base dei risultati GWP-GHG. Si tratta di un indicatore semplificato della qualità dei dati che non cattura tutti gli aspetti rilevanti della qualità dei dati. L'indicatore non è comparabile tra le diverse categorie di prodotto.

Tabella 7. Dichiarazione delle fonti, degli anni di riferimento, delle categorie e della quota di dati primari.

Processo	Tipo di fonte	Fonte	Anno di riferimento	Categoria dei dati	Quota di dati primari, sui risultati GWP-GHG per A1-A3
Diesel per A1-A3	Raccolta dati	Aziende partecipanti	2024	Dati primari	30,6%
Elettricità per A1-A3	Database – Raccolta dati attività	AIB - Italian 2022 Residual Mix – Aziende partecipanti	2024	Dati primari	51,7%
Resina per fase di finitura	Raccolta dati	Aziende partecipanti	2024	Dati primari	6,9%
Trasporto (A2)	Raccolta dati	Aziende partecipanti	2024	Dati primari	1,3%
Quota totale di dati primari nei risultati GWP-GHG per moduli A1-A3					>90%

In particolare, sono stati raccolti i dati sui consumi di energia, acqua e materiali per i moduli A1–A2–A3 relativi all'anno di produzione 2024. Nel caso di processi multi-output, le aziende hanno fornito anche i dati economici necessari per l'allocazione economica (vedi paragrafo 2.2).

A causa della parziale indisponibilità dei dati dalle aziende di riferimento, in alcuni casi è stato necessario integrare le informazioni mancanti con dati relativi a un materiale tecnicamente simile considerato rappresentativo. La percentuale di dati primari specifici per la modellazione di ciascuna azienda rimane, comunque, superiore al 90%.

Per la produzione dei materiali ausiliari utilizzati nella filiera della pietra (ad es. filo diamantato, inserti per tagliacatene, esplosivi, dischi e lame), sono stati utilizzati dati provenienti da studi precedenti condotti dagli autori di questo rapporto [5, 6]. Per quanto riguarda abrasivi metallici, resinoidi e sintetici, si è fatto riferimento a dati forniti in passato dall'azienda Adria Abrasivi, non direttamente coinvolta in questo studio. Pertanto, questi dati sono stati classificati come dati secondari rappresentativi, compatibili con i criteri di qualità richiesti dalla norma EN 15941.

L'Appendice 1 presenta la valutazione della qualità dei dati, basata sull'Appendice E della norma EN 15804:2012+A2:2019 (UN Environment Global Guidance on LCA database development), considerando la rappresentatività dei dati e tenendo conto di precisione, completezza, coerenza e fonti dei dati.

Gli strumenti informatici a supporto dello sviluppo e dell'analisi del modello LCA sono i seguenti:

- Software LCA: SimaPro 9.6.0.1
- Database LCA: è stato utilizzato come fonte di dati generici il database Ecoinvent 3.10, sviluppato dal Centro Svizzero per la Valutazione del Ciclo di Vita (Swiss Centre for Life Cycle Assessment).

4. Analisi dell'Inventario (LCI)

Questo capitolo descrive i "sottosistemi" che costituiscono il modello LCA per la produzione di blocchi e lastre per ciascun materiale analizzato. Un sottosistema è un sottoinsieme di attività/processi, o una sequenza specifica di unità di processo (ISO 14040) all'interno del ciclo di vita.

I processi e/o le attività all'interno della sequenza che costituiscono il ciclo di vita delle lastre sono descritti così come sono stati inseriti nell'applicazione software SimaPro.

Ciascuna singola unità di processo è concepita come un sistema input/output, in cui vengono quantificati i flussi in ingresso e in uscita di materiali, emissioni ed energia.

Per garantire la coerenza metodologica e semplificare la raccolta dei dati, si è deciso di strutturare l'analisi per ciascuna azienda, associandola ai moduli informativi pertinenti. Questo approccio consente una rappresentazione più chiara e diretta dei flussi specifici di materiali, energia, emissioni e rifiuti relativi ai processi effettivamente svolti da ciascuna azienda.

Tutti i dati primari utilizzati nel modello sono stati raccolti tramite questionari compilati dai rappresentanti delle aziende tra marzo e maggio 2025. Inoltre, per colmare le lacune nei dati forniti e formulare assunzioni il più possibile rappresentative di ciascuna situazione specifica, sono stati organizzati incontri diretti tra i tecnici LCA e i responsabili aziendali, al fine di raccogliere i dati tramite comunicazione personale.

Il ciclo di vita considerato nello studio è illustrato nella Figura 5, che rappresenta lo schema dei processi utilizzato per definire i confini di sistema dell'analisi LCA relativa alla produzione di lastre in pietra naturale. Lo schema evidenzia le principali fasi del ciclo produttivo, i relativi moduli informativi e i processi inclusi in ciascuna fase. Per ogni passaggio sono indicati gli input e output ambientali, ovvero i flussi di materiali ed energia, le emissioni generate e i rifiuti prodotti. La linea tratteggiata blu delimita i confini di sistema utilizzati per calcolare gli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, fino alle fasi di fine vita (scenario 100% smaltimento).

In generale, il ciclo ha inizio con il distacco del materiale dalla bancata e il taglio in blocchi (A1). In questa fase, l'attività di estrazione in cava viene svolta sia mediante tagli orizzontali e verticali realizzati con filo diamantato e macchine tagliatrici a catena, sia con metodi di brillamento. Successivamente, i blocchi delle dimensioni commerciali prescelte vengono trasportati allo stabilimento (A2). Il blocco viene quindi squadrato (A3), operazione effettuata con dischi giganti o fili diamantati, e tagliato in lastre (A3), mediante l'impiego di sistemi multi-filo diamantato o multi-lama con graniglia metallica, caratterizzati da elevati consumi di energia e acqua.

Le lastre ottenute sono poi sottoposte a finitura superficiale (A3), che comprende trattamenti di levigatura, lucidatura e resinatura tramite abrasivi e resina, a seconda del grado di finitura desiderato.

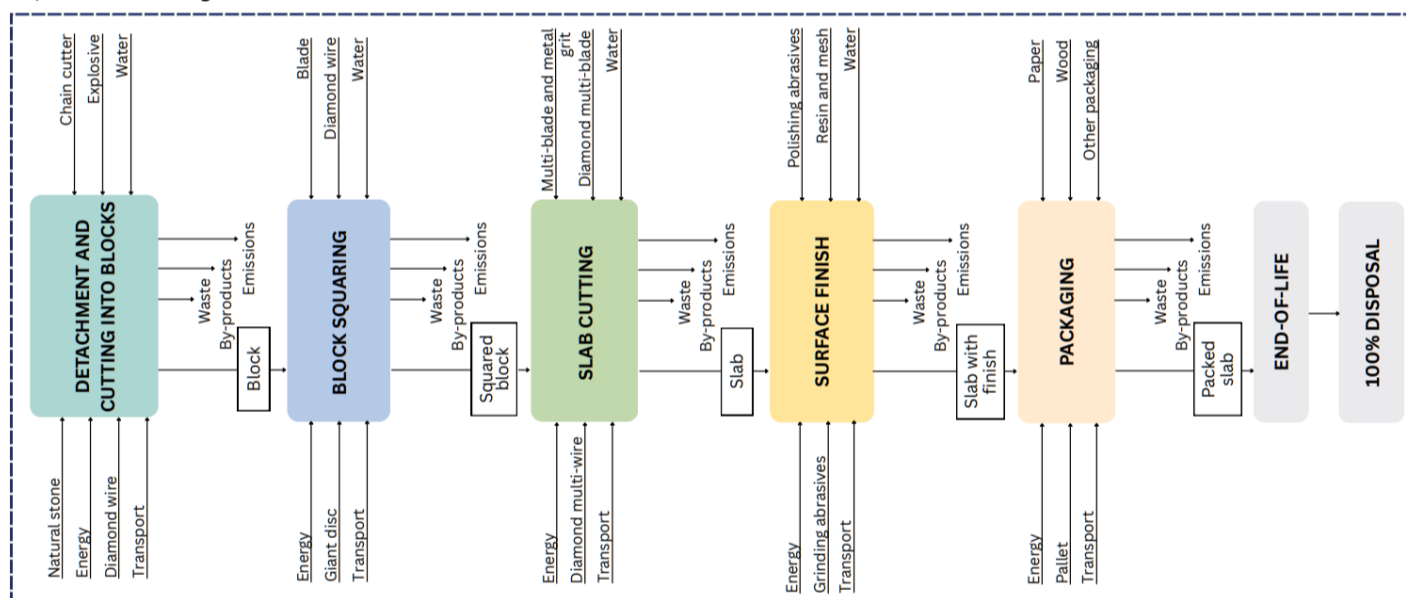


Figura 5. Confini di sistema LCA: la linea tratteggiata blu delimita i confini di sistema per il calcolo degli impatti delle lastre durante il loro ciclo di vita.

Una volta completata la lavorazione, il prodotto viene imballato (A3) per la spedizione, utilizzando materiali come pallet in legno, carta, plastica e altri materiali da imballaggio. La fase di imballaggio del modulo A3 è presentata e descritta solo per le aziende che utilizzano l'imballaggio per preparare le lastre alla spedizione. Altre aziende non utilizzano imballaggi ma solo cavalletti metallici riutilizzabili. Ciascuna fase è accompagnata da input di energia e materiali, nonché dalla produzione di rifiuti.

Il ciclo di vita si conclude con la fase di fine vita, che comprende la demolizione del prodotto (C1), il successivo trattamento dei rifiuti (C2) e lo smaltimento finale. Si assume che le lastre vengano inviate ad impianti specializzati per lo smaltimento in discarica. Nell'analisi condotta è stato ipotizzato uno scenario di smaltimento totale al 100% (C4).

Il mix elettrico utilizzato in questo studio è stato modellato sulla base del mix residuo italiano dal dataset Ecoinvent 3.10 "Electricity, medium voltage {IT}| Electricity, medium voltage, residual mix | Cut-off, S". Questo dataset considera il mix residuo italiano 2022 riportato dall'AIB Report 2023 (Tabella 8).

Tabella 8. Mix energetico italiano per l'anno 2022 (AIB, 2023).

	RE total	RE unspecified	RE biomass	RE solar	RE geothermal	RE wind	RE hydro	Nuclear	FO total	FO unspecified	FO hard coal	FO lignite	FO oil	FO gas
IT	9,4%	0,0%	1,68%	5,97%	0,0%	0,84%	0,54%	2,62%	88,34%	2,73%	12,2%	0,02%	4,47%	68,92%

La **Tabella 8** riporta la composizione del mix energetico residuo per l'Italia nel 2022, espressa in percentuali delle diverse fonti di produzione. Il mix residuo rappresenta un mix virtuale di elettricità, riferito ai consumi non tracciabili, ovvero non coperti da strumenti di certificazione come le Garanzie di Origine (GO). Le quote delle diverse fonti sono state calcolate sulla base dei dati statistici forniti da AIB, seguendo la metodologia definita da Grexel (2020). L'impatto climatico (in kg CO₂ eq./kWh, utilizzando l'indicatore GWP-GHG) dell'elettricità acquistata nel processo produttivo in A3, considerando il dataset presentato sopra, è pari a **0,64 kg CO₂ eq./kWh**.

4.1 Breccia Marina Blu (azienda: Marmi Ghirardi Srl)

La Breccia Marina Blu viene estratta a Gavardo (BS), a 35 km dall'impianto dove avviene la trasformazione in lastre. I dati raccolti si riferiscono alla produzione dell'anno 2024.

4.1.1 Fase di estrazione e trasporto della Breccia Marina Blu (A1-A2)

La Tabella 34 riporta i dati di inventario relativi alla fase di estrazione di 1 t di Breccia Marina Blu. 1 t di Breccia Marina Blu corrisponde a 0,37 m³ (densità apparente di 2,7 t/m³). Tutte le quantità indicate sono state elaborate a partire dalle informazioni fornite da Marmi Ghirardi Srl.

Tabella 9. Inventario relativo all'estrazione di 1 t di blocchi regolari di Breccia Marina Blu.

Flussi	Quantità	Dataset di Ecoinvent	Note
Output			
Blocco regolare di Breccia Aurora [t]	1		Allocazione: 31%
Co-prodotto 1: pietrisco [t]	3,31		Allocazione: 69%
Input			
Pietra naturale [t]	4,31	Stone (elementary flow)	
Acqua [kg]	22,6	Water, rain (elementary flow)	Acqua piovana
Elettricità da generatore [MJ]	50,5	Diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW {GLO} diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW Cut-off, S	
Diesel [MJ]	175	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	
Polvere nera [g]	3,1	Explosive, tovex {CH} explosive production, tovex Cut-off, S	
Corda detonante [m]	0,003	Detonation cord (modellato secondo [5])	
Filo diamantato [m]	0,035	Filo diamantato (modellato secondo [5])	
Miccia a combustione lenta [m]	0,0021	Slow-burning fuse (modellato secondo [5])	
Detonatori [p]	0,0044	Detonator, LC (modellato secondo [5])	
Trasporto dalla cava all'impianto [tkm]	35	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	

Commentato [MM2]: Detonating cord

4.1.2 Fase di taglio e finitura del Breccia Marina Blu (A3)

4.2 Fase di fine vita

4.2.1 Descrizione dello scenario

Questo scenario, sebbene ipotetico, è necessario per consentire un confronto ambientale completo. In realtà, è difficile fare generalizzazioni, poiché le pratiche possono differire a seconda, ad esempio, delle normative sui rifiuti prodotti dalle attività di costruzione e demolizione.

Il settore delle costruzioni, a causa dell'intenso utilizzo di risorse naturali, è uno dei principali responsabili degli impatti ambientali sul territorio, contribuendo in modo significativo all'esaurimento delle materie prime non rinnovabili. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente, il settore delle costruzioni è responsabile di oltre il 30% dei rifiuti totali generati in Europa e consuma circa il 50% di tutte le risorse estratte.

In questo contesto, l'Unione Europea ha fissato obiettivi ambiziosi per migliorare la gestione dei rifiuti. Con l'aggiornamento della Direttiva 2018/851/UE, che modifica la precedente Direttiva Quadro sui Rifiuti (2008/98/CE), parte del Pacchetto sull'Economia Circolare, sono stati introdotti nuovi obiettivi per il riciclaggio dei rifiuti urbani: almeno il 55% in peso entro il 2025. Questo obiettivo salirà al 60% entro il 2030 e al 65% entro il 2035.

Il ciclo di vita del prodotto si conclude con le fasi di fine vita, modellate secondo i moduli previsti dalla norma EN 15804. Seguendo la PCR di riferimento 2019:14 e considerando un RSL di 50 anni, come anticipato nel Paragrafo 3.1, è stato considerato lo scenario di fine vita descritto nella Tabella 68:

- Scenario di smaltimento al 100%, che include i moduli C1-C2-C4 e D, assumendo lo smaltimento completo delle lastre a fine vita in discarica.

Commentato [MM6]: Peso sulla media Ma non suona bene

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

ha formattato: Inglese (Regno Unito)

Commentato [GP7]: Continuare da qui

I moduli seguenti, così come i rispettivi risultati presentati nel Capitolo 5, sono stati elaborati assumendo una lastra standard media di 1 m² con uno spessore medio di 2 cm, una densità apparente di 2,6 t/m³ e un peso di 52 kg. I valori considerano, quindi, sia la densità apparente media del materiale sia le operazioni necessarie per la rimozione delle lastre.

Tabella 13. Fase di fine vita.

Processo	Unità (per unità dichiarata e tipo di materiale)	Valori (kg/m ²)
Processo di raccolta	kg raccolti separatamente	52
	kg raccolti insieme ai rifiuti da costruzione	0
Sistema di recupero	kg per riutilizzo	0
	kg per riciclaggio	0
	kg per recupero energetico	0
Smaltimento	kg di materiale per smaltimento finale	52

4.2.2 Analisi dei moduli C + D

La modellazione dello scenario di fine vita è stata effettuata nel rispetto delle regole generali indicate nella norma EN 15804, come riportato nella PCR di riferimento. Tali regole stabiliscono che lo scenario di fine vita deve essere realistico e rappresentativo delle alternative più probabili, considerando il contesto geografico in cui il prodotto è utilizzato. Devono inoltre essere esclusi i processi non attualmente in uso o non dimostrati come praticabili. In conformità a quanto previsto, lo scenario dichiarato in questo studio, pur non corrispondendo sempre alle pratiche locali, garantisce la comparabilità tra le dichiarazioni ambientali di prodotti simili.

In particolare, in assenza di dati primari specifici per il mercato di riferimento (ad esempio dati sui metodi di demolizione, distanze medie di trasporto, tassi di recupero o destinazioni finali dei materiali), si è deciso di adottare i dati predefiniti indicati nella PCR, seguendo i requisiti normativi. Questa scelta garantisce coerenza metodologica, permette di colmare le lacune informative e assicura l'allineamento agli standard internazionali, preservando l'affidabilità del modello.

La Tabella 69 riassume le ipotesi per il modulo C, elaborate sulla base di dati predefiniti e assunzioni standardizzate fornite dalla PCR 2019:14 e dalla norma EN 15804, in assenza di dati primari specifici per il contesto di mercato. Il materiale non viene riutilizzato né sottoposto a trattamenti di valorizzazione; viene invece conferito direttamente ad impianti autorizzati, in conformità alla normativa vigente. Per questo motivo, C3 è impostato a 0 poiché non sono previsti processi di riciclaggio. Ulteriori dettagli sulla modellazione sono forniti nelle sezioni seguenti.

Tabella 14. Parametri assunti per la modellazione dei moduli C di fine vita.

Modulo	Processo	Energy vector	Quantità [kWh/t]	Distanza	Mezzo di trasporto
C1	Demolizione/rimozione di murature, piastrelle e blocchi	Diesel	5	-	-
C2	Trasporto (per prodotti/materiali non destinati all'incenerimento)	-	-	80 km	Truck 16–32 t (EURO 5), fattore di carico 50%
C4	Compattazione dei rifiuti inerti da costruzione per discarica	Diesel	1.6	-	-

• Rimozione e demolizione (C1)

La rimozione delle lastre di marmo avviene contestualmente alla demolizione dell'intero edificio. In linea con la PCR, questa fase è stata modellata assumendo un processo simile alla demolizione/smontaggio di murature, piastrelle e blocchi di pavimentazione, utilizzando il dataset " Diesel, burned in building machine {GLO} | market for diesel, burned in building machine | Cut-off, S " dalla banca dati Ecoinvent 3.10. Il consumo energetico associato al processo è pari a 5 kWh/t di materiale trattato.

• Trasporto verso i centri di trattamento (C2)

In questo modulo è stato modellato il trasporto dei rifiuti derivanti dalla fase di demolizione verso centri di trattamento o smaltimento. Dopo la rimozione dal cantiere, le lastre vengono caricate su mezzi pesanti per essere trasferite alle destinazioni di fine vita.

Il trasporto dei rifiuti da demolizione verso i centri di trattamento o smaltimento è stato modellato considerando una distanza media di 80 km, percorsa da autocarri diesel EURO 5 con massa compresa tra 16 e 32 t e un fattore di carico del 50%. Il consumo medio di carburante è pari a 0,0375 kg/tkm, secondo i dati del processo " Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO5 {RoW} | market for transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S ", dalla banca dati Ecoinvent 3.10.

• Smaltimento in discarica (C4)

Le Lastre giunte a fine vita vengono inviate in discarica come rifiuti inerti, configurando uno scenario di totale smaltimento. Il materiale non viene riutilizzato né sottoposto a trattamenti di valorizzazione; viene invece consegnato direttamente a impianti autorizzati, nel rispetto della normativa vigente.

Il processo è stato modellato come compattazione dei rifiuti inerti da costruzione per discariche (incluso il riempimento), utilizzando il dataset " Diesel, burned in building machine {GLO} | market for diesel, burned in building machine | Cut-off, S ", con un consumo energetico di 1,6 kWh/t.

• Benefici (D)

Infine, il modulo D permette di quantificare i potenziali benefici o carichi ambientali derivanti dal recupero, riutilizzo o riciclo del prodotto a fine vita e dai flussi netti che escono dal sistema prodotto e che hanno superato lo stato di rifiuto. In termini di LCA, tali benefici vengono contabilizzati "al di fuori dei confini del sistema" e contribuiscono a migliorare il bilancio ambientale complessivo del prodotto, promuovendo una maggiore efficienza nell'uso delle risorse e riducendo l'impatto del settore delle costruzioni sull'ambiente. Si assume che il prodotto sia smaltito al 100% in discarica come rifiuto inerte e che tutti i flussi di scarto provenienti dai moduli A1-A3 siano inviati in discarica senza riciclo e senza recupero energetico; pertanto, non vi è alcun contributo al modulo D, che risulta pari a zero.

5. Analisi degli impatti (LCIA)

I dati di inventario riassunti nel capitolo precedente sono stati utilizzati per creare i modelli LCA delle lastre di pietra sp. 2 cm. L'analisi degli impatti è stata eseguita con il metodo EF 3.1 (Environmental Footprint).

The environmental performance results are relative expression and do not predict impacts on category endpoints, the exceeding of thresholds, safety margins or risks. The results of the end-of-life stage (module C) should be considered when using the results of the production stage (modules A1-A3). (ITA: I risultati delle prestazioni ambientali sono da considerarsi come espressione relativa e non prevedono impatti sugli endpoint di categoria, il superamento di soglie, margini di sicurezza o rischi. I risultati della fase di fine vita (modulo C) devono essere considerati quando si utilizzano i risultati della fase di produzione (moduli A1-A3)).

Commentato [GP8]: Questa parte la lascerei in inglese perché è un disclaimer richiesto proprio da normativa

5.1 Metodologia di valutazione degli impatti

Per rendere i risultati dell'analisi LCA pienamente comprensibili, aumentarne il significato ambientale e comunicarli efficacemente sia ai professionisti sia al pubblico, è essenziale identificare specifiche aree di interesse ambientale, note come categorie di impatto. Per ciascuna di esse devono essere selezionati indicatori appropriati. Gli indicatori di categoria, cioè gli indicatori riferiti ai singoli impatti ambientali, hanno il compito di riassumere i potenziali effetti ambientali associati ai flussi di materia ed energia in ingresso e in uscita dal sistema analizzato.

Per ciascuna categoria di impatto, vengono utilizzati coefficienti di caratterizzazione per omogeneizzare il contributo delle singole emissioni nell'ambiente (aria, suolo o acqua). La misurazione degli impatti complessivi richiede l'interpretazione dei dati e l'ordinamento gerarchico degli stessi impatti.

Le categorie utilizzate per la valutazione degli impatti dei prodotti oggetto dello studio e i fattori di caratterizzazione adottati, in conformità alla norma EN 15804:2012+2019: A2/AC:2021 (Allegato C), sono riportati nella Tabella 69. In questo studio, nella fase di analisi degli impatti, è stato applicato il metodo EN15804 + A2 tramite il software SimaPro, che utilizza i fattori di caratterizzazione previsti dalla normativa e riportati nella Tabella 69.

Per l'indicatore *cambiamento climatico*, gli impatti sono analizzati in dettaglio lungo l'intera catena produttiva, al fine di identificare quali sotto-processi contribuiscono e in quale misura all'impatto totale e alle singole fasi, secondo quanto richiesto dalla norma attuale EN 15804:2012+2019: A2/AC:2021. Una visione più ampia è fornita anche considerando indicatori aggiuntivi previsti dal metodo.

Tabella 69 15. Indicatori ambientali principali e aggiuntivi (in grigio) con unità di misura, avvertenze e modelli di caratterizzazione.

Categoria di impatto	Indicatore	Unità di misura	Disclaimer	Modello
Acidificazione	AP	mol H+ eq	-	Accumulated Exceedance, Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008
Cambiamento climatico	GWP total	kg CO2eq	-	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013
Cambiamento climatico - Biogenico	GWP-fossil	kg CO2eq	-	
Cambiamento climatico - Fossile	GWP-biogenic	kg CO2eq	-	
Cambiamento climatico - Uso del suolo e cambiamento del suolo	GWP-luluc	kg CO2eq	-	
Eutrofizzazione, marina	EP-marine	kg N eq	-	EUTREND model, Struijs et al., 2009b, as implemented in ReCiPe
Eutrofizzazione, acqua dolce	EP-freshAcqua	kg P eq	-	EUTREND model, Struijs et al., 2009b, as implemented in ReCiPe
Eutrofizzazione, terrestre	EP-terrestrial	mol N eq	-	Accumulated Exceedance, Seppälä et al. 2006, Posch et al.
Assottigliamento dello strato di ozono	ODP	kg CFC11 eq	-	Steady-state ODPs, WMO 2014
Formazione fotochimica di ozono	POCP	kg NMVOC eq	-	LOTOS-EUROS, Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe
Uso delle risorse fossili	ADP-fossil	MJ	2	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002.
Uso di minerali e metalli	ADP-minerals&metals	kg Sb eq	2	
Uso dell'acqua	WDP	m3 world eq. depriv.	2	Available Acqua REMaining (AWARE) Boulay et al., 2016
Particolato	PM	disease inc.	-	SETAC-UNEP, Fantke et al.2016
Ecotossicità acqua dolce	ETP-fw	CTUe	2	Usetox version 2 until modified USEtox model is available from EC-JRC
Tossicità umana, cancro	HTP-c	CTUh	2	
Tossicità umana, non-cancro	http-nc	CTUh	2	
Radiazioni ionizzanti	IRP	kBq U-235 eq	1	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 update by Frischknecht et al., 2000

Uso del suolo	SQP	Dimensionless	2	Soil quality index based on LANCA
Disclaimer 1 – Questa categoria di impatto riguarda principalmente l'effetto potenziale di basse dosi di radiazioni ionizzanti sulla salute umana legato al ciclo del combustibile nucleare. Non considera gli effetti dovuti a possibili incidenti.				
Disclaimer 2 – I risultati di questo indicatore devono essere usati con cautela, poiché presentano un alto grado di incertezza o perché l'esperienza nell'uso dell'indicatore è limitata.				

Inoltre, vengono presentati tre insiemi aggiuntivi di indicatori basati sull'inventario per descrivere il consumo di risorse, le categorie di rifiuti e i flussi in uscita per ciascun modulo (espressi per unità dichiarata):

- Consumo di risorse: PERT = Uso totale di risorse energetiche primarie rinnovabili (MJ); PERM = Uso di risorse energetiche primarie rinnovabili utilizzate come materie prime (MJ); PEARS = Uso di risorse energetiche rinnovabili escluse quelle utilizzate come materie prime (MJ); PENRT = Uso totale di risorse energetiche primarie non rinnovabili (MJ); PENRM = Uso di risorse energetiche primarie non rinnovabili utilizzate come materie prime (MJ); PENRE = Uso di risorse energetiche non rinnovabili escluse quelle utilizzate come materie prime (MJ); SM = Uso di materiali secondari (kg); RSF = Uso di combustibili secondari rinnovabili (MJ); NRSF = Uso di combustibili secondari non rinnovabili (MJ); FWT = Uso totale di acqua dolce netta (m³);
- Categorie di rifiuti: HWD = Rifiuti pericolosi smaltiti (kg); NHWD = Rifiuti non pericolosi smaltiti (kg); RWD = Rifiuti radioattivi smaltiti (kg);
- Flussi in uscita: CRU = Componenti per il riutilizzo (kg); MFR = Materiali per il riciclaggio (kg); MER = Materiali per il recupero energetico (kg); EE = Energia esportata (MJ).

5.2 Risultati degli impatti ambientali per singolo materiale

La Tabella 71 mostra i valori di impatto ambientale relativi a 1 m² di lastra spessa 2 cm, per tutti i materiali analizzati nello studio, dalla fase di estrazione fino all'imballaggio, escludendo la fase di fine vita.

Tabella 16. Risultati degli impatti ambientali per 1 m² di lastra (spessore 2 cm), per ciascun materiale analizzato.

Categoria di impatto	Unità	1	2	3	4
Acidificazione	mol H+ eq	2,74E-02	2,29E-02	1,55E-02	8,69E-02
Cambiamento climatico	kg CO2eq	5,12E+00	4,46E+00	3,38E+00	1,56E+01
Cambiamento climatico - Biogenico	kg CO2eq	3,95E-02	-6,02E-01	-6,06E-01	1,08E-01
Cambiamento climatico - Fossile	kg CO2eq	5,08E+00	5,06E+00	3,99E+00	1,54E+01
Cambiamento climatico - Uso del suolo e cambiamenti nell'uso del suolo	kg CO2eq	7,15E-04	1,32E-03	1,18E-03	2,79E-03
Ecotossicità, acque dolci	CTUe	1,61E+01	1,10E+01	8,78E+00	6,72E+01
Ecotossicità, acque dolci - inorganici	CTUe	1,13E+01	6,83E+00	5,57E+00	3,15E+01
Ecotossicità, acque dolci - organici	CTUe	4,74E+00	4,17E+00	3,21E+00	3,56E+01
Materiale particolato	disease inc.	5,57E-07	4,27E-07	2,41E-07	1,35E-06
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	1,06E-02	7,91E-03	4,78E-03	3,20E-02
Eutrofizzazione, acque dolci	kg P eq	5,76E-04	5,33E-04	4,54E-04	1,94E-03
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	1,13E-01	8,60E-02	5,17E-02	3,48E-01
Tossicità umana, cancerogena	CTUh	1,70E-08	1,45E-08	1,08E-08	1,46E-07
Tossicità umana, cancerogena - inorganici	CTUh	3,48E-10	2,56E-10	2,09E-10	1,92E-09
Tossicità umana, cancerogena - organici	CTUh	1,67E-08	1,42E-08	1,06E-08	1,44E-07
Tossicità umana, non cancerogena	CTUh	1,86E-08	1,99E-08	1,67E-08	6,88E-08
Tossicità umana, non cancerogena - inorganici	CTUh	1,71E-08	1,79E-08	1,51E-08	6,43E-08
Tossicità umana, non cancerogena - organici	CTUh	1,52E-09	1,99E-09	1,54E-09	4,50E-09
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	1,41E-01	1,65E-01	1,43E-01	4,25E-01
Uso del suolo	Pt	6,53E+00	1,09E+02	1,08E+02	4,05E+01
Deplezione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	9,34E-08	1,15E-07	9,42E-08	2,68E-07
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	3,59E-02	3,28E-02	2,09E-02	1,10E-01
Uso di risorse, fossili	MJ	7,10E+01	8,26E+01	6,60E+01	2,12E+02
Uso di risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	5,77E-05	9,27E-06	7,70E-06	9,52E-05
Uso dell'acqua	m3 depriv.	3,71E+00	1,17E+01	1,16E+01	3,44E+00
GWP-GHG	kg CO2eq	5,08E+00	5,06E+00	3,99E+00	1,55E+01

Categoria di impatto	Unità	5	6	7	8
Acidificazione	mol H+ eq	8,07E-02	4,50E-02	5,29E-02	5,29E-02
Cambiamento climatico	kg CO2eq	1,54E+01	1,07E+01	1,12E+01	1,03E+01
Cambiamento climatico - Biogenico	kg CO2eq	9,08E-02	7,80E-02	7,30E-02	8,50E-02
Cambiamento climatico - Fossile	kg CO2eq	1,53E+01	1,06E+01	1,11E+01	1,03E+01
Cambiamento climatico - Uso del suolo e cambiamenti nell'uso del suolo	kg CO2eq	4,24E-03	3,59E-03	3,92E-03	1,90E-03
Ecotossicità, acque dolci	CTUe	1,89E+02	1,58E+02	1,70E+02	3,71E+01
Ecotossicità, acque dolci - inorganici	CTUe	8,60E+01	7,21E+01	7,75E+01	2,74E+01
Ecotossicità, acque dolci - organici	CTUe	1,03E+02	8,55E+01	9,20E+01	9,71E+00
Materiale particolato	disease inc.	1,37E-06	6,20E-07	7,49E-07	9,60E-07
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	2,79E-02	1,25E-02	1,61E-02	1,89E-02

Eutrofizzazione, acque dolci	kg P eq	2,23E-03	1,87E-03	1,94E-03	1,44E-03
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	3,02E-01	1,34E-01	1,73E-01	2,06E-01
Tossicità umana, cancerogena	CTUh	8,47E-08	6,87E-08	7,55E-08	3,47E-08
Tossicità umana, cancerogena - inorganici	CTUh	1,14E-09	1,13E-09	1,24E-09	7,34E-10
Tossicità umana, cancerogena - organici	CTUh	8,36E-08	6,76E-08	7,43E-08	3,40E-08
Tossicità umana, non cancerogena	CTUh	8,14E-08	7,41E-08	7,62E-08	6,19E-08
Tossicità umana, non cancerogena - inorganici	CTUh	7,39E-08	6,81E-08	6,99E-08	5,82E-08
Tossicità umana, non cancerogena - organici	CTUh	7,53E-09	5,96E-09	6,37E-09	3,77E-09
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	5,93E-01	5,00E-01	5,09E-01	3,26E-01
Uso del suolo	Pt	3,10E+01	2,88E+01	3,38E+01	3,41E+01
Deplezione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	3,44E-07	2,53E-07	2,63E-07	2,18E-07
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	1,01E-01	5,03E-02	6,16E-02	6,79E-02
Uso di risorse, fossili	MJ	2,36E+02	1,69E+02	1,77E+02	1,49E+02
Uso di risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	7,53E-05	7,21E-05	8,19E-05	1,89E-04
Uso dell'acqua	m3 depriv.	5,02E+00	1,01E+01	9,95E+00	2,06E+00
GWP-GHG	kg CO2eq	1,73E+01	1,06E+01	1,11E+01	1,03E+01

Categoria di impatto	Unità	9	10	11
Acidificazione	mol H+ eq	4,06E-02	1,12E-01	1,36E-01
Cambiamento climatico	kg CO2eq	6,87E+00	1,64E+01	3,79E+01
Cambiamento climatico - Biogenico	kg CO2eq	-8,18E-01	-2,96E+00	4,95E+00
Cambiamento climatico - Fossile	kg CO2eq	7,68E+00	1,94E+01	3,30E+01
Cambiamento climatico - Uso del suolo e cambiamenti nell'uso del suolo	kg CO2eq	2,12E-03	5,94E-03	5,20E-03
Ecotossicità, acque dolci	CTUe	2,03E+01	4,78E+01	8,41E+01
Ecotossicità, acque dolci - inorganici	CTUe	1,19E+01	2,76E+01	5,22E+01
Ecotossicità, acque dolci - organici	CTUe	8,40E+00	2,03E+01	3,19E+01
Materiale particolato	disease inc.	8,33E-07	2,55E-06	2,16E-06
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	1,48E-02	4,37E-02	5,38E-02
Eutrofizzazione, acque dolci	kg P eq	8,83E-04	1,64E-03	4,49E-03
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	1,61E-01	4,77E-01	4,63E-01
Tossicità umana, cancerogena	CTUh	2,97E-08	7,28E-08	9,86E-08
Tossicità umana, cancerogena - inorganici	CTUh	5,72E-10	1,28E-09	2,73E-09
Tossicità umana, cancerogena - organici	CTUh	2,91E-08	7,15E-08	9,58E-08
Tossicità umana, non cancerogena	CTUh	3,25E-08	7,11E-08	1,51E-07
Tossicità umana, non cancerogena - inorganici	CTUh	2,95E-08	6,21E-08	1,34E-07
Tossicità umana, non cancerogena - organici	CTUh	3,06E-09	8,95E-09	1,71E-08
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	2,36E-01	5,05E-01	1,12E+00
Uso del suolo	Pt	1,36E+02	6,78E+02	1,83E+02
Deplezione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	1,56E-07	4,82E-07	6,48E-07
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	5,42E-02	1,77E-01	1,63E-01
Uso di risorse, fossili	MJ	1,16E+02	3,63E+02	4,71E+02
Uso di risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	4,09E-05	4,32E-05	9,25E-05
Uso dell'acqua	m3 depriv.	2,72E+00	3,32E+00	8,28E+01
GWP-GHG	kg CO2eq	7,69E+00	1,94E+01	3,77E+01

Categoria di impatto	Unità	12	13	14	15
Acidificazione	mol H+ eq	8,92E-02	4,11E-02	1,17E-01	1,17E-01
Cambiamento climatico	kg CO2eq	1,87E+01	7,55E+00	1,74E+01	1,78E+01
Cambiamento climatico - Biogenico	kg CO2eq	1,01E-01	3,80E-02	6,83E-02	9,18E-02
Cambiamento climatico - Fossile	kg CO2eq	1,86E+01	7,51E+00	1,73E+01	1,77E+01
Cambiamento climatico - Uso del suolo e cambiamenti nell'uso del suolo	kg CO2eq	4,07E-03	2,28E-03	4,25E-03	2,04E-03
Ecotossicità, acque dolci	CTUe	9,55E+01	1,32E+02	1,57E+02	3,63E+01
Ecotossicità, acque dolci - inorganici	CTUe	6,36E+01	1,23E+02	7,41E+01	2,06E+01
Ecotossicità, acque dolci - organici	CTUe	3,19E+01	9,27E+00	8,33E+01	1,57E+01
Materiale particolato	disease inc.	1,14E-06	7,27E-07	2,01E-06	2,79E-06
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	3,10E-02	1,26E-02	4,66E-02	4,85E-02
Eutrofizzazione, acque dolci	kg P eq	2,72E-03	1,09E-03	1,98E-03	1,36E-03
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	3,35E-01	1,39E-01	5,08E-01	5,30E-01
Tossicità umana, cancerogena	CTUh	6,70E-08	3,66E-08	8,40E-08	5,98E-08
Tossicità umana, cancerogena - inorganici	CTUh	1,29E-09	1,23E-09	1,03E-09	9,54E-10
Tossicità umana, cancerogena - organici	CTUh	6,57E-08	3,54E-08	8,30E-08	5,89E-08

Tossicità umana, non cancerogena	CTUh	9,10E-08	7,35E-07	7,88E-08	5,23E-08
Tossicità umana, non cancerogena - inorganici	CTUh	8,43E-08	7,32E-07	7,10E-08	4,72E-08
Tossicità umana, non cancerogena - organici	CTUh	6,73E-09	3,23E-09	7,75E-09	5,08E-09
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	6,36E-01	3,45E-01	4,96E-01	3,66E-01
Uso del suolo	Pt	6,73E+01	3,94E+01	3,35E+01	2,48E+01
Deplezione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	3,84E-07	1,37E-07	3,56E-07	3,12E-07
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	1,12E-01	4,62E-02	1,61E-01	1,64E-01
Uso di risorse, fossili	MJ	2,75E+02	1,10E+02	2,58E+02	2,45E+02
Uso di risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	4,01E-04	5,86E-05	8,98E-05	3,83E-05
Uso dell'acqua	m3 depriv.	6,37E+00	3,44E+00	2,25E+00	2,32E+00
GWP-GHG	kg CO2eq	1,86E+01	7,53E+00	1,67E+01	1,78E+01

5.3 EPD di settore: risultati aggregati di impatto ambientale

5.3.1 Risultati dichiarati

La Tabella 72 mostra i risultati aggregati degli impatti delle tre fasi A1-A3, gli impatti dei moduli di fine vita C1-C4 e i benefici ambientali D relativi alla media di settore.

La media considerata è una **media ponderata**, che tiene conto della rappresentatività di ciascun materiale in termini di quantità prodotta nel 2024. La media ponderata è stata calcolata facendo riferimento alla massa totale dei blocchi regolari estratti dalla cava nel 2024 per ciascun materiale e calcolando, sulla base dei dati di ciascuna azienda, i m² di lastre risultanti, assumendo che tutti i blocchi regolari siano completamente trasformati in lastre sp. 2 cm.

La Tabella 71 riporta tali dati e il peso che ciascun materiale ha sulla media.

Tabella 7117. Valori di riferimento per il calcolo della media ponderata.

Materiale	Blocchi regolari estratti nel 2024 [t]	Superficie equivalente di lastre sp. 2 cm [m ²]	Peso sulla media
1	14148,6	111406	9,6%
2	2452	48651	4,2%
3	2588	51349	4,4%
4	1500	22388	1,9%
5	11600	141809	12,3%
6	5006	51715	4,5%
7	1898	20343	1,8%
8	17960,18	201573	17,4%
9	11942,41	185441	16,0%
10	487	5334	0,5%
11	10540,06	128381	11,1%
12	860	8893	0,8%
13	2281,62	29825	2,6%
14	2065,85	28692	2,5%
15	17298,07	120125	10,4%

Tutti i risultati si riferiscono all'unità dichiarata di 1 m² di lastre finite sp. 2 cm. Nello specifico, per la descrizione dei moduli di fine vita, si è assunto che tutto il materiale venga recuperato (52 kg per 1 m² di lastra). Lo scenario di fine vita considerato più probabile, date le caratteristiche del prodotto analizzato, è lo scenario di smaltimento al 100%, come descritto nel Paragrafo 4.17; è quindi questo scenario per cui viene dichiarata, in Tabella 72, la media ponderata dei risultati di prestazione ambientale del settore.

The environmental performance results are relative expression and do not predict impacts on category endpoints, the exceeding of thresholds, safety margins or risks. The results of the end-of-life stage (module C) should be considered when using the results of the production stage (modules A1-A3). (ITA: I risultati di prestazione ambientale sono espressi in termini relativi e non prevedono gli impatti sugli endpoint delle categorie, il superamento di soglie, margini di sicurezza o rischi. I risultati della fase di fine vita (modulo C) devono essere considerati quando si utilizzano i risultati della fase di produzione (moduli A1-A3)).

Commentato [GP9]: Disclaimer direttamente da normativa, lo lascerei in inglese con la traduzione ita sotto

Tabella 7218. Scenario di smaltimento al 100%.

EN15804+A2							
Categoria di impatto	Unità di riferimento	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
GWP Totale	kg CO2eq	1,35E+01	9,38E-02	8,14E-01	0,00E+00	3,00E-02	0,00E+00
GWP Fossile	kg CO2eq	1,31E+01	9,38E-02	8,14E-01	0,00E+00	3,00E-02	0,00E+00
GWP Biogenico	kg CO2eq	4,02E-01	1,02E-05	1,81E-05	0,00E+00	3,28E-06	0,00E+00
GWP LULUC	kg CO2eq	2,67E-03	8,14E-06	3,23E-04	0,00E+00	2,61E-06	0,00E+00
ODP	kg CFC-11 eq.	2,66E-07	1,44E-09	1,14E-08	0,00E+00	4,59E-10	0,00E+00
AP	Moles H+ eq.	6,69E-02	8,46E-04	2,71E-03	0,00E+00	2,71E-04	0,00E+00

EP Acqua dolce	kg P eq	1,67E-03	2,74E-06	6,39E-05	0,00E+00	8,76E-07	0,00E+00
EP Marina	kg N eq	2,50E-02	3,93E-04	8,79E-04	0,00E+00	1,26E-04	0,00E+00
EP Terrestre	Mole N eq.	2,59E-01	4,30E-03	9,56E-03	0,00E+00	1,38E-03	0,00E+00
POCP	kg NMVOC	8,62E-02	1,28E-03	3,78E-03	0,00E+00	4,10E-04	0,00E+00
ADP (minerali e metalli)	kg Sb eq	8,28E-05	3,35E-08	2,61E-06	0,00E+00	1,07E-08	0,00E+00
ADP (fossile)	MJ	1,92E+02	1,23E+00	1,14E+01	0,00E+00	3,93E-01	0,00E+00
WDP	m3	1,31E+01	2,66E-03	5,16E-02	0,00E+00	8,50E-04	0,00E+00
Resource consumption							
Categoria di impatto	Unità di riferimento	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
PERT	MJ	1,37E+01	7,32E-03	1,44E-01	0,00E+00	2,34E-03	0,00E+00
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PEARS	MJ	1,37E+01	7,32E-03	1,44E-01	0,00E+00	2,34E-03	0,00E+00
PENRT	MJ	1,92E+02	1,23E+00	1,14E+01	0,00E+00	3,93E-01	0,00E+00
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRE	MJ	1,92E+02	1,23E+00	1,14E+01	0,00E+00	3,93E-01	0,00E+00
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FWT	m3	3,15E-01	8,77E-05	1,52E-03	0,00E+00	2,81E-05	0,00E+00
Waste							
Categoria di impatto	Unità di riferimento	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
HWD	kg	4,86E-03	1,12E-05	2,87E-04	0,00E+00	3,58E-06	0,00E+00
NHWD	kg	5,65E+01	7,50E-04	5,37E-01	0,00E+00	2,40E-04	0,00E+00
RWD	kg	1,06E-04	1,35E-07	2,30E-06	0,00E+00	4,31E-08	0,00E+00
Output flow							
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
WED	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Additional indicators							
Categoria di impatto	Unità di riferimento	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
GWP-GHG	kg CO2eq	1,36E+01	9,38E-02	8,14E-01	0,00E+00	3,00E-02	0,00E+00
Particolato	disease inc.	1,24E-06	2,40E-08	6,45E-08	0,00E+00	7,69E-09	0,00E+00
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	4,25E-01	5,50E-04	9,38E-03	0,00E+00	1,76E-04	0,00E+00
Uso del suolo	Pt	7,26E+01	8,63E-02	6,81E+00	0,00E+00	2,76E-02	0,00E+00
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	6,80E+01	1,74E-01	3,04E+00	0,00E+00	5,56E-02	0,00E+00
Tossicità umana, cancerogena	CTUh	5,22E-08	3,67E-10	4,22E-09	0,00E+00	1,17E-10	0,00E+00
Tossicità umana, non cancerogena	CTUh	7,95E-08	1,52E-10	7,10E-09	0,00E+00	4,86E-11	0,00E+00

5.4 Interpretazione: analisi di contributo , analisi di sensibilità e analisi d'incertezza

Questo paragrafo approfondisce i risultati di impatto ottenuti per l'indicatore cambiamento climatico e mira a identificare il contributo che le diverse fasi del processo di produzione della lastra hanno sull'impatto totale.

5.4.1 Analisi dei contributi

Il grafico in Figura 6 mostra l'impatto sul cambiamento climatico di 1 m² di lastra finita spessa 2 cm per i 15 materiali studiati. La media ponderata evidenzia un valore di **13,5 kg CO₂ eq/m²**.

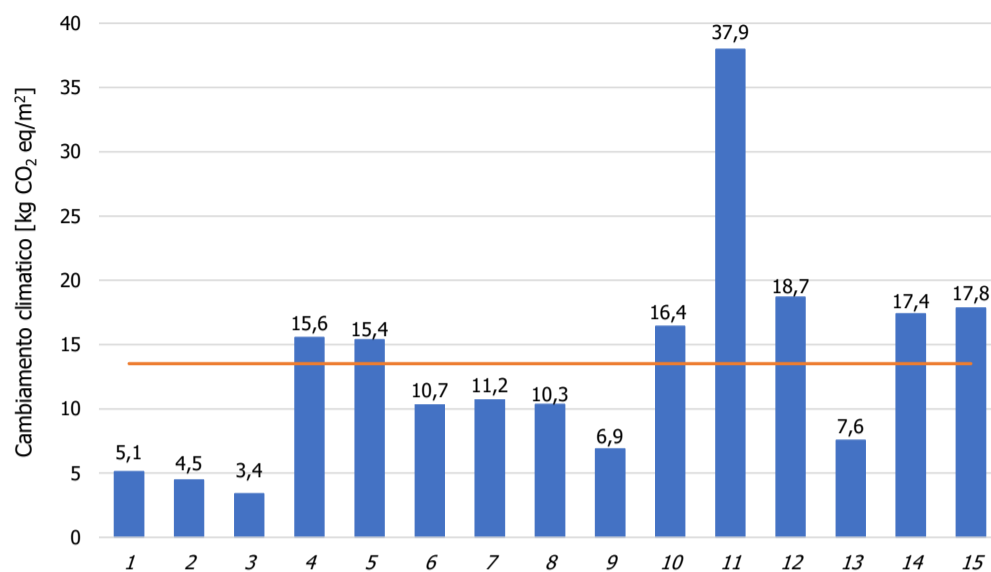


Figura 6. Impatto sul cambiamento climatico di 1 m² di lastra (sp. 2 cm) per tutti i materiali analizzati.

Come si può osservare dai risultati ottenuti sull'indicatore **cambiamento climatico**, l'impatto totale varia a seconda del materiale considerato e si colloca tra **3,4 e 37,9 kg CO₂ eq./m²**. Questa variazione, sebbene possa sembrare elevata, è da considerarsi del tutto fisiologica e dovuta all'**eterogeneità dei materiali studiati**. In particolare, le principali variabili sono:

- La natura stessa del materiale lapideo, le cui caratteristiche variano non solo da materiale a materiale (le pietre più dure e/o compatte richiedono generalmente maggior consumo di materiali ed energia), ma anche considerando materiali simili (variazioni nella resa della cava, dovute ad esempio alla maggiore o minore presenza di fratture nella roccia);
- Incertezze sui valori ottenuti attraverso la raccolta dati, dovute a possibili imprecisioni da parte delle aziende.

Il grafico in Figura 7 mostra, per ciascun materiale analizzato, l'impatto sul cambiamento climatico dovuto a (i) l'energia utilizzata nella fase di estrazione A1 (elettricità e diesel) (*quarry - energy*); (ii) i materiali consumati e i rifiuti prodotti durante la fase di estrazione A1 (*quarry - other*); (iii) il trasporto dalla cava all'impianto di lavorazione A2 (*transport quarry-plant*); (iv) l'energia utilizzata per le fasi di taglio/finitura A3 (*plant-energy*); (v) i materiali e i rifiuti prodotti durante le fasi di taglio/finitura A3 (*plant-other*) e (vi) la fase di imballaggio nel modulo A3 (*packaging*).

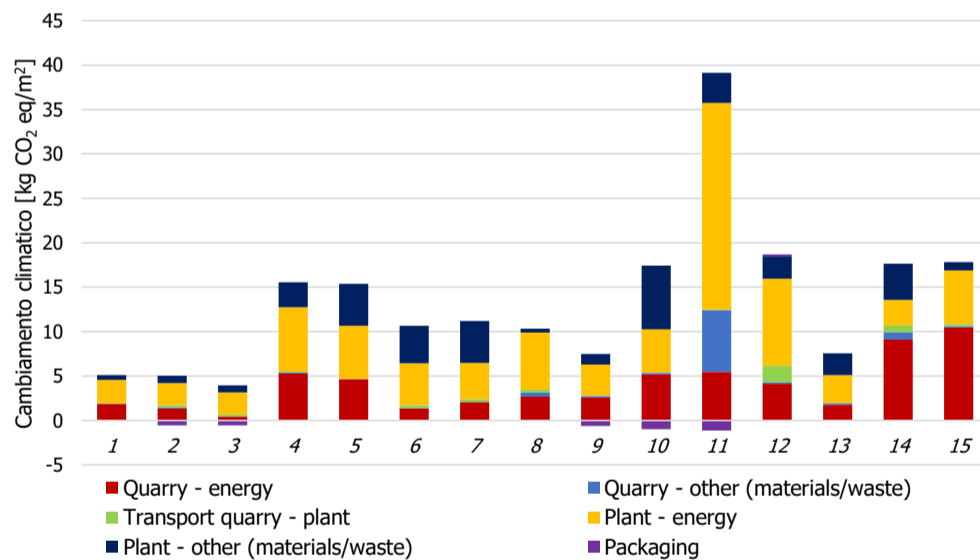


Figure 7. Contributo, in valore assoluto, delle varie fasi del processo sull'indicatore cambiamento climatico (GWP totale).

Gli stessi risultati illustrati nella Figura 7 sono riportati quantitativamente in Tabella 74. Il grafico e la tabella descrivono gli elementi presenti nei moduli aggregati A1-A3 per ciascun materiale analizzato e per la media delle lastre oggetto di EPD.

Tabella 19. Analisi del contributo sull'indicatore cambiamento climatico: per ciascun materiale, è indicato l'impatto dovuto all'energia (in cava / in stabilimento), all'uso di materiali e trattamento dei rifiuti (in cava / in stabilimento) e al trasporto dalla cava allo stabilimento. Vengono inoltre forniti il valore medio, minimo e massimo tra i materiali. Per una maggiore leggibilità, i colori associati a ciascuna linea sono quelli indicati nel grafico precedente.

Cambiamento climatico [kg CO ₂ eq. / m ²]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cava - energia	1,9	1,4	0,5	5,3	4,7	1,4	2,1	2,7	2,6
Cava - altri (materiali/rifiuti)	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
Trasporto cava - stabilimento	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,1
Stabilimento - energia	2,6	2,5	2,6	7,3	6,0	4,7	4,1	6,4	3,5
Stabilimento - altri (materiali/rifiuti)	0,5	0,8	0,9	2,8	4,7	4,2	4,7	0,4	1,2
Imballaggio	0,0	-0,6	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6
Impatto totale su cambiamento climatico	5,1	4,5	3,4	15,6	15,4	10,7	11,2	10,3	6,9

Cambiamento climatico [kg CO ₂ eq. / m ²]	10	11	12	13	14	15	Pietra media	MIN	MAX
Cava - energia	5,2	5,5	4,1	1,8	9,1	10,5	3,9	0,4	10,5
Cava - altri (materiali/rifiuti)	0,2	6,9	0,2	0,2	0,9	0,1	0,9	0,0	6,9
Trasporto cava - stabilimento	0,0	0,1	1,8	0,0	0,7	0,2	0,2	0,0	1,8
Stabilimento - energia	4,9	23,2	9,8	3,1	2,9	6,0	6,8	2,5	23,2
Stabilimento - altri (materiali/rifiuti)	7,2	3,4	2,5	2,5	4,1	0,9	2,0	0,4	7,2
Imballaggio	-1,0	-1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-1,1	0,2
Impatto totale su cambiamento climatico	16,4	37,9	18,7	7,6	17,4	17,8	13,5	3,4	37,9

Per la lastra media oggetto di EPD di settore, le percentuali di contributo dei diversi processi produttivi al totale dell'indicatore cambiamento climatico per il modulo A1-A3 sono riportate in Tabella 75.

Tabella 20. Contributi percentuali delle diverse fasi del processo produttivo al totale dell'indicatore cambiamento climatico per la lastra media considerata.

Elementi	Percentuale
Cava - energia	29,2%
Cava - altri (materiali/rifiuti)	6,9%
Trasporto cava - stabilimento	1,4%
Stabilimento - energia	50,0%
Stabilimento - altri (materiali/rifiuti)	14,7%
Imballaggio	-2,0%

I moduli di fine vita C e D non sono stati rappresentati perché sono stati sviluppati assumendo una lastra media standard con spessore medio di 2 cm, densità apparente di 2,6 t/m³ e peso pari a 52 kg; pertanto, il loro contributo all'indicatore cambiamento climatico è lo stesso indipendentemente dal tipo di materiale considerato e può essere aggiunto al valore totale dei moduli A1-A3 riportato in Tabella 74: Lo scenario di smaltimento al 100% comporta 0,94 kg CO₂ eq./m² per il fine vita della lastra.

Come si può osservare in Figura 7, il consumo di energia sia nella fase di estrazione del blocco sia nella fase di trasformazione gioca un ruolo significativo sull'impatto totale dell'indicatore cambiamento climatico per i moduli A1-A3, costituendo tra estrazione (modulo A1) e lavorazione (modulo A3) circa l'80% degli impatti della lastra media (Tabella 75). Tuttavia, la variabilità è molto alta.

Si osserva che, per la fase di estrazione, l'impatto dovuto all'energia varia tra 0,4 e 10,5 kg CO₂ eq./m², mentre per la fase di trasformazione varia tra 2,5 e 23,2 kg CO₂ eq./m². Questa variabilità è dovuta a una serie di fattori, tra cui:

- L'uso di diverse fonti di energia per l'elettricità. Alcune aziende devono produrre elettricità utilizzando un generatore a diesel, che ha un impatto maggiore rispetto all'uso di elettricità dalla rete; in altri casi si utilizza elettricità con impatto ambientale particolarmente basso (fotovoltaico);
- Diverse caratteristiche di durezza e compattezza dei materiali. Solitamente, materiali più duri e/o più compatti richiedono un consumo di energia maggiore;
- L'uso di tecnologie differenti (es. estrazione con esplosivi o filo diamantato);
- Differenti rese (sia in cava sia in stabilimento). Ad esempio, una cava con materiale più fratturato probabilmente avrà un rapporto energia/materiale utile più elevato rispetto a una cava con resa maggiore;
- Possibili imprecisioni nella raccolta dei dati da parte delle aziende.

Il trasporto contribuisce per poco meno dell'1,5% all'impatto della lastra media, poiché, sebbene avvenga principalmente su strada, le distanze percorse tra la cava e lo stabilimento sono limitate, spesso all'interno della stessa regione italiana.

L'uso di materiali e il trattamento dei rifiuti nella fase di estrazione hanno un impatto sul cambiamento climatico poco significativo rispetto all'impatto totale. Nella fase di trasformazione in lastre, invece, i materiali e il trattamento dei rifiuti hanno un impatto medio di 2,0 kg CO₂ eq./m², con un valore minimo di 0,4 e massimo di 7,2 kg CO₂ eq./m². Questo impatto dipende principalmente dal consumo di resina, strumenti diamantati e utensili metallici.

La presenza dell'imballaggio determina un beneficio (impatto negativo) grazie ai fattori di caratterizzazione per il carbonio biogenico, presente nel legno utilizzato per legacci e EURO pallet.

5.4.2 Analisi di sensibilità e incertezza

I dati primari raccolti durante lo studio costituiscono un campione rappresentativo delle aziende socie di PNA e della situazione italiana nel settore della pietra ornamentale. I dati primari utilizzati presentano un certo livello di variabilità, che si riflette nei risultati ambientali precedentemente presentati ed è dovuta all'eterogeneità dei materiali studiati. In particolare, le principali variabili sono:

- la natura stessa del materiale lapideo, le cui caratteristiche variano non solo da materiale a materiale (pietre più dure e/o più compatte richiedono solitamente un maggiore consumo di materiali ed energia), ma anche considerando materiali simili (variazioni nella resa della cava, dovute, ad esempio, alla maggiore o minore presenza di fratture nella roccia);
- incertezze sui valori ottenuti tramite la raccolta dati a causa di possibili imprecisioni da parte delle aziende (affrontate mediante lo sviluppo di scenari migliorativi e peggiorativi).

Per questo motivo, tale variabilità è considerata fisiologica, accettabile e rappresentativa della situazione attuale italiana.

L'analisi d'incertezza è stata eseguita mediante simulazione Monte Carlo tramite il software SimaPro e i risultati per la categoria di impatto cambiamento climatico, presa come rappresentativa, sono riportati in Tabella 76 e illustrati in Figura 8.

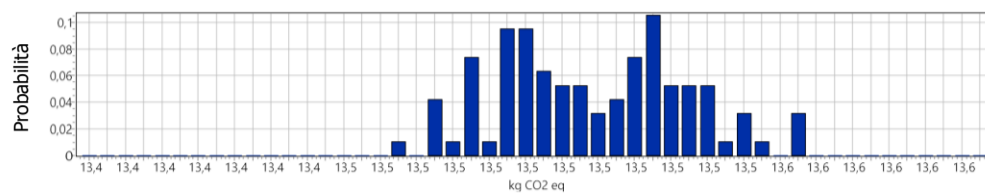


Figura 8. Analisi dell'incertezza del prodotto medio ponderato (1 m² di lastra finita) secondo il metodo EN 15804, intervallo di confidenza: 95 %, indicatore cambiamento climatico.

Tabella 21. Analisi dell'incertezza eseguita tramite simulazione Monte Carlo (95 ripetizioni), risultati per l'indicatore cambiamento climatico.

Categoria di impatto	Unità	Media	Mediana	Deviazione standard (SD)	Coefficiente di variazione (CV)	2,5%	97,5%	Errore standard della media (SEM)
Cambiamento climatico	kg CO2 eq	1,35E+01	1,35E+01	2,31E-02	1,71E-01	1,35E+01	1,36E+01	2,37E-03

Utilizzando i dati primari disponibili, è stato possibile calcolare una variazione dei risultati per il modulo A1-A3 e per l'indicatore ambientale cambiamento climatico, considerando uno scenario peggiorativo (*worst-case*) e uno scenario favorevole (*best-case*), al fine di affrontare le incertezze nella raccolta dati e la sensibilità dei risultati alle variazioni dei parametri chiave.

In particolare, il parametro chiave del consumo energetico, che tra cava e stabilimento contribuisce per circa l'80% agli impatti sul cambiamento climatico per la lastra media spessa 2 cm ed è stato una delle informazioni più critiche da ottenere, è stato variato del -20% e +20% per definire due scenari possibili (rispettivamente, *best* e *worst case*). I corrispondenti risultati per l'indicatore cambiamento climatico sono riportati nella Tabella 77 (media ponderata della lastra spessa 2 cm).

Tabella 77. Contributi delle diverse fasi del processo produttivo al totale dell'indicatore cambiamento climatico per la lastra media considerata.

Cambiamento climatico [kg CO ₂ eq. / m ²]	Media pesata dichiarata	Worst case	Best case
Cava - energia	4,0	4,7	3,2
Cava - altri (materiali/rifiuti)	0,8	0,8	0,8
Trasporto cava - stabilimento	0,2	0,2	0,2
Stabilimento - energia	6,8	8,2	5,4
Stabilimento - altri (materiali/rifiuti)	2,0	2,0	2,0
Imballaggio	-0,3	-0,3	-0,3
Impatto totale su cambiamento climatico	13,5	15,6	11,3

I risultati mostrano che, nello scenario peggiore, l'impatto aumenta di 2,1 kg CO₂ eq., mentre nello scenario migliore l'impatto diminuisce di 2,2 kg CO₂ eq. Variazioni più precise rispetto alla media non possono essere calcolate sulla base dei dati raccolti.

6. Conclusioni e raccomandazioni

Questo studio LCA ha quantificato l'impatto medio di una lastra di pietra spessore 2 cm, adottando un approccio conforme alla norma EN 15804+A2. L'analisi ambientale è stata condotta su 15 materiali estratti e lavorati in Italia. La rappresentatività geografica è in linea con gli obiettivi dello studio, includendo materiali estratti e lavorati esclusivamente sul territorio italiano. La rappresentatività temporale è ottima, poiché sono disponibili dati recenti per ciascun materiale, riferiti all'anno 2024. L'accuratezza dei dati utilizzati nell'analisi è molto buona, essendo basata quasi esclusivamente su dati primari raccolti presso le aziende specifiche.

Considerando tutti i materiali analizzati, l'impatto sul cambiamento climatico (GWP totale) di una lastra media di 2 cm è di 13,5 kg CO₂ eq/m², considerando le fasi dei moduli aggregati A1-A3, con un valore minimo di 3,4 kg CO₂ eq/m² e un massimo di 37,9 kg CO₂ eq/m². Questa variabilità riflette l'eterogeneità del materiale lapideo e le differenze nei metodi di estrazione e lavorazione.

L'analisi di contributo mostra che il consumo energetico rappresenta la quota più significativa dell'impatto totale sul cambiamento climatico: l'energia utilizzata in cava incide per il 29,2%, mentre quella consumata negli stabilimenti di trasformazione contribuisce per il 50,0%. Complessivamente, quasi l'80% dell'impatto ambientale della lastra media è legato al fabbisogno energetico delle due principali fasi produttive. Questa evidenza suggerisce che l'adozione di fonti rinnovabili o a basso impatto, insieme a un incremento dell'efficienza energetica e delle rese di lavorazione, potrebbe avere effetti molto significativi in termini di mitigazione degli impatti ambientali.

L'impatto dei materiali e dei rifiuti nella fase di cava è molto ridotto (6,9% del totale). Invece, il consumo di materiali e la gestione dei rifiuti nella fase di trasformazione contribuiscono per il 14,7% all'impatto totale sul cambiamento climatico. Questo impatto dipende principalmente dall'uso di calce idrata, resine e utensili diamantati o metallici. Il trasporto, sebbene presente in tutti i casi, rappresenta in media solo l'1,4% a causa delle brevi distanze percorse tra cava e stabilimento.

Un aspetto interessante riguarda l'imballaggio, che, grazie al carbonio biogenico contenuto nel legno di pallet e legacci, genera un beneficio ambientale medio (impatto negativo) pari al -2,0% sul totale, contribuendo così a ridurre l'impronta complessiva del prodotto.

Infine, la fase di fine vita è stata valutata assumendo uno scenario di smaltimento al 100%, che genera un impatto di 0,94 kg CO₂ eq./m², senza apportare benefici post-consumo.

In conclusione, lo studio rappresenta un riferimento robusto per lo sviluppo di un EPD di settore per la pietra naturale italiana. Contribuisce alla definizione di metriche ambientali trasparenti e confrontabili, utili non solo per l'ottenimento di certificazioni ambientali, ma anche per orientare le strategie aziendali verso processi più efficienti e sostenibili, coerenti con le crescenti richieste del mercato e con le normative europee.

Bibliografia

- [1] The International Standards Organisation. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework (ISO 14040:2006), pp. 1–28.
- [2] The International Standards Organisation. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines (ISO 14044:2006), pp. 652–668.
- [3] Wolf, M.-A., et al. (2010). ILCD Handbook - General Guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance. European Commission - Joint Research Centre, Ispra (VA), Italy.
- [4] European Commission. (2013). Product Environmental Footprint (PEF) Guide.
- [5] Bianco, I., Blengini, G. A. (2019). Life Cycle Inventory of techniques for stone quarrying, cutting and finishing: Contribution to fill data gaps. *Journal of Cleaner Production*, 225, 684–696.
- [6] Bianco, I., Blengini, G. A. (2019). Life Cycle Inventory of technologies for stone quarrying, cutting and finishing: Contribution to fill data gaps. *Journal of Cleaner Production*, 231, 419–427.
- [7] AIB - Association of Issuing Bodies. (2023). European Residual Mixes - Results of the calculation of Residual Mixes for the calendar year 2022 (*Version 1.0, 2023-05-26*).
- [8] The International Standards Organisation. (2006). Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures (ISO 14025:2006), pp. 1–25.
- [9] The International Standards Organisation. (2017). Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services (ISO 21930:2017, 2nd ed.), pp. 1–80.
- [10] CEN. (2021). EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 — Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products.
- [11] EPD International. (2025). General Program Instructions for the International EPD® System (Version 5.01).
- [12] EPD International. (2025). PCR 2019:14 Construction products (Version 2.01).

Appendice 1

Valutazione della qualità dei dati

La qualità dei dati utilizzati nel modello è stata valutata secondo i criteri riportati nell'Allegato E (Tabella E.1) della norma EN 15804:2012+A2:2019 (Linee guida globali UNEP sullo sviluppo dei database LCA) ed è riportata nella Tabella 77.

Tabella 22. Valutazione della qualità dei dati.

	Rappresentatività geografica	Rappresentatività tecnica	Rappresentatività temporale	Livello di qualità
A1-A3				
Diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW {GLO} diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Diamond wire	Good	Good	Very good	Selected general
Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Electricity, Residual mix 2024, Italy	Very good	Very good	Very good	Selected general
Diamond blade	Good	Good	Very good	Selected general
Slurry waste treatment, filter-press, material, company	Good	Good	Good	Selected general
Lime, hydrated, packed {CH} production Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Tungsten carbide powder {GLO} market for tungsten carbide powder Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Municipal solid waste {CH} treatment of municipal solid waste, sanitary landfill Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Synthetic resin abrasive; for stone polishing	Good	Good	Very good	Selected general
Resin diamond abrasive; for stone polishing	Good	Good	Very good	Selected general
Sawnwood, board, softwood, raw, dried (u=20%) {Europe without Switzerland} market for sawnwood, board, softwood, raw, dried (u=20%) Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Steel blade, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Steel grit	Good	Good	Very good	Selected general
Drilling rod, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Slow-burning fuse	Good	Good	Very good	Selected general
Detonation cord	Good	Good	Very good	Selected general
Detonator, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Magnesite abrasive, for stone polishing	Good	Good	Very good	Selected general

Epoxy resin, liquid {RER} market for epoxy resin, liquid Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Glass fiber reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up {RER} production Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Black powder	Good	Good	Very good	Selected general
Explosive, tovex {CH} explosive production, tovex Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Lime mortar {GLO} market for lime mortar Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Electricity, low voltage {IT} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Cut-off, S	Very good	Very good	Very good	Selected general
Hydrobag, 100x100 cm, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Hydrobag, 100x50 cm, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Hydrobag, 150x150 cm, LC	Good	Good	Very good	Selected general
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Metal abrasive; for stone polishing	Good	Good	Very good	Selected general
Packaging film, low bulk density polyethylene {GLO} market for packaging film, low bulk density polyethylene Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Packaging film, low bulk density polyethylene {RER} packaging film production, low bulk density polyethylene Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
EUR-flat pallet {RER} market for EUR-flat pallet Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Polystyrene foam slab {GLO} market for polystyrene foam slab Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Hazardous waste, for incineration {CH} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Tap water {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, S	Good	Good	Very good	Selected general
C1-C4				
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RoW} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	Good	Very good	Very good	Selected general

Appendice 2

Procedure di follow-up

Questa procedura definisce il processo di monitoraggio e aggiornamento della EPD di settore, in conformità con le disposizioni di EN 15804:2012+2019:A2/AC:2021 e le General Programme Instructions (GPI) del Sistema Internazionale EPD®, Versione 5.0.0. L'obiettivo è garantire che l'EPD rimanga valida, trasparente e rappresentativa delle pratiche correnti per l'intero periodo di validità di cinque anni.

Le attività di monitoraggio vengono effettuate annualmente, cioè a 12, 24, 36 e 48 mesi dalla registrazione iniziale della EPD, dall'EPD Owner o dai consulenti LCA nominati per suo conto.

Il monitoraggio si concentrerà sui principali hotspot ambientali identificati attraverso l'interpretazione dei risultati dello studio LCA realizzato per l'EPD e presentato in questo rapporto. Tale interpretazione ha individuato gli hotspot ambientali e i dati chiave (LCI) o i processi che, se modificati, potrebbero comportare una variazione superiore al 10% dei risultati degli indicatori ambientali della EPD, come descritto di seguito modulo per modulo:

- **Modulo A1 (Approvvigionamento materie prime):** non sono generalmente previste modifiche, in quanto le aziende coperte dalla EPD di settore tipicamente estraggono e lavorano le proprie lastre di pietra. Tuttavia, la localizzazione e l'identità delle fonti devono essere verificate per confermare che non siano intervenuti cambiamenti.
- **Modulo A2 (Trasporto):** l'interpretazione dei risultati LCA ha evidenziato che il trasporto costituisce un hotspot solo per distanze maggiori, dell'ordine di 100 km. Pertanto, particolare attenzione deve essere prestata a eventuali variazioni nella distanza tra cava e sito produttivo, così come al tipo di trasporto utilizzato. Se il sito di trasformazione cambia e la distanza di trasporto supera i 100 km, questo può diventare un contributo ambientale rilevante (hotspot), richiedendo una valutazione più approfondita. Qualsiasi variazione significativa deve attivare una valutazione del suo impatto sugli indicatori dichiarati e, se rilevante, un aggiornamento dell'EPD.
- **Modulo A3 (Produzione):** devono essere monitorati eventuali cambiamenti nelle macchine e nei processi produttivi, poiché influenzano direttamente il consumo energetico, noto hotspot nella lavorazione della pietra ornamentale. Qualsiasi aggiornamento o sostituzione di macchinari principali deve essere valutato in termini di impatto sul consumo di elettricità o carburante. Inoltre, le modifiche alla fonte o al mix energetico (ad esempio, il passaggio da combustibili fossili a elettricità rinnovabile) devono essere documentate e valutate in termini di performance ambientale.
- **Livello generale:** qualsiasi modifica alle caratteristiche dichiarate del prodotto, alla composizione delle materie prime o alla dichiarazione dei contenuti deve essere identificata e verificata. In caso di cambiamenti significativi o di individuazione di errori nell'EPD esistente, deve essere eseguita un'azione di follow-up e un aggiornamento formale dell'EPD secondo quanto previsto da GPI e dai requisiti PCR.

I dati necessari per il follow-up saranno raccolti utilizzando gli stessi questionari impiegati per questo rapporto LCA, che ogni azienda completerà con dati aggiornati. Prima dell'inizio della raccolta dati, PNA effettuerà una verifica preliminare per confermare che le stesse aziende che hanno partecipato all'EPD di settore prendano parte anche al follow-up.

Tutti i dati monitorati, le valutazioni e le decisioni saranno registrati in un registro interno di monitoraggio. Una completa rivalutazione e verifica da parte di terzi dell'EPD è richiesta ogni cinque anni.