

Documento di Indirizzo

Introduzione
al Life Cycle Costing
ed integrazione
con Life Cycle Assessment

METTIAMOCI IN RIGA



Rafforzamento
Integrato
Governance
Ambiente

Linea di intervento L4

Diffusione e utilizzo della LCA
per un uso efficiente delle risorse



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*



MINISTERO DELLA
TRANSIZIONE ECOLOGICA



**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**

Documento di Indirizzo

Introduzione al Life Cycle Costing ed integrazione con Life Cycle Assessment



Documento di Indirizzo
Introduzione al Life Cycle Costing
ed integrazione con Life Cycle Assessment

Linea di intervento L4
Diffusione e utilizzo della LCA
per un uso efficiente delle risorse

1
Premessa

2
4 Introduzione
e Quadro Normativo
Europeo e Nazionale

3
8 Approccio
Life Cycle Costing:
principi metodologici
e principali strumenti
di applicazione 18

4
Integrazione
tra Life Cycle Assessment
e Life Cycle Costing

5
30 Conclusioni

56



Premessa

Premessa

Il documento di indirizzo ha l'obiettivo di introdurre la metodologia del Life Cycle Costing (di seguito LCC) applicato alle procedure di acquisto della Pubblica Amministrazione.

Nella prima parte è introdotto ed illustrato il quadro normativo cogente Nazionale ed Europeo, nella seconda è definita la metodologia e sono esaminate le tipologie di costo lungo il ciclo di vita di un prodotto o servizio.

In particolare, sono analizzate le diverse tipologie di costo legate ad un prodotto o servizio e le modalità di inclusione e monetizzazione delle esternalità ambientali ad esse associate, approfondendo le diverse metodologie di calcolo che sono attualmente utilizzate negli studi e nelle applicazioni, ponendo attenzione all'approccio multicriterio che introduce nelle valutazioni un processo decisionale indirizzato a effettuare la scelta strategicamente e ambientalmente più vantaggiosa.

Approfondendo l'utilizzo dei metodi multicriterio si vuole fornire un diverso approccio alla valutazione dei costi sull'intero ciclo di vita, in particolare ai criteri utilizzati per la monetizzazione delle esternalità ambientali: la valutazione combinata degli impatti ambientali Life Cycle Assessment (di seguito LCA) e dei costi (LCC) permette di raggiungere una maggior efficienza nel trade-off costi economici/impatti ambientali, in modo da rispondere in modo più adeguato alla necessità di diminuire gli impatti sull'ambiente dell'attività della Pubblica Amministrazione.

Basandosi sull'analisi condotta e approfondita nel presente documento di indirizzo, sarà predisposto un "bando LCC" per l'acquisto di un prodotto accompagnato da uno strumento informatico che supporti le stazioni appaltanti nella selezione dell'offerta economicamente e ambientalmente più vantaggiosa.

2

Introduzione e Quadro Normativo Europeo e Nazionale

Introduzione e Quadro Normativo Europeo e Nazionale

La normativa in tema di acquisti pubblici, in particolare di *Green Public Procurement* (GPP), ha subito rilevanti revisioni ed aggiornamenti negli ultimi anni per arrivare a definire l'attuale Codice degli appalti (**D.lgs n. 50/2016** successivamente modificato dal **D.lgs n. 56/2017**), che ha il merito di integrare gli impatti ambientali nelle procedure di acquisto pubblico.

Il percorso normativo ha inizialmente identificato il GPP come strumento volontario con la funzione predominante di favorire lo sviluppo dei mercati di prodotti/servizi a ridotto impatto ambientale attraverso la leva della finanza pubblica, per poi assumere un ruolo progressivamente sempre più importante e definito.

Con la pubblicazione nel 1996 del Libro Verde "*Gli appalti pubblici nell'Unione Europea*" è iniziato l'impegno della Commissione per rafforzare l'integrazione del GPP nelle politiche di acquisto da parte delle Pubbliche Amministrazioni.

Si sono succeduti nel tempo diversi interventi normativi a livello europeo, partendo dall'emanazione della **Direttiva 2004/17/CE**¹ e della **Direttiva 2004/18/CE**², seguite dalla **Direttiva 2014/23/UE**³ sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, dalla **Direttiva 2014/24/UE**⁴ e dalla **Direttiva 2014/25/UE**⁵ che ne hanno rafforzato le funzioni.

- 1 Direttiva 2004/17/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 31 marzo 2004, che coordina le procedure di appalto degli enti erogatori di acqua e di energia, degli enti che forniscono servizi di trasporto e servizi postali
- 2 Direttiva 2004/18/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 31 marzo 2004, relativa al coordinamento delle procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, di forniture e di servizi
- 3 Direttiva 2014/23/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, sull'aggiudicazione dei contratti di concessione Testo rilevante ai fini del SEE
- 4 Direttiva 2014/24/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, sugli appalti pubblici e che abroga la Direttiva 2004/18/CE Testo rilevante ai fini del SEE
- 5 Direttiva 2014/25/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali e che abroga la Direttiva 2004/17/CE Testo rilevante ai fini del SEE

A livello nazionale con la **Legge 221/2015** recante "*Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali*", con la quale è entrato in vigore il collegato ambientale alla legge di stabilità 2016, è stato per la prima volta sottolineato il ruolo fondamentale dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) all'interno delle gare pubbliche di appalto aventi ad oggetto l'acquisizione di forniture, servizi, lavori e opere, elementi che sono stati approfonditi nel **Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 "Codice dei contratti pubblici"**.

Il codice rinnovato recepisce a livello nazionale le Direttive comunitarie, andando a definire un quadro normativo orientato a favorire, attraverso gli acquisti sostenibili, la transizione verso una economia più sostenibile e green.

In particolare, l'Italia è stato il primo Paese che ha imposto, ai sensi dell'art. 34 del Codice dei contratti pubblici, l'obbligo di applicazione del GPP per le stazioni appaltanti, il conseguente utilizzo dei CAM e, ai sensi dell'art. 96, di utilizzare l'approccio LCC nelle procedure di acquisto.

2.1 La Direttiva 2014/24/UE sugli appalti pubblici

La **Direttiva Europea 2014/24/UE** sugli appalti pubblici intervenuta ad abrogare e integrare la precedente **Direttiva 2004/18/CE**, promuove l'inserimento degli aspetti ambientali nei criteri di aggiudicazione delle gare di appalto attraverso la definizione di criteri ambientali identificati con un approccio di analisi del ciclo di vita e attraverso la valutazione dei costi lungo l'intero ciclo di vita.

Per quanto riguarda la LCC inteso come strumento fondamentale all'interno delle procedure di acquisto delle Pubbliche Amministrazioni, l'identificazione è stabilita all'art. 67 della **Direttiva Europea 2014/24/UE** che prevede che le Pubbliche Amministrazioni debbano procedere all'aggiudicazione degli appalti sulla base dell'offerta economicamente più vantaggiosa, cambiando orientamento rispetto alla legislazione precedente basata sulla scelta del prezzo più basso, per puntare maggiormente sugli aspetti qualitativi dell'offerta.

L'offerta economicamente più vantaggiosa è individuata quindi sulla base del prezzo o del costo, seguendo un approccio costo/efficacia quale il costo del ciclo di vita, conformemente all'art. 68, e può includere il miglior rapporto qualità/prezzo valutato sulla base di diversi criteri, quali gli aspetti qualitativi, ambientali e/o sociali, correlati all'oggetto dell'appalto pubblico.

Tra tali criteri possono rientrare ad esempio:

- a) **qualità**: che comprende pregio tecnico, caratteristiche estetiche e funzionali, accessibilità, progettazione adeguata a tutti gli utenti, caratteristiche sociali, ambientali e innovative, la commercializzazione e relative condizioni;
- b) **organizzazione**: qualifiche ed esperienza del personale incaricato di eseguire l'appalto, qualora la qualità del personale incaricato possa avere un'influenza significativa sul livello dell'esecuzione dell'appalto;
- c) **servizi post-vendita e assistenza tecnica**: condizioni di consegna, quali data di consegna, processo di consegna e termine di consegna o di esecuzione.

L'art. 68 della **Direttiva Europea 2014/24/UE** inoltre chiarisce come il costo andrebbe determinato mediante un approccio di ciclo di vita con l'approccio Life Cycle Costing (LCC).

All'interno dello stesso articolo sono identificati i costi da valutare durante il ciclo di vita dei prodotti/servizi:

- a) costi sostenuti dall'amministrazione aggiudicatrice o da altri utenti, quali:
 - 1. costi relativi all'acquisizione;
 - 2. costi connessi all'utilizzo, quali consumo di energia e altre risorse;
 - 3. costi di manutenzione;
 - 4. costi relativi al fine vita, come i costi di raccolta e di riciclaggio.
- b) costi imputati a esternalità ambientali legate ai prodotti, servizi o lavori nel corso del ciclo di vita, a condizione che il loro valore monetario possa essere determinato e verificato; tali costi possono includere i costi delle emissioni di gas a effetto serra e di altre sostanze inquinanti nonché altri costi legati all'attenuazione dei cambiamenti climatici.

In aggiunta le amministrazioni aggiudicatrici, quando utilizzano il sistema di costi del ciclo di vita, sono tenute a indicare nei documenti di gara i dati che gli offerenti devono fornire e il metodo che l'amministrazione impiegherà al fine di determinare i costi del ciclo di vita sulla base di tali dati.

Dal punto di vista qualitativo il metodo impiegato per la valutazione dei costi imputati alle esternalità ambientali deve essere in grado di soddisfare tutte le seguenti condizioni:

- a) basarsi su criteri oggettivi, verificabili e non discriminatori;
- b) essere accessibile a tutte le parti interessate;
- c) i dati richiesti possono essere forniti con ragionevole sforzo da operatori economici normalmente diligenti, compresi gli operatori economici di paesi terzi che fanno parte dell'Accordo sugli appalti pubblici (AAP) o di altri accordi internazionali che l'Unione è tenuta a rispettare.

Oltre ai criteri precedentemente espressi, è opportuno esemplificare quali sono i possibili approcci da adottare da parte di un'amministrazione nella determinazione del criterio economico:

- a) prezzo più basso: da utilizzare solo in maniera residuale dopo l'emanazione della nuova normativa e consentito solo per i casi in cui il ciclo di vita non comporti costi aggiuntivi considerevoli;
- b) LCC con costi diretti: vengono considerati solo i costi che sosterrà l'amministrazione aggiudicatrice nel periodo di possesso, come i costi di acquisizione, uso, gestione e fine vita;
- c) LCC con esternalità ambientali: è il più completo perché include nel calcolo anche il costo legato alle esternalità ambientali come consumo di risorse, emissioni di CO₂ etc.

Pertanto, se l'oggetto dell'appalto implica impatti ambientali significativi o il fattore qualità rilevante, l'amministrazione aggiudicatrice dovrebbe preferire il miglior rapporto qualità/prezzo secondo i seguenti criteri:

- se i costi del ciclo di vita sono significativi preferire la combinazione LCC + criteri qualitativi;
- se i costi del ciclo di vita non sono significativi preferire la combinazione prezzo + criteri qualitativi.

Qualora si decida di inserire nel calcolo i costi ambientali:

- se sono monetizzabili va utilizzato l'approccio LCC che includa le esternalità ambientali;
- se non sono monetizzabili o rilevanti va effettuata una LCC con i soli costi diretti.

2.2 Il Codice dei contratti pubblici

Il Codice dei contratti pubblici, **D.lgs. 50/2016**, con cui sono state recepite le direttive europee in materia di appalti pubblici, ha conferito importante rilievo, attraverso le disposizioni che riguardano i criteri di aggiudicazione nelle gare di appalto, alla necessità di favorire l'utilizzo dell'approccio di valutazione LCA e LCC.

In particolare, gli articoli del D.Lgs. 50/2016 che direttamente rimandano all'utilizzo delle due metodologie sono gli artt. 94, 95 e 96.

Art. 94 (Principi generali in materia di selezione)

L'articolo 94 prevede che il processo di aggiudicazione da parte delle stazioni appaltanti, nel rispetto dei principi di trasparenza, di non discriminazione e di parità di trattamento, si basi sul criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, individuata tenendo conto del miglior rapporto qualità/prezzo o sulla base dell'elemento prezzo o del costo, seguendo un criterio di comparazione costo/efficacia quale il costo del ciclo di vita.

L'approccio di valutazione deve essere applicato, inoltre, seguendo quanto specificato nel successivo articolo 96.

Art.95 (Criteri di aggiudicazione dell'appalto)

L'art. 95 identifica i criteri di aggiudicazione dell'appalto e stabilisce che l'offerta economicamente più vantaggiosa debba essere individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, valutato sulla base di criteri oggettivi, quali gli aspetti qualitativi, ambientali o sociali, con l'obiettivo strategico di favorire un uso più efficiente delle risorse e di promuovere un'economia circolare che promuova ambiente e occupazione.

Pertanto, nell'aggiudicazione dell'appalto, al fine di garantire che il rapporto qualità/prezzo sia massimizzato, la norma prevede che, oltre ai criteri specifici che qualificano il prodotto/servizio (certificazioni, marchi etc.), siano considerate anche le seguenti tipologie di costo che determinano l'intero ciclo di vita:

- i costi complessivi dell'opera, bene o servizio, riferiti all'intero ciclo di vita;
- i costi di utilizzazione e manutenzione, che includono i consumi di energia, delle risorse naturali utilizzate e delle emissioni inquinanti;
- i costi esterni e di mitigazione degli impatti ambientali.

La norma prevede anche che i criteri di aggiudicazione siano definiti tenendo in considerazione tutti gli aspetti caratteristici del prodotto/servizio richiesto, lungo l'intero ciclo di vita, e che siano indicati all'interno dei documenti di gara con la ponderazione attribuita a ciascuno di essi.

La stazione appaltante, se necessario, può individuare anche sub-criteri, sub-pesi o sub-punteggi.

Art. 96 (Costi del ciclo di vita)

L'art. 96 definisce l'approccio che deve essere utilizzato per la valutazione economica delle offerte in termini di costo/efficacia lungo l'intero ciclo di vita. È richiesto, in particolare, che la valutazione comprenda tutti i costi pertinenti, o parti di essi, sostenuti dall'amministrazione aggiudicatrice o da altri utenti, considerando:

- i costi relativi all'acquisizione
- i costi connessi all'utilizzo, quali consumo di energia e di altre risorse;
- i costi di manutenzione;
- i costi relativi al fine vita, come i costi di raccolta, smaltimento e di riciclaggio;
- i costi imputati a esternalità ambientali legate ai prodotti, servizi o lavori nel corso del ciclo di vita, a condizione che il loro valore monetario possa essere determinato e verificato (costi delle emissioni di gas a effetto serra e di altre sostanze inquinanti nonché altri costi legati all'attenuazione dei cambiamenti climatici etc.).

Qualora le stazioni appaltanti utilizzino un sistema di costi del ciclo di vita, all'interno dei documenti di gara è necessario che siano indicati specificamente:

- i dati che devono essere forniti dall'offerente;
- il metodo di valutazione che sarà utilizzato dalla stazione appaltante per determinare i costi del ciclo di vita.

Relativamente alla valutazione dei costi imputati alle esternalità ambientali, la norma richiede che il metodo utilizzato sia accessibile a tutte le parti interessate e che sia basato su criteri oggettivi, verificabili e non discriminatori.

Inoltre, i dati richiesti dalla stazione appaltante per tale valutazione devono poter essere forniti con ragionevole sforzo da operatori economici normalmente diligenti, per permettere la massima partecipazione anche di operatori esteri.

3

Approccio Life Cycle Costing:
principi metodologici e principali strumenti
di applicazione

Approccio Life Cycle Costing: principi metodologici e principali strumenti di applicazione

La diffusione di acquisti pubblici sostenibili è spesso ostacolata dalla convinzione che questi abbiano un costo maggiore rispetto all'alternativa già presente sul mercato; in generale, questo è vero se ci si sofferma al solo costo di acquisto, dal momento che i prodotti ambientalmente compatibili sono innovativi e, quindi, richiedono decisi investimenti in ricerca e sviluppo che necessitano di un tempo di ammortamento più lungo. Il prezzo di acquisto del prodotto però è solo uno dei costi del bene/servizio e rappresenta la punta dell'iceberg; c'è però una parte sommersa dei costi che è consistente e che a prima vista rimane sommersa e non visibile, non considerarla sarebbe pertanto un errore.

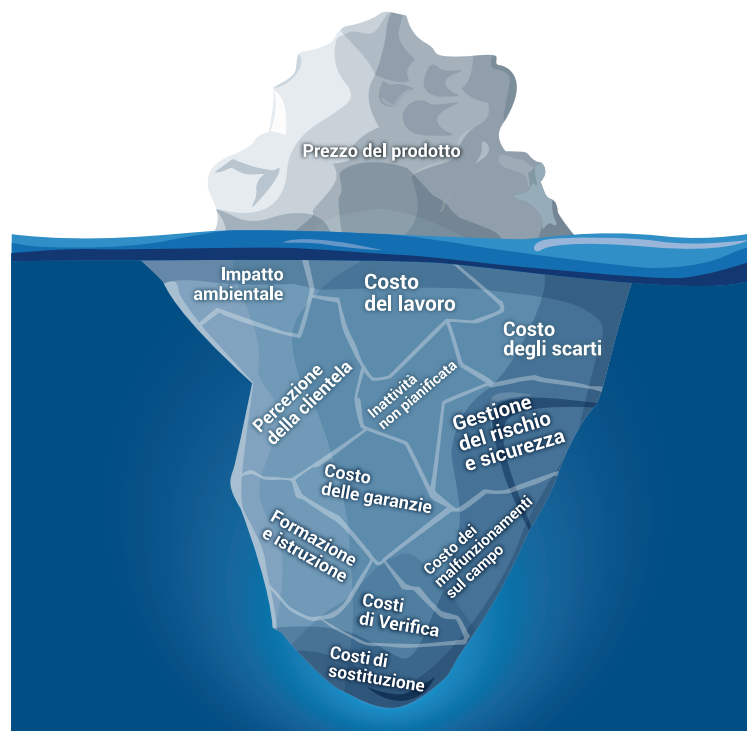


Figura 1.
Iceberg dei costi

Per considerare tutti gli impatti ambientali, e i relativi costi, di un prodotto, servizio o lavoro è, quindi, necessario valutarne l'intero ciclo di vita, considerato anche che il fine ultimo delle Pubbliche Amministrazioni dovrebbe essere il miglioramento delle condizioni della collettività attraverso servizi di qualità al minor costo complessivo.

Sono molte le metodologie di calcolo per valutare i costi ambientali di un prodotto, di un servizio e di un lavoro lungo l'intero ciclo di vita e che, quindi, possono affiancare le Pubbliche Amministrazioni nella selezione delle offerte economicamente e ambientalmente preferibili e, più in generale, nei processi decisionali. Acquistare un prodotto/servizio/lavoro, piuttosto che un altro, influenza i costi a carico della Pubblica Amministrazione e della collettività, pertanto è fondamentale poter disporre di strumenti che consentano di valutarne, oltre al costo di acquisto, i costi di esercizio, i costi di manutenzione e di smaltimento: ad alti costi iniziali possono corrispondere minori costi di esercizio e viceversa, (come ad esempio l'acquisto delle lampadine a led che hanno un costo iniziale più alto e un costo di esercizio inferiore rispetto a quelle convenzionali).

La Life Cycle Costing è appunto una metodologia che consente di effettuare una più articolata valutazione dei costi connessi all'uso di un prodotto, di un servizio o alla realizzazione di lavori al fine di poter individuare quella a minor spesa.

3.1 Il concetto di Life Cycle Costing

La LCC è uno strumento che permette di valutare in grandezze monetarie i costi di un bene lungo il suo ciclo di vita. Nel seguito verrà descritta la metodologia con cui vengono stimate in termini economici e finanziari le conseguenze future in base alle scelte attuali; può considerarsi complementare alla LCA che si basa però su grandezze fisiche.

La LCC può quindi essere in grado di stimare la fattibilità economica di alternative ambientalmente o socialmente preferibili.

Il concetto di LCC può essere utilizzato:

- In fase preliminare dal produttore, che può utilizzare la LCC per prendere decisioni su definizione di prezzi, alternative logistiche, design del prodotto, definizione di budget etc.
- In fase finale dal consumatore in termini di scelta tra alternative disponibili di prodotti e servizi.

Nella fase preliminare, dopo aver effettuato una simulazione mediante calcolo LCC, un produttore potrebbe decidere che un progetto avrà poche possibilità di successo a vantaggio invece di un altro che ne avrà di maggiori. A valle di una simulazione LCC, un produttore potrebbe decidere di riallocare risorse su progetti che possono portare ad un aumento di competitività dell'azienda. Una simulazione di LCC è in grado di stimare quello che sarà il costo più efficiente pagato per un bene evitando quindi di porre la propria scelta su un prodotto che ha il prezzo più basso. Il passaggio che va dalla scelta di un bene ad un costo più basso per favorire invece un bene dal costo più efficiente, calcolato grazie alle stime della LCC, può guidare e favorire l'eco-procurement anche e soprattutto nell'ambito delle Pubbliche Amministrazioni.

L'analisi dei costi lungo l'intero ciclo di vita e la conseguente quantificazione degli impatti ambientali associati a beni e servizi è sicuramente una fase rilevante per il Green Public Procurement. Come già indicato in precedenza il Codice dei contratti pubblici all'articolo 96 fa riferimento alla LCC, indicando che la stessa sia utilizzata in fasi differenti della gara d'appalto, ad esempio:

a) Ricerca e comparazione di possibili soluzioni mirate a definire la risposta ottimale.

In questa fase lo scopo dell'analisi LCC è quello di definire, sulla base delle proprie esigenze e necessità, quali solo le soluzioni più efficienti, sia dal punto

di vista ambientale, sia da quello economico. La definizione e comparazione delle soluzioni più efficienti avvengono all'interno delle ipotesi di risposte possibili alle esigenze pratiche.

2. Comparazione delle diverse offerte

In questo caso la comparazione delle diverse offerte avviene all'interno della gara d'appalto e consiste nel valutare, dal punto di vista della sostenibilità economica, differenti offerte. In questo caso l'inserimento dell'analisi LCC nelle gare d'appalto può avere diverse modalità: per esempio si potrebbe assegnare un punteggio alto alle offerte che hanno valutazioni LCC più basse, oppure si potrebbe optare per l'inserimento di un requisito vincolante, come quello di avere una LCC inferiore a una determinata cifra, all'interno di un determinato arco temporale.

3. Monitoraggio e valutazione dei benefici economici derivanti da una scelta ambientale più o meno ecologica

In questo caso l'obiettivo è quello di stimare economicamente i vantaggi apportati da scelte ambientali più o meno ecologiche. Questa valutazione avviene in funzione delle applicazioni di future scelte dell'ente pubblico o del bene in oggetto, sulla base dei benefici ambientali ed economici. La LCC di solito è calcolata, dagli acquirenti pubblici o privati, nel momento dell'acquisto di un prodotto, un bene o un servizio. In questo senso, l'analisi dei costi comprende, ad esempio oltre al costo di acquisto, il costo di mantenimento e di utilizzo.

I vantaggi, infine, dell'utilizzo della metodologia LCC sono riassumibili:

- in base ai risultati, la definizione di azioni tempestive per generare guadagno, o per abbassare i costi della catena di produzione di un prodotto o servizio;
- una presa di decisione efficiente in base alle valutazioni eseguite sui profitti e sui costi, all'interno di un determinato step del Ciclo di Vita;
- ottenimento di valutazioni accurate e realistiche sul Costo del Ciclo di Vita dei prodotti;
- previsione accurata, nel lungo termine, dell'utile aziendale;
- previsione dei costi relativi a tutto il Ciclo di Vita di un prodotto o servizio;
- consapevolezza da parte delle aziende di quale step del Ciclo di Vita si trova un prodotto o servizio, in modo tale da poter agire tempestivamente sui suoi costi.

3.2 Tipologie e Definizioni dei Costi e delle Esternalità Ambientali

Il costo totale di un bene, di un servizio o di un lavoro si compone di:

- 1. costi economici:** si considerano tutti i costi direttamente associati all'acquisto, all'uso e allo smaltimento: i costi di acquisto e di installazione, i costi dovuti ai consumi (ad esempio elettricità, benzina, gas), i costi di formazione, i costi di manutenzione e costi di smaltimento;
- 2. costi ambientali (esternalità ambientali):** derivano dagli eventuali danni che l'attività considerata causa all'ambiente circostante e agli stessi esseri umani, questi derivano direttamente dai calcoli effettuati mediante la metodologia LCA;
- 3. costi sociali:** anche in questo caso sono costi esterni e vengono considerati mediante il Social LCC.

In base ai primi due tipi di costi la LCC può essere valutata con:

- LCC classica: costi diretti sostenuti lungo il ciclo di vita senza riferimenti ad aspetti ambientali.
- Environmental LCC: costi diretti e costi ambientali correlati al ciclo di vita.

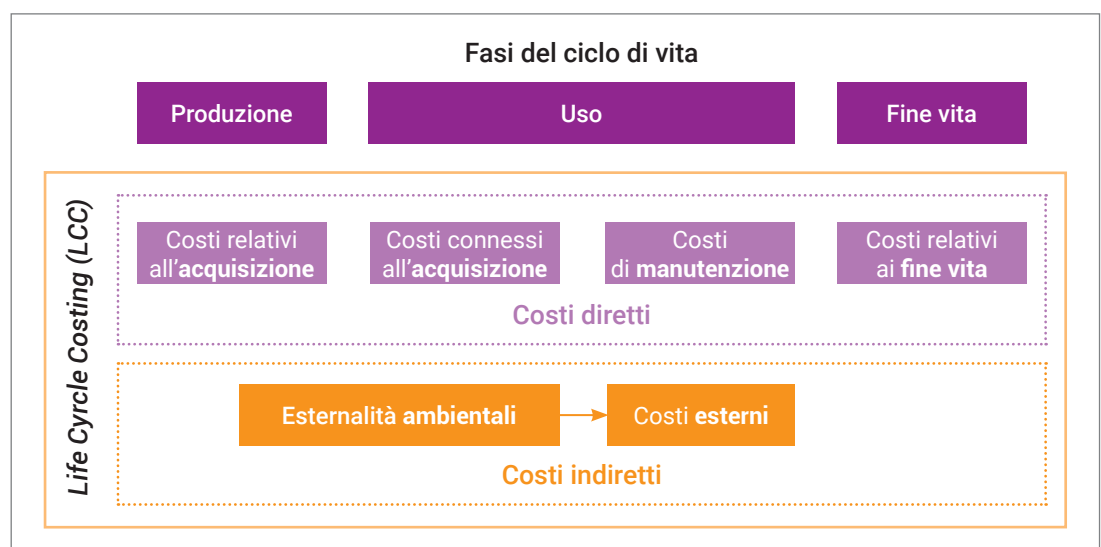


Figura 2.
Distribuzione dei costi diretti e indiretti

Come è possibile vedere dalla figura nella LCC ambientale vengono sommati i costi ambientali esterni ai costi convenzionali legati all'acquisizione, all'utilizzo, alla manutenzione e al fine vita del bene.

Come è possibile valutare questi costi ambientali esterni?

Si può effettuare un'analisi LCA sugli impatti ambientali del bene in questione che misuri i costi esterni del cambiamento climatico associati alle emissioni di gas serra; questi costi ambientali sono calcolabili rispetto a vari impatti misurabili come acidificazione, eutrofizzazione, ossidazione fotochimica etc.

È necessario che i costi ambientali siano quantificabili e monetizzabili così da poter essere espressi in termini monetari e sommati agli altri costi.

3.3 Metodologia di calcolo

Nell'analisi LCC vanno considerati tutti i flussi di cassa significativi presenti nel ciclo di vita del prodotto/servizio analizzato. Gli elementi da considerare sono:

1. struttura di scomposizione dei costi
 2. stima di tutti i costi
 3. attualizzazione e inflazione
-
1. la struttura di scomposizione classifica i costi in base al loro intervento nel ciclo di vita e consiste in una suddivisione logica dei costi in cui:
 - a. ogni costo del ciclo di vita viene identificato e considerato;
 - b. ogni categoria di costo deve essere ben definita;
 - c. i costi devono essere scomposti per aree specifiche in modo tale da poterle analizzare in maniera individuale;
 - d. la scomposizione dei costi va progettata così da permettere diversi livelli di dettaglio di analisi per le varie categorie di costo e collegata alle procedure contabili usate nella raccolta costi.
 2. i costi principali da dover considerare sono:
 - a. costi iniziali (acquisto, avviamento, installazione, realizzazione infrastrutture formazione personale)
 - b. costi operativi tra cui sicuramente rientrano i costi di esercizio (energia elettrica, di combustibili fossili, di acqua, materiali di consumo, produzione di rifiuti etc.)
 - c. costi di manutenzione da effettuare lungo il ciclo di vita del bene
 - d. costi di smaltimento una volta che il bene ha terminato il suo ciclo di vita utile.
 3. i flussi monetari che avvengono in tempi diversi devono poter essere comparabili su una stessa base a causa del diverso valore della stessa moneta in periodi diversi, è quindi necessaria una attualizzazione degli stessi mediante la formula:

$$NPV = CF_t / (1+i)^t$$

Nella formula sono rappresentati:

NPV: valore attuale netto

CF: flussi di cassa

t: periodi

i: tasso di interesse

Di conseguenza i flussi di cassa in una LCC ambientale saranno rappresentati da:

CF = Costi iniziali + Costi operativi + Costi di manutenzione + Costi ambientali

3.4 Social LCA

La Social LCA (di seguito S-LCA) è una metodologia che valuta gli aspetti sociali e socio-economici di un prodotto o servizio e i loro impatti potenziali, positivi e negativi, lungo l'intero ciclo di vita: dall'estrazione delle materie prime, produzione, distribuzione, uso, riuso, manutenzione, riciclo e fine vita. La Social LCA di solito viene usata in combinazione con la Environmental LCA e ha come obiettivo finale il raggiungimento del benessere delle persone e della società.

Gli aspetti sociali e socio-economici della S-LCA si concentrano su quelli che potrebbero impattare positivamente o negativamente sugli stakeholder lungo tutto il ciclo di vita del prodotto o servizio in questione. La S-LCA prevede l'uso di dati generici e specifici, che possono essere quantitativi, semi-quantitativi e qualitativi, considerati complementari a quelli analizzati nella LCA e nella LCC. I risultati delle analisi S-LCA possono essere di aiuto per prendere decisioni sul produrre o no un certo prodotto in base al suo impatto. Per questo motivo è bene affiancarlo alla LCA e alla LCC per capirne meglio il quadro generale.

La S-LCA segue la norma UNI EN ISO 14040:2006, che specifica i principi e i cardini applicabili alla realizzazione dell'analisi del ciclo di vita di un prodotto o servizio, tuttavia le indicazioni della norma non descrivono nel dettaglio le tecniche da usare per analizzare il ciclo di vita, né le metodologie specifiche di ogni sua fase.

Di conseguenza un'indagine S-LCA può essere condotta dalle aziende in modo soggettivo, perché hanno la libertà di abbinare la S-LCA a LCA e LCC, oppure ad altre metodologie di analisi del ciclo di vita.

Le principali categorie di impatto sono:

- tutela dei diritti umani;
- condizioni di lavoro;
- benessere e sicurezza dei lavoratori;
- ripercussioni socio-economiche sulle comunità locali e sulla società in generale.

Pertanto, mentre la LCA si basa sull'analisi di fenomeni naturali che sono perlopiù prevedibili e misurabili, la S-LCA indaga fenomeni sociali, che sono influenzati da molteplici fattori. Di conseguenza non si può disporre di una metodologia scientifica, ovvero ottenere risultati affidabili e replicabili.

4

Integrazione tra Life Cycle Assessment e Life Cycle Costing

Integrazione tra Life Cycle Assessment e Life Cycle Costing

In questa sezione sono riportati i due principali sistemi per poter integrare i risultati ambientali derivanti da un'analisi LCA con quelli economici, ottenuti attraverso un'analisi LCC che non consideri le esternalità ambientali.

L'obiettivo di entrambi i sistemi è quello di individuare un unico indicatore che consenta di selezionare il prodotto ambientalmente ed economicamente più sostenibile all'interno di un gruppo, come accade nell'ambito degli appalti pubblici.

4.1 Metodi decisionali multicriterio

Il processo decisionale implica la considerazione di più criteri, che di solito sono in conflitto tra loro (ad esempio, efficienza rispetto al costo).

La valutazione combinata degli impatti ambientali (LCA) e dei costi (LCC) di un prodotto consiste nel valutare le alternative sulla base di criteri contrastanti. Tale valutazione deve includere le priorità di tutte le parti interessate nel processo decisionale. I Metodi Decisionali Multicriterio (di seguito MCDM) sono sviluppati per superare le complessità insite nel processo decisionale e forniscono una decisione strategicamente appropriata.

A differenza dell'analisi costi-benefici, tecnica di valutazione monocriteriale che esprime il giudizio di convenienza in funzione del solo criterio monetario, i metodi MCDM cercano di razionalizzare il processo di scelta del decisore attraverso l'ottimizzazione di un vettore di più criteri, pesati secondo le priorità da questo dichiarate. Tutti i problemi di valutazione a criteri multipli vengono analizzati individuando e inserendo in un modello decisionale i seguenti elementi fondamentali:

- un goal o un insieme di goal che rappresentano l'obiettivo generale che vuole essere raggiunto;
- un decisore o un gruppo di decisori, coinvolti nel processo di scelta, che sono i soggetti "politici" interessati alla valutazione. Problemi decisionali complessi, come ad esempio quelli inerenti la pianificazione territoriale, tipicamente coinvolgono un certo numero di decision-maker (gruppi di interesse) che esprimono le proprie preferenze riguardo alle modalità del raggiungimento del goal sulla base di un insieme di criteri rispetto ai quali le alternative decisionali vengono valutate;
- le preferenze dei decisori sono tipicamente espresse in termini di pesi (weights) assegnati ai criteri di valutazione;
- un insieme di criteri di valutazione sulla base dei quali i decisori valutano le alternative. Un criterio è uno standard di giudizio o una regola per testare la desiderabilità delle alternative decisionali;
- il termine criterio è però una parola generica che include il concetto sia di obiettivo che di attributo. Un obiettivo è una dichiarazione riguardo alla condizione che si vorrebbe essere raggiunta dal sistema considerato. Un obiettivo è reso operativo assegnandogli uno o più attributi che rendono il criterio misurabile qualitativamente e/o quantitativamente;

- un insieme di alternative decisionali che devono essere ordinate: esse rappresentano gli oggetti della valutazione e della scelta;
- un insieme di punteggi (outcomes/scores) che esprimono il valore dell'alternativa i-esima rispetto all'attributo j-esimo e che costituiscono gli elementi di una matrice detta matrice di decisione.

Sulla base delle performance delle alternative rispetto ai criteri considerati e in conseguenza dei pesi che i decisori assegnano ai criteri, le diverse alternative vengono valutate e ordinate. Di conseguenza la struttura formale di un problema di comparazione a criteri multipli può essere sintetizzata secondo lo schema di figura 3.



Figura 3. Rappresentazione degli elementi costituitivi di un problema di analisi multicriteri

La matrice colorata in celeste chiaro (matrice dei valori ij) è la matrice di decisione, i suoi elementi indicano il valore, cioè il punteggio, di ciascuna alternativa rispetto all'attributo del relativo criterio considerato. Il vettore colorato in giallo (vettore dei pesi) riporta le preferenze dei decisori espresse in termini numerici ed è chiamato vettore dei pesi.

Nell'applicare una metodologia multicriteri si distinguono le seguenti diverse fasi:

- si parte dalla definizione del problema da risolvere, definendo gli obiettivi da raggiungere con l'applicazione dei metodi decisionali multicriterio;
- la fase successiva è quella che riguarda la definizione e la raccolta di informazioni sulle varie alternative di scelta;
- successivamente si definiscono i criteri attraverso i quali si valuteranno e si confronteranno le alternative;
- a questo punto si passa alla costruzione della matrice di decisione e del vettore dei pesi;
- infine, una volta scelto il metodo MCDM che si vuole adottare, lo si applica e si giunge così alla scelta che consente di raggiungere l'obiettivo prefissato.

I metodi MCDM si distinguono, generalmente, in due gruppi:

Metodi Multi-Obiettivo (Multi-Objective Decision Making, MODM), se vanno a risolvere un problema decisionale la cui soluzione appartiene ad uno spazio continuo, e Metodi Multi-Attributo (Multi-Attribute Decision Making, MADM) se invece la soluzione può essere ricercata in un set discreto di alternative.

I metodi MODM ricercano la soluzione di compromesso ideale assumendo, generalmente, che il problema da risolvere possa essere schematizzato con un modello matematico. Tuttavia la programmazione matematica, pur rigorosa nell'approccio, non si presta a risolvere la maggior parte dei problemi decisionali pratici.

I metodi MADM, invece, applicano la matematica discreta, meno elegante ma più efficace ai fini pratici, ad un gruppo ben definito di possibili soluzioni, consentendo di fornire un valido supporto alla decisione in molteplici e variegati casi reali. Si deve però tener conto del fatto che tali metodi non ricercano una soluzione ottima in senso assoluto, rigorosamente matematico, ma vanno a stilare una classifica delle varie alternative in funzione dei criteri di scelta che ci si è prefissati.

La soluzione che quindi ci fornisce il metodo applicato è sempre in funzione dei criteri e dei pesi fissati dal decisore.

Le alternative costituiscono il set discreto e ben definito di soluzioni tra le quali scegliere, attraverso l'applicazione dei metodi MADM, quella che meglio soddisfa i criteri scelti. I criteri, detti anche attributi od obiettivi, rappresentano i diversi aspetti su cui valutare le diverse alternative da scegliere.

I vari criteri spesso sono, rispetto ad un'alternativa, conflittuali: migliorando la prestazione dell'alternativa rispetto ad uno di essi, si può portare a peggiorarla nei riguardi degli altri, per questo motivo, quindi, l'alternativa che il metodo MADM consiglierà di seguire non sarà la migliore in assoluto, ma quella di compromesso tra le alternative che si hanno in funzione dei criteri con cui sono state valutate.

Per loro natura i criteri possono essere di qualsiasi natura, è bene ricordare che è proprio tramite i criteri che si valutano le alternative, quindi può capitare che siano coinvolte grandezze fisiche di diversa natura (costi, tempo, giudizi strutturali e/o estetici etc.); pertanto per alcuni metodi MADM si renderà necessaria l'omogeneizzazione delle grandezze fisiche prima di poter effettuare un confronto tra le prestazioni delle alternative nei riguardi di un criterio. Va detto anche che alcuni metodi MADM non prevedono un'omogeneizzazione delle grandezze fisiche adottate, quindi ne viene precluso l'utilizzo solo a quei casi in cui le grandezze fisiche considerate sono già uniformi. Va fatta ancora una considerazione riguardo ai criteri: quando il giudizio che si esprime è di tipo quantitativo allora non sorgono difficoltà di alcun genere, ma quando questi giudizi sono di tipo qualitativo, verbali, cioè di tipo linguistico, allora sorge la necessità di trasformare tali giudizi in termini numerici, per poterli elaborare. Infatti, l'obiettivo finale è la composizione della matrice di decisione, i cui elementi non possono che essere elementi numerici. Può essere fatta ancora una distinzione dei criteri, ma dal punto di vista della soluzione, cioè se è un criterio di costo si cercherà la soluzione che lo minimizza, se invece si tratta di un criterio di beneficio si cercherà la soluzione che massimizzi il dato criterio.

Alla base di molti metodi MADM c'è la necessità di affiancare a ciascun criterio un peso, cioè una misura dell'importanza che il decisore esprime su ciascun criterio, che permetterà di stilare una classifica di importanza tra i diversi criteri, che influenzerà la scelta dell'alternativa.

La matrice di decisione D , è una matrice rettangolare di ordine $n \times m$, in cui n sono le alternative e m sono i criteri.

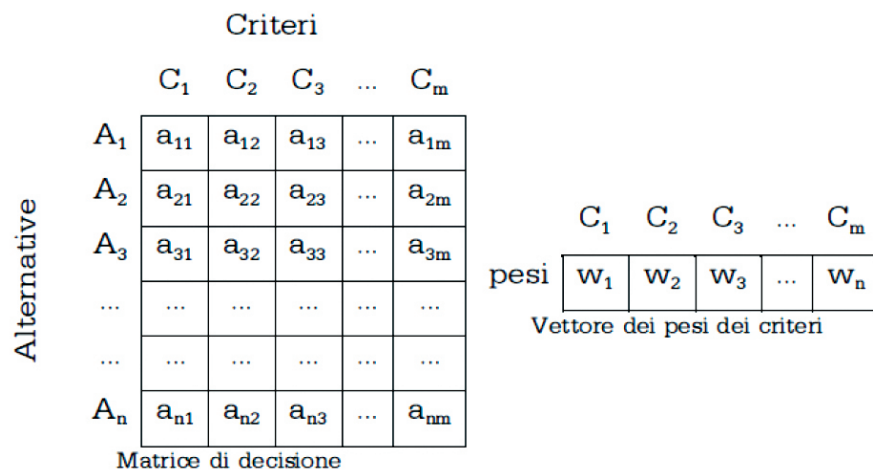


Figura 4.

Rappresentazione di una matrice di decisione

Il generico elemento a_{ij} esprime la prestazione dell'alternativa i nei confronti del criterio j .

Si può seguire una sorta di schema per la risoluzione di un problema di scelta applicando i metodi MADM, che consiste nei seguenti step:

1. si costruisce la matrice dei confronti binari tra i criteri, per stabilire i pesi e, quindi, la classifica dei criteri;
2. si compila la matrice di decisione D ($n \times m$);
3. si opera seguendo il metodo di decisione scelto;
4. si effettua l'analisi di sensibilità per verificare che la soluzione fornita dal metodo sia in linea con i pesi dei criteri.

4.1.1 Classificazione dei metodi decisionali multicriterio

I metodi MADM possono, in generale, essere raggruppati in deterministici, stocastici e fuzzy a seconda della tipologia di dati che essi utilizzano. Possono anche essere classificati, rispetto al numero di decisori coinvolti, come metodi MADM a singolo decisore e a gruppo di decisori. Di seguito saranno esaminati solo i metodi di tipo deterministico, a singolo decisore e che sfruttano informazioni di tipo cardinale, cioè che assegnano un peso (valore numerico) a ogni attributo, tra cui: il metodo fondato sul modello della somma pesata (Weighted Sum Model, WSM), quello basato sul modello del prodotto pesato (Weighted Product Model, WPM), il processo analitico gerarchico (Analytic Hierarchy Process, AHP), i metodi ELECTRE, TOPSIS e VIKOR. Nei paragrafi che seguono si adotteranno i già introdotti simboli A_i ($i=1, 2, \dots, n$) per le alternative, C_j ($j=1, 2, \dots, m$) per i criteri, w_j ($j=1, 2, \dots, m$) per i pesi dei criteri stessi e a_{ij} per la misura della prestazione dell'alternativa A_i rispetto al criterio C_j .

Metodo della somma pesata

Il metodo della somma pesata o Weighted Sum Model (WSM) è probabilmente quello di uso più frequente, specie per problemi "monodimensionali" che coinvolgono, cioè, variabili aventi tutte le stesse dimensioni fisiche.

Dati n alternative ed m criteri e adottando i simboli suddetti, tale metodo individua la migliore alternativa A^*_{WSM} come quella che soddisfa la seguente espressione:

$$\text{punteggio } A^*_{WSM} = \max_i \sum_{j=1}^m a_{ij} w_j \quad (1)$$

o la seguente:

$$\text{punteggio } A^*_{WSM} = \min_i \sum_{j=1}^m a_{ij} w_j \quad (2)$$

a seconda che l'obiettivo del decisore sia, rispettivamente: massimizzare (si pensi, ad esempio, a profitti, vantaggi in genere etc.; si parla di criteri di beneficio in questi casi) o minimizzare il valore delle variabili a_{ij} (come, ad esempio, costi da sostenere per compiere una certa azione, svantaggi in genere etc.; si parla, in generale, di criteri di costo). L'ipotesi posta alla base di tale metodo è quella dell'utilità additiva: si assume, cioè, che il valore complessivo di ciascuna alternativa sia pari alla somma delle sue prestazioni, opportunamente pesate, rispetto a tutti i criteri. Come anticipato, tale metodo trova facile applicazione quando si ha a che fare con variabili tutte delle stesse dimensioni fisiche (euro, metri, secondi etc.). Serie difficoltà nel suo pratico utilizzo si riscontrano, invece, nei problemi MADM multidimensionali ove il principio dell'utilità additiva perde significato.

Metodo del prodotto pesato

Il metodo del prodotto pesato o Weighted Product Model (WPM) è molto simile al metodo WSM. Prese in esame due generiche alternative A_k e A_p , il metodo WPM considera A_k migliore di A_p se il valore $R(A_k/A_p)$ di cui nella (3), ottenuto moltiplicando i rapporti tra le prestazioni delle due alternative rispetto a ciascun criterio (elevati al peso del criterio stesso), risulta maggiore dell'unità (se i criteri sono di tipo beneficio e l'obiettivo è, pertanto, massimizzare le prestazioni rispetto ad essi) o minore dell'unità (se i criteri sono di tipo costo).

$$R(A_k/A_p) = \sum_{j=1}^m (a_{kj}/a_{pj})^{w_j} \quad (3)$$

L'alternativa migliore è quella che risulta essere migliore o al più uguale a tutte le altre. Il metodo WPM viene talvolta indicato come analisi adimensionale in quanto la sua struttura elimina automaticamente tutte le unità di misura. Rispetto al metodo WSM ha, allora, il vantaggio di poter essere adottato tanto per i problemi decisionali monodimensionali che multidimensionali.

Un limite di tale metodo consiste nel fatto che, per la sua concreta applicabilità, è necessario che tutti i criteri siano di tipo costo o di tipo beneficio (le variabili prestazionali in esame devono essere, cioè, tutte da minimizzare o tutte da massimizzare).

Processo Analitico Gerarchico

Il Processo Analitico Gerarchico si basa sull'organizzazione dei criteri di scelta tramite un sistema di gerarchie. In questo caso la matrice alternative/criteri è costituita da elementi che non rappresentano valori di performance, ma le importanze relative delle alternative in termini di ogni criterio.

Ogni termine (performance), infatti, viene diviso per la somma degli stessi a_{ij} sul j -esimo criterio, normalizzando ad 1 l'intera colonna corrispondente.

La migliore alternativa (nel caso massimizzazione) è data dalla seguente relazione:

$$A^* = \max \sum_{j=1}^n q_{ij} * w_j \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4)$$

dove A^* è la migliore alternativa, n è il numero di criteri decisionali, q_{ij} è il valore relativo della i -esima alternativa (A_i) per il j -esimo criterio e w_j è il peso del j -esimo criterio. La struttura è simile al metodo della somma pesata.

L'AHP utilizza i valori relativi in luogo di quelli reali e, quindi, può essere utilizzato anche per problemi multidimensionali, ottenendo i benefici del WPM.

Metodo TOPSIS

Il metodo TOPSIS si propone di considerare una soluzione ideale e una soluzione negativa ideale, l'alternativa da scegliere sarà quella che è più vicina alla soluzione ideale e si trova più lontana da quella negativa ideale.

Applicando il metodo, quindi, si definiscono due soluzioni virtuali; una la migliore possibile, l'altra la peggiore che si può avere e di misurarne le distanze rispetto alle alternative reali.

Il metodo TOPSIS parte dalla conoscenza preventiva della matrice di decisione D :

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

Le fasi che portano all'individuazione della migliore alternativa sono descritte nel seguito.

Fase 1: Costruzione della matrice di decisione normalizzata R.

Tale normalizzazione, necessaria in virtù della presenza (in generale) di diverse unità di misura nella matrice D, si effettua determinando ciascun elemento r_{ij} della matrice R (5) come indicato nella (6).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=0}^n a_{kj}^2}} \quad (5)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Fase 2: Costruzione della matrice di decisione normalizzata pesata.

Ciascuna colonna della matrice decisionale normalizzata R deve essere moltiplicata per il peso del criterio ad essa corrispondente. La matrice normalizzata pesata si indica nel seguito con V.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{21} & \dots & w_m r_{1m} \\ w_2 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_m r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n r_{n1} & w_2 r_{n2} & \dots & w_m r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Fase 3: Determinazione della soluzione ideale A^* e della soluzione negativa-ideale A^- .

Le soluzioni A^* e A^- sono soluzioni virtuali costruite sulla scorta delle valutazioni normalizzate e pesate contenute nella matrice V .

La soluzione ideale A^* si determina considerando, per ciascun criterio, la migliore prestazione offerta dalle alternative in esame. La soluzione A^- si ottiene, invece, combinando le peggiori prestazioni delle alternative rispetto a ciascun criterio. Per "migliore" prestazione si intende, quindi, il massimo valore offerto dalle alternative, se ci si riferisce ad un criterio di beneficio, il minimo, se invece si sta facendo riferimento ad un criterio di costo. Viceversa, per la definizione di "peggiore prestazione".

Fase 4: Calcolo della distanza di ciascuna alternativa (reale) dalle due alternative (virtuali) A^* e A^-

Ciascuna delle n alternative (reali) A_i e due alternative (virtuali) A^* e A^- può essere intesa come un punto in uno spazio a m dimensioni (si ricorda che m è il numero di criteri) ove il generico j -mo asse misura le prestazioni normalizzate e pesate (del tipo v_{ij}) della considerata alternativa rispetto al criterio C_j . Ciò fatto, la distanza euclidea S_{i^*} dell'alternativa A_i ($i=1, 2, \dots, n$) da quella ideale A^* e quella S_{i^-} di A_i dalla negativa-ideale A^- possono semplicemente ottenersi, per definizione, come nelle (8) e (9).

$$S_{i^*} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_{j^*})^2} \quad \text{per } i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$S_{i^-} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_{j^-})^2} \quad \text{per } i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Fase 5: *Determinazione della distanza relativa delle alternative dalla soluzione ideale.*

Note le distanze S_i^* e S_{i-} dell'alternativa A_i ($i=1, 2, \dots, n$) dalle soluzioni virtuali A^* e A_- rispettivamente, è possibile determinare la distanza relativa dell'alternativa stessa dalla soluzione ideale mediante il seguente rapporto:

$$C_{i^*} = \frac{S_{i-}}{S_{i-} + S_i^*} \quad (10)$$

Se A_i coincide con la soluzione negativa-ideale A_- , risulta $S_{i-} = 0$ e, dunque, $C_{i^*} = 0$. Viceversa, per $A_i = A^*$ risulta $S_i^* = 0$ e, dunque, $C_{i^*} = 1$.

Fase 6: *Classifica di preferenza delle alternative.*

Per quanto appena osservato, una classifica di preferenza delle alternative si può condurre con riferimento proprio al valore che C_{i^*} assume per ogni alternativa. In particolare sono da preferire le soluzioni caratterizzate dal più alto valore C_{i^*} .

4.1.2 Criticità nell'applicazione dei metodi MCDM

È stato posto in evidenza che ciascuno dei metodi MCDM si basa sulla conoscenza preventiva della matrice di decisione (dunque delle valutazioni di tutte le alternative rispetto a ciascun criterio di giudizio) nonché dei pesi dei criteri. Note tali quantità, infatti, ciascuno dei metodi descritti in precedenza consente, in generale, di giungere a definire una soluzione ottima (o un gruppo di soluzioni compromesso) in modo praticamente "automatico".

La principale difficoltà nell'applicazione di tali metodi risiede nella definizione dei pesi dei criteri. L'esigenza del loro utilizzo discende dalla necessità del decisore di differenziare l'importanza che, a suo parere, ciascun criterio deve avere nella selezione dell'alternativa ottima.

Si intuisce che i pesi dei criteri assumono un ruolo fondamentale nel processo decisionale. In base al valore che essi assumono, infatti, alcune valutazioni delle alternative saranno amplificate (conferendo, dunque, ad esse maggiore "importanza"), altre saranno ridotte: la classifica finale delle alternative può essere, in generale, stravolta in corrispondenza di variazioni.

4.2 Modelli di monetizzazione delle esternalità ambientali

La monetizzazione esprime l'importanza relativa di una categoria di impatto in termini monetari. Questo valore può essere basato sui costi associati alla prevenzione o alla riparazione dei danni (ad esempio i costi dei danni utilizzando i prezzi di mercato). Un altro esempio per monetizzare una categoria di impatto è misurare quanto le persone sono disposte a pagare per prevenire un determinato impatto. In questo caso si valuta la volontà espressa (attraverso interviste) o la disponibilità stimata a pagare attraverso l'attribuzione di un valore da parte degli utenti o la misurazione delle perdite di benessere, oppure la disponibilità politica a pagare.

Un prezzo di mercato (market price) è ciò che le persone sono disposte a pagare per un determinato bene all'attuale livello di offerta. I danni ambientali possono essere valutati dalla perdita di produzione che i danni causano. Un esempio di ciò è la diminuzione della resa delle colture dovuta all'ozono troposferico. Per valutare beni e servizi che non vengono venduti su un mercato, si può provare a simulare il mercato o a dedurre la disponibilità a pagare per un bene dal prezzo del relativo bene commercializzato.

Quest'ultima è chiamata disponibilità a pagare rivelata (revealed willingness to pay), poiché le preferenze delle persone sono rivelate da ciò che pagano per il bene correlato. Nel metodo del costo del viaggio (travel cost method), la disponibilità a pagare (WTP), ad esempio per visitare un'area naturale, è determinata dai costi per viaggiare verso quel posto, così come da altri costi sostenuti, ad es. cibo e attrezzature necessarie. Il prezzo edonico (Hedonic pricing) viene spesso utilizzato per valutare gli immobili, cercando di identificare le diverse qualità che influenzano il prezzo. Questi metodi danno un limite inferiore del valore, poiché possono catturare solo una parte del valore di un certo bene o servizio.

Nei metodi di espressa disponibilità a pagare (expressed willingness to pay), si costruiscono mercati ipotetici, in cui si chiedono alle persone le loro preferenze e quanto sarebbero disposti a pagare per avere accesso ai servizi ambientali. Questi metodi sono i più completi, in quanto considerano il valore totale per la popolazione. Nel metodo più frequentemente utilizzato, la valutazione contingente (contingent valuation), agli intervistati viene chiesto di dichiarare la propria disponibilità a pagare per un aumento della qualità ambientale, in base a un mercato ipotetico attentamente strutturato. Il metodo Choice modelling (modellazione delle scelte) include una serie di metodi, ad es. classifica contingente (contingent ranking), confronti a coppie

(paired comparisons) ed esperimenti di scelta (choice experiments). In quest'ultimo agli intervistati viene chiesto di scegliere tra beni alternativi, definiti in termini di attributi, uno dei quali è un costo monetario. Ciò consente all'analista di derivare un valore monetario di ciascuno degli attributi.

I metodi dell'imputata disponibilità a pagare (Imputed WTP) includono diversi metodi di costo come il costo del danno evitato (damage cost avoided), il costo di sostituzione (replacement cost) e il metodo del costo sostitutivo (substitute cost). Questi metodi si basano sul presupposto che, se le persone sostengono costi per evitare danni causati dalla perdita di servizi ecosistemici o per sostituirli, quei servizi devono valere almeno quanto le persone hanno pagato per sostituirli. Il vantaggio di questi metodi è che riflettono i costi effettivi che possono essere imposti a famiglie e imprese. Tali approcci sono tuttavia problematici poiché i costi non sono legati all'entità dei danni e quindi non sono correlati alla gravità percepita del problema.

Il metodo della disponibilità politica a pagare (Political willingness to pay) è simile al revealed WTP, ma in questo caso sono le decisioni politiche a rivelare le preferenze. I costi per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti possono essere interpretati come disponibilità a pagare della società, mediata dal processo politico. Gli obiettivi dovrebbero essere imposti da una decisione politica. Un altro modo è utilizzare le tasse ambientali, che possono essere interpretate come un prezzo del danno ambientale, ad es. dovuto da una certa emissione.

Un altro modo per monetizzare gli impatti consiste nell'utilizzare il costo della riduzione della pressione (ad es. il costo della riduzione delle emissioni) o dell'impatto (ad es. calcificare laghi acidificati). I primi sono solitamente chiamati costi di prevenzione (prevention costs), i secondi costi di ripristino (restoration costs). Questi approcci non sono metodi di disponibilità a pagare, poiché non vi è alcuna relazione con la decisione di eseguire effettivamente le misure e assumersi i costi.

Sulla base di questi approcci, sono stati sviluppati diversi metodi di monetizzazione che sono ampiamente utilizzati per la ponderazione degli impatti ambientali risultanti dagli studi LCA. I più rilevanti sono elencati nella tabella 1.

Metodo	Approccio
Eco-costs	Disponibilità a pagare rivelata - Prezzi di mercato
Ecotax 2002	Disponibilità politica a pagare
Ecovalue 08	Disponibilità a pagare rivelata - Prezzi di mercato
Environmental Prices	Disponibilità a pagare rivelata - Prezzi di mercato
EPS	Disponibilità a pagare imputata - Costo del danno evitato
ExternE	Disponibilità a pagare rivelata - Prezzi di mercato
LIME	Disponibilità a pagare espressa - Valutazione contingente e modellazione delle scelte.
Stepwise 2006	Disponibilità a pagare imputata - Costo del danno evitato

Tabella 1

Metodi di monetizzazione e relativi approcci

Il metodo **Eco-costs** è un metodo di monetizzazione basato sulla prevenzione. Traduce l'impatto ambientale in costo economico misurando il costo per prevenire una determinata quantità di carico ambientale.

Eco-costs fornisce valori monetari per le seguenti categorie di impatto: acidificazione (dal metodo di valutazione di impatto ambientale International Reference Life Cycle Data - ILCD), eutrofizzazione e smog estivo (dal metodo Recipe), ecotossicità e tossicità per l'uomo (dal metodo UseTox 2), polveri sottili (dal metodo RiskPol) e riscaldamento globale (dal metodo Integrated Pollution Prevention and Control - IPPC).

Inoltre, esiste una serie di eco-costi per caratterizzare alcune categorie midpoint relative all'esaurimento delle risorse:

- eco-costi dell'esaurimento delle risorse abiotiche (metalli, comprese le terre rare, e combustibili fossili);

- eco-costi del cambiamento dell'uso del suolo (basato sulla perdita di biodiversità);
- eco-costi del consumo di acqua (sulla base del Water Stress Indicator - WSI);
- eco-costi dello smaltimento in discarica.

Tali costi ecologici si riferiscono alle categorie ambientali più spesso utilizzate nella valutazione ambientale di materiali da costruzione e sono compatibili con le informazioni ambientali fornite nelle Environmental Product Declarations (di seguito EPD o Dichiarazioni Ambientali di Prodotto). I costi marginali di prevenzione a livello midpoint (valutazione degli effetti ambientali a breve termine) possono essere combinati ed espressi come costi marginali a livello endpoint (valutazione degli effetti ambientali a lungo termine) in tre gruppi, più il global warming come categoria aggiuntiva:

- eco-costi della salute umana = somma di sostanze cancerogene, smog estivo e polveri sottili;
- eco-costi degli ecosistemi = somma di acidificazione, eutrofizzazione ed ecotossicità;
- eco-costi dell'esaurimento delle risorse = somma di esaurimento abiotico, uso del suolo, consumo di acqua e smaltimento in discarica;
- eco-costi del riscaldamento globale = somma di CO₂ e altri gas serra;
- eco-costi totali = somma di salute umana, ecosistemi, esaurimento delle risorse e riscaldamento globale.

Ecotax 2002 è un approccio di monetizzazione basato sulle ecotasse svedesi e sulle imposte su emissioni e uso di risorse. Si assume che le decisioni politiche riflettano i valori sociali degli impatti ambientali.

Questo metodo utilizza anche le categorie di impatto del metodo CML Baseline, che sono compatibili con l'uso di EPD. In alcuni casi, una imposta può essere utilizzata direttamente come fattore di ponderazione, ad esempio la tassazione sulla CO₂ per il riscaldamento globale (CO₂ eq.).

In altri casi, i valori di ponderazione sono calcolati sulla base delle tasse esistenti, ad esempio, le tasse sui fertilizzanti azotati sono adattate per fornire un fattore di ponderazione per l'eutrofizzazione.

Ecovalue 08 si basa su fattori di ponderazione che aggregano impatti midpoint su un impatto monetizzato endpoint. Si basa sulle valutazioni di mercato dell'esaurimento delle risorse e sulle stime individuali della disponibilità a pagare (WTP) per la qualità ambientale. Il metodo di caratterizzazione utilizzato per le categorie di impatto midpoint è il CML Baseline. Anche questo metodo è compatibile con l'uso di EPD come fonte di dati di impatto ambientale.

Environmental Prices è il metodo di monetizzazione più recente, sviluppato dal centro studi olandese Delft nel 2018, ed è applicabile al territorio europeo. Il metodo esprime la disponibilità a pagare per un minore inquinamento

ambientale in euro per chilogrammo di inquinante, analogamente al metodo Eco-costs. Indica la perdita di benessere economico derivante da ogni chilogrammo aggiuntivo di inquinante che entra nell'ambiente e spesso coincide con i costi esterni. Il metodo Environmental Prices si distingue in base alle categorie ambientali che monetizza. In particolare vengono definite cinque categorie endpoint:

- Salute umana (morbilità, cioè malattia e mortalità prematura);
- Servizi ecosistemici (compresa l'agricoltura);
- Edifici e materiali (capitale artificiale);
- Disponibilità di risorse;
- Benessere (valori estetici ed etici).

Per quanto riguarda le categorie midpoint, i costi ambientali vengono definiti per le categorie di impatto ambientale definite dal metodo ReCiPe e non sono coerenti con le informazioni fornite dalle EPD.

Tali categorie midpoint sono:

- Climate change (kg CO₂-eq)
- Ozone depletion (kg CFC-eq)
- Human toxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Photochemical oxidant formation (kg NMVOC-eq)
- Particulate matter formation (kg PM10-eq)
- Ionizing radiation (kg kBq U235-eq)
- Acidification (kg SO₂-eq)
- Freshwater eutrophication (kg P-eq)
- Marine eutrophication (kg N)
- Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Freshwater ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Marine ecotoxicity (kg 1,4 DB-eq)
- Land use (m²*year)
- Noise (>60dB)

Tuttavia, i costi ambientali sono presentati anche a livello di singolo inquinante, consentendo l'applicazione del metodo a livello di inventario del prodotto analizzato. Inoltre seguendo la procedura suggerita da Owsianiak et al.⁶ è possibile determinare dei fattori di conversione che consentono di ricavare i costi ambientali riferiti alle unità di misura delle principali categorie di impatto previste nelle EPD.

Il metodo **Environmental Priorities Strategies (EPS)** è uno dei modelli di valutazione monetaria più vecchi (1991-1992) sviluppati per facilitare il confronto degli impatti ambientali (principalmente per lo sviluppo del prodotto). Calcola i costi ambientali utilizzando dati di inventario, fattori di caratterizzazione e fattori di ponderazione (monetizzazione), raggiungendo un risultato endpoint. Le categorie di impatto nel metodo EPS sono identificate in quattro aree di protezione: salute umana, capacità di produzione dell'ecosistema, risorse abiotiche e biodiversità. I danni a questi aspetti vengono monetizzati in base alla disponibilità a pagare (WTP) per evitare cambiamenti rispetto allo stato attuale dell'ambiente. Gli aspetti ambientali come le emissioni di sostanze (es. CO₂, CO, NOx, SOx etc.) o l'estrazione di risorse (es. combustibili fossili, minerali) sono classificati in ciascuna delle aree di protezione menzionate. I fattori di ponderazione sono definiti per 15 categorie di impatto, raggruppate nelle quattro categorie di danno suddette, come definite nel metodo EPS 2000, e non sono coerenti con le informazioni fornite dalle EPD.

Il metodo **External costs of energy (ExternE)** è un progetto finanziato dalla Commissione Europea, avviato nel 1995, con l'obiettivo di monetizzare i danni socio-ambientali causati dai diversi vettori energetici. ExternE effettua una valutazione dettagliata e sistematica dell'intera catena causa-effetto dalle emissioni agli impatti e danni ambientali. I tre temi di salvaguardia considerati sono la salute pubblica, l'ambiente costruito e la capacità di produzione dell'ecosistema. Gli impatti vengono valutati in base ai prezzi di mercato o alla "disponibilità a pagare". I due progetti di follow-up di ExternE sono il New Element for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (NewExt) e il New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS). L'obiettivo del primo era migliorare la valutazione delle esternalità e quello del secondo era valutare costi e benefici delle politiche energetiche e dei futuri sistemi energetici. Anche questo metodo non è compatibile con l'uso delle EPD come input per la monetizzazione.

Il metodo **LIME, Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling**, è un progetto giapponese che mira a sviluppare un database per assistere le industrie nell'implementazione di studi LCA affidabili. LIME considera 11 categorie di impatto: inquinamento atmosferico urbano, sostanze chimiche pericolose, eutrofizzazione, riscaldamento globale, ecotossicità, acidificazione, riduzione dello strato di ozono, creazione di ossidanti fotochimici, uso del suolo, rifiuti e consumo di risorse.

1 Owsianiak, M., Laurent, A., Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2014). IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 1007-1021]

La monetizzazione si basa su un'indagine condotta nel 2004 (a Tokyo) e nel 2012 (in tutto il Giappone) per valutare il WTP della società giapponese ad evitare danni su determinati temi di salvaguardia (ad esempio, salute umana o biodiversità).

Con l'uso della modellazione logit, i fattori di ponderazione per aggregare le categorie midpoint sono stati calcolati stimando le attitudini e le preferenze ambientali del popolo giapponese. Sulla base del modello logit, LIME fornisce due tipi di fattori di ponderazione: un indice adimensionale e una valutazione economica. Entrambi possono essere utilizzati con i risultati di diversi metodi di valutazione di impatto per la stima dei valori monetari.

Stepwise 2006 è un metodo di monetizzazione basato sui risultati del metodo LCIA Ecoindicator99, che fornisce risultati come indicatori fisici per ciascuno dei tre seguenti aspetti di salvaguardia: salute umana, qualità degli ecosistemi e consumo di risorse. Queste categorie di danno vengono ridefinite in modo che possano essere misurate in:

- salute umana - Quality Adjusted Life Years (QALY, costo che una persona media è disposta a pagare per un anno di vita aggiuntivo);
- qualità degli ecosistemi - Biodiversity Adjusted Hectare Years (BAHY)
- consumo di risorse - unità monetarie

Per aggregare questi risultati, viene attribuito un valore monetario a QALY e BAHY e viene fissato un tasso di cambio tra BAHY e QALY, misurando gli impatti sulla produttività delle risorse. Attualmente, il metodo STEPWISE utilizza modelli di caratterizzazione dai metodi LCIA IMPACT2002 e EDIP2003. Anche se il formato delle informazioni ambientali fornite dalle EPD non è compatibile con questo metodo, tuttavia è possibile ricavare mediante delle opportune conversioni dei valori monetari relative ad alcune specifiche categorie di impatto previste nella EPD.

Relativamente alle piastrelle di ceramica, la PCR di riferimento (PCR 2019:14 Construction products) nello schema EPD prevede di riportare i valori di impatto ambientale per le seguenti categorie:

- global warming, kg CO_{2e} equivalents (GWP100)
- ozone depletion, kg CFC 11 equivalents
- acidification of land and water, SO₂ equivalents
- eutrophication, PO₄³⁻ equivalents
- photochemical ozone creation, C₂H₄ equivalents
- depletion of abiotic resources (elements), kg Sb equivalents
- depletion of abiotic resources (fossil), MJ net calorific value

Per tale ragione si è deciso di prendere come riferimento soltanto i metodi di monetizzazione che individuano i costi delle esternalità ambientali riferite, almeno parzialmente, alle suddette categorie di impatto (tab. 2).

	Ecotax 2020	Stepwise 2006	Ecovalue 08	Enviromental Prices
Euro anno	Euro 2002	Euro 2003	Euro 2010	Euro 2015
Riscaldamento Globale (Global Warming)	0.07	0.08	0.23	0.0566
Riduzione dello strato di ozono (ozone depletion)	139.56	110	-	30.4
Acidificazione (Acidification)	2.09	0.15	3.49	4.97
Eutrofizzazione (Eutrophication)	3.32	1.2	25.35	5.63
Potenziale di formazione fotochimica dell'ozono (Photochemical ozone creation)	55.82	0.56	4.65	0.69
Esaurimento delle risorse abiotiche - Minerali (Depletion of abiotic resources - Elements)	-	-	-	-
Esaurimento delle risorse abiotiche - Fossili (Depletion of abiotic resources - Fossils)	0.02	0.004	0.00047	-

Tabella 2

Valori monetari delle esternalità ambientali (valori non aggiustati per l'inflazione)

Dal momento che i metodi sono stati costruiti in epoche diverse, i valori monetari non sono riferiti allo stesso anno, per cui in tab. 3 si è proceduto ad attualizzare tali valori al 2020, in modo da renderli confrontabili.

	Ecotax 2020	Stepwise 2006	Ecovalue 08	Enviromental Prices
Euro anno	Euro 2002	Euro 2003	Euro 2010	Euro 2015
Riscaldamento Globale (Global Warming)	0.09	0.1	0.25	0.0577
Riduzione dello strato di ozono (ozone depletion)	178.59	136,56	-	31
Acidificazione (Acidification)	2.65	0.19	3.81	5.07
Eutrofizzazione (Eutrophication)	4.22	1.49	27.69	5.75
Potenziale di formazione fotochimica dell'ozono (Photochemical ozone creation)	71	0.7	5.08	0.71
Esaurimento delle risorse abiotiche - Minerali (Depletion of abiotic resources - Elements)	-	-	-	-
Esaurimento delle risorse abiotiche - Fossili (Depletion of abiotic resources - Fossils)	0.03	0.005	0.00051	-

Tabella 3

Valori monetari delle esternalità ambientali (valori non aggiustati per l'inflazione)

5

Conclusioni

Conclusioni

Il presente documento di indirizzo identifica e definisce una metodologia che integra la valutazione degli impatti ambientali, effettuata attraverso la LCA, ai costi, attraverso l'applicazione della LCC, con l'obiettivo di definire un criterio di selezione basato su un indicatore omnicomprensivo che tenga conto sia dei costi legati al ciclo di vita del prodotto, sia dei relativi impatti ambientali.

In questo modo l'attuale criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, individuata sulla base del rapporto qualità/prezzo o costo di acquisto, risulterebbe rafforzato dalla valorizzazione dei costi lungo l'intero ciclo di vita delle fasi caratterizzate da significativi profili di impatto sull'ambiente, così da far risaltare le produzioni che realmente raggiungono i migliori standard di sostenibilità ambientale.

I prossimi strumenti che saranno sviluppati, al fine di agevolare le stazioni appaltanti nella valutazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa, sono un tool informatico e un "Criterio LCC esemplificativo" che sarà applicato alle procedure di acquisto delle piastrelle in ceramica, settore pilota dello studio che si sta sviluppando nell'ambito del progetto Mettiamoci in RIGA.

A seguito del confronto con le associazioni di categoria/produttori, al fine di comprendere quali siano gli aspetti rilevanti e come poterli valutare in modo coerente e non discriminatorio rispetto a diverse tecnologie/prodotti, sarà possibile lavorare su una sperimentazione dello strumento e ampliarne le funzionalità.

Gli strumenti sviluppati affiancheranno le stazioni appaltanti nella definizione di bandi di gara e per l'aggiudicazione prenderanno in considerazione, oltre al costo di acquisto, i costi imputabili in un'ottica di analisi del ciclo di vita (ad esempio: posa in opera, lavaggio/manutenzione), dando rilievo a quelli che presentano costi e impatti ambientali significativi e quantificabili, andando a selezionare, tra le possibili offerte, quella che presenta il profilo migliore sia ambientale che economico.

Linea di intervento L4

Indice delle figure

Figura 1 Iceberg dei costi	19
Figura 2 Distribuzione dei costi diretti e indiretti	23
Figura 3 Rappresentazione degli elementi costitutivi di un problema di analisi multicriteri	33

Linea di intervento L4

Indice delle tabelle

Tabella 1	
Metodi di monetizzazione e relativi approcci	46
Tabella 2	
Valori monetari delle esternalità ambientali (valori non aggiustati per l'inflazione)	51
Tabella 3	
Valori monetari delle esternalità ambientali (valori aggiustati per l'inflazione)	52

METTIAMOCI IN RIGA



Rafforzamento
Integrato
Governance
Ambiente