

# **Il Life Cycle Costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione**



Autori: Ing. Federica Carollo<sup>1</sup>, Dott.ssa Francesca Ceruti<sup>2</sup>, Dott.ssa Simona Scalbi<sup>2</sup>,  
Prof.ssa Lucia Rigamonti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DICA, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia

<sup>2</sup> ENEA, Dipartimento di Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Laboratorio Valorizzazione delle Risorse

Data: 22 dicembre 2021

## **Sommario**

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 Life Cycle Costing (LCC). L'analisi LCC 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 e una prima definizione di linee guida per i bandi pubblici sull'utilizzo degli strumenti appartenenti alla famiglia del Life Cycle Thinking per favorire il raggiungimento dell'economia circolare nel settore delle costruzioni.

## Sommario

<b>1. Scopo del documento .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Contesto e introduzione.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 I rifiuti da Costruzione e Demolizione .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 La demolizione selettiva .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Il Life Cycle Costing.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Le fasi dell'LCC .....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Definizione del Goal and scope .....	15
3.1.2 L'inventario dei costi .....	15
3.1.3 Interpretazione.....	16
3.1.4 Relazione e riesame .....	16
<b>3.2 La monetizzazione degli impatti ambientali .....</b>	<b>16</b>
<b>4. Caso studio .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Goal and scope.....</b>	<b>21</b>
4.1.1 Unità funzionale e confini del sistema.....	21
<b>4.2 Inventario .....</b>	<b>21</b>
4.2.1 Impostazione del questionario per le imprese di demolizione e risultati ottenuti	23
4.2.2 Impostazione del questionario per gli impianti di riciclo e risultati ottenuti .....	27
<b>4.3 Interpretazione dei risultati.....</b>	<b>33</b>
4.3.1 Tipologia di rifiuti generati in cantiere .....	33
4.3.2 Verifica di corretta esecuzione della demolizione selettiva e destino dei rifiuti ..	35
4.3.3 I costi di filiera .....	38
<b>4.4 I meccanismi di incentivazione .....</b>	<b>42</b>
4.4.1 Scenari di incentivazione alla demolizione selettiva e alla vendita degli aggregati riciclati.....	43
4.4.2 Applicazione degli incentivi a caso studio .....	45
<b>5. Considerazioni finali.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Il ruolo della demolizione selettiva all'interno delle gare d'appalto pubblico</b>	<b>47</b>

<b>5.2 Conclusioni e sviluppi futuri .....</b>	<b>48</b>
<b>6. Ringraziamenti .....</b>	<b>49</b>
<b>7. Bibliografia .....</b>	<b>50</b>

## **1. Scopo del documento**

Il presente report, si inserisce nel percorso di tesi di dottorato dell'Ing. Federica Carollo e costituisce uno degli output dell'Attività 4 del progetto ARCADIA di ENEA sull'implementazione dell'approccio di ciclo di vita nei contratti pubblici. Il progetto di dottorato rientra nell'accordo di collaborazione tra Regione Lombardia ed ENEA (D.g.r. n. 7792/2018) e successivo decreto attuativo D.g.r. 31 luglio 2019 - n. XI/2006 "Attuazione dell'Art. 7 dell'accordo di collaborazione con Enea" e si pone lo scopo di valutare i costi della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) attraverso l'applicazione della metodologia Life Cycle Costing (LCC). L'obiettivo finale è il delineamento di alcuni scenari di incentivazione a beneficio della demolizione selettiva e dell'uso degli aggregati riciclati oltre ad una prima definizione di linee guida per i bandi pubblici sull'utilizzo degli strumenti appartenenti alla famiglia del Life Cycle Thinking per favorire il raggiungimento dell'economia circolare nel settore delle costruzioni.

## **2. Contesto e introduzione**

Secondo l'ultimo rapporto ISPRA (2021), in Italia, il flusso di rifiuti non pericolosi generati dalle attività di costruzione e demolizione 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 garantirne una produzione costante, 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 (Borghetti 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 siano il più omogenei 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. Attualmente nei CAM Edilizia (Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici) la fase di fine vita dell'edificio risulta essere poco approfondita; è tuttavia in corso di definizione il documento revisionato in cui verrà posta particolare attenzione all'applicazione della demolizione selettiva e all'utilizzo di metodi di valutazione del ciclo di vita (Life Cycle Assessment - LCA) e dei relativi costi di filiera, attribuendone un punteggio premiante in fase di gara d'appalto. L'obiettivo di questo lavoro è sia 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 Life Cycle Costing (LCC), sia l'identificazione di linee guida iniziali per lo sviluppo di bandi pubblici mirati a favorire la circolarità nelle costruzioni attraverso la definizione di criteri premianti.

## **2.1 I rifiuti da Costruzione e Demolizione**

I rifiuti derivanti dalle attività di costruzione e demolizione sono codificati all'interno del Catalogo Europeo dei Rifiuti all'interno del capitolo 17 "Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione (compresi i terreni di bonifica)". Attraverso l'idoneo trattamento di questa particolare tipologia di rifiuti si possono produrre le cosiddette materie prime seconde (MPS) che possono sostituire materiali da costruzione di origine naturale (Dgr n. 1773/2012). Questa tipologia di rifiuti solidi si contraddistingue da quelle di altro genere per la bassa pericolosità e per gli elevati volumi prodotti, oltretutto i rifiuti inerti, nel corso del tempo, non subiscono alcuna trasformazione fisica, chimica o biologica significativa. La tipologia di rifiuti

prodotta durante una demolizione è fortemente influenzata dalla tipologia di edificio e dall'epoca di costruzione. Secondo la composizione merceologica media dei rifiuti da C&D stimata da ISPRA (2021), in Tabella 1, il laterizio e il calcestruzzo (armato e non) costituiscono l'80% della produzione totale. Il restante 20% è invece suddiviso tra gli imballaggi (metallo, carta) e il materiale proveniente dagli scavi (terra e rocce, asfalti) (Antonini & Donati, 2004).

Tabella 1: Composizione merceologica media dei rifiuti da C&D

MATERIALE	FRAZIONE IN PESO
Calcestruzzo non armato	10%
Calcestruzzo armato	20%
Laterizio	50%
Asfalti	5%
Scavi	6%
Legno, carta, plastica	2,5%
Metallo	3%
Varie	3,5%

## 2.2 La demolizione selettiva

Il 3 febbraio 2020 è stata pubblicata sul sito dell'UNI la nuova prassi di riferimento volontaria UNI/PdR 75:2020 "Decostruzione selettiva - Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare". La prassi identifica la "demolizione selettiva in quella serie di operazioni di separazione in frazioni omogenee anche tramite l'utilizzo di macchinari e attrezzature, che hanno come obiettivo primario la massimizzazione del riuso e riciclo del rifiuto da C&D (End of Waste)" (UNI/PDR 75:2020). Pertanto, nella demolizione selettiva le operazioni tradizionali sono sostituite da operazioni di smontaggio

selettivo e decostruzione, finalizzate all'ottenimento di frazioni mono-materiale (calcestruzzo, mattoni, cemento, legno, ecc.) adatte al trattamento negli impianti di riciclaggio, con l'obiettivo di creare delle MPS di alta qualità.

Attraverso l'esecuzione di una corretta demolizione selettiva si dovrebbe ottenere la suddivisione dei rifiuti illustrata in Tabella 2.

Tabella 2: Suddivisione tipica dei rifiuti da C&D

MATERIALE	Codice CER
Componenti riutilizzabili tal quali	-
Legno	17 02 01
Vetro	17 02 02
Plastica	17 02 03
Miscele bituminose	17 03 00
Metalli (incluse le loro leghe)	17 04 00
Terre e rocce	17 05 04
Materiali isolanti	17 06 00
Materiali da costruzione a base di gesso	17 08 00
Cemento	17 01 01
Mattoni	17 01 02
Mattonelle e ceramiche	17 01 03

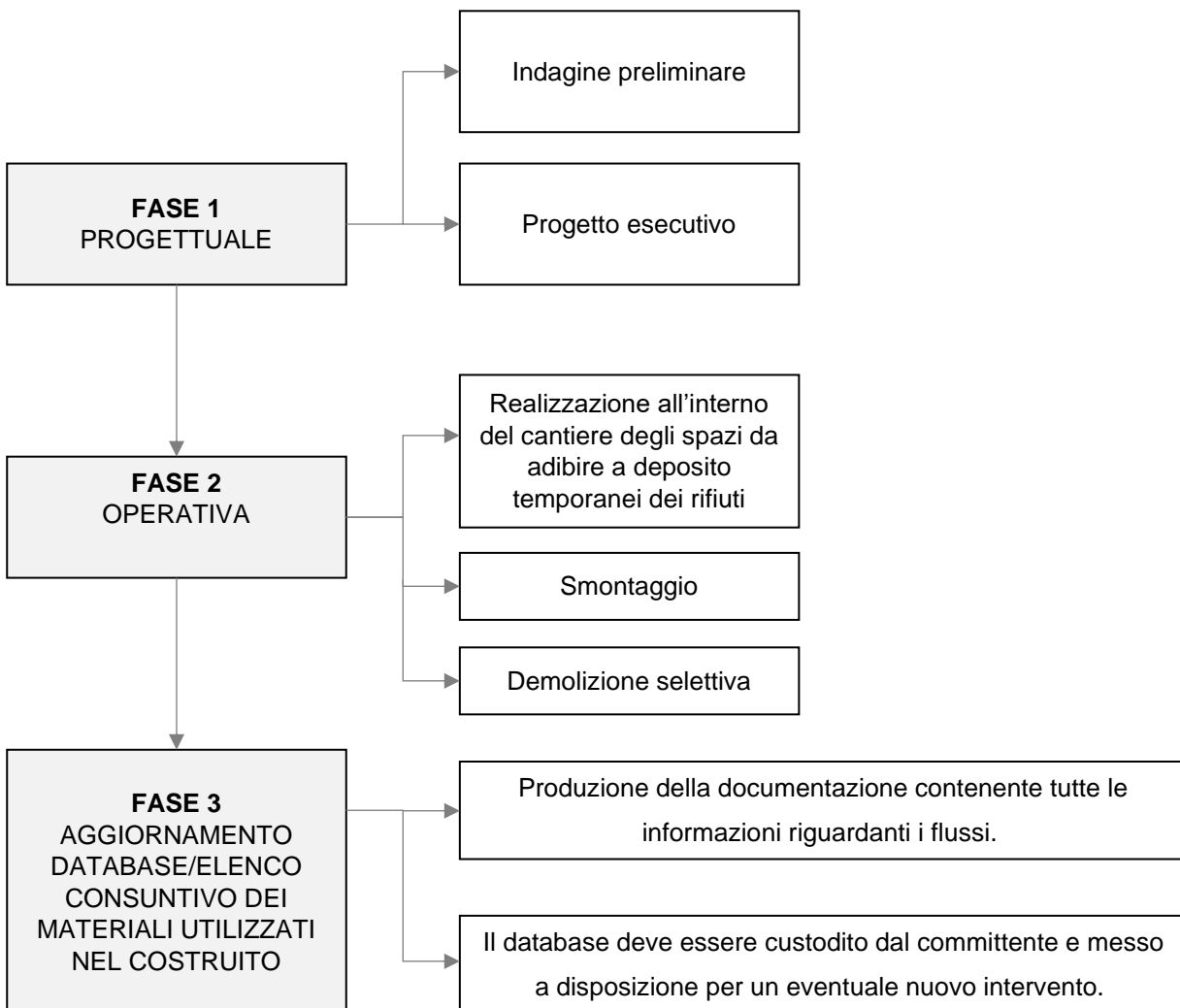
Secondo la prassi UNI/PDR 75:2020 il processo di demolizione selettiva si suddivide nelle seguenti fasi (Figura 1):

- Fase 1: progettuale;

- Fase 2: operativa;
- Fase 3: aggiornamento database/elenco consuntivo dei materiali utilizzati nel costruito.

Mentre le prime due fasi costituiscono il flusso della decostruzione selettiva, la terza è necessaria per identificare tutte le informazioni utili a supportare in termini informativi il ciclo di vita dell'edificio, conservando l'inventario dei materiali e dei prodotti effettivamente utilizzati nella costruzione/ristrutturazione. Il prodotto della terza fase è quello che consente di semplificare la fase progettuale nell'eventualità di una successiva decostruzione, favorendo il tasso di riciclo e riuso.

Figura 1: Le fasi della demolizione selettiva secondo la UNI/PDR 75:2020



Durante l'indagine preliminare viene verificata la presenza di sostanze estranee e pericolose e altri materiali che potrebbero ridurre la riciclabilità del materiale da C&D e che quindi bisogna avviare singolarmente a recupero. Preliminarmente alla demolizione, la fase di smontaggio selettivo ha il fine di rimuovere le parti della struttura (es. porte, finestre, arredi, fino eventualmente ad elementi prefabbricati e strutturali, ecc.) che possono essere destinate direttamente al riuso. In molti casi anche mattoni, tegole, travi, elementi inferriate e parapetti, serramenti ecc., se smontati con cura e senza essere danneggiati, possono essere riutilizzati tali e quali, oppure, dopo semplici trattamenti (pulitura, revisione del funzionamento, riparazione, verniciatura) che li adattano ad un nuovo utilizzo. Mentre le prime due fasi sono manuali, l'ultima fase è meccanica e richiede l'uso di macchinari e attrezzature specifiche a seconda della tipologia di edificio. La movimentazione di macchinari e mezzi pesanti deve essere effettuata con particolare attenzione per evitare qualsiasi disturbo all'ambiente circostante e gli accumuli temporanei di rifiuti presenti sul sito devono essere lasciati puliti e in ordine (D.Lgs. 152/2006, art. 183, lettera bb). Per il successo del recupero e riciclaggio dei materiali di demolizione è necessario che tutti i prodotti di demolizione smontati vengano collocati separatamente nel cantiere. Nella realtà, tuttavia, i criteri prioritari tutt'oggi considerati durante la scelta della tipologia di demolizione da eseguire sono l'aspetto economico e la velocità di esecuzione dell'operazione. Questo porta gli operatori del settore a preferire l'adozione di una demolizione tradizionale. La demolizione selettiva richiede, infatti, una riorganizzazione del cantiere edilizio sia per la predisposizione delle operazioni di smontaggio e decostruzione finalizzate all'ottenimento di frazioni omogenee valorizzabili, sia per gli spazi aggiuntivi per lo stoccaggio delle frazioni separate. La decostruzione richiede oltretutto molte più ore di manodopera operate da un personale di cantiere adeguatamente formato. Per tali motivi questa tipologia di demolizione

comporta dei costi aggiuntivi stimati di circa il 10% - 20% superiori rispetto alle tecniche di demolizione tradizionali (ANPAR, 2019).

### **3. Il Life Cycle Costing**

Rebitzer et al. (2003) definiscono il Life Cycle Costing (LCC) come la valutazione di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto che vengono direttamente sostenuti da uno o più attori di tale ciclo (fornitore, produttore, utente/consumatore, gestore del fine vita). I costi che vengono considerati nell'esecuzione di un'analisi di questo tipo si distinguono in costi interni o diretti e costi esterni o indiretti. I costi interni o diretti sono tutti quei costi sostenuti da ciascuno degli attori coinvolti nel ciclo di vita del prodotto, siano essi produttore, fornitore, utente/consumatore, ecc. I costi interni possono essere valutati in termini di prezzo di mercato ovvero il prezzo che i consumatori pagheranno per il prodotto al momento dell'acquisto o per costi di fattore, i quali si riferiscono ai costi di produzione sostenuti da un'impresa durante la produzione di beni e servizi. I costi esterni o indiretti vengono definiti come "servizi o beni non commercializzati" in quanto non è loro attribuibile un valore monetario diretto. I costi esterni sono, appunto, frutto della monetizzazione delle ripercussioni sociali e ambientali provocate dal "prodotto" lungo l'intero ciclo di vita. Infine, i cosiddetti costi sociali (o della società) rappresentano la somma dei costi interni con i costi esterni (Martinez-Sanchez et al., 2015).

La prima applicazione LCC risale al 1933 quando il General Accounting Office degli Stati Uniti sviluppò una metodologia per l'acquisto dei trattori basata sul fondamento logico che le decisioni d'acquisto non devono solo essere basate sul costo d'acquisizione iniziale, ma anche sui costi per il funzionamento, e, in misura minore, per lo smaltimento. Nel 1960 l'LCC diventò obbligatoria per legge per l'approvvigionamento dei sistemi d'armamento da parte del governo statunitense e per i programmi di costruzione di enti pubblici in diversi Stati degli

USA (Sherif and Kolarik, 1981). Quasi contemporaneamente in Europa, l'LCC iniziò ad attirare l'attenzione nel settore pubblico e venne sempre più utilizzata per prendere decisioni politiche e aziendali (Hoogmartens et al., 2014). Nel 2011 la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) ha pubblicato un code of practice per l'LCC il quale fornisce un quadro generale per valutare gli impatti economici di una decisione, presentando un modello completo di tutti i costi sostenuti dai produttori, i costi di proprietà dei consumatori e i costi reali imposti alle altre parti interessate, allineandoli ai requisiti di una LCA conforme alla ISO 14040 (Hunkeler et al., 2008). Nel 2014 sono state emanate le direttive sugli appalti pubblici (direttiva 2014/24/UE; direttiva 2014/25/UE), per incentivare l'utilizzo dell'approccio LCC e selezionare, tramite questo, il concorrente economicamente più vantaggioso. Al giorno d'oggi, sebbene esistano alcuni standard che citano l'applicazione dell'LCC, ad esempio ISO 15663:2021 (Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 3: Implementation guidelines), ISO 15686-5:2017 (Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing), IEC 60300-3-3 (Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing), non è mai stato sviluppato formalmente uno standard equivalente alle ISO 14040/44 che normano l'LCA ambientale. Come detto sopra, la SETAC nel 2011 ha introdotto tre tipi distinti di LCC, che differiscono tra loro per soddisfare diverse esigenze: l'LCC convenzionale, l'LCC ambientale (eLCC) e l'LCC sociale (sLCC) (De Menna et al., 2016 e Swarr et al., 2011). Tra le tre tipologie a variare possono essere l'oggetto di interesse, i destinatari, i confini e la tipologia dei costi valutati (Tabella 3).

Tabella 3: Tipologie di LCC (De Menna et al., 2016 e Swarr et al., 2011)

	LCC CONVENZIONALE cLCC, Financial LCC (fLCC), Business LCC (bLCC)	LCC AMBIENTALE eLCC	LCC SOCIALE sLCC
OBIETTIVO	Valutare tutti i costi interni associati al ciclo di vita di un prodotto che sono direttamente sostenuti dai vari attori del ciclo di vita del prodotto	Valutare tutti i costi interni e alcuni costi esterni associati al ciclo di vita di un prodotto che sono direttamente sostenuti dai vari attori del ciclo di vita del prodotto	Aggiunge all'eLCC la valutazione di costi esterni aggiuntivi
VALORI QUANTIFICATI	Costi interni	Costi interni e alcuni costi esterni che possono essere internalizzati nel breve periodo	eLCC + altre esternalità
CICLO DI VITA	Incompleto (alcune fasi vengono escluse se i costi non sono sostenuti dall'attore principale, ad es. fase di utilizzo)	Completo	Completo
PUNTO DI VISTA	Un attore principale (produttore, utente o consumatore)	Uno o più attori	Società, compresi i governi

Inoltre, a seconda che l'analisi LCC venga applicata durante la fase di progettazione o pianificazione o per monitorare e gestire i costi di un prodotto esistente può essere definita come LCC Prospettica o LCC Retrospettiva.

### 3.1 Le fasi dell'LCC

L'LCC comporta l'applicazione di quattro fasi successive: la definizione del goal and scope, l'inventario dei costi, l'interpretazione e la relazione e riesame.

#### 3.1.1 Definizione del Goal and scope

In questo primo step si definisce la tipologia di LCC che si vuole applicare a seconda del punto di vista, del destinatario e dei potenziali obiettivi che possono essere legati all'identificazione dei costi totali di un prodotto o del monitoraggio e gestione dei costi all'interno dell'azienda. Viene definita in questa fase l'unità funzionale, ovvero l'oggetto di riferimento dello studio a cui tutti i dati saranno poi normalizzati. A seconda del punto di vista che può essere del produttore, del consumatore o della filiera, si definiscono, infine, i confini del sistema, ovvero quali fasi del ciclo di vita devono essere considerate all'interno dello studio (ad es. produzione e manifattura, uso e manutenzione e fine vita di un determinato prodotto).

#### 3.1.2 L'inventario dei costi

Lo studio continua con l'identificazione e la quantificazione di tutti i costi legati al ciclo di vita del prodotto. L'inventario dei costi deve tener conto della significativa variabilità di questi ultimi in base al tempo di riferimento e alla localizzazione (Di Maria et al., 2018).

Gli elementi di costo da identificare sono (Arzoumanidis, 2021):

- I costi diretti di produzione: materie prime, manodopera diretta ecc.;
- I costi indiretti (o costi nascosti): spese generali, manodopera indiretta, costi di trattamento rifiuti o abbattimento inquinanti, ecc.;
- I costi contingenti: costi futuri incerti per danni ambientali provocati (costi esterni), di cui fanno parte anche i costi esterni che si presume saranno internalizzati nel breve

periodo: ad esempio, i costi relativi alle emissioni di CO<sub>2</sub> (es. per carbon tax o acquisto di permessi di emissione negoziabili);

A seconda dell'obiettivo e del campo di applicazione e del punto di vista adottato bisogna identificare quali tra questi costi includere e come organizzare i dati.

I problemi di disponibilità, qualità e incertezza dati rendono questa fase la più critica di tutta la metodologia.

### 3.1.3 Interpretazione

L'obiettivo dell'interpretazione è quello di valutare i risultati ottenuti e le informazioni acquisite dai risultati per garantire che soddisfino i criteri degli obiettivi prima definiti per lo studio. In questa fase ricadono anche le analisi di incertezza e sensibilità che dovrebbero concentrarsi su quei dati che presentano le maggiori incertezze a causa di cambiamenti attesi nei parametri o scelte di valori.

### 3.1.4 Relazione e riesame

L'ultima fase è dedicata alla presentazione dei risultati ai decisori. È necessario che i risultati vengano riportati in modo completo e accurato e predisposti per eventuali revisioni in vista di pubblicazioni scientifiche.

## **3.2 La monetizzazione degli impatti ambientali**

Menzione separata va alla monetizzazione degli impatti ambientali. I costi ambientali esterni, le esternalità, sono i costi che ricadono sulla comunità, non sostenuti da chi li ha generati o semplicemente definite come degli effetti collaterali di attività economiche. In breve, rispecchiano un effetto esercitato dall'azione di un agente, per es. attraverso la produzione o il consumo di un bene, su un altro agente (Di Giulio, 1962). La monetizzazione degli impatti non è una pratica solitamente applicata in quanto la quantificazione in termini economici dei

costi esterni inerenti ad aspetti sociali e ambientali non è sempre facile e ovvia. Le esternalità possono essere classificate in primo luogo come positive (c.d. diseconomie esterne) e negative (c.d. economie esterne). Secondo Bazzani et al. (1994) un'esternalità è positiva quando l'utilità dei soggetti terzi aumenta senza che questi debbano indennizzare coloro che hanno determinato l'aumento di utilità. Un'esternalità si dice invece negativa quando provoca la diminuzione dell'utilità di un individuo e a questo non è riconosciuto alcun risarcimento (es. inquinamento idrico, atmosferico, acustico, visivo ecc.). In caso l'effetto delle esternalità vada da chi la produce verso chi la riceve queste saranno unilaterali. Saranno invece reciproche, nel caso in cui ciascuna parte coinvolta dalle esternalità è al contempo parte attiva e passiva e il loro interagire porta alla creazione di benefici e/o danni reciproci. Per far fronte al "fallimento del mercato" derivante dal fatto che chi sfrutta e inquina le risorse naturali non è portato a coprirne il costo che conseguentemente ricade sulla collettività, gli ordinamenti giuridici hanno definito sistemi di internalizzazione dei costi ambientali sfruttando il principio del "chi inquina paga" (Direttiva 2004/35/CE). Con l'internalizzazione dei costi ambientali si esprime, quindi, una categoria di impatto ambientale in valore monetario. Questo valore può basarsi sui costi associati alla riparazione del danno (es. Tabella 4) o alla prevenzione (es. la quantità di denaro necessaria per prevenire le emissioni di CO<sub>2</sub> attraverso il risparmio energetico) (Tabella 5) (Duraio et al., 2019).

Tabella 4: Costi dei danni dovuti alle emissioni da differenti studi (Fonte: Environmental LCC 2008. (eds) Hunkeler et al. Chapter 4. SETAC)

Emissione	um	ExternE (best estimate)	ExternE (low)	ExternE (high)	Pace study	Massachu setts study	EPS (2000d)
SO <sub>2</sub>	€/kg	9,2	1,3	27	3,70	1,24	3,27

NOx	€/kg	10,0	1,1	30	1,50	5,38	2,13
PM10	€/kg	17,0	1,9	50	2,17	3,31	36
Cd	€/kg	67,0	6,7	120	-	-	10,2
Pb	€/kg	10	5,0	15	-	-	2910
CH4	€/kg	0,2	0,043	1,6	-	-	2,72
CO2	€/kg	0,019	0,0038	0,139	0,012	0,018	0,108
CO	€/kg	-	-	-	-	0,72	0,331
VOC	€/kg	-	-	-	-	4,39	2,14
Dioxine	€/kg	290000	29000	520000	-	-	-

Tabella 5: La quantità di denaro necessaria per prevenire le emissioni di CO<sub>2</sub> attraverso il risparmio energetico (Fonte: Environmental LCC 2008. (eds) Hunkeler et al. Chapter 4. SETAC e Durao et al., 2019)

Obiettivo di riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub>	50%	60%	70%	80%
Costo della riduzione delle emissioni	Da 1 a 3 €/t	Da 22 a 30 €/t	Da 95 a 107 €/t	Da 163 a 205 €/t

Le principali tecniche di valutazione monetaria per la stima dei benefici e dei costi, derivanti dall'alterazione arrecata all'ambiente/bene ambientale, si basano su metodi diretti e metodi indiretti. Entrambi i metodi si basano sul principio della "willingness to pay and to accept" ovvero sulla disponibilità a pagare/ricevere e si riassumono in quanto gli individui sono disposti a pagare in cambio di un beneficio e quanto gli individui sono disposti ad accettare per tollerare un certo costo (Alberini et al., 2006). Tra i metodi diretti rilevante è la "Valutazione Contingente" attraverso la quale si perviene alla stima del valore della risorsa attraverso le preferenze espresse direttamente dagli individui. La valutazione consiste in indagini su un campione rappresentativo di consumatori ai quali si chiede di dichiarare quanto sono disposti a pagare per conservare un certo bene ambientale o quanto

desiderano ricevere per rinunciare alla sua fruizione in un ipotetico mercato dei beni considerati. Tali metodi sono alla base della quantificazione della valutazione economica del costo dei danni dell'inquinamento atmosferico alla salute umana (es. "Value of statistical life" (VSL)). Tra i metodi indiretti, invece, quello dei "Costi Edonistici" si fonda sull'idea che un individuo nel prendere, ad esempio, una decisione di acquisto per un immobile, si basa su caratteristiche ambientali e spaziali dello specifico mercato immobiliare. Il "metodo costo di viaggio" (TCM) utilizza informazioni raccolte sulla frequenza di visita degli individui a un certo sito e i costi totali affrontati dalle stesse per raggiungerlo (viaggio, pernottamenti, ecc.), al fine di stimare una misura indiretta della disponibilità a pagare per le attrattive del luogo e quindi quantificare il valore. Sulla base di questi approcci, sono stati sviluppati diversi metodi di monetizzazione, utilizzati per la ponderazione degli impatti ambientali risultanti dagli studi LCA (Tabella 6) (Duraó et al., 2019).

Tabella 6: Metodi di monetizzazione (Fonte: Duraó et al., 2019)

Ecotax 2002	È un approccio di monetizzazione basato sulle eco-tasse svedesi e le tasse sulle emissioni e sull'uso delle risorse. Presuppone che le decisioni politiche riflettano i valori sociali degli impatti ambientali. Tutti i dati fiscali e di ponderazione sono forniti in SEK (corona svedese).
Stepwise 2006	È un metodo di monetizzazione costruito sui risultati del metodo LCIA (Life cycle impact assessment) Ecoindicator99 (metodo endpoint), che fornisce risultati come punteggi fisici per ciascuno dei tre soggetti di salvaguardia: uomo, ecosistema e risorse.
Ecovalue 2008	Il metodo utilizza fattori di ponderazione che aggregano gli indicatori midpoint sull'impatto a livello intermedio di un indicatore endpoint monetizzato (che valuta l'impatto dal punto di vista di chi subisce l'impatto finale). Si basa su valutazioni di mercato sull'esaurimento delle risorse e sulle stime della disponibilità individuale a pagare (WTP) per la qualità ambientale.

Eco-costs	Il metodo si riferisce alle categorie ambientali più utilizzate nella valutazione ambientale di materiali da costruzione e assemblaggi, che siano compatibili con le informazioni ambientali fornite nelle EPD (Dichiarazione Ambientale di Prodotto).
Environmental prices	Indica la perdita di benessere economico derivata da ogni chilogrammo in più di inquinante immesso nell'ambiente e spesso coincide con i costi esterni.
Strategies in product design (EPS)	Consiste in modelli di valutazione monetaria sviluppati per facilitare il confronto degli impatti ambientali (principalmente per lo sviluppo del prodotto).
External costs of energy (ExternE)	Deriva da un progetto finanziato dalla Commissione Europea, avviato nel 1995, con l'obiettivo di monetizzare i danni socio-ambientali causati da vettori energetici distinti. ExternE effettua una valutazione dettagliata e sistematica dell'intera catena causa-effetto da oneri o emissioni agli impatti e ai danni ambientali. Gli impatti sono valutati in base ai prezzi di mercato o "disponibilità a pagare".
LIME	Il metodo è basato sulla modellazione degli indicatori endpoint e mira a sviluppare un database per assistere le industrie nell'attuazione di studi LCA affidabili.
Social Costs of Carbon (SCC)	SCC rappresenta il costo economico associato ai danni climatici derivanti dall'emissione di una tonnellata aggiuntiva di anidride carbonica (tCO <sub>2</sub> ).

#### 4. Caso studio

Nelle prossime pagine verrà descritta l'applicazione dell'analisi LCC alla catena di gestione dei rifiuti derivanti dalle attività di demolizione. Si è scelta in prima fase l'implementazione di una cLCC (LCC convenzionale), mirata alla valutazione di tutti i costi interni del ciclo di gestione, con obiettivo finale la verifica degli incentivi e criteri premianti per i bandi pubblici. L'integrazione nel modello dei costi esterni associati al ciclo di vita sarà oggetto di un futuro studio.

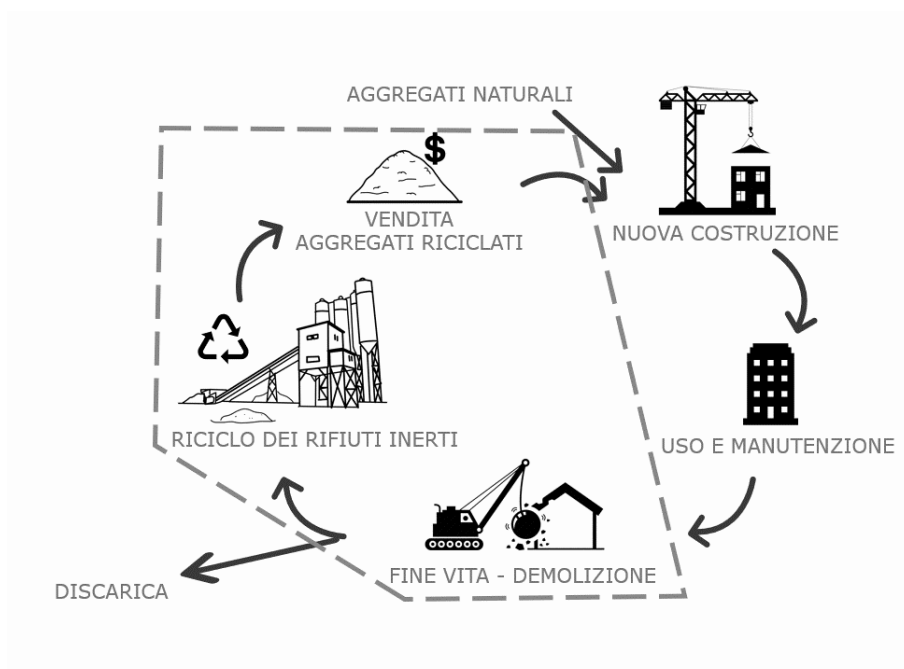
## 4.1 Goal and scope

L'obiettivo di questo lavoro è quello di valutare tutti i costi interni relativi alla catena di gestione dei rifiuti derivanti dalle attività di demolizione.

### 4.1.1 Unità funzionale e confini del sistema

L'unità funzionale del sistema è il m<sup>3</sup> di edificio demolito e il sistema analizzato comprende tutte le fasi di gestione del rifiuto inerte derivante dalle attività di 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 2).

Figura 2: confini del sistema



## 4.2 Inventario

L'implementazione dell'inventario è stata eseguita per singolo processo, attraverso l'impostazione di due questionari destinati rispettivamente alle imprese di demolizione e agli

impianti di riciclo inerti. Durante la fase di raccolta dati, della durata totale di 8 mesi, sono state contattate 66 imprese di demolizione e 27 impianti di riciclo. In tale modo si è riusciti ad ottenere i dati completi inerenti a sette casi studio relativi alla fase di demolizione e due impianti di riciclo inerti, risultato che evidenzia una certa confidenzialità delle informazioni richieste. Tra i casi di demolizione raccolti, preponderanti sono gli edifici commerciali, solo un caso è inerente alla tipologia residenziale e uno ricade nella categoria servizi. Per ogni caso studio è stata richiesta la tipologia di demolizione eseguita e tutti e sette i casi hanno dichiarato l'esecuzione di una demolizione selettiva dell'intero edificio. Relativamente agli impianti di trattamento rifiuti inerti la casistica si limita ad un'unica tipologia di impianti: semoventi su cingolato, solo in situ. Pur avendo richiesto la compilazione del questionario a imprese localizzate in tutta Italia tutti i casi studio risultano essere localizzati all'interno del territorio lombardo. Nella Tabella 7 sono riassunti i casi studio sopradetti.

Tabella 7: Casi studio

Casi Demolizione	Demolizione eseguita	Localizzazione	Impianti di riciclo	Localizzazione
n.5 edifici commerciali	Demolizione totale selettiva	Lombardia	n.2 impianti semoventi su cingolato, solo in situ	Lombardia
n.1 edificio residenziale				
n.1 edificio scolastico				

#### 4.2.1 Impostazione del questionario per le imprese di demolizione e risultati ottenuti

Il questionario sui casi studio di demolizione si compone di cinque macro-sezioni, ciascuna delle quali comprende le informazioni generali, i costi relativi alle categorie di costi preliminari, di acquisizione dei macchinari, di gestione, e di conferimento. Tutti i costi sono espressi in euro (€) e il risultato è dato dalla somma del costo totale di demolizione e del costo totale di smaltimento e riciclo, ottenendo così il costo per m<sup>3</sup> di materiale demolito (€/m<sup>3</sup>).

Di seguito vengono descritte le sezioni del questionario.

##### Sezione 1: Informazioni generali

La prima sezione è relativa alle informazioni generali, quali la denominazione dell'azienda, la tipologia di edificio demolita, la volumetria vuoto per pieno [m<sup>3</sup>], la tipologia di demolizione eseguita e il tempo di demolizione [h] (Tabella 8). L'importanza della richiesta della tipologia edilizia e dell'anno di costruzione è data dal fatto che la tipologia di materiali costituenti l'edificio è sensibile alle evoluzioni tecnologiche delle tecniche costruttive e dalla destinazione finale d'uso del manufatto.

Tabella 8: Scheda informazioni generali

Voce	Localizzazione	Tipologia edilizia	Anno di costruzione	Volume demolito	Tipologia demolizione	Durata demolizione
Unità di misura	-	-	-	m <sup>3</sup>	-	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 [€], tecnica di indagine finalizzata all'individuazione e quantificazione delle passività associate a criticità ambientali e identificazione dei rischi presenti in un sito, recentemente introdotta nello scenario italiano (Polidoro, 2020). In Tabella 9, oltre ai dati richiesti, sono elencati anche i valori di costo medio risultanti per ogni voce relativa alla fase preliminare. Tra i costi risultanti a distinguersi sono i costi sostenuti per la sicurezza e per la bonifica dell'edificio da materiali pericolosi (nello specifico materiali contenenti amianto).

Tabella 9: Scheda costi preliminari e valori medi risultanti

Voce	Progetto di demolizione	Allestimento cantiere	Bonifica edificio	Oneri sicurezza	Due diligence
Unità di misura	€	€	€	€	€
Valore medio risultante	0,06 €/m <sup>3</sup>	0,08 €/m <sup>3</sup>	0,50 €/m <sup>3</sup>	0,72 €/m <sup>3</sup>	0,02 €/m <sup>3</sup>

### 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 10). Il costo totale del singolo macchinario relativo al solo intervento è stato calcolato moltiplicando il costo orario (vita utile x costo d'acquisto) per le ore effettive di utilizzo durante la demolizione. Il valore medio risultante è di 1,99 €/m<sup>3</sup> ed i costi sono ripartiti in percentuale tra i macchinari come illustrato in figura 3.

Figura 3: Grafico incidenza dei costi dei macchinari su totale.

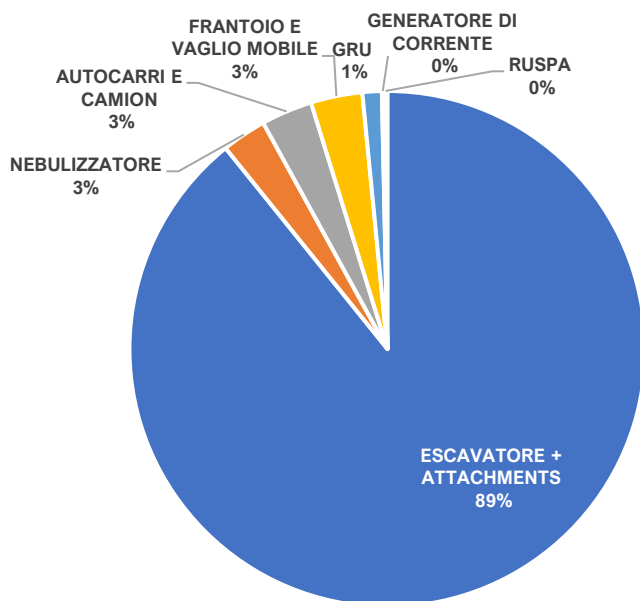


Tabella 10: Scheda costi di acquisizione macchinari e valore medio risultante

Voce	Macchinario	Vita utile	Costo d'acquisto	Costo orario	Ore d'utilizzo	Costo totale per l'intervento
Dato richiesto e unità di misura	Tipologia (es. Escavatore, Gru, Nebulizzator e ecc.)	h	€	[vita utile] x [costo d'acquisto] €/h	h	[costo orario] x [ore d'utilizzo] €
Valore medio risultante	1,99 €/m <sup>3</sup>					

#### Sezione 4: Costi operativi

In questa sezione sono richiesti i costi relativi alla manutenzione [€/a], la retribuzione annua del personale [€/a], i costi d'assicurazione [€] (Tabella 11) e i consumi di energia, carburante e acqua con relativi costi di bolletta [€] (Tabella 12). Per riportare i costi di manutenzione macchine e personale all'€ sono stati divisi i costi annuali dichiarati per le ore lavorative medie in un anno solare (2024 h). Tra i valori medi risultanti il più impattante relativamente ai costi operativi è sicuramente quello sostenuto per il personale.

Tabella 11: Scheda costi operativi e valori medi risultanti

Voce	Manutenzione macchine	Personale	Assicurazione
Dato richiesto	€/anno	€/anno	€
Valore medio risultante	0,51 €/m <sup>3</sup>	1,23 €/m <sup>3</sup>	0,05 €/m <sup>3</sup>

Tabella 12: Scheda consumi e valori medi risultanti

Voce	Energia elettrica	Diesel	Acqua
Dato richiesto	kWh	l	l
Valore medio risultante	0,42 €/m <sup>3</sup>		

### 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 smaltimento con recupero di energia, a riciclo, 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) perché viene venduto, questo verrà indicato in segno negativo. In Tabella 13 sono riportati i singoli costi medi risultanti, comprensivi dei costi dovuti al trasporto, divisi per destino.

Tabella 13: Scheda costi di conferimento e valori medi risultanti

Voce	Tipologia di rifiuto in output	Destino	Peso	Tariffa di conferimento	Costo totale	Costo di trasporto	Costo totale di trasporto
Dato richiesto e unità di misura	Es. 17 09 04 - Misti C&D; 17 02 01 – Legno; 17 04 05 - Ferro e Acciaio ecc.	Discarica / Riciclo / Riuso in situ / Gestito da terzi	t	€/t	€ [peso] x [tariffa di invio a riciclo]	€/t	€ [peso] x [costo di trasporto]

Destino	Discarica	Riuso in situ	Riciclo	Vendita metalli
Valore medio risultante	0,56 €/m <sup>3</sup>	0,50 €/m <sup>3</sup>	0,69 €/m <sup>3</sup>	-1,63 €/m <sup>3</sup>

#### 4.2.2 Impostazione del questionario per gli impianti di riciclo e risultati ottenuti

Il questionario relativo agli impianti di riciclo è stato impostato sulla falsa riga del questionario per le imprese di demolizione. Tutti i costi sono espressi per tonnellata trattata in impianto durante l'anno di riferimento (€/t).

Sono descritte di seguito le sei macro-sezioni dalle quali è composto.

#### Sezione 1: Informazioni generali

Le informazioni generali riguardano la denominazione dell'impianto, la sua localizzazione, l'area del sito [m<sup>2</sup>], la tipologia d'impianto (movente, semovente o fisso), la vita utile [h] e la capacità di trattamento [t/a]. Le tonnellate reali trattate nell'anno di riferimento sono state calcolate sommando le tonnellate di rifiuti in ingresso che sono state dichiarate dallo stesso (Tabella 14).

Tabella 14: Scheda informazioni generali

Voce	Localizzazione	Area impianto	Capacità di trattamento	Tonnellate trattate nell'anno	Vita utile	Tipologia
Unità di misura	-	m <sup>2</sup>	t	t/a	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 o una tantum (come nel caso del fine vita dei macchinari), quindi per restituire il costo annuale sono stati divisi per la vita utile dell'impianto. Tra i costi medi risultanti il più impattante è rappresentato dal costo per l'acquisto del terreno (Tabella 15).

Tabella 15: Scheda costi preliminari e valori medi risultanti

Voce	Acquisto terreno	Assicurazione	Fine vita macchinari
Dato richiesto e unità di misura	€	€	€
Valore medio risultante	0,51 €/t	0,00 €/t	0,26 €/t

### Sezione 3: Costi di acquisizione dei macchinari

Per ogni macchinario presente in impianto sono stati richiesti i dati di vita utile stimata del macchinario [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. Il costo totale del singolo macchinario relativo all'anno di riferimento (2019) è stato calcolato moltiplicando il costo orario (costo d'acquisto/vita utile) per le ore effettive di utilizzo durante l'anno. Il valore medio risultante è di 0,83 €/t.

Tabella 16: Scheda costi di acquisizione macchinari e valore medio risultante

Voce	Macchinario	Vita utile	Costo d'acquisto	Costo orario	Ore d'utilizzo	Costo totale per l'intervento
Dato richiesto e Unità di Misura	Tipologia (es. Frantoio a mascelle, vaglio vibrante ecc.)	h	€	€/h [costo d'acquisto]/ [vita utile]	h	€ [costo orario] x [ore d'utilizzo]
Valore medio risultante	0,83 €/t					

#### Sezione 4: Costi operativi

I costi operativi di un impianto di trattamento rifiuti sono rappresentati dai costi per la manutenzione dei macchinari [€/a], quelli di retribuzione annua del personale [€/a], degli oneri di sicurezza [€] e dei consumi di energia, carburante e acqua. In aggiunta, viene

richiesto il livello di marcatura CE degli inerti prodotti imposta dal Regolamento UE 305/11 sui prodotti da costruzione e dal recente D.lgs. 106/17 per i prodotti da costruzione (anche riciclati) immessi sul mercato. Viene richiesto il livello di coinvolgimento degli organismi notificati, distinguendo tra il sistema 2+, il quale prevede l'ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e il controllo della produzione in fabbrica e la sorveglianza, valutazione e verifica continuativa, o il sistema 4, autocertificazione da parte del fabbricante (Regolamento UE 305/11) e il costo annuo (€/a). Il costo per tonnellata trattata si ottiene dividendo il costo annuale per le tonnellate trattate durante l'anno. Nelle tabelle 17 e 18 sono riassunti i costi medi risultanti.

Tabella 17: Scheda costi operativi e valori medi risultanti

Voce	Manutenzione macchinari	Personale	Oneri della sicurezza	Certificazione CE
Dato richiesto e Unità di Misura	€/anno	€/anno	€/anno	(Tipologia 2+ o 4) €/anno
Valore medio risultante	0,73 €/t	2,53 €/t	0,01 €/t	0,15 €/t

Tabella 18: Scheda consumi e valori medi risultanti

Voce	Energia elettrica	Diesel	Acqua
Dato richiesto	kWh	l	l
Valore medio risultante	1,06 €/m <sup>3</sup>		

## Sezione 5: Flussi in ingresso

All'atto del conferimento all'impianto, il materiale viene pesato o ne viene determinata la quantità in volume. Per ogni flusso in ingresso, identificato tramite codice CER, si richiede il quantitativo in ingresso [t] e il prezzo pagato per l'ingresso [€/t]. Il ricavo totale dovuto ai flussi in ingresso è stato calcolato moltiplicando il quantitativo trattato per il prezzo di conferimento: il valore medio risultante è di -12,28 €/t (Figura 4; Tabella 19).

Figura 4: Schema tracciamento dei flussi di rifiuti

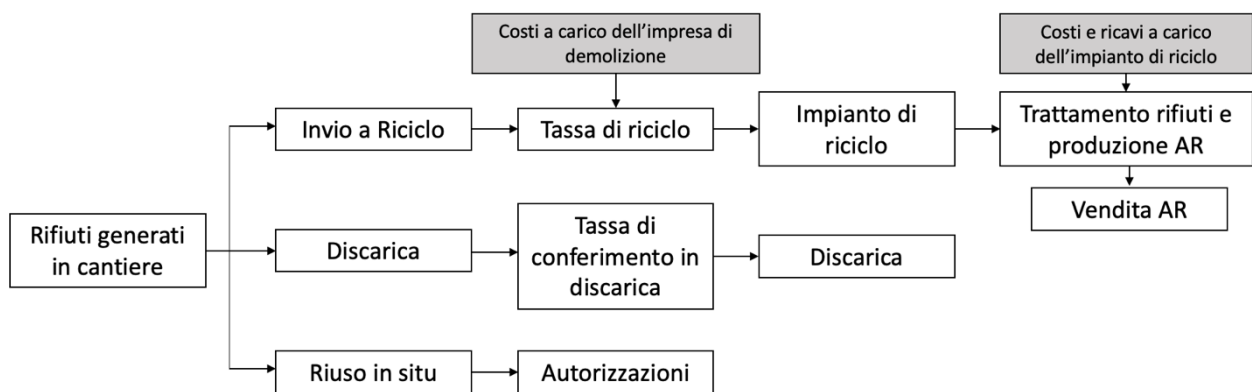


Tabella 19: Scheda flussi in ingresso e valori medi risultanti

Voce	Tipologia di rifiuto in input	Quantitativo trattato	Prezzo di conferimento	Ricavo totale
Dato richiesto e unità di misura	Es.17 09 04 - Misti C&D	t	€/t	€ [quantitativo trattato] x [prezzo di conferimento]
Valore medio risultante	-12,28 €/t			

Sezione 6: Flussi di rifiuti generati a seguito della demolizione

In quest'ultima sezione vengono inclusi tutti quei flussi che vengono separati dai rifiuti minerali inerti e non possono essere trattati in impianto e che quindi hanno diverso destino e la produzione e vendita degli AR. Nella scheda relativa a questi flussi (Tabella 20) deve essere identificata la tipologia, la destinazione finale, il quantitativo [t] e il costo sostenuto per il conferimento in discarica [€] o per la vendita (in caso di flussi metallici). Nei due casi studio analizzati le tonnellate di metalli superano le tonnellate di materiale da inviare in discarica e questo risulta in un ricavo per l'impianto di -0.82 €/t. La seconda parte della sezione è dedicata agli aggregati riciclati (AR) prodotti per i quali è necessario indicare la tipologia e la classe granulometrica d/D (rapporto tra dimensione del setaccio inferiore e superiore) (AR misti in frazione unica, di diversa granulometria, da solo calcestruzzo o di origine bituminosa), il quantitativo prodotto [t], il prezzo di vendita [€/t] e il tasso di vendita (quantitativo venduto / quantitativo prodotto) x 100 [%]. Il ricavo da vendita degli AR è di -2,06 €/t (Tabella 21).

Tabella 20: Scheda flussi in uscita e valori medi risultanti

Voce	Tipologia (codice CER e descrizione)	Destino	Quantitativo	Costo di conferimento o prezzo di vendita	Costo o ricavo totale	Costo di trasporto	Costo totale di trasporto
Dato richiesto e unità di misura	Es. Ferro / Legno / scarti	Discarica / Recupero / Smaltimento	t	€/t	€ [quantitativo] x [costo di conferimento o vendita]	€/t	€ [peso] x [costo di trasporto]

Destino	Discarica	Ricavi da vendita metalli
Valore medio risultante	0,01 €/t	-0,83 €/t

Tabella 21: Scheda vendita aggregati riciclati e valori medi risultanti

Voce	Tipologia e classe granulometrica	Quantitativo prodotto	Prezzo di vendita	Tasso di vendita
Dato richiesto e unità di misura	Aggregati riciclati misti in frazione unica (d/D); Aggregati riciclati di diverse granulometrie (d/D); Aggregati riciclati da solo calcestruzzo (d/D); Aggregati riciclati bituminosi (d/D)	t	€/t	% [quantitativo venduto] / [quantitativo prodotto] x 100

## 4.3 Interpretazione dei risultati

### 4.3.1 Tipologia di rifiuti generati in cantiere

La prima analisi che è stato possibile effettuare al completamento dell'inventario economico e merceologico è relativa alla tipologia media di rifiuti generati a seguito di una demolizione. Dalla figura 5 emerge come i rifiuti minerali inerti rappresentano la maggioranza (95%) dei rifiuti totali in uscita. I rifiuti metallici rappresentano il 4% mentre l'1% si riferisce ai materiali organici (carta, legno ecc.) e ai rifiuti pericolosi, in particolare quelli estratti dopo operazioni di bonifica dell'edificio. Nella Tabella 22 sono riportate le composizioni in percentuale delle categorie di materiale di rifiuto minerale inerte, metalli e la categoria altro. Il rifiuto minerale

inerte è composto per quasi la totalità da flusso di rifiuti misti C&D (CER 17 09 04) e solo il 4% è riferito al flusso separato di cemento (CER 17 01 01). I metalli sono composti al 96% dal flusso di Ferro e Acciaio (CER 17 04 05) e per la restante parte da Alluminio (17 05 02) e Cavi (CER 17 04 11). La categoria altro che nel totale rappresenta un quantitativo quasi trascurabile è composta per la maggior parte da imballaggi misti (CER 15 01 06) e da materiali isolanti (CER 17 06 00). Non rilevata, invece, è la presenza di materiale organico come il legno (CER 17 02 01).

Figura 5: Tipologia di rifiuti generati in cantiere e percentuali

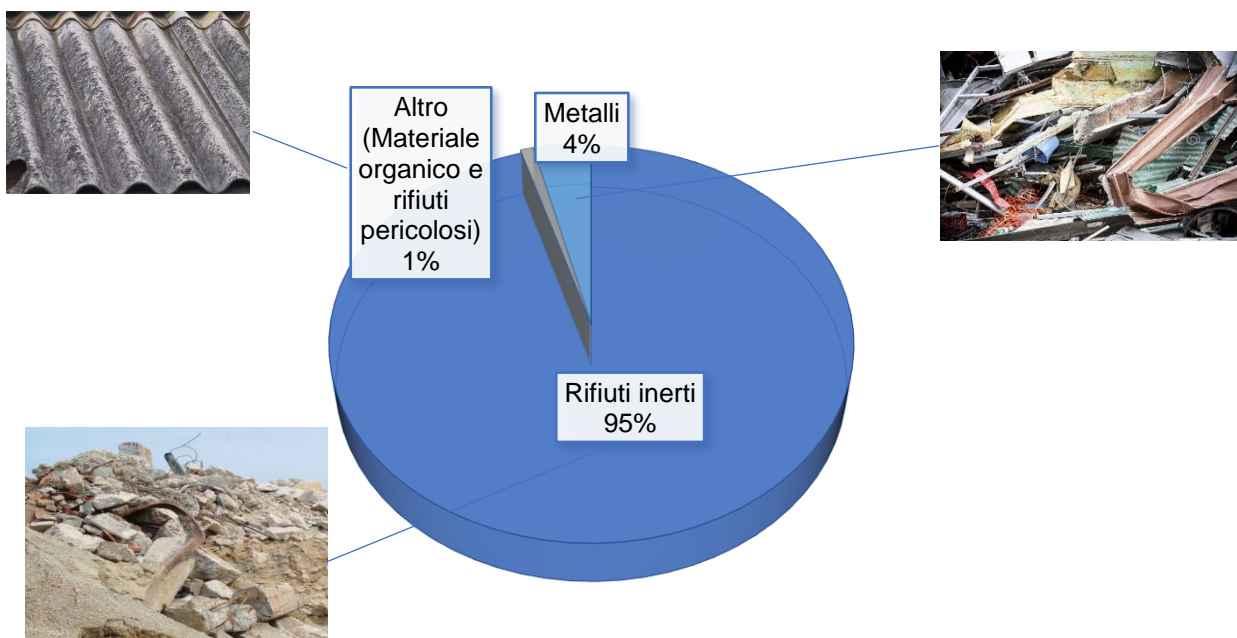


Tabella 22: Composizione percentuale delle categorie di rifiuti minerali inerti, metallici e altro

	Materiale	Codice CER	%
Rifiuti inerti	Rifiuti misti dell'attività di C&D	17 09 04	96%
	Materiali da costruzione a base di gesso	17 08 02	0,1%

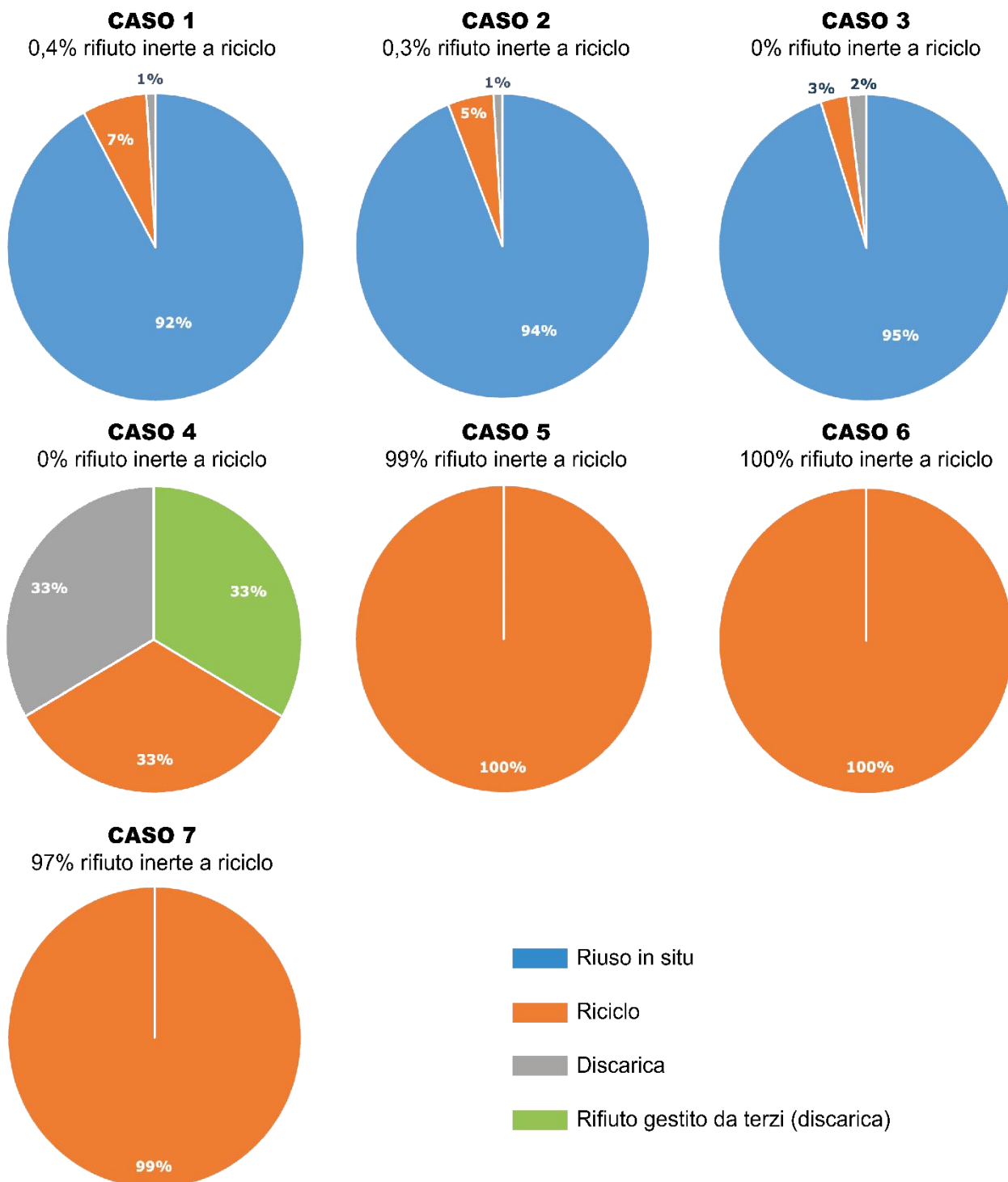
	Cemento	17 01 01	3,9%
Metalli	Ferro e acciaio	17 04 05	96%
	Alluminio	17 05 02	3%
	Cavi	17 04 11	1%
Altro	Imballaggi misti	15 01 06	56%
	Materiali isolanti	17 06 00	20%
	Altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose	18 06 03*	9%
	Miscele bituminose	17 03 02	8%
	Materiali da costruzione contenenti amianto	17 06 05*	7%
	Legno	17 02 01	0%

#### 4.3.2 Verifica di corretta esecuzione della demolizione selettiva e destino dei rifiuti

Nonostante in tutti e sette i casi di demolizione sia stata dichiarata l'esecuzione di operazioni di smontaggio selettivo, sulla base dell'analisi dei macchinari utilizzati, dei tempi di demolizione e dei flussi di rifiuti generati in cantiere è stato possibile constatare come solo quattro casi su sette l'abbiano condotta correttamente. Nei casi restanti, più del 90% dei flussi generati 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). Dei quattro casi, tre presentano una situazione analoga e un quarto non prevede riuso in sito. In particolare, nei primi tre casi la quasi totalità dei rifiuti generati in cantiere è stata riutilizzata in situ dopo apposito trattamento attraverso dei piccoli impianti mobili di proprietà dell'impresa, pratica attualmente operata in Italia nei medi-grandi lavori di demolizione. Il flusso trattato e riutilizzato in situ riguarda tuttavia solo il misto C&D (CER 17 09 04). I restanti flussi riguardano i rifiuti inerti che risultano essere stati sottomessi

ad una discreta cernita e sono stati inviati agli impianti di trattamento (0,4%, 0,3%) o conferiti a discarica (1-2%). Nel quarto caso il 33% dei flussi (solo flussi metallici) viene inviato a riciclo. La restante parte viene conferita in discarica o data in gestione a terzi, si tratta in particolare dei rifiuti pericolosi. Negli ultimi tre casi non vengono soddisfatti i requisiti di corretta demolizione selettiva, tutti o quasi tutti i flussi sono stati inviati a riciclo, tuttavia, la quasi totalità dei flussi è rappresentata dal flusso di misti C&D 17 09 04. Si segnala come nell'ultimo caso sono stati separati i misti C&D dal cemento e dal ferro e acciaio e le miscele bituminose rappresentanti l'1% della produzione totale di rifiuti sono state conferite in discarica.

Figura 6: Tipologia di rifiuti generati in cantiere e destino in percentuale



### 4.3.3 I costi di filiera

Dai dati raccolti è stato possibile ricavare per la fase di demolizione i costi delle macrocategorie di costi preliminari, di acquisizione dei macchinari, di gestione e di conferimento. I costi di demolizione sono rappresentati dalla somma dei singoli costi in euro divisi per la volumetria v.p.p.<sup>1</sup> dell'edificio considerato. Il costo medio totale risultante del solo processo di demolizione è di 5,69 €/m<sup>3</sup>. Nella Tabella 23 sono riportati i costi medi di ogni singola macrocategoria: la più impattante risulta quella dei costi di gestione che comprendono il personale, la manutenzione e i consumi di energia, carburante e acqua.

Tabella 23: Costi medi sostenuti dalle imprese di demolizione

Macrocategoria di costo	Valore
Costi preliminari	1,38 €/m <sup>3</sup>
Costi di acquisizione dei macchinari	1,99 €/m <sup>3</sup>
Costi di gestione	2,20 €/m <sup>3</sup>
Costi di conferimento	0,12 €/m <sup>3</sup>

I costi sostenuti dagli impianti di riciclo sono espressi in euro per tonnellata trattata in impianto durante l'anno di riferimento. Dalla Tabella 24a emerge come i ricavi dell'impianto 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<sup>2</sup> €/t, mentre il ricavo derivante dalla vendita dei metalli è di -0,83 €/t e da soli non riescono a compensare i costi di trattamento.

Tabella 24a: Costi medi sostenuti e ricavi degli impianti di riciclo e costo riciclo inerti per tonnellata trattata in impianto

<sup>1</sup> Volume vuoto per pieno

<sup>2</sup> Secondo la notazione tipica dell'LCC, i ricavi vengono indicati in segno negativo.

Macrocategoria di costo	Voci di costo	Valore
Costi preliminari	Acquisto terreno	0,51 €/t
	Assicurazione	0,00 €/t
	Fine vita macchinari	0,26 €/t
Costi operativi	Manutenzione macchinari	0,73 €/t
	Personale	2,53 €/t
	Oneri sicurezza	0,01 €/t
	Consumi (energia - gasolio - acqua)	1,06 €/t
	Certificazione CE	0,15 €/t
Costi di acquisizione	Macchinari	0,83 €/t
Costi di conferimento	Conferimento scarti	0,01 €/t

Costo specifico impianto di riciclo €/t trattate nel 2019	6,10 €/t
Ricavo da vendita metalli €/t trattate nel 2019	-0,83 €/t
Ricavo da vendita aggregato riciclato	-2,06 €/t
Ricavo da ingresso rifiuti inerti in impianto	-12,28 €/t

Tabella 24b: Costi medi sostenuti e ricavi degli impianti di riciclo e costo riciclo inerti per m<sup>3</sup> demolito

Voce di costo (per Tabella 25)	Tonnellate di rifiuti inerti a riciclo per m <sup>3</sup> demolito (media)	Costo al m <sup>3</sup>
(*) Costo riciclo inerti per m <sup>3</sup> demolito	0,050 t/m <sup>3</sup>	0,31 €/m <sup>3</sup>
(**) Ricavo da vendita metalli €/t trattate nel 2019	0,050 t/m <sup>3</sup>	-0,04 €/m <sup>3</sup>
(***) Ricavo da vendita aggregato riciclato	0,050 t/m <sup>3</sup>	-0,10 €/m <sup>3</sup>

Per calcolare il costo medio dell'intera filiera (demolizione e trattamento dei rifiuti generati) tutti i costi sono stati riportati in €/m<sup>3</sup> demolito, moltiplicando il costo di riciclo (comprensivo

del ricavo derivante dalla vendita dei rifiuti metallici) e di vendita degli aggregati riciclati in €/t per le tonnellate di rifiuto inerte inviato a riciclo presenti in un m<sup>3</sup> demolito [t/m<sup>3</sup>] (dato estratto dal questionario delle imprese di demolizione) (Tabella 24b). Per unire le due analisi LCC sulla demolizione e sul riciclo è stata esclusa dal calcolo la gate-fee dell'impianto di riciclo. Per evitare un doppio conteggio, quindi, 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.

Il costo medio totale risultante è di 5,46 €/m<sup>3</sup> (Tabella 25). È inoltre emerso come la corretta esecuzione della demolizione selettiva restituisca costi totali di filiera più alti (il valore medio dei primi quattro casi è 10 €/m<sup>3</sup>) rispetto ai casi in cui la demolizione non prevede lo smontaggio selettivo, l'impiego di diversi macchinari e la cernita dei materiali (il valore medio degli ultimi tre casi è 2,50 €/m<sup>3</sup>).

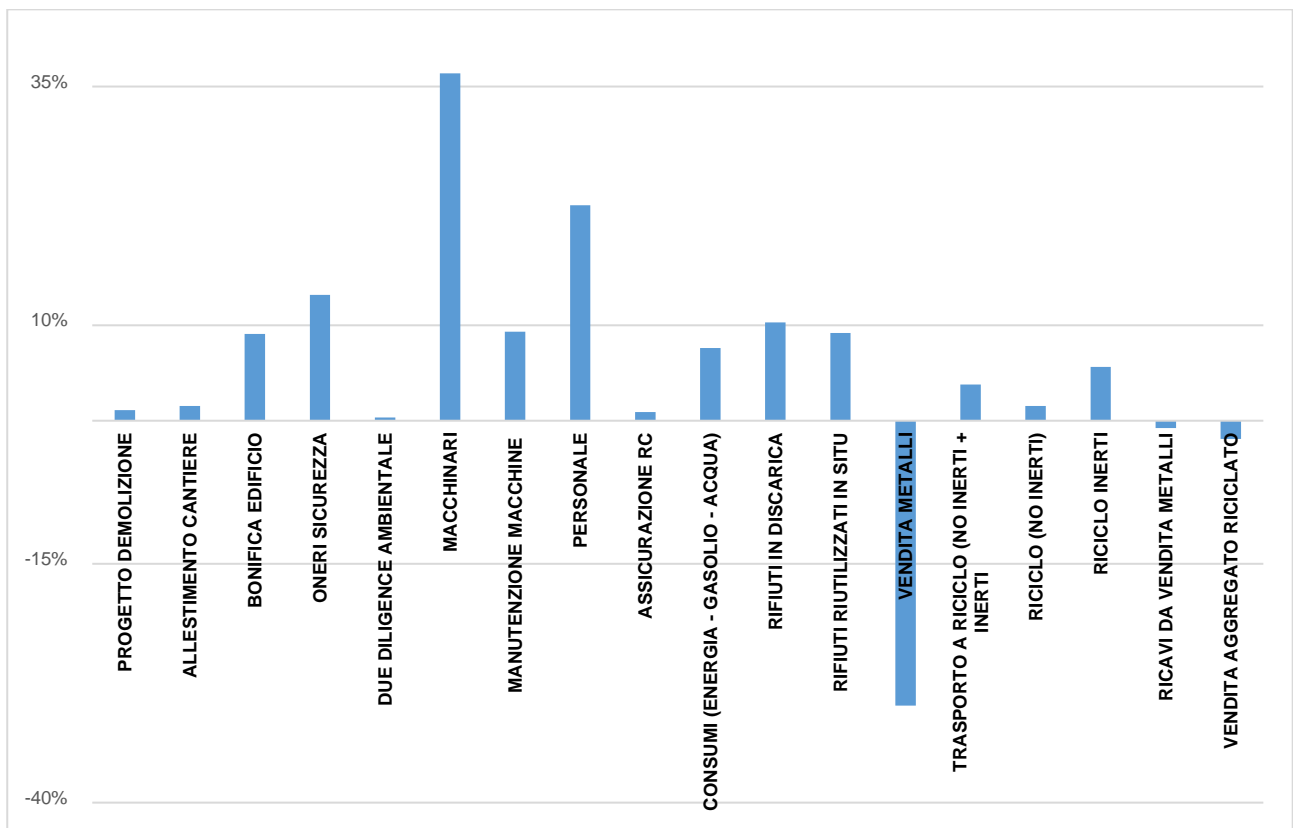
Tabella 25: Costo medio dell'intera filiera

Macrocategoria di costo	Voci di costo	Valore	Somma
Costi preliminari alla demolizione	Progetto demolizione	0,06 €/m <sup>3</sup>	5,21 €/m <sup>3</sup>
	Allestimento cantiere	0,08 €/m <sup>3</sup>	
	Bonifica edificio	0,50 €/m <sup>3</sup>	
	Oneri sicurezza	0,72 €/m <sup>3</sup>	
	Due diligence ambientale	0,02 €/m <sup>3</sup>	
Costi acquisizione	Macchinari da demolizione	1,99 €/m <sup>3</sup>	
Costi operativi	Manutenzione macchinari	0,51 €/m <sup>3</sup>	
	Personale	1,23 €/m <sup>3</sup>	
	Assicurazione	0,05 €/m <sup>3</sup>	
	Consumi (energia - gasolio - acqua)	0,42 €/m <sup>3</sup>	

Costi di conferimento	Rifiuti in discarica	0,56 €/m <sup>3</sup>	
	Rifiuti riutilizzati in situ	0,50 €/m <sup>3</sup>	
Ricavi da vendita metalli (demolizione)	Vendita metalli	-1,63 €/m <sup>3</sup>	
Invio a riciclo	Trasporto a riciclo (non inerti + inerti)	0,21 €/m <sup>3</sup>	0,35 €/m <sup>3</sup>
	Riciclo (non inerti)	0,08 €/m <sup>3</sup>	
	Riciclo inerti (*)	0,31 €/m <sup>3</sup>	
Ricavi da vendita metalli (riciclo)	Ricavi da vendita metalli (**)	-0,04 €/m <sup>3</sup>	
Ricavi da vendita aggregati riciclati	Vendita aggregato riciclato (***)	-0,10 €/m <sup>3</sup>	-0,10 €/m <sup>3</sup>

In figura 7 viene evidenziato che le voci di costo più impattanti lungo l'intera catena di gestione sono quelle relative all'acquisto dei macchinari da demolizione e i costi di manodopera, mentre il maggior ricavo si ha grazie alla vendita dei rifiuti metallici. Infine, si vuol far notare come sono poco rilevanti i costi sostenuti per il trattamento negli impianti di riciclo rispetto ai costi di conferimento degli stessi in discarica.

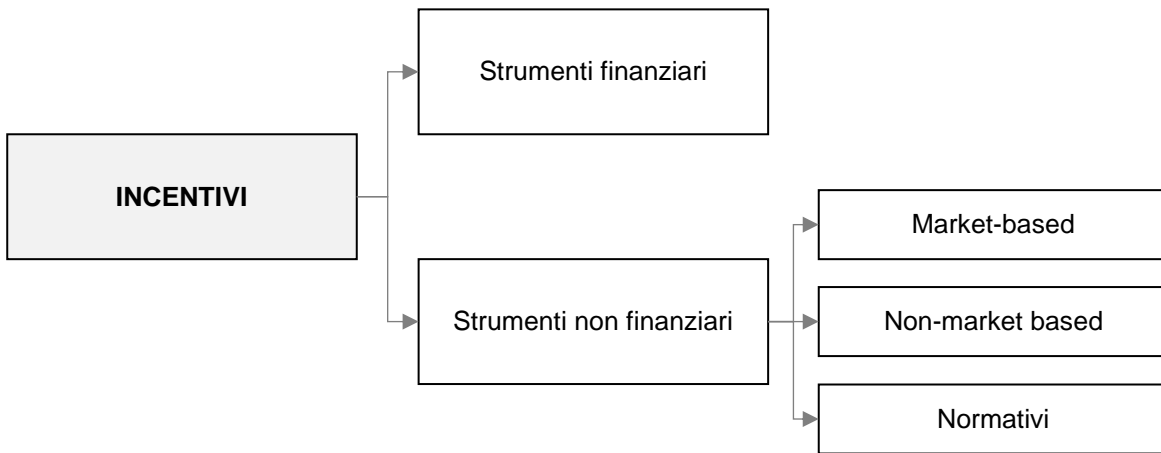
Figura 7: Impatto dei singoli costi sul totale



#### 4.4 I meccanismi di incentivazione

Nel documento “Incentives to boost the Circular Economy: A guide for public authorities” pubblicato dalla Commissione Europea (Katrakis et al., 2021), gli incentivi sono definiti come qualsiasi tipo di strumento messo in atto da decisori politici con l'obiettivo di stimolare l'economia circolare. Gli incentivi possono essere temporanei quando mirano a stimolare la creazione di mercato o supportare i first movers (un'azienda che per prima introduce un nuovo prodotto, servizio o tecnologia), o permanenti, quando sono integrati in leggi, regolamenti e standard. Come illustrato in Figura 8, possono essere introdotti dalle autorità attraverso strumenti finanziari e non finanziari.

Figura 8: Tipologie di incentivi



#### 4.4.1 Scenari di incentivazione alla demolizione selettiva e alla vendita degli aggregati riciclati

A partire dai risultati ottenuti è stato possibile ipotizzare alcuni scenari di incentivazione a beneficio della demolizione selettiva e dell'uso degli aggregati riciclati. Sono stati identificate le voci di costo sulle quali è possibile applicare uno sconto sul costo sostenuto dalle imprese di demolizione o una maggiorazione del ricavo per gli impianti di riciclo e quindi il corrispondente criterio da rispettare per ottenere l'incentivo. Le quattro azioni alla base degli scenari identificati sono: il progetto di demolizione, il riuso in situ, la tariffa di invio a riciclo e la vendita dell'aggregato riciclato (Tabella 26). Al progetto di demolizione si è supposto di applicare uno sconto fino al 15% sul costo di progettazione (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 decostruzione selettiva che 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. In questo caso lo sconto sarà

uno sgravio fiscale sul costo di trattamento del rifiuto inerte. 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. Si suppone in questa sede, inoltre, di affiancare la possibilità di disincentivazione del conferimento in discarica attraverso l'aumento della tassa relativa a quest'ultimo. Per incentivare la vendita degli aggregati riciclati si vuole, invece, puntare sull'aumento della richiesta che ne determinerà l'aumento del prezzo di vendita. Per aumentare tale richiesta sarà necessario raggiungere una buona/ottima qualità dell'aggregato riciclato, 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 è presente l'incentivo se l'aggregato risulta di qualità bassa (es. per ripristini ambientali) (Tabella 26).

Tabella 26: 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 - Aggregato per fondazioni	+ 15% / +30% sul ricavo derivante dalla vendita dell'aggregato riciclato
----------------------------------	---	---

#### 4.4.2 Applicazione degli incentivi a caso studio

Per fornire un esempio sull'applicazione degli incentivi quantificando gli effetti dell'impiego della demolizione selettiva, si considera il caso studio relativo alla demolizione selettiva di un edificio commerciale di 550.000 m<sup>3</sup> della durata di 6500 h, delle quali 3000 h dedicate alla demolizione meccanica, in cui il 92% dei flussi di rifiuti generati in cantiere è stato riutilizzato in situ (CER 17 09 04), il 7% inviato a riciclo e l'1% a discarica. Il costo totale di filiera è di 1,70 €/m<sup>3</sup>. Supponendo che gli incentivi siano già attivi al momento della demolizione, l'impresa avrebbe diritto allo sconto sulla progettazione (-15%) e allo sconto sul riuso in situ (-15%). Il criterio per l'ottenimento dello sconto sulla tariffa di invio a riciclo non è, invece, soddisfatto in quanto è largamente presente il flusso CER 17 09 04. L'aggregato riciclato prodotto si suppone, infine, di qualità media (ottenendo quindi un +15% sul ricavo dalla sua vendita). Il costo di filiera scenderebbe così da 1,70 €/m<sup>3</sup> a 1,52 €/m<sup>3</sup> con una riduzione del costo totale del 10%. Per poter ottenere lo sconto sulla tariffa di invio a riciclo si rende necessaria la cernita dei materiali per eliminare il CER 17 09 04 e ottenere i singoli flussi di cemento, mattoni, ceramiche. Per far ciò bisognerebbe aggiungere delle ore di manodopera. Supponendo un'aggiunta di 500 h, il costo di filiera aumenterebbe a 1,73 €/m<sup>3</sup> portando però alla produzione di aggregato riciclato di alta qualità. Applicando il meccanismo incentivante sulla tariffa di invio a riciclo il costo di filiera scenderebbe a 1,50 €/m<sup>3</sup> con una riduzione del costo totale del 13% (Tabella 27).

Tabella 27: Applicazione degli incentivi a caso studio

<b>SCENARIO BASE</b>	92% dei flussi in uscita riutilizzato in situ (CER 17 09 04), il 7% inviato a riciclo e l'1% a discarica
----------------------	--

Voce di costo	Costo medio	Entità dell'incentivo SCENARIO DI BASE	Costo medio dopo applicazione incentivo
Progetto di demolizione	0,04 €/m <sup>3</sup>	-15% - sul costo di progettazione	0,03 €/m <sup>3</sup>
Riuso in situ	1.14 €/m <sup>3</sup>	-15% - sul costo di trattamento per il riuso in situ	0.97 €/m <sup>3</sup>
Tariffa di invio a riciclo	0,33 €/m <sup>3</sup>	-0% - sulla tariffa di invio a riciclo	0,33 €/m <sup>3</sup>
Vendita dell'aggregato riciclato	-0.002 €/m <sup>3</sup>	+ 15% - sul ricavo derivante dalla vendita dell'aggregato riciclato	-0.003 €/m <sup>3</sup>
Costo totale medio di filiera	1,70 €/m <sup>3</sup>		1,52 €/m <sup>3</sup>

<b>SCENARIO IDEALE</b>	+500h di manodopera = corretta cernita dei materiali
------------------------	--

Voce di costo	Costo medio	Entità dell'incentivo SCENARIO IDEALE	Costo medio dopo applicazione incentivo
Progetto di demolizione	0,04 €/m <sup>3</sup>	-15% - sul costo di progettazione	0,03 €/m <sup>3</sup>
Riuso in situ	1.14 €/m <sup>3</sup>	-15%	0.97 €/m <sup>3</sup>

		- sul costo di trattamento per il riuso in situ	
Tariffa di invio a riciclo	0,33 €/m <sup>3</sup>	-15% - sulla tariffa di invio a riciclo	0,28 €/m <sup>3</sup>
Vendita dell'aggregato riciclato	-0.002 €/m <sup>3</sup>	+ 30% - sul ricavo derivante dalla vendita dell'aggregato riciclato	-0.004 €/m <sup>3</sup>
Costo totale medio di filiera	1,73 €/m <sup>3</sup>		1,50 €/m <sup>3</sup>

## 5. Considerazioni finali

### 5.1 Il ruolo della demolizione selettiva all'interno delle gare d'appalto pubblico

Attualmente all'interno delle gare d'appalto pubblico per l'affidamento di lavori da demolizione sono rari i riferimenti all'applicazione della demolizione selettiva e/o al recupero dei materiali. Sulla base dei risultati ottenuti da questo studio, è stato possibile delineare alcuni scenari di incentivazione volti a favorire la demolizione selettiva e la vendita degli aggregati riciclati. L'applicazione dei sistemi identificati ad un caso studio reale ha dimostrato una riduzione del 13% del costo totale di filiera, nel caso in cui vengano rispettati tutti i criteri e ottenuti tutti gli incentivi sopra descritti. Riconoscendo, tuttavia, la verosimile difficoltà di impiego dell'incentivazione monetaria diretta, uno dei possibili sviluppi futuri della ricerca è quello di convertire tali incentivi in criteri premianti all'interno dei bandi pubblici per l'assegnazione di lavori di demolizione/ristrutturazione, da affiancare eventualmente ai Criteri Ambientali Minimi (CAM). I criteri premianti costituiscono quei requisiti volti a selezionare lavori/prodotti/servizi con prestazioni ambientali migliori di quelle garantite dalle specifiche tecniche, ai quali attribuire un punteggio tecnico ai fini dell'aggiudicazione

secondo l'offerta al miglior rapporto qualità-prezzo. Questo studio può supportare i policy maker nella definizione di linee guida per l'individuazione di tali criteri premianti atti a potenziare la sostenibilità e la circolarità nelle costruzioni. In Italia, le stazioni appaltanti nell'acquisto di beni, lavori e servizi rientranti nelle categorie individuate dal PAN GPP (Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement) sono obbligate ad inserire nei bandi, a prescindere dal valore dell'importo, le specifiche tecniche e le clausole contrattuali individuate dai CAM (D.lgs. 50/2016). Tuttavia nei CAM vigenti la fase di fine vita dell'edificio risulta essere poco approfondita. Le considerazioni derivanti da questo studio relativamente ai meccanismi di incentivazione potrebbero porre le basi per la definizione di linee guida utili alle stazioni appaltanti per l'inserimento di criteri premianti per quanto concerne l'applicazione di una corretta demolizione selettiva. In tal modo, la definizione dell'audit pre-demolizione (stima dei flussi generati in cantiere e destino), l'attinenza alla UNI/PdR 75:2020 potrebbero potenzialmente rappresentare il primo criterio premiante. Il secondo e terzo criterio, sarebbero rappresentati dalla corretta divisione dei flussi (assicurando l'assenza del flusso CER 17 09 04), dal 70% dei flussi generati inviati a riciclo e dal riutilizzo in situ del rifiuto minerale inerte. Tali linee guida iniziali saranno verificate e testate nella prosecuzione del lavoro di ricerca.

## **5.2 Conclusioni e sviluppi futuri**

Nello svolgimento di questo studio sono state riscontrate non poche difficoltà nel reperire i dati utili alla modellizzazione dell'LCC, a causa della riluttanza delle aziende nel comunicare dati sensibili quali sono i costi da esse 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 5,46

€ ogni m<sup>3</sup> 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 €/m<sup>3</sup>) 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 €/m<sup>3</sup>). 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. Gli sviluppi futuri della ricerca prevedono sin d'ora l'analisi degli impatti ambientali della demolizione, attraverso l'applicazione della metodologia LCA, con il fine ultimo di monetizzare gli impatti e ottenere i costi esterni utili per realizzare l'eLCC.

Obiettivo è da una parte 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, dall'altro fornire dati e suggerimenti utili alle strutture appaltanti per inserire un corretto smaltimento dei rifiuti da demolizione nei bandi pubblici, integrando e utilizzando approccio LCC su un caso studio reale. I dati di demolizione (economici ed ambientali) ottenuti saranno, inoltre, incorporati all'interno della Banca Dati LCA dei Progetto ARCADIA.

## **6. Ringraziamenti**

Si ringraziano le imprese di demolizione, gli impianti di riciclo e l'Associazione nazionale costruttori edili (ANCE Lombardia), che si sono resi disponibili nel collaborare attivamente in questo progetto.

## **7. Bibliografia**

- ANPAR, 2019. Seminario: nuove prospettive per un'edilizia pubblica sostenibile l'applicazione dei criteri ambientali minimi. Verso la decostruzione selettiva: riduzione degli sprechi e recupero dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione.
- Alberini A., Hunt A. & Markandya A. Willingness to Pay to Reduce Mortality Risks: Evidence from a Three-Country Contingent Valuation Study. *Environ Resource Econ* 33, 251–264 (2006).
- Allegato A alla Dgr n. 1773 del 28 agosto 2012: Modalità operative per la gestione dei rifiuti da attività di costruzione e demolizione.
- Antonini E, Donati V, 2004. Il mattone ritrovato -Manuale per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione in Provincia di Bologna in applicazione dell'Accordo di Programma, Labanti e Nanni - Bologna
- Arzoumanidis I, 2021. Slides of the LCC course organised by Associazione Rete Italiana LCA.
- Bazzani G, Grillenzoni M, Malagoli C, Ragazzoni A, 1994. Valutazione delle risorse ambientali, Edagricole, Milano.
- 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.
- CAM Edilizia - Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici (approvato con DM 11 ottobre 2017, in G.U. Serie Generale n. 259 del 6 novembre 2017
- 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.

- Couder N, Katrakis E, Nacci G, 2021. Incentives to boost the Circular Economy: A guide for public authorities, European Commission
- Decreto Legislativo 16 giugno 2017, n. 106 - Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE. (17G00119)
- Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 - Codice dei contratti pubblici (G.U. n. 91 del 19 aprile 2016)
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - Norme in materia ambientale. Parte quarta - Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati. Titolo I - Gestione dei rifiuti. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96.
- 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.
- Di Giulio E, 1962. Enciclopedia degli idrocarburi volume IV / economia, politica, diritto degli idrocarburi. Treccani
- Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 aprile 2004, sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e e riparazione del danno ambientale Gazzetta ufficiale n. L 143 del 30/04/2004 pag. 0056 - 0075
- Durao V, Silvestre J, Mateus R, De Brito J (2019) Economic valuation of life cycle environmental impacts of construction products - A critical analysis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Environmental LCC 2008. (eds) Hunkeler et al. Chapter 4. SETAC

- Gunasekaran A, Subramanian N, Rahman S, 2015. Green supply chain collaboration and incentives: Current trends and future directions, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 74
- Hoogmartens R, Van Passel S, Van Acker K, Dubois M, 2014. Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools, *Environmental Impact Assessment Review* Volume 48, Pages 27-33
- Hunkeler D, Lichtenwort K, Rebitzer G (eds.), 2008. *Environmental life cycle costing*. SETAC, Pensacola, FL (US) in collaboration with CRC Press, Boca Raton, FL, USA
- 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%20filiere%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](https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2021_n-345_versionedati-di-sintesi.pdf)
- Martinez-Sanchez V, Kromann MA, Astrup TF, 2015. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies, *Waste Management* 36:343-355
- 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](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)
- Notarnicola B, 2021. Slides of the LCC course organised by Associazione Rete Italiana LCA.
- Polidoro D, 2020. La due diligence ambientale – DDA. ZED PROGETTI. Disponibile su:

<https://zedprogetti.it/wp-content/uploads/2020/02/DUE-DILIGENCE-AMBIENTALE.pdf>

Rebitzer G, Hunkeler D, 2003. Life-Cycle Costing in LCM: ambitions, opportunities and limitations. Discussing a framework. *Int J Life Cycle Ass* 8:253-256

Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio Testo rilevante ai fini del SEE

Supplemento n. 3 al B.U. n. 43/I-II del 25/10/2016 / Beiblatt Nr. 3 zum Amtsblatt vom 25/10/2016 Nr. 43/I-II

Sherif YS, Kolarik WJ, 1981. Life cycle costing: concept and practice. *Int J Manag Sci* 9: 287–96.

Swarr T, Hunkeler D, Klöpffer W, Pesonen H, Ciroth A, Brent A, Pagan R, 2011. Environmental Life-Cycle Costing: A Code of Practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 16. 389-391

ISO 15663:2021 (Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 3: Implementation guidelines)

ISO 15686-5:2017 (Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing)

IEC 60300-3-3 (Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing)

Katrakis E, Nacci G, Couder N, 2021. Incentives to boost circular economy: a guide for public authorities. European Commission