



VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA (LCA): PRINCIPI, QUADRO DI RIFERIMENTO, REQUISITI E LINEE GUIDA

Docente: Ing. Ph.D. Roberta Stefanini

Ricercatrice RTDA
presso Università di Parma

Di cosa parliamo in questa lezione?



Gli strumenti volontari di valutazione e certificazione della sostenibilità ambientale.

Metodologia Life Cycle Assessment (LCA): principi e linee guida. Le fasi dell'LCA.
Caso studio aziendale di analisi LCA. Plastica o vetro? LCA come strumento di scelta.

Certificazione B Corporation: il percorso per l'ottenimento.

Carbon footprint di organizzazione e di prodotto: caratteristiche, norme di riferimento, vantaggi.
Esempi pratici di certificazioni.

Water footprint: caratteristiche, norma di riferimento, vantaggi. Esempi pratici di casi aziendali.

I Sistemi di Gestione ambientale.

Etichette e dichiarazioni ambientali. Casi pratici di certificazioni di tipo I, II, III.
Lettura di Environmental Product Declaration (EPD) di noti prodotti industriali.

Bilancio di sostenibilità: requisiti, contenuti, norme di riferimento. Approfondimento di bilanci di sostenibilità di due aziende scelte dagli studenti tra le proposte fornite.

Esercitazioni LCA in classe: guida al software SimaPro 9.5. Modellazione di un packaging.
Esercitazione avanzata: LCA di una macchina alimentare. Esercizio a gruppi sui confini del sistema.



Introduzione al Life Cycle Assessment (LCA)

La maggiore consapevolezza dell'importanza della protezione dell'ambiente e dei possibili impatti associati ai prodotti, fabbricati e consumati ha accresciuto l'interesse verso lo sviluppo di metodi atti a comprendere meglio e a ridurre tali impatti. Una di queste tecniche è la valutazione del ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment), che può dare supporto a:



Valutazione delle performance ambientali e identificazione delle opportunità di miglioramento dei prodotti nei diversi stadi del ciclo di vita



Assistere al processo decisionale delle industrie e organizzazioni governative e non (pianificazione strategica, scelta di priorità, progettazione o riprogettazione di prodotti o di processi)



Green marketing: valorizzare prodotti ecosostenibili tramite etichette ecologiche, asserzioni ambientali o dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD).



Introduzione al Life Cycle Assessment (LCA)

L'LCA tratta gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, dall'acquisizione delle materie prime attraverso la fabbricazione e l'utilizzo, fino al trattamento di fine vita, riciclaggio e allo smaltimento finale (approccio detto «dalla culla alla tomba») - UNI EN ISO 14044.

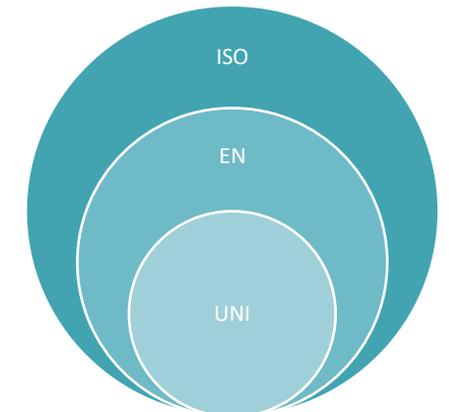
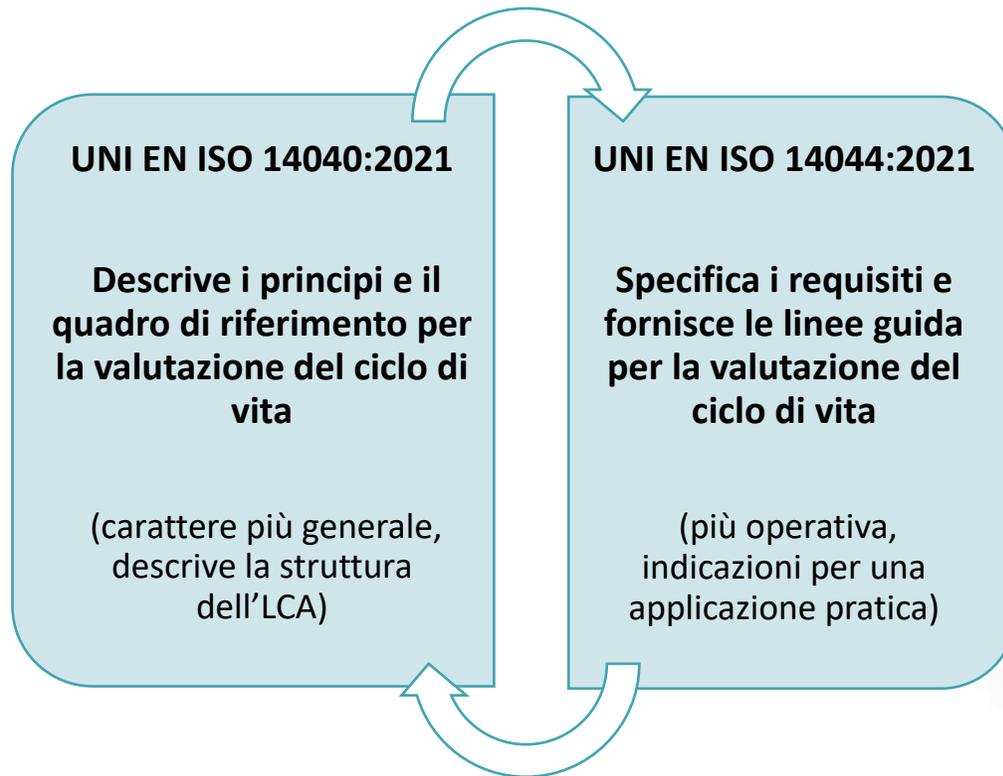


Dove LCA e Agenda 2030 si incontrano

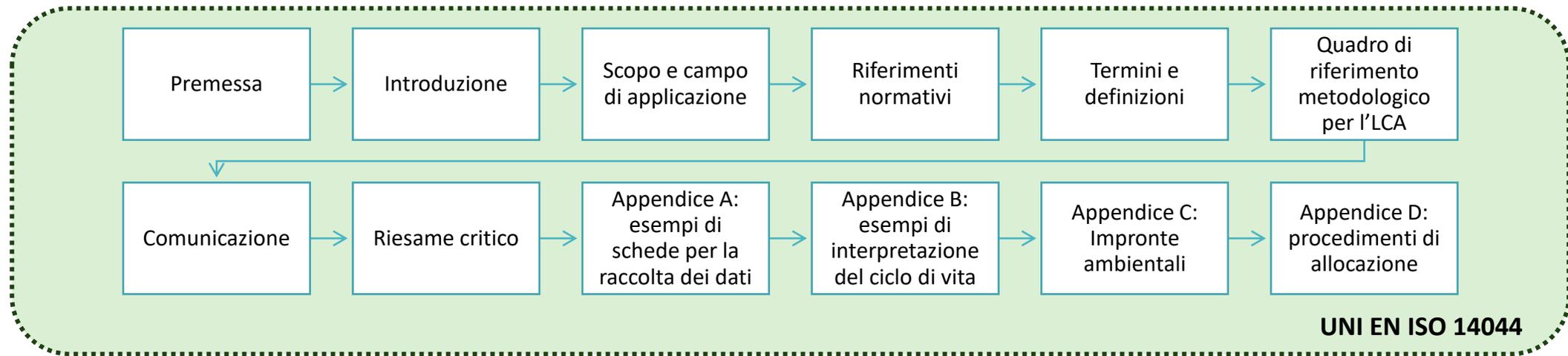
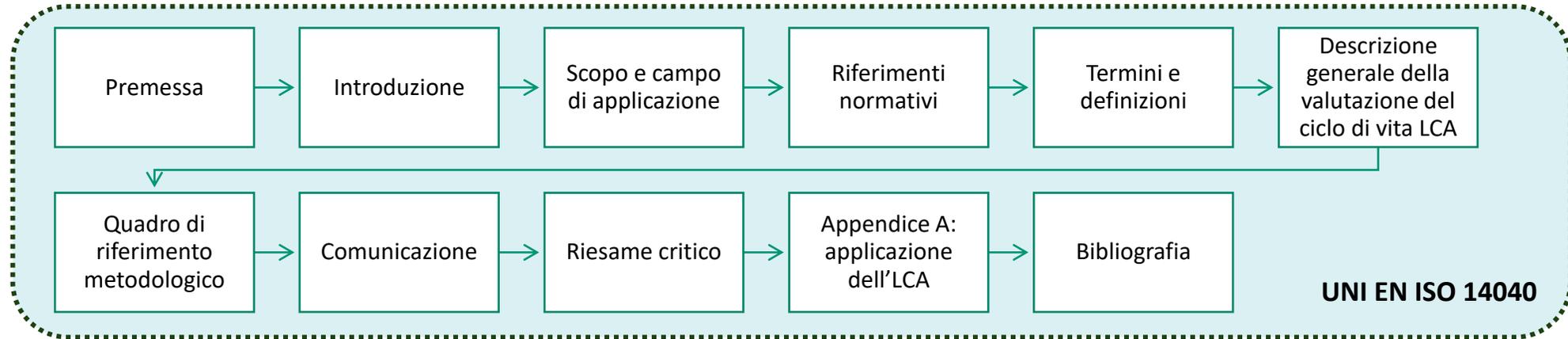


Normativa di riferimento

Oggi le norme di riferimento per il Life Cycle Assessment fanno parte della serie delle ISO 14000 e più in particolare della famiglia delle norme orientate ai prodotti della serie 14040:



Indice UNI EN ISO 14040 e 14044



Descrizione generale della valutazione del ciclo di vita

I seguenti principi dell'LCA sono fondamentali e sono da usare come guida per le decisioni relative alla pianificazione e conduzione dell'LCA:



PROSPETTIVA DEL CICLO DI VITA

L'LCA considera **l'intero ciclo** di vita di un prodotto, dall'estrazione e acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e produzione di materiali ed energia, fino al trattamento di fine vita e smaltimento finale

APPROCCIO RELATIVO E UNITA' FUNZIONALE

L'LCA è un approccio relativo, **strutturato attorno a un'unità funzionale**, che definisce quanto è studiato. Tutti gli elementi in ingresso e in uscita dell'LCI sono correlati all'unità funzionale

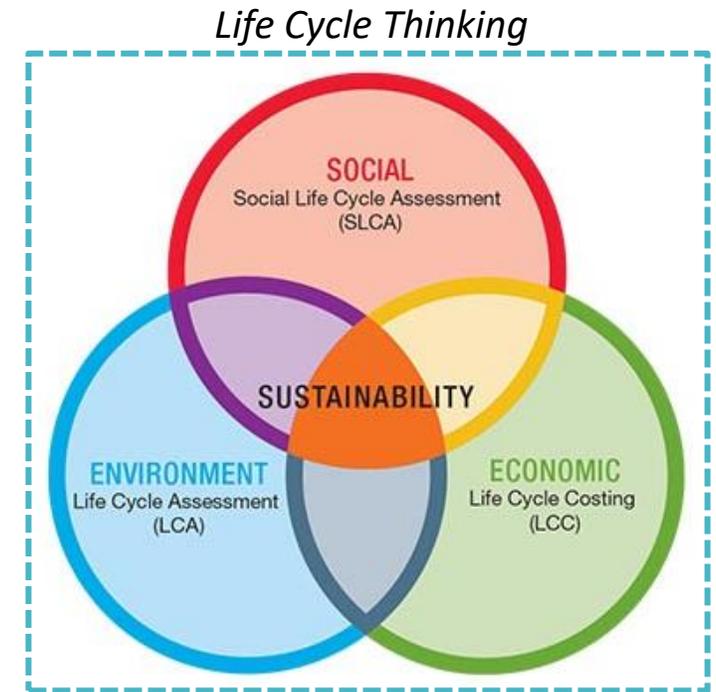
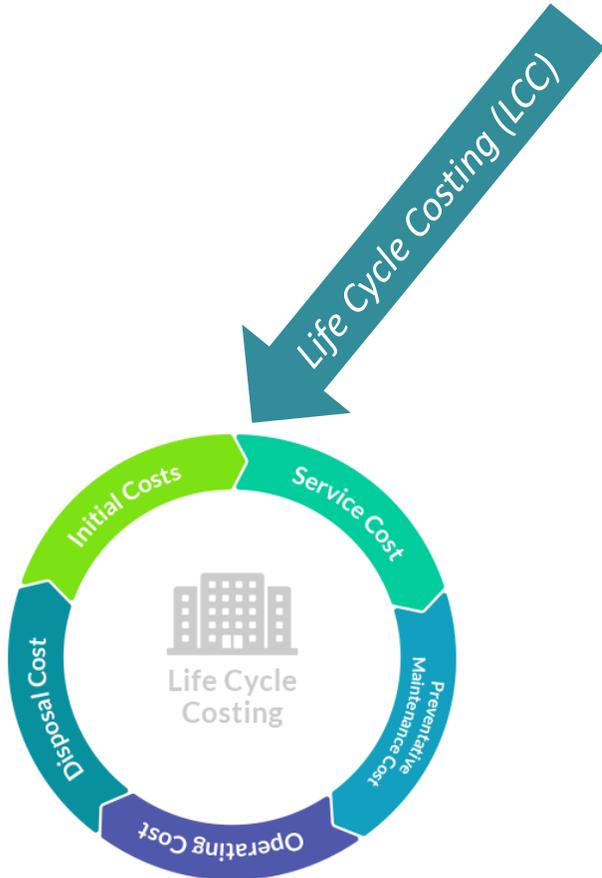
ATTENZIONE FOCALIZZATA ALL'AMBIENTE

L'LCA tratta gli **aspetti ambientali** e gli **impatti di un sistema prodotto**. Altri strumenti possono essere combinati con l'LCA per valutazioni economiche e sociali, che sono però fuori dal campo di applicazione dell'LCA



Descrizione generale della valutazione del ciclo di vita

L'LCA NON tratta gli aspetti economici o sociali di un prodotto.



Descrizione generale della valutazione del ciclo di vita



APPROCCIO
ITERATIVO

L'LCa è una tecnica iterativa. Le singole fasi usano i risultati delle altre fasi: l'approccio iterativo all'interno e tra le fasi contribuisce alla completezza e alla coerenza dello studio e dei risultati riportati.

TRASPARENZA

E' un principio guida al fine di consentire una corretta interpretazione dei risultati.

COMPLETEZZA

LCA considera tutti gli attributi o aspetti dell'ambiente naturale, della salute umana e delle risorse. Considerando tutti gli aspetti propri di uno studio in una prospettiva attraverso più mezzi, è possibile identificare e valutare i potenziali compromessi.

PRIORITÀ DELL'APPROCCIO
SCIENTIFICO

Le decisioni nell'LCa si basano sulle scienze naturali.



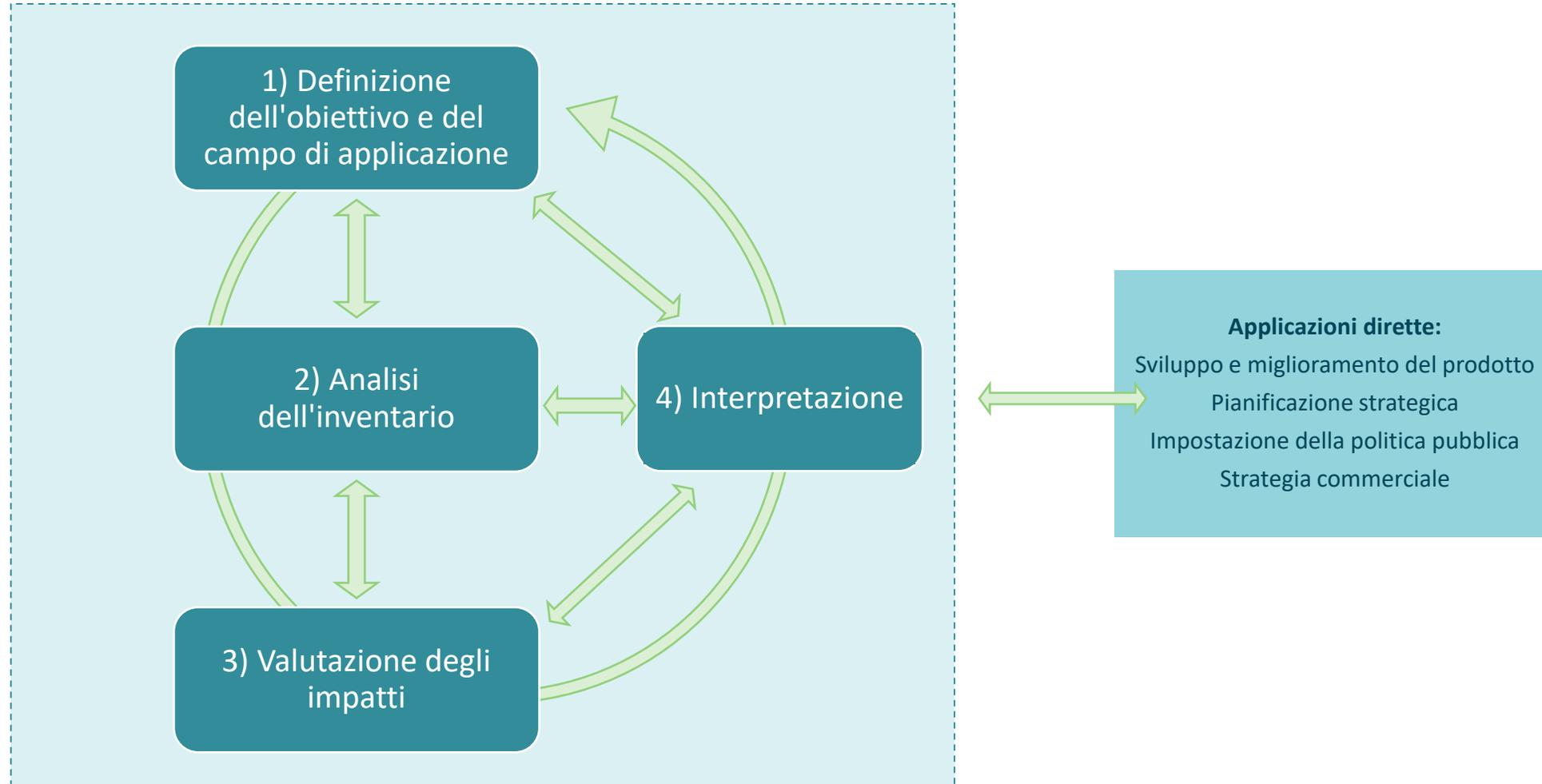
Caratteristiche fondamentali dell'LCA

L'LCA tratta i **potenziali** impatti ambientali.

L'LCA non prevede impatti ambientali assoluti o precisi a causa dell'espressione relativa dei potenziali impatti ambientali a un'unità di riferimento, dell'integrazione dei dati ambientali nello spazio e nel tempo, nell'incertezza intrinseca nella modellazione degli impatti ambientali e al fatto che alcuni possibili impatti ambientali sono impatti futuri

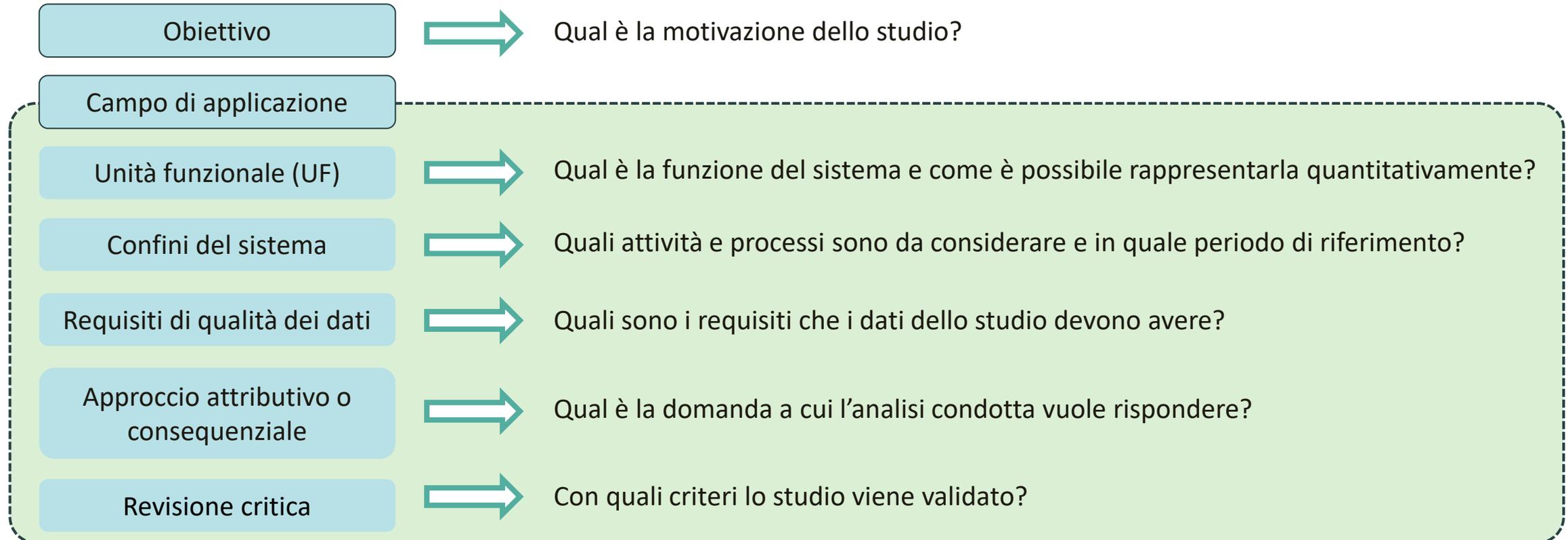


Fasi dell'analisi del ciclo di vita



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Nella prima fase di uno studio LCA, secondo le norme di riferimento, i seguenti punti devono essere stabiliti e descritti:



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione



L'**obiettivo** di un LCA deve descrivere senza ambiguità:

- l'applicazione prevista
- le motivazioni per effettuare lo studio
- il tipo di pubblico a cui è destinato (a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio?)
- se i risultati sono destinati ad essere usati per effettuare asserzioni comparative destinate alla divulgazione al pubblico

Nel definire il **campo di applicazione**, i seguenti elementi devono essere considerati e descritti:

- | | |
|--|---|
| ➤ il sistema di prodotti allo studio | ➤ i requisiti dei dati |
| ➤ le funzioni del sistema di prodotti | ➤ le ipotesi |
| ➤ l'unità funzionale | ➤ le scelte dei valori e gli elementi opzionali |
| ➤ il confine del sistema | ➤ le limitazioni |
| ➤ le procedure di allocazione | ➤ i requisiti di qualità dei dati |
| ➤ la metodologia dell'LCIA e i tipi di impatti | ➤ il tipo di riesame critico, se presente |
| ➤ l'interpretazione da utilizzare | ➤ il tipo e il formato del rapporto richiesto per lo studio |



L'obiettivo e il campo di applicazione dell'LCA devono essere definiti chiaramente e devono essere coerenti con l'applicazione prevista. A causa della natura iterativa dell'LCA, è possibile che il campo di applicazione debba essere corretto nel corso dello studio.



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Funzione, unità funzionale (UF) e flussi di riferimento



L'unità funzionale definisce la quantificazione delle funzioni identificate del prodotto. Il suo scopo è fornire un riferimento a cui legare gli elementi in ingresso e in uscita. Tale riferimento è indispensabile per consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA.

NB: se un sistema ha più funzioni, la funzione scelta per lo studio dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione dell'LCA.

Esempio: Stabilire l'unità funzionale per i seguenti sistemi:



Contenimento di 0,5 kg di biscotti



Verniciatura di 1 m² di superficie



Il contenimento di 1 litro di prodotto



Esempi per stabilire l'unità funzionale

Qual è la/e funzione/i? Identificata la principale, quale potrebbe essere l'unità funzionale per svolgere l'LCA di ciascun prodotto?



Prodotto scelto	Unità funzionale (esempi da letteratura scientifica)
Macchina da caffè	Riempimento di 1 tazza di caffè (110 ml; 40 ml)
Tritatutto Minimixer Frullatore a immersione	Miscelare 1 litro di prodotto (per 1 minuto)
Spremiagrumi	Estrazione di 0,5 litri di succo (in un giorno; vita utile 3 anni)
Tostapane	Tostare 2 fette di pane (due volte al giorno, per 5 anni)



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Stabilire l'unità funzionale adatta a comparare i 2 sistemi riportati in figura (ISO 14044):



Nella funzione «asciugare le mani», sono studiati sia il sistema con asciugamano di carta sia il sistema ad aria.

L'unità funzionale scelta, uguale per i due sistemi, può essere espressa come numero di paia di mani asciugate.

Per ciascun sistema è possibile determinare il flusso di riferimento, per esempio la massa media di carta o il volume medio di aria calda richiesti rispettivamente per un'asciugatura di mani. Per entrambi i sistemi è possibile compilare un inventario degli elementi in ingresso e in uscita, sulla base di flussi di riferimento. Al livello più semplice, il caso dell'asciugamano di carta dovrebbe essere relativo al consumo di carta. Il caso dell'asciugatura ad aria dovrebbe essere relativo alla massa di aria calda necessaria per asciugare le mani.



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Confini del sistema

Il confine del sistema determina processi unitari che devono essere inclusi nell'LCA.
La sua selezione deve essere coerente con l'obiettivo dello studio.



Il sistema prodotto dovrebbe essere modellato in modo che gli elementi in ingresso e in uscita ai suoi confini siano flussi elementari, ma non è necessario spendere risorse quantificando gli elementi che non modificano significativamente le conclusioni globali dello studio. Qualunque decisione di eliminazione deve essere però indicata e giustificata.

Per descrivere il sistema è utile utilizzare un **diagramma di flusso del processo** che indichi i processi unitari e le loro interrelazioni. Quando si definisce il confine del sistema, molte fasi del ciclo di vita, dei processi unitari e dei flussi dovrebbero essere considerate:

- ✓ Acquisizione di materie prime
- ✓ Elementi in ingresso e uscita nella sequenza di fabbricazione
- ✓ Distribuzione o trasporto
- ✓ Produzione e uso di combustibili, elettricità, calore
- ✓ Uso e manutenzione dei prodotti
- ✓ Smaltimenti di rifiuti e prodotti di processo
- ✓ Recupero dei prodotti dopo l'uso
- ✓ Fabbricazione dei materiali ausiliari



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Devono essere definite 3 tipologie di confini:

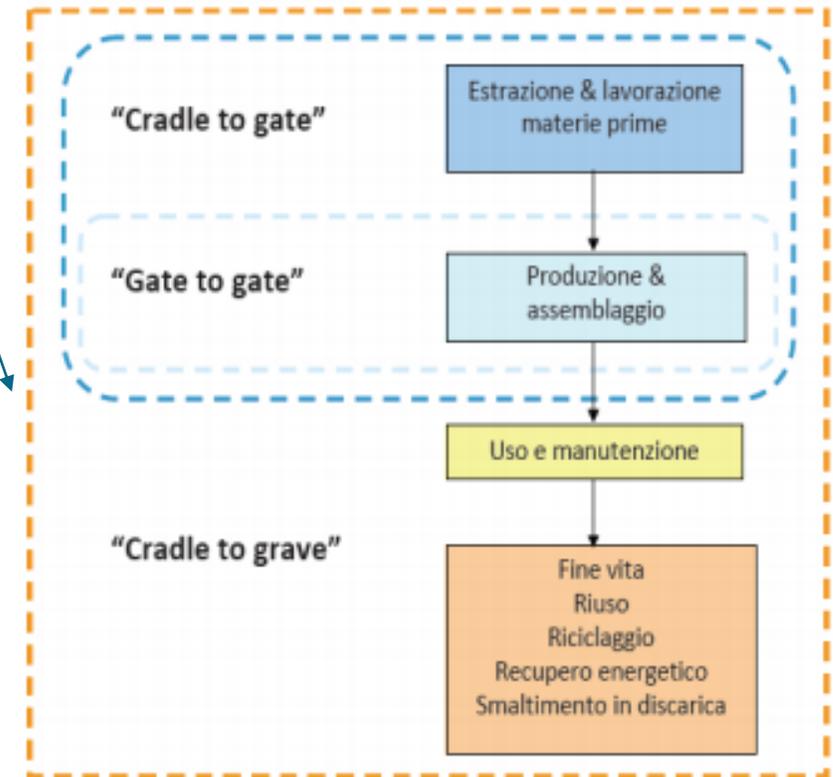
TEMPORALI: periodo di riferimento

GEOGRAFICI: area di riferimento

FISICI: descrizione del ciclo produttivo

Esistono tre categorie di confini FISICI:

- **From cradle to grave:** dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento del prodotto, considerando tutto il ciclo di vita (LCA).
- **From cradle to gate:** dall'estrazione delle materie prime fino alla produzione e all'assemblaggio del prodotto nell'azienda che lo immette sul mercato.
- **From gate to gate:** si considera solo ciò che avviene in azienda, includendo quindi solo le fasi di fabbricazione e assemblaggio.



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Tipologie di dati dell'LCA

I dati selezionati per l'LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio. Questi dati possono essere raccolti incominciando dai siti di produzione associati ai processi unitari entro i confini del sistema, oppure ottenendoli o calcolandoli da altre fonti. In pratica, tutti i dati possono comprendere un misto di dati misurati, calcolati o stimati.

DATI PRIMARI



Da misurazioni sul campo



DATI SECONDARI



Da letteratura o da database



DATI TERZIARI



Dati medi derivanti da stime fatte sulla base di processi simili



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Requisiti di qualità dei dati

I requisiti di qualità dei dati specificano le caratteristiche dei dati necessari per lo studio. La loro descrizione è importante per capire l'affidabilità dei risultati dello studio e per interpretare correttamente le risultanze (obbligatori se lo studio supporta un'asserzione comparativa divulgata).

Copertura temporale

l'anzianità dei dati e la minima estensione di tempo rispetto ai quali i dati dovrebbero essere raccolti;

Copertura geografica

la zona geografica in cui dovrebbero essere raccolti i dati relativi ai processi unitari, per soddisfare l'obiettivo dello studio;

Copertura tecnologica

tecnologia specifica o combinazione di tecnologie;

Precisione

misura della variabilità dei valori dei dati per ciascuna categoria di dati espressi (es: la varianza);

Completezza

percentuale del flusso misurata o stimata;

Rappresentatività

valutazione qualitativa del grado con cui l'insieme dei dati riflette la popolazione realmente interessata (es: copertura geografica, periodo di tempo e copertura tecnologica);

Coerenza

valutazione qualitativa di come la metodologia dello studio è applicata uniformemente alle diverse componenti dell'analisi;

Riproducibilità

valutazione qualitativa del grado con cui le informazioni riguardo la metodologia e i valori dei dati permettono a un esecutore indipendente di riprodurre i risultati riportati nella relazione dello studio;

Specificare infine le fonti dei dati, e l'incertezza dell'informazione (per esempio i dati, i modelli e le ipotesi).

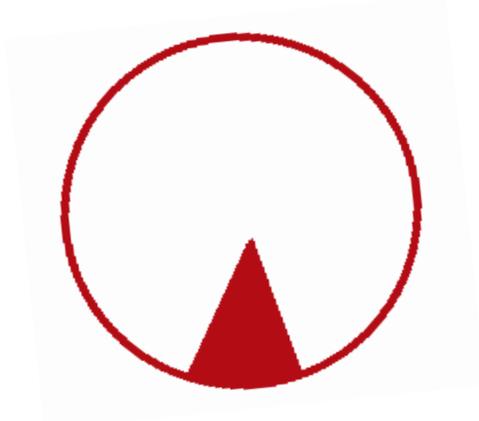


1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Tipo di approccio: attribuzionale o consequenziale?

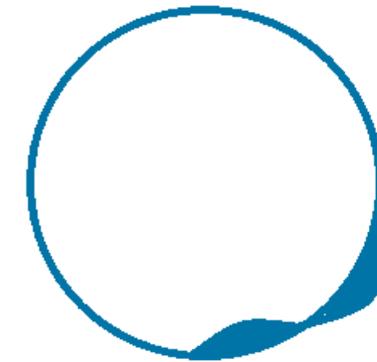
Attribuzionale

Quali sono i potenziali impatti ambientali attribuibili al sistema in analisi?

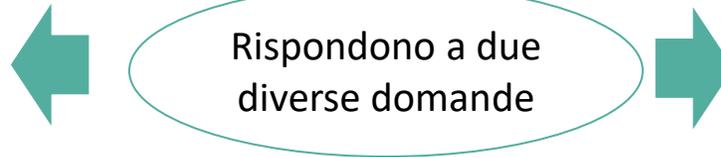


Consequenziale

Quali sono le conseguenze ambientali dovute a cambiamenti futuri all'interno del sistema o tra più sistemi in relazione tra loro?



Rispondono a due diverse domande



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

ALLOCAZIONE (approfondimento 4.3.4 ISO 14044)

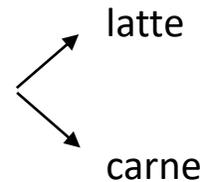
Pochi processi industriali producono un singolo elemento in uscita o sono fondati su una linearità tra materie prime in ingresso e in uscita. La maggioranza dei processi ha più di un prodotto e ricicla i prodotti intermedi o di scarto come fossero materie prime. Si dovrebbe tenere in considerazione la necessità di procedure di allocazione trattando sistemi che concernono prodotti multipli e sistemi di riciclaggio.

Criteri

⇒ ALLOCAZIONE IN MASSA



Allevamento per la produzione di latte

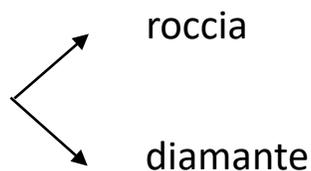


Una quota di consumi dell'attività di allevamento è assegnata al latte e un'altra alla carne in base alla quantità dei prodotti ottenuti di ciascuno dei due prodotti.

⇒ ALLOCAZIONE ECONOMICA



Processo di estrazione di diamanti



Non avrebbe senso applicare un'allocazione in massa: l'obiettivo dell'attività di estrazione è quello di ottenere il diamante, che ha un valore economico molto superiore rispetto alla roccia. Si alloca quindi il consumo in base al valore economico dei prodotti



1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

ASSUNZIONI E REGOLE DI CUT-OFF

- Il cut-off definisce l'ammontare di flussi di materia o energia o il livello di significatività ambientale associata alle unità di processo o al sistema prodotto da escludere dallo studio (ISO 14044)
- Le regole di cut-off sono importanti per definire il compromesso e il bilancio tra la rappresentatività dei risultati e gli sforzi di raccolta dati.
- La ISO non fornisce indicazioni quantitative sui diversi criteri di cut-off, contrariamente a quanto viene fatto dalle diverse linee guida (es PCR 1%).

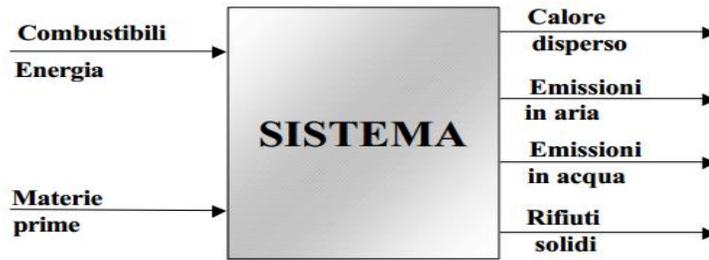


Spesso si escludono i flussi con peso <1% sul totale per queste 3 categorie considerate. In prima istanza si applica il criterio di esclusione in massa, ma bisogna considerare che, se il contributo in termini di consumo energetico non è anche esso <1%, quel processo non può essere escluso dall'analisi



2. Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)

L'analisi di inventario comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare gli elementi in ingresso (materiali, trasporti, energia) e in uscita (sostanze in aria, acqua e suolo) pertinenti di un sistema di prodotto



Risulta utile l'uso di **questionari** da compilare per poter raccogliere i dati



Intanto che i dati vengono raccolti e il sistema è meglio conosciuto, possono essere definiti nuovi requisiti o limitazioni riguardo ai dati



Il processo è **iterativo**



2. Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)

PROCEDURE SEMPLIFICATE PER L'ANALISI DELL'INVENTARIO



2. Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)

A. Raccolta dei dati

I **dati qualitativi e quantitativi** da includere nell'inventario devono essere raccolti (siano essi misurati, calcolati o stimati) per ogni processo unitario compreso nei confini del sistema.

Richiede risorse rilevanti.

I dati per ogni processo unitario entro il confine dei sistemi sono classificabili in macrocategorie:

- ✓ elementi in ingresso dell'energia, materie prime, materiali ausiliari o altre entità fisiche
- ✓ Prodotti, coprodotti, rifiuti
- ✓ Emissioni in aria e scarichi nell'acqua e nel suolo

All'interno delle macrocategorie, singole categorie di dati devono essere specificate per soddisfare l'obiettivo dello studio.

Esempio di scheda per dati di un processo unitario (APPENDICE A UNI EN ISO 14044)

Realizzata da:	Data di completamento:			
Identificazione di processo unitario:	Sito oggetto del resoconto:			
Periodo di tempo: Anno	Mese inizio:	Mese fine:		
Descrizione del processo unitario: (allegare schede aggiuntive se necessario)				
Elementi materiali in ingresso	Unità di misura	Quantità	Descrizione dei procedimenti di campionamento	Origine
Consumo idrico ^{a)}	Unità di misura	Quantità		
Energia in ingresso ^{b)}	Unità di misura	Quantità	Descrizione dei procedimenti di campionamento	Origine
Elementi materiali in uscita (compresi i prodotti)	Unità di misura	Quantità	Descrizione dei procedimenti di campionamento	Destinazione
NOTA I dati di questa scheda si riferiscono a tutti gli elementi in ingresso e in uscita non allocati nel periodo di tempo specificato.				
a) Per esempio acqua superficiale, acqua potabile.				
b) Per esempio, olio combustibile pesante, medio o leggero, kerosene, benzina, gas naturale, propano, carbone, biomassa, elettricità da rete.				



2. Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)

B. Calcolo dei dati

Le procedure di calcolo devono essere documentate e le ipotesi devono essere indicate e giustificate.

Per determinare i flussi elementari associati alla produzione si dovrebbe usare la composizione reale della produzione, in modo da riflettere i vari tipi di risorse consumate.

C. Validazione dei dati

INPUT = OUTPUT

Durante il processo di raccolta dei dati, deve essere effettuato un controllo di validità per confermare e fornire prove che i requisiti di qualità dei dati per l'applicazione prevista sono stati soddisfatti.

La validazione può richiedere di stabilire bilanci di massa, bilanci di energia e/o analisi comparative dei fattori di rilascio. Poiché ogni processo unitario obbedisce alle leggi di conservazione di massa ed energia, i bilanci di massa ed energia forniscono un utile controllo sulla validità della descrizione di un processo unitario.

L'apparenza di anomalie nei dati, derivanti dalle procedure di validazione, richiede dati alternativi che siano conformi ai requisiti di qualità dei dati



2. Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)

D. Correlazione dei dati al processo unitario e all'unità funzionale

Basandosi sul diagramma di flusso e sui flussi tra processi unitari, si mettono in relazione i flussi di tutti i processi unitari al flusso di riferimento. Il risultato dei calcoli deve condurre a riferire i dati degli elementi in ingresso e in uscita dal sistema all'unità funzionale.

Si dovrebbe fare attenzione all'aggregazione degli elementi in ingresso e in uscita nel sistema di prodotti: i dati dovrebbero essere aggregati solamente se si riferiscono a sostanze equivalenti e a impatti ambientali similari.

E. Correzione del confine del sistema

Come conseguenza della natura iterativa dell'LCA, le decisioni concernenti i dati da includere devono essere basate sull'analisi di sensibilità, per determinare la loro significatività. I confini iniziali del sistema devono essere revisionati in conformità ai criteri di esclusione stabiliti quando si è definito il campo di applicazione. I risultati di questo procedimento di correzione e l'analisi di sensibilità devono essere documentati.

L'analisi di sensibilità può dare origine a:

- esclusione di fasi del ciclo di vita o processi unitari, quando la carenza di significatività è evidenziata dall'analisi di sensibilità;
- esclusione degli elementi in ingresso e in uscita che non hanno significatività per i risultati dello studio; oppure
- inclusione di nuovi processi unitari, elementi in ingresso e in uscita che mostrano essere significativi nell'analisi di sensibilità.

Quest'analisi ha il compito di limitare la successiva manipolazione dei dati in ingresso e uscita significativi per l'obiettivo dell'LCA.



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

Scopo LCIA: Valutare la portata di potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell'LCI. Comporta l'associare i dati d'inventario a specifiche categorie di impatti ambientali e indicatori di categoria e l'approfondire la comprensione di tali impatti.



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

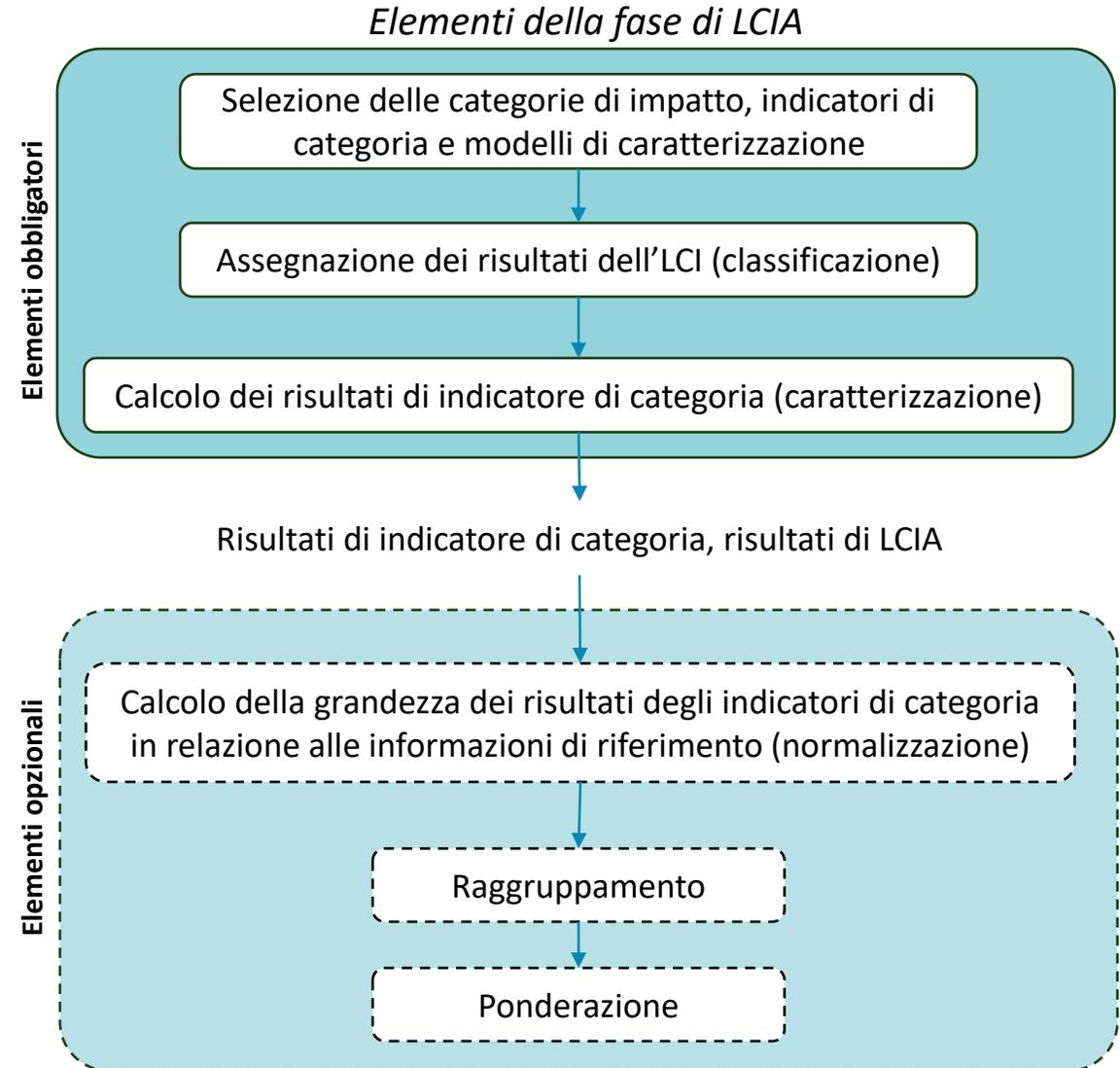
Prevede fasi **obbligatorie** e **opzionali**:

CLASSIFICAZIONE: ogni flusso/sostanza raccolta nel LCI viene correlata a una categoria di impatto ambientale;

CARATTERIZZAZIONE: ogni flusso/sostanza viene convertita ad una sostanza di riferimento della propria categoria;

NORMALIZZAZIONE: i risultati vengono confrontati con dei valori di riferimento per comprenderne la magnitudo

RAGGRUPPAMENTO e PONDERAZIONE: a ogni categoria di impatto viene attribuita una differente importanza rispetto alle altre per poter poi «sommarle» tra loro.

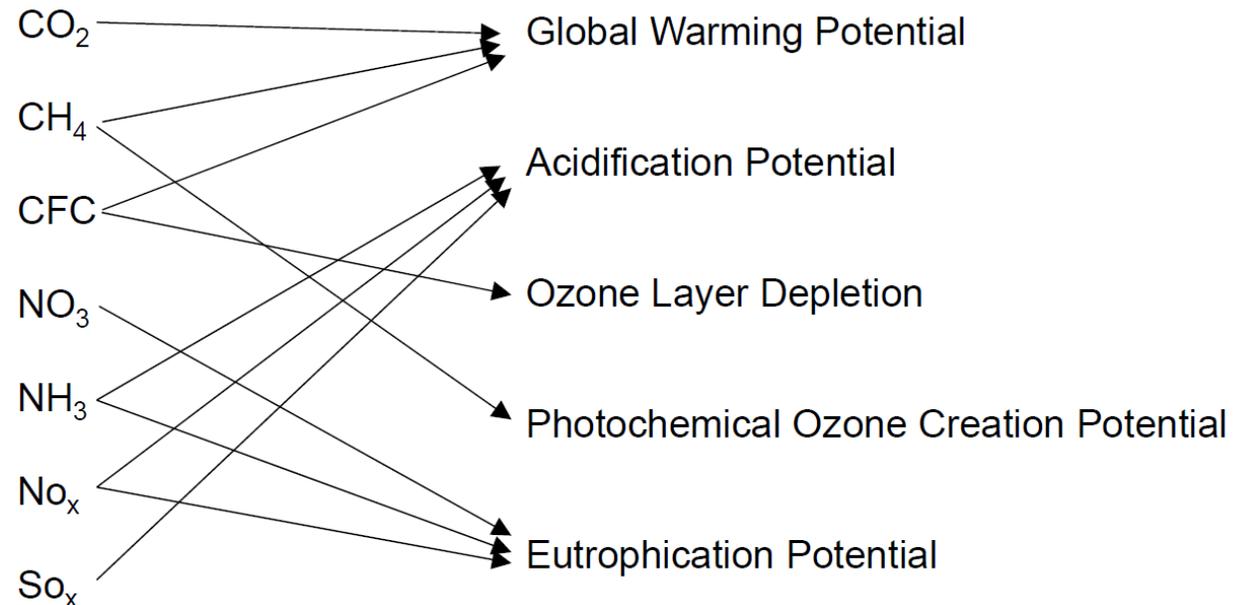


3. Valutazione degli impatti (LCIA)

CLASSIFICAZIONE

Tutte le sostanze di INPUT e OUTPUT, ossia i materiali, i consumi e le emissioni (tutti dati raccolti nell'inventario) sono assegnati a una categoria di impatto, alla quale contribuiscono (relazione **qualitativa**).

Ogni categoria di impatto è rappresentativa di uno specifico problema ambientale e la stessa tipologia di emissione può contribuire a più di una categoria di impatto



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

CARATTERIZZAZIONE

Ciascuna sostanza contribuisce in maniera differente allo stesso problema ambientale. Ogni sostanza viene convertita ad una sostanza di riferimento presa come unità di misura della propria categoria. Si parla di **INDICATORE DI IMPATTO**, ossia la rappresentazione **quantitativa** di quella categoria. Le unità di misura delle principali categorie di impatto sono le seguenti:

Categoria di impatto	Unità di misura
Riscaldamento Globale (GWP)	kg CO ₂ equivalente
Distruzione della fascia dell'ozono (ODP)	kg CFC-11 equivalente
Formazione di ossidanti fotochimici (PoCP)	kg C ₂ H ₄ equivalente
Acidificazione (AP)	kg SO ₂ equivalente
Eutrofizzazione (EP)	kg PO ₄ ⁻⁻ equivalente
Consumo di risorse non rinnovabili	MJ



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

Il «peso» di ciascun contributo rispetto al riferimento scelto per ciascuna categoria di impatto è definito dal relativo **FATTORE DI CARATTERIZZAZIONE**. Quindi, moltiplicando ciascuna sostanza che contribuisce al medesimo problema ambientale per il relativo fattore di caratterizzazione si ottiene il valore quantitativo dell'impatto espresso in un' **unità di misura equivalente**.

FATTORE DI CARATTERIZZAZIONE: fattore derivato da un modello di caratterizzazione che è applicato per convertire un risultato dell'analisi di inventario del ciclo di vita all'unità comune dell'indicatore di categoria.

Gas Serra	kg CO ₂ equivalenti
CO ₂ (anidride carbonica)	1
CH ₄ (metano)	28
N ₂ O (ossido di diazoto)	265
HFC-141b	782
HFC-134a	1300
CFC-12	10200
SF ₆ (sulfurhexafluoride)	23500

*Fattori di
caratterizzazione IPCC
(2013) per alcuni gas
serra*



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

Normalizzazione (facoltativa)

Qual è l'entità relativa di ciascun problema ambientale?

I valori precedentemente ottenuti possono essere normalizzati, divisi cioè per un «valore di riferimento» in modo da poter **stabilire la magnitudo di ciascun effetto ambientale rispetto ad un valore di riferimento.**

La normalizzazione è quindi un'operazione matematica che consente il cui **risultato è un numero adimensionale.** Attraverso la normalizzazione **si può stabilire l'entità relativa** di ciascun problema ambientale.

La formula è la seguente:
$$N_i = S_i / A_i$$

Dove:

N_i = risultato di impatto normalizzato

S_i = risultato di impatto ambientale non normalizzato

A_i = fattore di normalizzazione preso come riferimento

Per esempio, il contributo all'effetto serra normalizzato N_i di un prodotto ipotetico può essere espresso come:

S_i = Quantità di CO₂ emessa per unità di prodotto

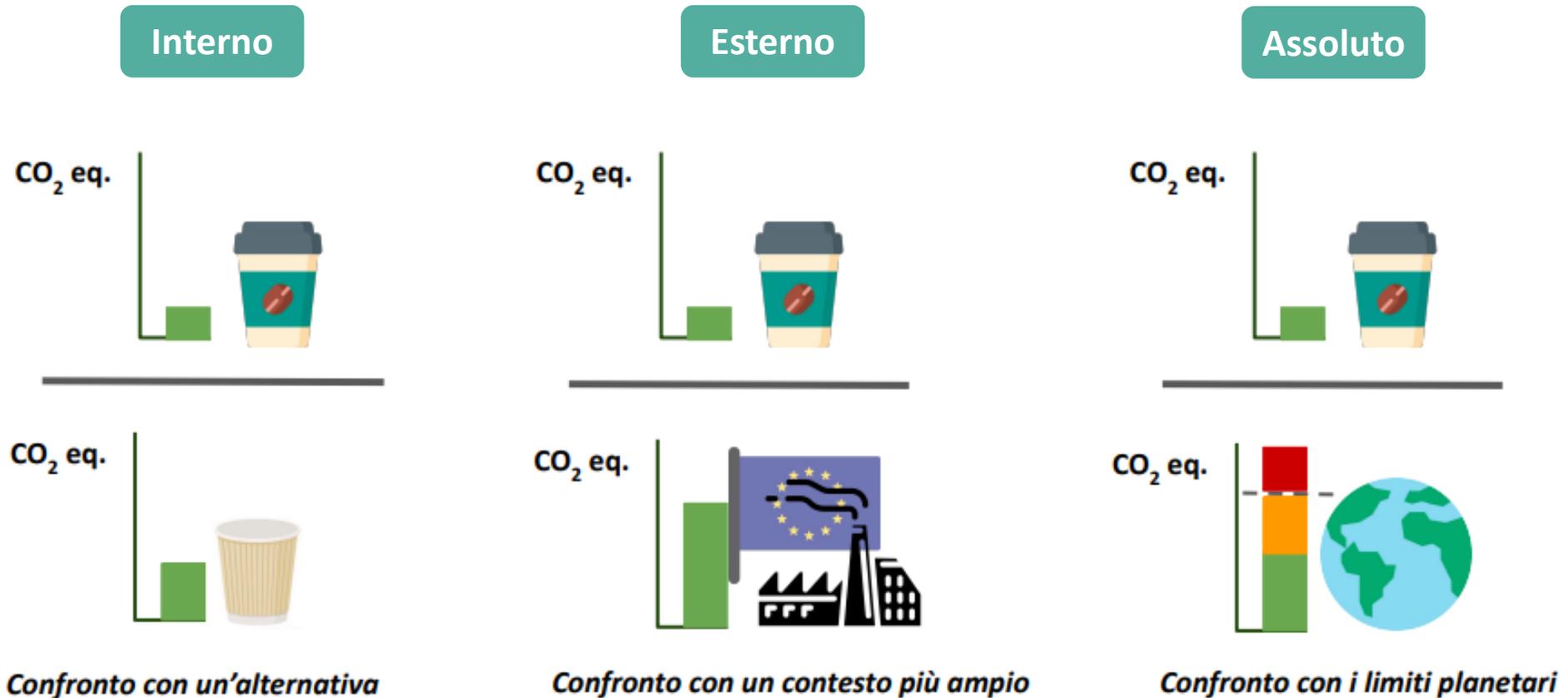
A_i = Quantità di CO₂ emessa annualmente nel paese di produzione divisa per il numero di abitanti



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

Normalizzazione (facoltativa)

Altri esempi di normalizzazione del risultato di CO₂ equivalente di un prodotto, utilizzando diversi fattori di normalizzazione (A_i)



3. Valutazione degli impatti (LCIA)

Raggruppamento e ponderazione (facoltativa)

Qual è l'importanza di ogni categoria di impatto?

I valori normalizzati sono sommati tra loro dando una **diversa importanza a ciascuna categoria di impatto ambientale tramite l'assegnazione di un peso**.

La pesatura è quindi la moltiplicazione degli effetti normalizzati per diversi fattori di peso, **la cui determinazione si basa su principi di natura socio-economica**, che rispecchiano preferenze sociali e politiche.

Da questo processo si ottiene un **INDICATORE ASSOLUTO** (eco-indicatore), che consente la comparazione diretta tra le alternative in gioco.

$$\sum_{i=1}^n N_i \cdot w_i$$



Vantaggi:

- Comparazione delle categorie di impatto per guidare i decisori nelle scelte
- Aggregazione dei risultati in un unico punteggio



Selezione del metodo per la valutazione d'impatto

Metodi di calcolo

Esistono diversi metodi di calcolo che differiscono tra loro per categorie di impatto (ognuna rappresentativa di una specifica problematica ambientale) e fattori di caratterizzazione.

A seconda del caso studio può essere interessante valutare alcune categorie di impatto piuttosto che altre → la scelta del metodo per la valutazione dell'impatto è importante

METODI SINGOLA EMISSIONE

Cumulative energy demand
Cumulative EXERGY demand
Ecosystem damage potential
Greenhouse gas protocol
IPCC 2013
USEtox 2

METODI GLOBALI

ReCiPe 2016 (midpoint – endpoint) – suddiviso in base all'arco temporale della GWP

METODI EUROPEI

CML-IA
Ecological Scarcity 2013
EDIP 2003
EF method
EPD 2018
EPS 2015
ILCD 2011 Midpoint+
Impact 2002+

METODI WATER FOOTPRINT

AWARE

Berger – wave (water scarcity)
Boulay (human health)
Ecological scarcity (water scarcity)
Hoekstra (water scarcity)
Motoshita (human health)
Pfister (eco indicator 99)
Pfister (water scarcity)
Pfister (recipe)

METODI nord americani

BEES
TRACI 2.1



Alcuni esempi di «categorie di impatto»

Global warming potential (GWP): kg CO₂ eq.

L'effetto serra è un fenomeno naturale dove la superficie terrestre assorbe la radiazione solare e la ridistribuisce nell'ambiente. Una porzione di radiazione infrarossa viene assorbita dai gas presenti come: anidride carbonica, metano e protossido d'azoto. La combustione dei carburanti fossili e la deforestazione hanno significativamente incrementato il riscaldamento dell'atmosfera terrestre.



Eutrophication (EP): kg PO₄ eq.

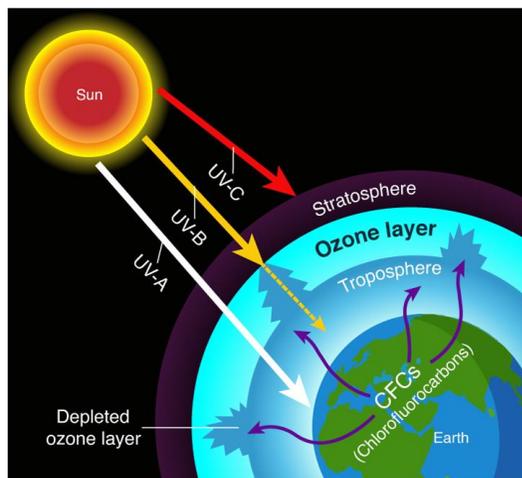
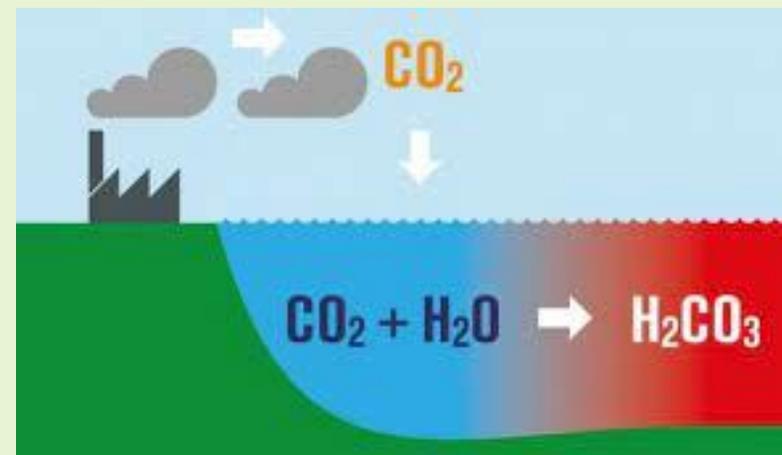
L'eutrofizzazione indica l'eccesso di sostanze nutritive in un comparto ambientale, e la conseguenza dell'effetto dei processi biologici conseguenti a tale arricchimento. La presenza di dosi elevate di azoto, fosforo o zolfo (fertilizzanti, scarichi civili ecc..) causa la proliferazione di organismi vegetali acquatici e micro alghe rendendo l'ambiente anossico e inadatto alla sopravvivenza di forme di vita superiori.



Alcuni esempi di «categorie di impatto»

Acidification (AP): kg SO₂ eq.

L'emissione di composti derivanti da combustione di combustibili fossili e dall'attività agricola: ossidi di zolfo SO_x, ossidi di azoto NO_x, ammoniaca NH₃, sono conseguenza del fenomeno delle piogge acide. Conseguenza diretta dell'acidificazione è il danno agli ecosistemi, con gravi problematiche legate al pH dei laghi, al suolo che diviene tossico per le piante e il trasporto a medio lungo termine di tali inquinanti acidi nelle falde acquifere.



Stratospheric Ozone Depletion (OD): kg CFC-11 eq

Lo strato di ozono presente nell'atmosfera protegge dalla radiazione UV e dai raggi X emessi dal sole. Viene danneggiato dalle sostanze alogene che ne riducono gradualmente lo spessore, incrementando il rischio di cancro alla pelle. Cloro (Cl), fluoro (F), bromo (Br) e CFC emessi dalla troposfera migrano nella stratosfera, questi grazie alla radiazione solare rilasciano radicali alogeni che reagiscono con altri composti, diventando più stabili.



Alcuni esempi di «categorie di impatto»

Photochemical Ozone Formation kg C₂H₄ eq

Un'alta concentrazione nella troposfera di NO_x e VOC disturbano il naturale equilibrio della regolazione di ozono in atmosfera. La conseguenza più dannosa è la formazione di uno strato di ozono a livello terrestre.

L'ozono è altamente ossidante a questi livelli, risultando un pericoloso agente corrosivo per ogni materiale, causando inoltre seri danni a uomo, animali e piante. Il problema si concentra a livello regionale.



Non renewable Energy Resource Consumption: MJ eq.

La maggior parte dell'energia prodotta deriva da combustibili fossili come carbone, petrolio e gas naturale. Il loro deposito nel sotto suolo ha richiesto milioni di anni, per questo motivo non sono rinnovabili.

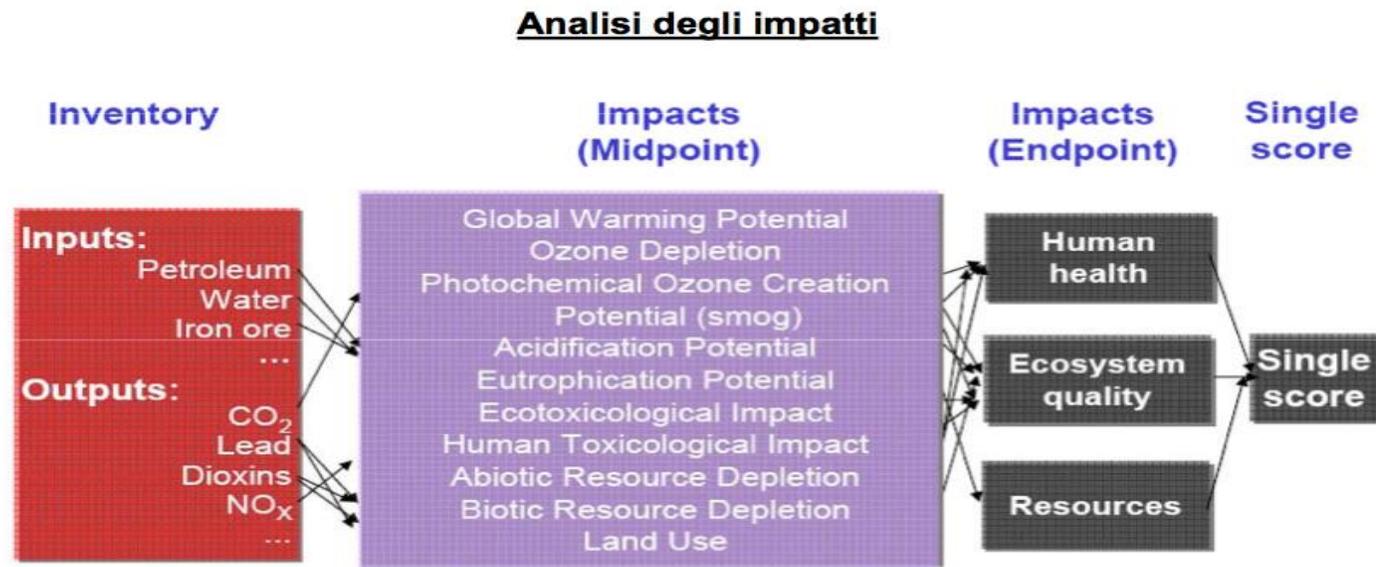


Selezione del metodo per la valutazione d'impatto

Metodi Midpoint ed Endpoint

METODI MID-POINT: forniscono i risultati relativi a un valore di emissione nell'ambiente senza quantificare il danno, ovvero senza valutare l'effetto che quell'emissione causa nell'ambiente o alle persone.

METODI END-POINT: rappresentano un tentativo per risolvere i problemi di soggettività della fase di pesatura. Sono utilizzati fattori di pesatura scientifica per esprimere l'effetto che un determinato fenomeno ha sull'ambiente e sull'uomo. Ad esempio l'indicatore per i cambiamenti climatici è espresso in DALY (Disability Adjusted Life Years). Si tratta di un'unità di misura usata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e dalla Banca Mondiale per la valutazione dei dati statistici sulla salute.



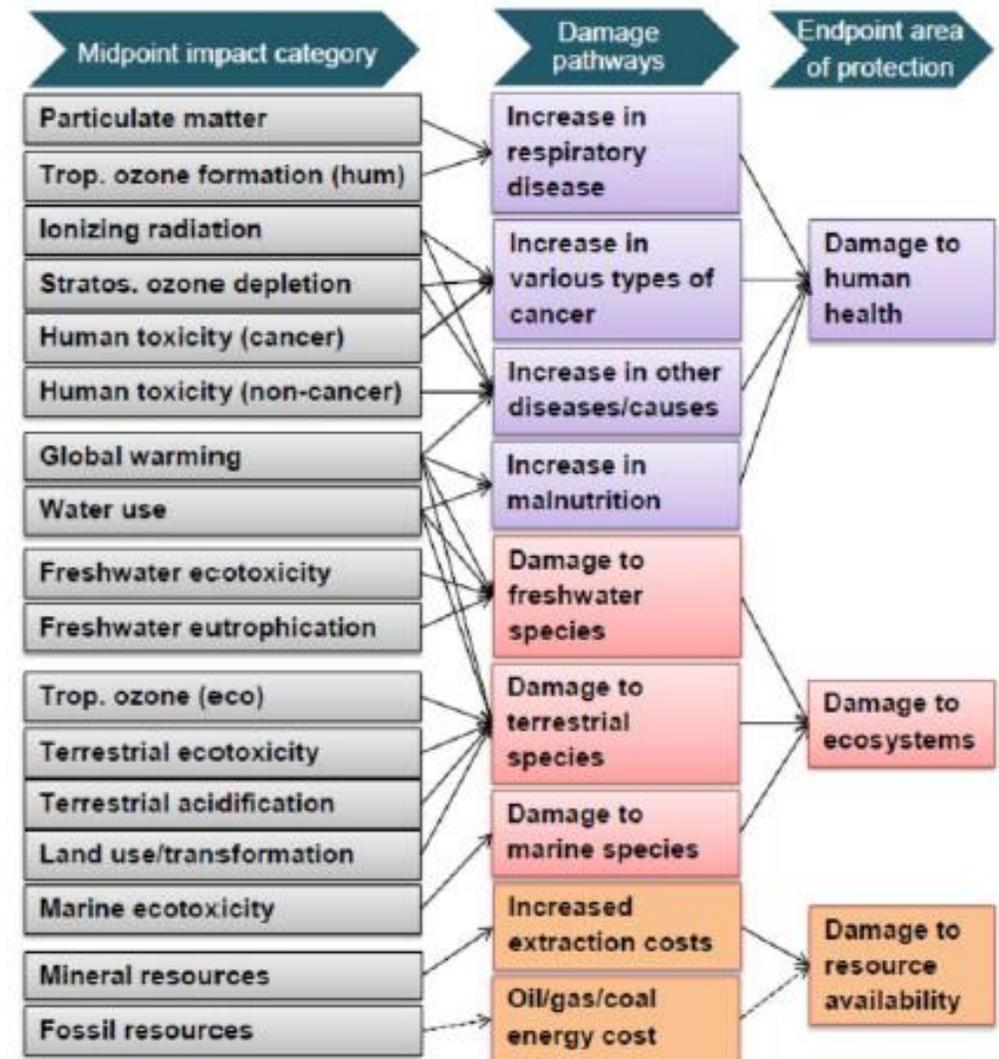
Alcuni esempi di «metodi di impatto»

Metodo ReCiPe

È un metodo globale che include sia categorie di impatto midpoint sia endpoint, disponibili per tre diverse prospettive: individualist (I), hierarchist (H), egalitarian (E).

A livello di **midpoint**, ci sono 18 categorie di impatto: *Climate change, Stratospheric ozone depletion, Ionizing radiation, Ozone formation, human health, Fine particulate matter formation, Ozone formation, terrestrial ecosystems, Terrestrial acidification, Freshwater eutrophication, Marine eutrophication, Terrestrial ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity, Marine ecotoxicity, Human carcinogenic toxicity, Human non-carcinogenic toxicity, Land use, Mineral resource scarcity, Fossil resource scarcity, Water use.*

A livello di **endpoint**, la maggior parte di queste categorie di impatto sono moltiplicate per i fattori di danno e aggregate in 3 categorie di endpoint: Human health, Ecosystems, Resource scarcity.



Alcuni esempi di «metodi di impatto»

Metodo IPCC 2021

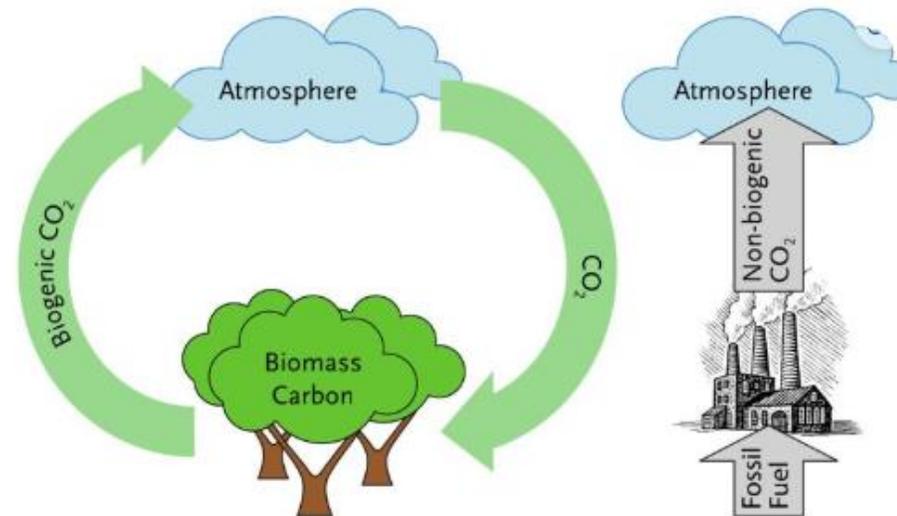
È un metodo a singola emissione che valuta il solo impatto legato al potenziale di riscaldamento globale (GWP – kg CO₂ eq).
Esso viene considerato nelle sue diverse componenti

GWP100 - fossil

GWP100 - land transformation

GWP100 - biogenic

GWP100 - CO₂ uptake



La CO₂ prodotta dalla combustione del legno viene detta “biogenica”, ossia di origine biologica. La combustione di combustibili fossili rilascia carbonio che è stato rinchiuso nel terreno per milioni di anni, mentre la combustione di biomassa emette carbonio che fa parte del ciclo del carbonio biogenico. La combustione della biomassa restituisce semplicemente all'atmosfera il carbonio che è stato assorbito durante la crescita delle piante.



4. Interpretazione del ciclo di vita

Fase finale della procedura LCA in cui i risultati di un LCI e LCIA sono discussi, riepilogati, secondo la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, come base per conclusioni, raccomandazioni e decisioni.

- L'interpretazione deve riflettere che i risultati dell'LCIA si basano su un approccio relativo, indicano potenziali effetti ambientali e che non prevedono gli impatti effettivi sulle finalità di categoria, il superamento delle soglie o i margini di sicurezza o i rischi.
- Le risultanze dell'interpretazione possono essere conclusioni e raccomandazioni indirizzate a chi deve prendere decisioni
- Deve essere comprensibile, completa e coerente
- Può generare un procedimento iterativo di riesame e revisione del campo di applicazione, della natura e qualità dei dati raccolti per conseguire l'obiettivo definito.



Fasi operative
dell'analisi dei risultati

1. **Identificazione** degli aspetti significativi
2. **Valutazione**, che si compone di:
 - controllo di completezza
 - controllo di sensibilità
 - controllo di consistenza
3. **Conclusioni** evidenziando i limiti dello studio e raccomandazioni



4. Interpretazione del ciclo di vita

Step procedurali della valutazione

Danno informazioni sulla consistenza dei risultati, ossia come le procedure in termini di assunzioni, confini del sistema, struttura del modello di inventario, la combinazione di fonti dei dati utilizzate e il metodo di impatto utilizzato. Ci si focalizza su come le varie fasi dell'LCA sono state messe insieme. In questa fase ci si deve chiedere se l'LCA è consistente e completa.

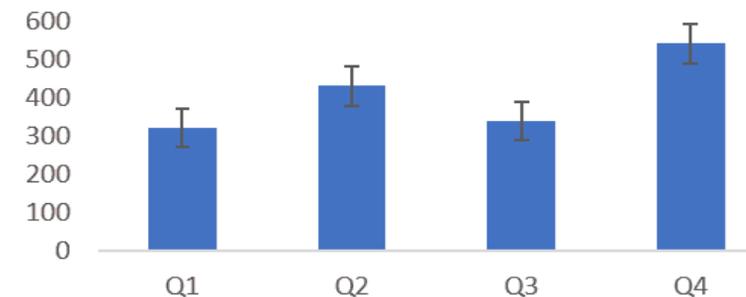
- **Controllo di consistenza:** permette di determinare se le assunzioni, i metodi e i dati sono coerenti con gli obiettivi e gli scopi fissati (Si sono utilizzati dati con diverso grado di accuratezza, diverso riferimento temporale o geografico?)
- **Controllo di completezza:** serve ad assicurare che tutte le informazioni rilevanti e i dati necessari per l'interpretazione siano disponibili e completi

Step numerici della valutazione

La revisione degli step numerici dà informazioni su quanto robusti siano i risultati. Per ricavare queste informazioni si fa un'analisi di sensibilità che include **l'analisi di incertezza**.



studio sistematico della propagazione delle incertezze degli input nei risultati. Utilizzando un software per condurre l'LCA ad ogni parametro utilizzato è associata un'incertezza. Utilizzando la simulazione Montecarlo si ottiene una densità di probabilità per ogni risultato di impatto. L'analisi di incertezza ci dice qual è la deviazione standard associata al risultato (range di variazione del risultato).



4. Interpretazione del ciclo di vita

Analisi di sensitività

Una volta individuati gli hotspots, ossia i processi che contribuiscono maggiormente all'impatto totale, si può pensare di valutare possibili scenari alternativi per tali processi per vedere l'effetto sul risultato.

Es. bottiglia in PET vergine

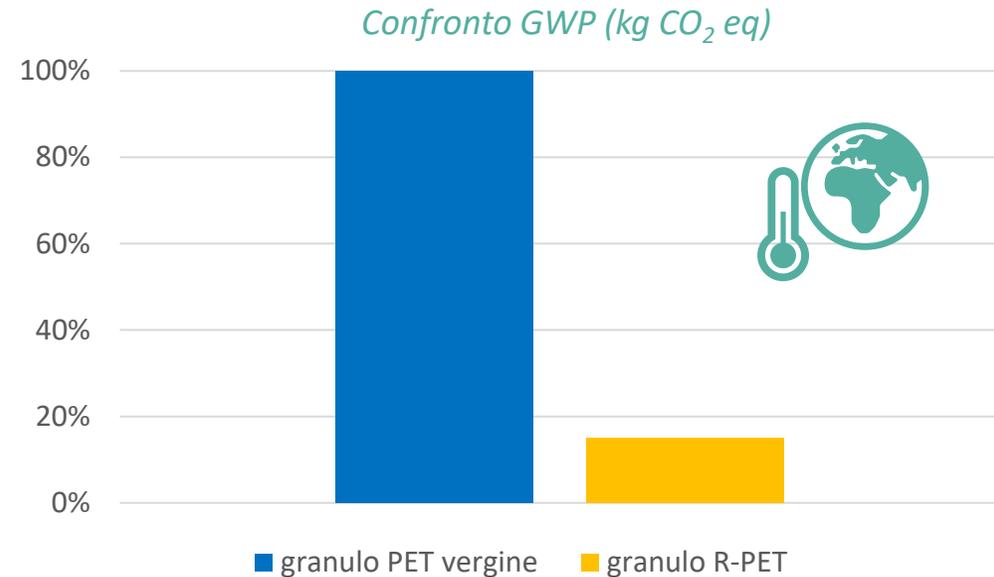
Il contributo maggiore all'impatto totale è dato dal PET di cui la bottiglia è costituita



Valuto l'utilizzo di una quota di PET riciclato



Valuto un materiale differente (es. vetro)



Il riesame critico

- E' una tecnica per **verificare se uno studio di LCA soddisfa i requisiti** per ciò che concerne la metodologia, i dati, l'interpretazione e la comunicazione e se sia coerente con i principi.
- Serve a garantire la qualità dello studio e aumentarne **l'affidabilità**.
- Possono essere svolti da parte di un **esperto interno o esterno**, o da un comitato di parti interessate. Devono conoscere i requisiti dell'LCA e avere le necessarie competenze scientifiche e analitiche
- Accordi di **riservatezza** sul contenuto dell'LCA dovrebbero essere introdotti a seconda delle necessità
- Finalizzato a **verificare**:
 - Metodi usati coerenti con norma ISO
 - Metodi scientificamente e tecnicamente validi
 - Dati utilizzati appropriati e ragionevoli
 - Interpretazioni eseguite nel rispetto di limiti e obiettivo
 - Relazione trasparente e consistente anche come tipo e formato
- Nella fase di definizione dell'ambito di applicazione occorre **descrivere**:
 - Se occorre sottoporre lo studio a revisione critica
 - La tipologia di revisione critica necessaria
 - Chi condurrà la revisione e il livello di esperienza necessario



Il software Simapro

SimaPro è uno dei più diffusi software per condurre analisi di LCA.

Il software è costituito da due componenti principali:

- ✓ un **database per la fase di inventario** (costituito dai processi e dagli inputs ed outputs associati ai processi)
- ✓ un **database per l'analisi dell'impatto ambientale**, contenente i metodi di calcolo dell'impatto.



→ ESERCITAZIONI



Grazie per l'attenzione



roberta.stefanini@unipr.it

0521 905850

Ricercatrice RTDA presso Università di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Palazzina 7 – Sede scientifica («cubi»)



Domande di ripasso

1. Quali sono i vantaggi nel condurre un'analisi LCA?
2. A quali SDGs può contribuire un'analisi LCA? Perché?
3. Quali sono le due normative di riferimento dell'analisi LCA? In cosa si differenziano?
4. Cosa significa che l'LCA calcola impatti ambientali potenziali?
5. Quali sono le 4 fasi per condurre un'analisi LCA?
6. Cosa bisogna analizzare in «definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione?»
7. Cosa comporta l'analisi di inventario?
8. In cosa consiste la valutazione dell'impatto ambientale?
9. In quali di queste fasi Simapro può dare supporto?
10. Qual è la differenza tra classificazione e caratterizzazione?
11. Esiste solo la metodologia di calcolo EPD 2018?
12. Quando è necessario fare un riesame critico?

