



Life cycle costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione

Autori:

Federica Carla Carollo¹, Lucia Rigamonti¹, Francesca Ceruti^{2*}

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

² ENEA*, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali

*Da settembre 2023 è presso l'Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Economia e Management

Sommario

Abstract.....	148
1 Introduzione.....	148
2 Metodologia: Life Cycle Costing	148
2.1 Confini del sistema	149
2.2 Inventario	149
2.2.1 Impostazione del questionario per le imprese di demolizione.....	150
2.2.2 Impostazione del questionario per gli impianti di riciclo.....	151
3 Risultati	152
3.1 I Costi di filiera.....	152
3.2 Verifica di corretta esecuzione della demolizione selettiva	153
4 Proposta di meccanismi di incentivazione.....	153
5 Conclusioni e sviluppi futuri.....	154
6 Ringraziamenti	155
7 Bibliografia	155

Abstract

Il seguente lavoro, si pone l'obiettivo di valutare i costi della demolizione selettiva e dell'uso degli aggregati riciclati attraverso l'applicazione della metodologia dell'Environmental Life Cycle Costing (eLCC). L'analisi eLCC ha incluso i costi preliminari, di acquisizione macchinari, operativi e di conferimento relativi all'intera catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D). Sulla base dei risultati ottenuti è stato possibile delineare alcuni scenari prevedendo meccanismi di incentivazione a beneficio della demolizione selettiva e dell'uso degli aggregati riciclati per favorire il raggiungimento di un'economia circolare nel settore delle costruzioni.

1 Introduzione

Secondo l'ultimo rapporto ISPRA, in Italia, il flusso di rifiuti non pericolosi generati dalle attività di costruzione e demolizione (C&D) rappresenta il 45,5% della produzione totale di rifiuti speciali (ISPRA, 2021). Nonostante il tasso di recupero si attesti al 78,1% (escludendo terra e roccia da scavo) (ISPRA, 2021), sono molti gli ostacoli che impediscono l'utilizzo diffuso delle risorse secondarie prodotte dalle attività di riciclo. La presenza di impurità negli aggregati riciclati, la difficoltà nel garantire una produzione costante di aggregati, la mancanza di fiducia degli stakeholder nell'uso di prodotti derivati dai rifiuti e la mancanza di conoscenza da parte dei potenziali utilizzatori delle caratteristiche tecniche, unitamente alla bassa competitività economica dei materiali riciclati rispetto alle materie prime vergini, fanno degli inerti naturali la scelta preferenziale per gli operatori del settore (Borghi et. al., 2018; ICESP, 2020). Il presupposto per ottenere un aggregato riciclato di buona qualità è che i rifiuti in ingresso in impianto di riciclo debbano essere il più puri possibile e per far ciò è necessario che venga effettuata una corretta divisione dei materiali già durante la fase di demolizione dell'edificio e, per tale motivo, è importante incentivare la demolizione selettiva. L'obiettivo di questo lavoro è quello di contribuire allo sviluppo di meccanismi di incentivazione per il settore dell'edilizia volti a massimizzare la sua circolarità e l'efficienza delle risorse sulla base di considerazioni economiche derivanti da un'analisi di Environmental Life Cycle Costing (eLCC).

2 Metodologia: Life Cycle Costing

In generale, attraverso l'analisi LCC vengono definiti i costi totali di un prodotto, processo o servizio associati al suo intero ciclo di vita. In letteratura vengono descritti tre tipi distinti di LCC, che differiscono tra loro per soddisfare diverse esigenze: l'LCC convenzionale, l'Environmental LCC (eLCC) e la Societal LCC (sLCC) (De Menna et al., 2016). Questo studio riguarda l'applicazione di una eLCC, che espande i confini del sistema dell'LCC convenzionale per renderli consistenti con quelli dell'analisi Life Cycle Assessment (LCA) e prende in esame tutti i costi sostenuti durante il ciclo di vita di un prodotto e coperti direttamente da uno o più attori del ciclo di vita. Le fasi metodologiche di seguito descritte riguardano la definizione degli obiettivi e dei confini del sistema, l'implementazione di un inventario dati completo e la valutazione finale dei costi e della loro significatività.

2.1 Confini del sistema

Il sistema analizzato comprende tutte le fasi di gestione del rifiuto inerte derivante dalle attività di costruzione e demolizione, dalla produzione dello stesso in sede del fine vita di un edificio, durante una demolizione ordinaria o selettiva, alla fase di trattamento del rifiuto C&D in impianto di riciclo, fino alla re-immissione sul mercato come aggregato riciclato (Figura 1).

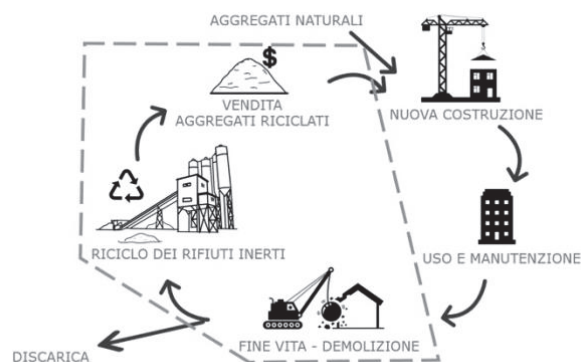


Figura 1: confini del sistema

2.2 Inventario

La raccolta dei dati è stata eseguita per singolo processo, attraverso l'impostazione di due questionari destinati rispettivamente alle imprese di demolizione e agli impianti di riciclo. Sono state contattate 92 aziende tra imprese di demolizione e impianti di riciclo. In tale modo si è riusciti ad avere i dati completi per sei casi studio inerenti alla fase di demolizione e per due impianti di riciclo (Tabella 1), risultato che evidenzia la confidenzialità delle informazioni richieste.

Tabella 1: Casi studio

Casi Demolizione	Demolizione eseguita	Localizzazione	Impianti di riciclo	Localizzazione
<u>n.4</u> edifici commerciali	Demolizione totale selettiva	Lombardia	<u>n.2</u> impianti semoventi su cingolato, solo in situ	Lombardia
<u>n.1</u> edificio residenziale				
<u>n.1</u> edificio scolastico				

2.2.1 Impostazione del questionario per le imprese di demolizione

Il questionario si compone di cinque macro-sezioni:

- *Sezione 1: Informazioni generali*

La prima sezione è relativa alle informazioni generali, quali la denominazione dell'azienda, la tipologia di edificio demolito, la volumetria vuoto per pieno [m³], la tipologia di demolizione eseguita e il tempo di demolizione [h].

- *Sezione 2: Costi preliminari*

In base al tipo di edificio, la fase preparatoria può essere più o meno onerosa. Le aziende devono, in ogni caso, sostenere i costi per il progetto di demolizione [€], l'allestimento del cantiere [€], la bonifica dell'edificio [€], gli oneri della sicurezza [€], e il costo per la Due Diligence Ambientale [€] (recentemente introdotta nello scenario italiano) (Polidoro, 2020).

- *Sezione 3: Costi di acquisizione dei macchinari*

Per ogni macchinario utilizzato durante il periodo di demolizione è richiesta la vita utile [h], il costo sostenuto per l'acquisto [€] e le ore di utilizzo [h] (riferite al singolo intervento di demolizione) (Tabella 2).

Tabella 2: Esempio di scheda relativa ai costi di acquisizione dei macchinari

Macchinario	Vita utile [h]	Costo d'acquisto [€]	Costo orario [€/h]	Ore d'utilizzo [h]	Costo totale per l'intervento [€]
Escavatore	Richiesto	Richiesto	[vita utile] x [costo d'acquisto]	Richiesto	[costo orario] x [ore d'utilizzo]

- *Sezione 4: Costi di gestione*

In questa sezione sono richiesti i costi relativi alla manutenzione [€/a], la retribuzione annua del personale [€/a], il fine vita dei macchinari [€], i costi d'assicurazione [€] e i consumi di energia, carburante e acqua con relativi costi di bolletta [€].

- *Sezione 5: Costi di conferimento*

L'ultima parte del questionario è suddivisa in schede destino, a seconda che il flusso generato venga conferito in discarica, a recupero di energia, a riciclo (Tabella 3), riutilizzato in situ (post trattamento in loco) o gestito da terzi. In ciascuna scheda, è stato chiesto di indentificare la tipologia di rifiuto (tramite il codice CER) e di indicare il corrispondente quantitativo, la tariffa di conferimento [€] e il costo per il trasporto [€/t]. Se il flusso genera un ricavo (es. metalli), questo verrà indicato in segno negativo.

Tabella 3: Esempio di scheda di destino - riciclo

Tipologia (codice CER e descrizione)	Peso [t]	Tariffa di invio a riciclo [€/t]	Costo totale [€]	Costo di trasporto [€/t]	Costo totale di trasporto [€]
17 09 04 - Misti C&D	Richiesto	Richiesto	[peso] x [tariffa di invio a riciclo]	Richiesto	[peso] x [costo di trasporto]

2.2.2 Impostazione del questionario per gli impianti di riciclo

Il questionario si compone di sei macro-sezioni:

- *Sezione 1: Informazioni generali*

Le informazioni generali riguardano la denominazione dell'impianto, la sua localizzazione, l'area del sito [m²], la tipologia d'impianto (movente, semovente o fisso), la vita utile [h] e la capacità di trattamento [t/a].

- *Sezione 2: Costi preliminari*

Sono i costi sostenuti per l'acquisto del sito in cui è localizzato l'impianto [€], per l'assicurazione [€] e il fine vita dei macchinari [€]. Questi costi sono sostenuti a inizio esercizio, quindi per restituire il costo annuale sono stati divisi per la vita utile dell'impianto.

- *Sezione 3: Costi di acquisizione dei macchinari*

Per ogni macchinario presente in impianto i dati richiesti sono la vita utile [h], il costo d'acquisto [€] e il periodo di utilizzo [h/a]. Il questionario è impostato in modo tale da poter scegliere da un elenco preimpostato di macchinari, tra i quali il frantoio a mascelle, a martelli, il vaglio vibrante, fisso e rotante, il de-ferrizzatore, il de-plastificatore e altre attrezzature come pale meccaniche e ragni.

- *Sezione 4: Costi di gestione*

In questa sezione oltre ai costi di manutenzione dei macchinari [€/a], di retribuzione annua del personale [€/a], degli oneri di sicurezza [€] e dei consumi di energia, carburante e acqua, viene chiesto il livello di certificazione CE degli inerti prodotti (2+, 4) e il relativo costo [€/a].

- *Sezione 5: Flussi in ingresso*

Per ogni flusso dichiarato, identificato tramite codice CER, si richiede il quantitativo in ingresso [t] e la tariffa di ingresso [€/t]. Da questa scheda è stato possibile calcolare il quantitativo trattato durante l'anno di riferimento.

- *Sezione 6: Flussi in uscita*

Quest'ultima sezione include tutti i flussi in output che non possono essere trattati in impianto e che quindi hanno diverso destino e la vendita di aggregati riciclati. Nel primo caso devono essere identificati il flusso e la destinazione finale, il relativo quantitativo [t] e il costo sostenuto [€] (o ricavo in caso di metalli). La seconda parte della sezione è dedicata agli aggregati riciclati (AR) prodotti per cui bisogna indicare la classe granulometrica, il quantitativo prodotto [t], il prezzo di vendita [€/t] e il tasso di vendita [%].

3 Risultati

3.1 I Costi di filiera

Il risultato finale dell'eLCC è stato ottenuto combinando le due singole analisi LCC applicate rispettivamente alla fase di demolizione e di riciclo dei rifiuti inerti, riportando tutti i valori all'unità funzionale, ossia il costo sostenuto per volume di edificio demolito (€/m^3). Dai dati raccolti è stato possibile ricavare i costi delle macrocategorie di costi preliminari, di acquisizione dei macchinari, di gestione e di conferimento e i valori di costo dei flussi di ingresso e uscita per gli impianti di riciclo. I costi sostenuti dagli impianti di riciclo sono espressi in euro per tonnellata trattata in impianto durante l'anno di riferimento (2019). Dalla Tabella 4 emerge come i ricavi dell'impianto di riciclo derivino quasi esclusivamente dal pagamento per il conferimento del rifiuto da trattare. Il ricavo derivante invece dalla vendita degli aggregati riciclati risulta di $2,06 \text{ €/t}$, mentre il ricavo derivante dalla vendita dei metalli è di $0,83 \text{ €/t}$ e da soli non riescono a compensare i costi di trattamento ($6,09 \text{ €/t}$). I costi di trattamento dei rifiuti inerti sono stati riportati in €/m^3 demolito moltiplicando il costo di riciclo e di vendita degli aggregati riciclati in €/t per le tonnellate di rifiuto inerte inviato a riciclo presenti in un m^3 demolito [t/m^3] (dato estratto dal questionario delle imprese di demolizione) (Tabella 4).

Tabella 4: Costi medi sostenuti dagli impianti di riciclo

Macrocategoria di costo	Valore	Valore in €/m^3
Costi preliminari	$0,77 \text{ €/t}$	$0,02 \text{ €/m}^3$
Costi acquisizione macchinari	$0,83 \text{ €/t}$	$0,02 \text{ €/m}^3$
Costi di gestione	$4,48 \text{ €/t}$	$0,12 \text{ €/m}^3$
Flussi in ingresso	$-12,28 \text{ €/t}$	$-0,33 \text{ €/m}^3$
Flussi in uscita	$-2,90 \text{ €/t}$	$-0,08 \text{ €/m}^3$

I costi relativi alla fase di demolizione sono rappresentativi della somma dei singoli costi in euro divisi per la volumetria vuoto per pieno dell'edificio considerato. Per combinare le due LCC, il costo sostenuto dalle imprese di demolizione per l'invio a riciclo dei rifiuti inerti è stato sostituito dal costo di trattamento risultante dai dati estratti dal questionario per gli impianti di riciclo e il risultato finale viene mostrato in Tabella 5. Dal calcolo sono esclusi i ricavi da vendita di metalli. Dalla Tabella 5 emerge che la macrocategoria più impattante risulta quella dei costi di gestione che comprendono il personale, la manutenzione e i consumi di energia, carburante e acqua. Il costo medio complessivo dell'intera filiera è di $7,04 \text{ €/m}^3$.

Tabella 5: Costi medi eLCC (demolizione + riciclo)

Macrocategoria di costo	Valore in €/m ³
Costi preliminari	1,38 €/m ³
Costi acquisizione macchinari	1,99 €/m ³
Costi di gestione	2,16 €/m ³
Costi di conferimento	1,51 €/m ³
Totale	7,04 €/m³

3.2 Verifica di corretta esecuzione della demolizione selettiva

Nonostante tutti e sei i casi dichiarino l'esecuzione di una demolizione selettiva, sulla base dell'analisi dei macchinari utilizzati, dei tempi di demolizione e dei flussi in uscita dal cantiere è stato possibile constatare come solo tre casi l'abbiano condotta correttamente. Nei casi restanti, più del 90% dei flussi uscenti dal cantiere si riferisce alla sola frazione mista C&D (CER 17 09 04) e questo dato è rappresentativo della mancata cernita e vagliatura dei materiali e dello smontaggio selettivo che altrimenti avrebbero restituito una divisione in singoli flussi di cemento, laterizi, metalli e sostanze organiche (es. legno). Dallo studio è inoltre emerso come la corretta esecuzione della demolizione selettiva restituisca costi totali di filiera più alti (circa 10 €/m³) rispetto ai casi in cui la demolizione non prevede lo smontaggio selettivo, l'impiego di diversi macchinari e la cernita dei materiali (circa 2,50 €/m³).

4 Proposta di meccanismi di incentivazione

A partire dai risultati ottenuti è stato possibile ipotizzare alcuni scenari di incentivazione a beneficio della demolizione selettiva e dell'uso degli aggregati riciclati. In particolare, sono stati identificati le voci di costo sulle quali è possibile applicare uno sconto sul costo sostenuto dalle imprese di demolizione e dagli impianti di riciclo e quindi il corrispondente criterio da rispettare per ottenere l'incentivo. La prima azione alla base dello scenario identificato è il progetto di demolizione sul quale si è supposto di applicare uno sconto fino al 15% (il valore minimo applicabile per poter apprezzare una riduzione di costo). Il criterio da rispettare per ottenere l'incentivo è la quantificazione preliminare dei flussi dei rifiuti in uscita e l'attinenza alla prassi volontaria UNI/PdR 75:2020 la quale definisce una metodologia operativa per la favorisca il recupero dei rifiuti derivanti da costruzione e demolizione (Norma UNI, 2020). La seconda voce sulla quale è possibile applicare uno sconto fino al 15% è il riuso in situ a seconda che questo venga effettuato o meno. L'ultimo incentivo inerente alla fase di demolizione è la riduzione fino al 15% della tariffa di invio a riciclo dei flussi di rifiuti in uscita. Questo è applicabile nel caso in cui venga effettuata la corretta divisione dei flussi di rifiuti, ovvero in modo tale che il flusso CER 17 09 04 non risulti tra i rifiuti in uscita e che almeno il 70% dei flussi in uscita venga inviato a riciclo. Per incentivare la vendita degli aggregati riciclati si è impostato, invece, un aumento del prezzo di vendita in base alla qualità dell'aggregato, normata dalla circolare n. 5205 del MATTM (Circolare UL/2005/5205). L'incentivo consiste, quindi, nell'aumento del 15% sul prezzo di vendita se l'aggregato è di qualità media (es. per sottofondi stradali) e del 30% se di qualità alta (es. per fondazioni); non viene invece dato l'incentivo se l'aggregato risulta di qualità bassa (es. per ripristini ambientali) (Tabella 6).

Tabella 6: Voci di costo sulle quali è applicabile l'incentivo, criteri per il suo ottenimento ed entità dell'incentivo stesso

Voce di costo	Criteri da rispettare per l'ottenimento	Entità dell'incentivo
Progetto di demolizione	- Stima dei quantitativi e dei flussi in uscita - Attinenza alla UNI/PdR 75:2020	-15% sul costo di progettazione
Riuso in situ	- Rifiuti inerti riutilizzati in situ	-15% sul costo di trattamento per il riuso in situ
Tariffa di invio a riciclo	- Corretta divisione dei flussi (non deve essere presente il flusso 17 09 04) - 70% dei flussi inviati a riciclo	-15% sulla tariffa di invio a riciclo
Vendita dell'aggregato riciclato	- Aggregato per sottofondi stradali/fondazioni	+ 15%/+30% sul ricavo derivante dalla vendita dell'aggregato riciclato

5 Conclusioni e sviluppi futuri

Nello svolgimento di questo studio sono state riscontrate molte difficoltà nel reperire i dati utili alla modellizzazione dell'eLCC, a causa della poca fiducia delle aziende nel comunicare dati sensibili quali sono i costi sostenuti. Con i dati disponibili è stato comunque possibile comprendere i costi della catena di demolizione e di conseguenza formulare alcune ipotesi su come promuovere il mercato degli inerti riciclati. Dall'analisi è emerso che il costo medio totale per la demolizione e gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione è di 7,04€ ogni m³ demolito. Tale costo si riduce nei casi in cui i ricavi derivanti dalla vendita di rifiuti di ferro e acciaio riescono a compensare i costi di invio in impianto di riciclo o in discarica degli altri flussi e nei casi in cui il flusso di rifiuti misti da C&D (CER 17 09 04) viene inviato a riciclo o riutilizzato in situ. Tuttavia, nei casi in cui è stata eseguita una corretta demolizione selettiva, i costi totali di filiera risultano più alti (circa 10 €/m³) rispetto ai casi in cui la demolizione non prevede lo smontaggio selettivo, l'impiego di diversi macchinari e la cernita dei materiali (circa 2,50 €/m³). La demolizione selettiva richiede, infatti, un maggior numero di ore di manodopera e, conseguentemente, un più elevato costo del personale e di utilizzo dei macchinari. Sulla base dei risultati ottenuti è stato possibile delineare alcuni scenari di incentivazione volti a favorire la demolizione selettiva e la vendita degli aggregati riciclati. Obiettivo ultimo è agevolare l'ottenimento di aggregato riciclato di alta qualità incoraggiandone la vendita e l'uso in nuove costruzioni così da chiudere il ciclo nella filiera C&D.

6 Ringraziamenti

Il lavoro presentato è un estratto dalla tesi di dottorato "Circularity in the construction and demolition waste management chain" di Federica Carollo, frutto di un progetto congiunto tra Politecnico di Milano, ENEA e Regione Lombardia. Gli autori ringraziano le imprese di demolizione e gli impianti di riciclo che si sono resi disponibili nel collaborare attivamente in questo progetto.

7 Bibliografia

Borghi, G., Pantini, S., Rigamonti, L., 2018. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). J. Clean. Prod. 184, 815-825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.287>

Circolare UL/2005/5205. Indicazioni per l'operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n. 203. Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana del 15 luglio 2005.

De Menna, F., Loubiere, M., Dietershagen, J., Unger, N., Vittuari, M., 2016. Methodology for evaluating LCC. Report number: Deliverable 5.2 Affiliation: EU - "Resource Efficient Food and Drink for the Entire Supply Chain" (REFRESH) Horizon 2020 Grant Agreement no. 641933.

ICESP, 2020. Rapporto di filiera Rapporto di filiera sulla transizione verso l'economia circolare nel settore Costruzione&Demolizione e nel settore Agrifood. Disponibile su: <https://www.icesp.it/sites/default/files/DocsGdL/L%27economia%20circolare%20nelle%20filiera%20industriali%20i%20casi%20Costruzione%26Demolizione%20e%20Agrifood.pdf>.

ISPRA, 2021. Rapporto rifiuti speciali 2021. Disponibile su: https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2021_n-345_versionedati-di-sintesi.pdf

Norma UNI, 2020. Decostruzione selettiva - Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare. Disponibile su: http://store.uni.com/catalogo/uni-pdr-75-2020?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com

Polidoro D., 2020. La due diligence ambientale – DDA. ZED PROGETTI. Disponibile su: <https://zedprogetti.it/wp-content/uploads/2020/02/DUE-DILIGENCE-AMBIENTALE.pdf>

BANCA DATI LCA

AGROALIMENTARE

EDILIZIA COSTRUZIONI

ENERGIA

LEGNO ARREDO

LIFE CYCLE COSTING

ISBN 978-88-8286-464-4



enea.it