

Analisi comparativa delle performance ambientali dei materiali da costruzione mediante Life Cycle Assessment (LCA)

Manuele Naddeo¹

¹Affiliation not available

Abstract

La ricerca di soluzioni ambientalmente sostenibili nel settore edile ha portato la comunità scientifica a studiare la possibilità di riciclo degli elementi in calcestruzzo giunti al fine vita, allo scopo di recuperare gli aggregati che lo compongono. Tale opportunità consente un minore utilizzo di risorse naturali, e riduce la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione da smaltire in discarica. La prestazione ambientale del calcestruzzo può essere misurata con uno strumento standardizzato a livello Internazionale, il Life Cycle Assessment (LCA). L'attività sperimentale si focalizza sulla realizzazione di un modello utile all'applicazione del LCA a miscele di calcestruzzo, al fine di realizzare un'analisi comparativa tra le prestazioni ambientali di calcestruzzi convenzionali, e calcestruzzi realizzati con una quota parte di aggregati riciclati derivanti da processi di demolizione. La misura degli indicatori di impatto ambientale definiti dallo Standard ISO 14042 consente di quantificare l'incremento di sostenibilità ottenibile dal recupero degli aggregati, e permette di individuare i processi che incidono maggiormente sulla sostenibilità del prodotto finale.

Nuovi orizzonti per l'edilizia sostenibile

Il settore edile, sebbene sia uno dei più importanti in termini di produzione di ricchezza e occupazione, è responsabile di un notevole consumo di risorse naturali. Basti pensare che la produzione

mondiale annua del solo calcestruzzo varia tra i 13 e 21 miliardi di tonnellate ¹². Tale materiale è il secondo elemento più utilizzato al mondo dopo l'acqua ³, grazie ai vantaggi che offre in termini di durata, accessibilità e costi ⁴. Tuttavia, al termine della vita utile di una costruzione in calcestruzzo, esso è considerato come un rifiuto da smaltire in discarica. Questo fattore incide in maniera significativa sulla sostenibilità del calcestruzzo, che all'attuale stato dell'arte necessita un miglioramento. I rifiuti da costruzione e demolizione (CDW) costituiscono infatti il 35% dei rifiuti presenti sulla Terra ⁵⁶.

Oltre al consumo di materie prime ed alla conseguente produzione di rifiuti, il settore edile è responsabile dell'emissione del 10% dei gas serra globalmente emessi ⁷, incidendo significativamente sul riscaldamento globale.

La stima delle prestazioni ambientali del calcestruzzo può essere realizzata utilizzando uno strumento riconosciuto e standardizzato a livello internazionale: il Life Cycle Assessment (LCA). Questo strumento consente di considerare le pressioni ambientali derivanti dall'intero ciclo di vita di un sistema, dall'acquisizione delle materie prime alla gestione al termine della sua vita utile, comprese le fasi di produzione, distribuzione e utilizzo ⁸. Il LCA mostra chiare informazioni sulle fasi necessarie alla realizzazione di un prodotto o servizio, dando completa trasparenza delle attività realizzate ⁹. Tale valutazione aiuta a identificare le fasi del ciclo di vita in cui è possibile intervenire per migliorare le prestazioni ambientali e garantire prodotti e servizi più sostenibili, perseguendo l'obiettivo del miglioramento continuo.

Gli Standard ISO articolano il LCA in quattro fasi ¹⁰:

1. Goal and scope definition (ISO 14040), è la fase iniziale dell'LCA, dove viene definita l'intera applicazione, e le ragioni per cui viene realizzata;
2. Inventory analysis (ISO 14041), che consiste nella raccolta dei dati e dei calcoli necessari per la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita dal sistema;

3. Life Cycle Impact Assessment (ISO 14042), che ha lo scopo di quantificare le pressioni ambientali esercitate dal sistema considerato, e comprende la scelta degli indicatori ambientali e la successiva quantificazione;

4. Interpretation (ISO 14043), che consente di valutare la performance ambientale del bene o servizio oggetto di studio e formulare conclusioni e ipotesi di miglioramento, e confrontare tra loro diverse soluzioni.

Ai fini di promuovere approcci più sostenibili nell'Ingegneria civile, negli ultimi anni, l'utilizzo di sottoprodotti derivanti da attività di costruzione e demolizione per la produzione di calcestruzzo si è rivelato una soluzione interessante, in grado di consentire riduzioni in termini di consumo di materie prime utilizzate e di pressioni ambientali connesse.

Emerge così la possibilità di utilizzare aggregati riciclati (RA) nelle miscele di calcestruzzo, convertendo i rifiuti da costruzione in risorse. Ricerche approfondite hanno confermato che gli RA possono essere utilizzati per sostituire gli aggregati naturali (NA) ¹¹¹²¹³. Gli RA (figura 1) necessitano di opportuni trattamenti prima di poter essere utilizzabili, che consistono in una prima fase di frantumazione dei CDW, fino ad ottenere elementi della granulometria desiderata; successivamente segue la fase di separazione, volta ad allontanare corpi estranei come resti di legno o elementi ferrosi ¹⁴¹⁵¹⁶. Nonostante i trattamenti degli RA consentano di ottenere un prodotto finale di elevata qualità, l'aggregato riciclato presenterà una percentuale di malta che resterà aderente ad esso. Tale aspetto grava sulle caratteristiche meccaniche del prodotto finale. Per ovviare a ciò, Il calcestruzzo realizzato con aggregati riciclati (Recycled Aggregate Concrete, RAC) possiede un contenuto di cemento superiore rispetto a quello composto da soli aggregati naturali (Natural Aggregate Concrete, NAC) ¹⁷.

Valutazione delle prestazioni ambientali dei calcestruzzi con aggregati riciclati

L'attività sperimentale realizzata ha avuto lo scopo di progettare un modello per l'applicazione del LCA al fine di stimare le prestazioni ambientali del calcestruzzo convenzionale e del calcestruzzo costituito da una quota parte di aggregati riciclati. Sono state considerate miscele RAC con un quantitativo di aggregato riciclato pari al 55% degli aggregati totali, in modo da avere incrementi di cemento di miscela non particolarmente significativi. La resistenza a compressione delle miscele investigate è stata fissata, in modo da avere un confronto a pari proprietà meccaniche. Sono stati valutati due differenti scenari operativi, corrispondenti a due diverse tecnologie costruttive:

1. Scenario A - Produzione di elementi prefabbricati in calcestruzzo;
2. Scenario B - Produzione di calcestruzzo da gettare in opera.

L'analisi di inventario è stata condotta utilizzando più fonti, in modo da avere un database quanto più completo possibile; è stato consultato in primis il database di riferimento Europeo sul LCA del Joint Research Center (ELCD v3.2), che fornisce dati di elevata affidabilità ¹⁸. Successivamente sono state individuate le dichiarazioni ambientali di prodotto, cioè documenti certificati a livello internazionale che riportano le pressioni ambientali associate alla realizzazione di un prodotto o servizio lungo il suo ciclo di vita ¹⁹. L'inventario è stato poi arricchito con studi bibliografici, realizzati ai fini di identificare riferimenti quantitativi relativi ai flussi energetici considerati ²⁰.

Il software utilizzato per redigere l'analisi è openLCA, sviluppato dalla società Green Delta, e caratterizzato da set di dati gratuiti e a pagamento, periodicamente aggiornati. Gli elementi necessari per la modellazione in openLCA sono:

1. Flussi, ossia tutti gli input e gli output in termini di materia o energia, nel sistema in esame.

2. Processi, insiemi di attività interagenti che trasformano gli input in output.

3. Sistemi di prodotto, che contengono tutti i processi oggetto di studio. Il sistema di prodotto può essere costituito da un solo processo o da una rete di più processi.

È stata condotta un'analisi di tipo “Cradle-to-site”, in relazione alla quale sono stati definiti i confini di sistema, cioè l'insieme dei processi da includere nello studio e dei flussi in entrata e in uscita dal sistema stesso²¹²². Questa tipologia di analisi considera in primo luogo la fase di fornitura delle materie prime, che comprende processi di estrazione che variano a seconda delle caratteristiche fisiche e meccaniche della risorsa naturale. Segue il processo di trasporto dal punto di approvvigionamento all'impianto di trattamento/produzione, e successivamente la lavorazione della risorsa naturale per ottenere il prodotto finale. Quest'ultimo sarà poi trasportato al punto di recapito²³²⁴²⁵.

Successivamente si è definita l'unità funzionale, cioè il riferimento quantitativo utile a correlare i flussi del sistema, che consente la comparabilità dei risultati del LCA²⁶. A tale fine l'unità funzionale è stata considerata in termini di unità di prodotto pari a 1 m³ di calcestruzzo.

Le pressioni ambientali determinate dalle singole attività necessarie per la realizzazione del prodotto finale sono state confrontate con i valori presenti in letteratura scientifica al fine di avere eventuali riscontri o difformità con altre applicazioni²⁷²⁸²⁹, e testare l'affidabilità del modello prodotto. La misura delle pressioni è realizzata calcolando gli indicatori di sostenibilità ambientale definiti dagli standard ISO 14042; è stato determinato il Global Warming Potential (GWP), che valuta il calore intrappolato nell'atmosfera dai gas serra, i quali portano ad un aumento della temperatura globale³⁰ contribuendo allo sviluppo dei fenomeni di scioglimento dei ghiacciai ed innesco/propagazione di incendi (figura 2).

Il secondo indicatore determinato è l'Eutrofizzazione Potenziale (PE), che fornisce informazioni sull'arricchimento di nutrienti³¹³², che portano a bassi tassi di ossigeno e di energia solare nelle acque e alla contaminazione della flora e delle acque sotterranee. Si è poi determinato l'indicatore di

Acidificazione Potenziale (PA), la quale è responsabile della trasformazione di gas come l'ossido di zolfo in sostanze che alterano l'equilibrio degli ecosistemi ³³³⁴³⁵. L'acidificazione influisce negativamente anche sulle costruzioni alterando chimicamente i materiali ³⁶. L'attenzione è stata focalizzata anche sull'utilizzo delle risorse, determinando così i consumi di energia primaria, sia rinnovabile, che non rinnovabile.

Conclusioni

Dai risultati ottenuti dall'attività sperimentale si può affermare che Il modello sviluppato per produrre l'LCA si è dimostrato affidabile ed in linea con i dati presenti in letteratura scientifica.

Si è successivamente dedotto che le pressioni ambientali associate al processo di produzione del cemento sono le più significative, responsabili del 70% delle pressioni complessivamente generate durante il ciclo di produzione del calcestruzzo. Seguono poi i processi di produzione degli aggregati, ed i processi di trasporto del prodotto finale.

I valori degli indicatori ambientali scelti mostrano che le miscele RAC, nonostante presentino un contenuto di cemento superiore rispetto a quelle NAC, comportano benefici ambientali in termini di risparmio sull'utilizzo di materie prime e riduzione di rifiuti da smaltire in discarica, che complessivamente fanno sì che le miscele con aggregato riciclato siano più sostenibili delle miscele convenzionali. Inoltre la percentuale di sostituzione di aggregato riciclato selezionata, pari al 55%, si è rivelata idonea a mostrare i vantaggi in termini di performance ambientali offerti dai RAC.

References

1.Zhang, Y. *et al.*. A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials* **209**, 115–125 (2019).

2. Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911–142911 (2021).
3. Knoeri, C., Sany-Mengual, E. & Althaus, H. Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **18**, 909–918 (2013).
4. Verma, S., Singla, C., Nadda, G. & Kumar, R. Development of sustainable concrete using silica fume and stone dust. *Materials Today: Proceedings* **32**, 882–887 (2020).
5. Marzouk, M. & Azab, S. Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resources Conservation and Recycling* **82**, 41–49 (2014).
6. Naddeo, V., Balakrishnan, M. & Choo, K. H. *Frontiers in Water-Energy-Nexus*. (Springer Nature, 2020).
7. Manjunatha, M., Preethi, S., Mounika, H. & Niveditha, K. Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. *Materials Today: Proceedings* (2021) doi:10.1016/j.matpr.2021.01.248.
8. Ortiz, O., Castells, F. & Sonnemann, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials* **23**, 28–39 (2009).
9. Pryshlakivsky, J. & Searcy, C. Fifteen years of ISO 14040: a review. *Journal of Cleaner Production* **57**, 115–123 (2013).
10. Li, X. & Zheng, Y. Using LCA to research carbon footprint for precast concrete piles during the building construction stage: A China study. *Journal of Cleaner Production* **245**, 118754 (2020).
11. Poon, C. & Lam, C. The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. *Cement and Concrete Composites* **30**, 283–289 (2008).

12. Evangelista, L. & Brito, J. de. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites* **29**, 397–401 (2007).
13. Fraile-Garcia, E., Ferreiro-Cabello, J., Martinez-Camara, E. & Jimenez-Macias, E. Repercussion the use phase in the life cycle assessment of structures in residential buildings using one-way slabs. *Journal of Cleaner Production* **143**, 191–199 (2017).
14. Abdollahnejad, Z. *et al.*. Construction and Demolition Waste as Recycled Aggregates in Alkali-Activated Concretes. *Materials* **12**, 4016 (2019).
15. Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).
16. Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).
17. Tomic, N., Marinkovic, S. & Stanic, M. Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of Cleaner Production* **87**, 766–776 (2015).
18. Martinez, A., Solis-Guzman, J. & Marrero, M. LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **58**, 565–573 (2016).
19. Petrovic, B., Myhren, J., Zhang, X., Wallhagen, M. & Eriksson, O. Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden. *Energy Procedia* **158**, 3547–3552 (2019).
20. Ding, T., Xiao, J. & Tam, V. A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China. *Waste Management* **56**, 367–375 (2016).
21. Sartori, T., Drogemuller, R., Omrani, S. & Lamari, F. A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS). *Journal of Building Engineering*

38, 102180 (2021).

22.Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).

23.Horne, R., Grant, T. & Verghese, K. *Life Cycle Assessment*. (CSIRO Publishing, 2009). doi:10.1071/9780643097964.

24.Naddeo, V., Zarra, T., Giuliani, S. & Belgiorno, V. Odour Impact Assessment in Industrial Areas. *CHEMICAL ENGINEERING* **30**, (2012).

25.Patton, S., Romano, M., Naddeo, V., Ishida, K. P. & Liu, H. Photolysis of Mono- and Dichloramines in UV/Hydrogen Peroxide: Effects on 1,4-Dioxane Removal and Relevance in Water Reuse. *Environmental Science & Technology* **20**, (2018).

26.Finnveden, G. *et al.*. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* **91**, 1–21 (2009).

27.Pradhan, S., Tiwari, B., Kumar, S. & Barai, S. Comparative LCA of recycled and natural aggregate concrete using Particle Packing Method and conventional method of design mix. *Journal of Cleaner Production* **228**, 679–691 (2019).

28.Yazdanbakhsh, A., Bank, L., Baez, T. & Wernick, I. Comparative LCA of concrete with natural and recycled coarse aggregate in the New York City area. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **23**, 1163–1173 (2017).

29.Pavlu, T., Koci, V. & Hajek, P. Environmental Assessment of Two Use Cycles of Recycled Aggregate Concrete. *Sustainability* **11**, 6185 (2019).

30.Serres, N., Braymand, S. & Feugeas, F. Environmental evaluation of concrete made from recycled concrete aggregate implementing life cycle assessment. *Journal of Building Engineering* **5**, 24–33 (2016).

31. Zarra, T., Reiser, M., Naddeo, V., Belgiorno, V. & Kranert, M. A comparative and Critical Evaluation of Different Sampling Materials in the Measurement of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS* **30, 6**, (2012).
32. Ensano, B. M. B. *et al.*. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds. *Journal of Hazardous Materials* **361**, 367–373 (2019).
33. Zarra, T., Naddeo, V. & Belgiorno, V. A novel tool for estimating the odour emissions of composting plants in air pollution management. *Issue 4* **11**, 477–486 (2013).
34. Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D., Fatta-Kassinos, D. & Belgiorno, V. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation—a critical review. *Global Nest Journal* **16**, 561–577, (2014).
35. Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. A comparative approach to the variation of natural elements in Italian bottled waters according to the national and international standard limits. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 505–514 (2008).
36. Oliveira, L., Pacca, S. & John, V. Variability in the life cycle of concrete block CO₂ emissions and cumulative energy demand in the Brazilian Market. *Construction and Building Materials* **114**, 588–594 (2016).

Figure Captions

Figure 1. Aggregati riciclati al termine della lavorazione

Figure 2. Incendi boschivi

Figures



Figure 1: Aggregati riciclati al termine della lavorazione



Figure 2: Incendi boschivi