

# **Il metodo LCA**

## **(Life Cycle Analysis – analisi del ciclo di vita)**

### **Sommario**

Il metodo LCA è una procedura standardizzata che permette di registrare, quantificare e valutare i danni ambientali connessi con un prodotto, una procedura o un servizio, all'interno di un contesto ben preciso, che deve essere definito a priori. Questo studio può essere inteso come "integrale", in quanto considera anche tutti i passaggi precedenti e seguenti la procedura in esame (Striegel, 2000). La struttura di LCA viene descritta nella normativa DIN/ISO 14040 (e seguenti). Per prima cosa, è necessario definire l'obiettivo e l'ambito dell'indagine; successivamente, bisogna costruire la cosiddetta "analisi dell'inventario": in questa fase vengono annotati (secondo regole ben precise) i flussi di materiale ed energia dei diversi passaggi del procedimento in esame, in relazione ad una grandezza che tiene conto dei benefici (unità di beneficio). In un terzo passaggio, dopo aver completato tutti i bilanci, è possibile iniziare la valutazione dell'impatto ambientale: tale stima serve per identificare e quantificare i potenziali effetti ambientali dei sistemi analizzati e fornisce informazioni essenziali per le interpretazioni successive, che vengono realizzate nel quarto passaggio. A questo punto, i risultati dei bilanci di massa ed energia e la valutazione del rischio vengono riassunti, discussi e valutati in relazione all'obiettivo precedentemente fissato. Per ottenere delle risposte alla domanda posta inizialmente, possono comunque essere presi in considerazione altri contributi (raccomandazioni circa il modo di procedere o altre decisioni), che vanno oltre il puro risultato ottenuto. Lo stesso vale per elementi soggettivi come i principi morali, la realizzabilità tecnica, nonché gli aspetti socio-politici ed economici.

### **Introduzione**

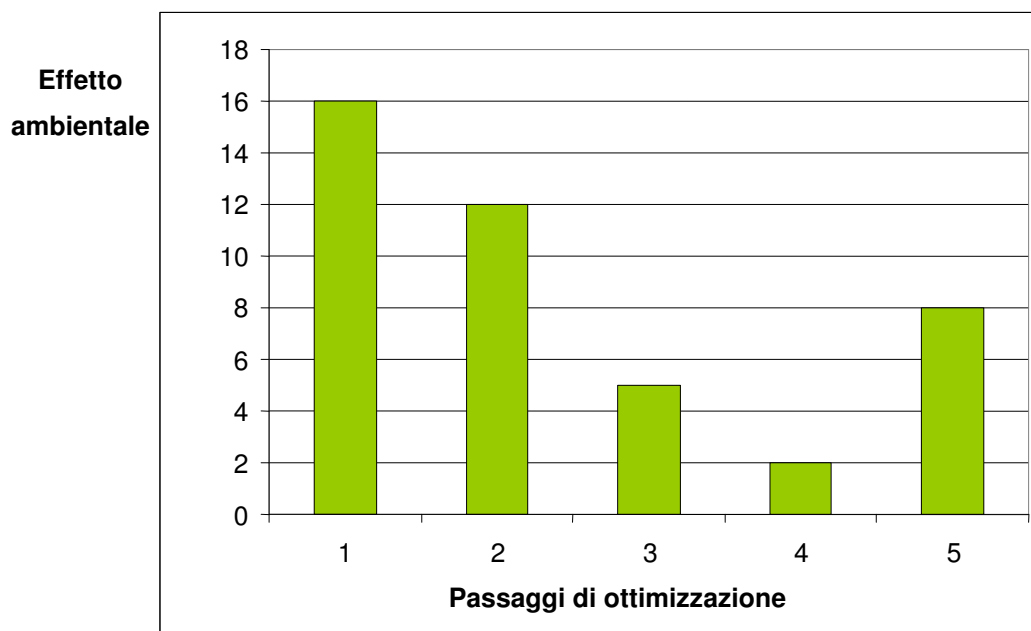
Il metodo scientifico dell'analisi del ciclo di vita (LCA) consente di quantificare i danni ambientali causati da prodotti, procedure o servizi. "Tale procedura serve per la comparazione degli effetti ambientali di due o più prodotti diversi, di gruppi di prodotti, di sistemi, di procedure o di comportamenti, aiuta nell'individuazione dei punti deboli e nel miglioramento delle proprietà ambientali dei prodotti, nel confronto tra diverse modalità di comportamento, nonché fornisce le motivazioni alla base di svariate raccomandazioni che vengono normalmente fatte" (Agenzia Ambientale Tedesca - German Federal Environment Agency, 1992). In origine, lo strumento LCA è stato sviluppato con lo scopo di determinare la durata massima della vita di un prodotto. I primi sistemi di analisi comparativa di prodotti

– soprattutto dei contenitori per le bevande – hanno fatto il loro debutto attorno agli anni ‘70 negli Stati Uniti e in Germania; tematiche come le materie prime, la richiesta di energia, il problema delle emissioni e lo smaltimento dei rifiuti erano già allora molto importanti e sono state quindi introdotte all’interno del bilancio complessivo. A quel tempo, erano già stati intrapresi i primi passi per valutare determinati flussi di materiale con un occhio di riguardo ai loro effetti ambientali: il profondo significato di queste procedure, tuttavia, non è stato subito colto e non c’è stato alcuno sviluppo in questo senso prima degli anni ‘80 (German Federal Environment Agency, 1996). Dopo anni di progressi, dal 1997 è disponibile un protocollo molto dettagliato e largamente riconosciuto per LCA (ISO/EN/DIN 14040, 1997); allo stesso tempo, è stato raggiunto un ampio consenso circa la definizione precisa delle parti individuali del metodo (ad esempio: la definizione dell’obiettivo e dell’estensione del bilancio, così come l’analisi dell’inventario) grazie a notevoli sforzi volti alla standardizzazione a livello internazionale (ISO/EN/DIN 14041, 1998). Altre parti, come la stima dell’impatto (ISO/EN/DIN 14042, 2000) o la valutazione (ISO/EN/DIS 14043, 2000), invece, sono tuttora al centro di numerose discussioni.

Il metodo LCA può essere usato, almeno in linea di principio, per svariati processi e non solo per i prodotti di una certa reazione (Burgess e Brennan, 2001, Curran, M.A. 2000), anche se in questo settore non c’è alcuna linea-guida standardizzata. Le diverse sezioni di LCA sono discusse in dettaglio nei seguenti capitoli (cfr. Figura 2). Prima, in ogni caso, viene fornito un rapido accenno all’idea generale che anima l’intero metodo.

## **Considerazione generale**

L’idea di base del metodo LCA è la registrazione di tutti i flussi di materiale ed energia connessi con un prodotto, un processo o un servizio. L’intera vita di un composto o di un sistema viene considerata “dalla culla fino alla tomba”. Questo significa che non vengono presi in considerazione solo gli effetti ambientali a livello dell’impianto di produzione, bensì l’intero processo che porta ad un prodotto, a partire dall’approvvigionamento delle materie prime, fino allo smaltimento, passando attraverso l’utilizzo e il consumo. Questo approccio di tipo estensivo è molto importante in quanto, se si considerasse un panorama troppo ristretto, si potrebbe arrivare a delle conclusioni distorte a proposito di vantaggi o svantaggi; in questo modo, invece, è possibile spingere l’ottimizzazione fino a raggiungere il reale minimo scientifico del soggetto dell’indagine. Questa riflessione viene illustrata (nell’ambito delle reazioni chimiche) dal grafico a pagina seguente e dalla relativa spiegazione.



**Figura 1: Danni ambientali di una reazione con/senza ottimizzazione**

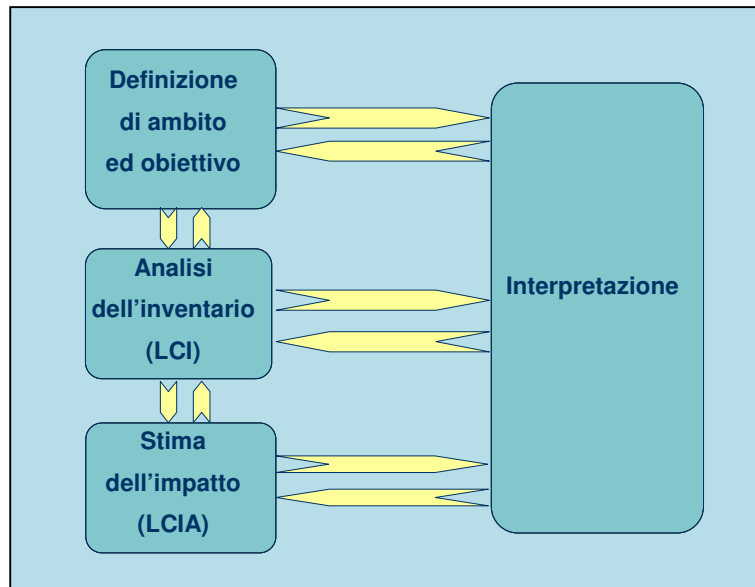
*L'impatto ambientale di una reazione è riassunto in colonna 1. Se il processo viene considerato nella sua interezza (incluso i passaggi di produzione dei reagenti, dei materiali ausiliari e dell'energia) e il solvente viene sostituito nella fase di pianificazione della reazione (ad esempio: a causa dei danni che provoca sull'ambiente), allora è possibile raggiungere la condizione descritta in colonna 2. Ottimizzando tutti i possibili settori, si ottiene il minimo scientifico di questa reazione (colonna 3) e un'ulteriore riduzione dei suoi effetti dannosi non può essere realizzata in alcun modo. Per raggiungere un livello ancora più basso (colonna 4), quindi, è necessario modificare la reazione alla radice: l'impiego di un catalizzatore o la sostituzione di uno dei reagenti di partenza potrebbero essere due valide alternative in questo senso. A causa della sua complessità, il danno ambientale di una reazione deve sempre essere verificato in seguito all'ottimizzazione, in quanto è anche possibile andare incontro ad un aumento dei danni ambientali (colonna 5).*

## Il metodo

Come già sottolineato, la struttura e le richieste di LCA sono fissate nelle normative DIN/ISO 14040 –14043. In accordo con queste regolamentazioni, il metodo si divide in 4 parti:

- Definizione di ambito ed obiettivo
- Analisi dell'inventario
- Stima dell'impatto
- Interpretazione

Di seguito questi quattro punti vengono analizzati in dettaglio.



**Figura 2: Componenti di LCA**

## **Definizione di ambito ed obiettivo**

La definizione di ambito ed obiettivo di uno studio LCA è un passaggio cruciale, in quanto è la fase in cui vengono prese le decisioni più importanti. In accordo con le intenzioni e gli interessi specifici, viene definito il contesto dell'indagine e vengono fissate le richieste per le fasi successive. Questo aspetto potrebbe riguardare il livello di approfondimento dello studio, la qualità dei dati richiesta, la selezione dei parametri per la realizzazione della stima dell'impatto ambientale e le possibili interpretazioni all'interno del contesto della valutazione; il risultato nasce dai processi iterativi di LCA. Tra le altre cose, bisogna decidere se (ed eventualmente come) una commissione di esperti debba stendere un resoconto esterno (un'indagine critica), come richiesto dalla normativa ISO 14040, utile per la realizzazione di studi comparativi aperti al pubblico.

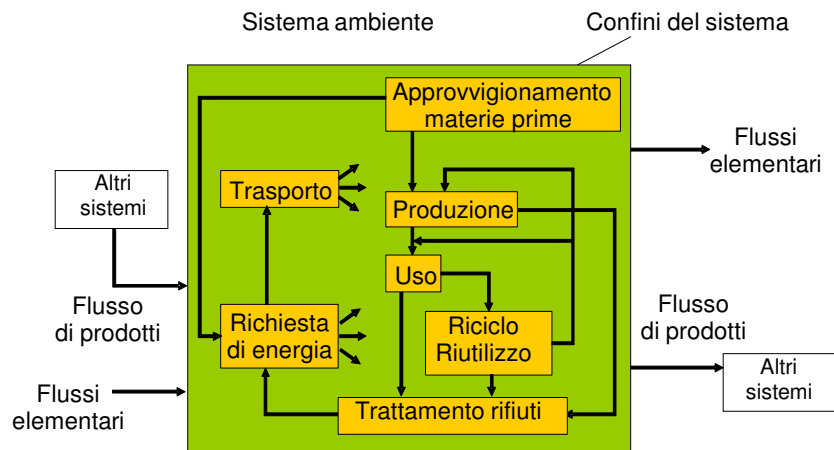
### **Definizione dell'obiettivo**

I fini concreti e gli interessi specifici di uno studio LCA devono essere fissati durante la fase di definizione dell'obiettivo; allo stesso modo, anche i gruppi a cui è indirizzata l'indagine devono essere indicati chiaramente. Se necessario, bisognerebbe sottolineare quale sia il ruolo di LCA all'atto di prendere una decisione ed, eventualmente, se questa indagine sia collegata o meno ad altre (ad esempio: di taglio economico, tecnologico o sociale). All'atto di rendere noti i risultati, inoltre, è molto importante sottolineare quali siano le domande per le quali LCA è adatto e quali non lo siano.

### **Definire i confini del sistema**

I confini del sistema devono essere definiti in accordo con quelli che sono gli obiettivi di LCA. Innanzitutto, è necessario vagliare attentamente i mezzi utilizzabili, il contesto

temporale e la disponibilità (o meno) di tutti i dati necessari; entrando più nel dettaglio, bisogna determinare tutti gli aspetti temporali, spaziali, pratici e tecnici (cioè la scala del bilancio) relativi allo studio. I confini del sistema costituiscono l'interfaccia con l'ambiente e con gli altri sistemi di prodotti; essi definiscono anche quali procedure vadano incluse e quali escluse dall'indagine. Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati, è necessario determinarne la scala, il tipo (specifico, medio) e la qualità.



**Figura 3: Illustrazione idealizzata del sistema di un certo prodotto per LCA**

Emergono due problemi quando si stabilisce l'estensione del bilancio; per prima cosa, è necessario definire i criteri limite e le procedure di allocazione dei prodotti accoppiati (cioè coinvolti in più fasi dell'analisi) per ciascuno dei singoli processi considerati nel bilancio. Bisogna, inoltre, determinare le funzioni dei sistemi esaminati, nonché le loro unità funzionali: in relazione a questi aspetti, sono state documentate differenze e possibili restrizioni nel caso della comparazione di alcuni sistemi.

### **Criteri limite**

Allo scopo di ridurre l'estensione e la complessità dell'indagine entro limiti ragionevoli, la portata del bilancio deve essere discussa e fissata sulla base di dati aderenti al problema. Con l'aiuto delle analisi di sensibilità e dei criteri di prestazione, inoltre, è possibile determinare se un flusso di materiale possa (o meno) essere limitato. Tra gli altri, possono essere considerati i seguenti criteri.

#### *Criterio di massa*

Solo nel caso in cui il bilancio di massa del flusso di un materiale cada al di sotto di una certa soglia minima (stabilita a priori) sia in entrata, che in uscita rispetto al sistema, allora è possibile trascurare gli aspetti relativi alla produzione di tale materiale.

### *Critério energetico*

In maniera analoga, gli aspetti relativi ad un certo materiale possono essere trascurati solo qualora il suo contributo all'energia totale (ottenuta sommando le quote di tutti i materiali) cada al di sotto di una certa soglia (stabilita a priori).

### **Procedura di allocazione**

Se si dovessero presentare produzioni accoppiate nel sistema esaminato, sarebbe necessario applicare una ripartizione; le produzioni accoppiate sono processi che, insieme al prodotto desiderato, generano anche sostanze secondarie che possono essere impiegate in altre procedure. Gli effetti ambientali causati da procedimenti di questo genere devono essere ripartiti (in maniera proporzionale) a tutti i prodotti accoppiati presenti nel sistema in esame, secondo regole ben precise. I rifiuti non devono essere considerati tra i prodotti accoppiati.

- Se possibile, sarebbe meglio evitare le ripartizioni.
- Nel caso fosse impossibile evitare le ripartizioni, i flussi in entrata e in uscita rispetto al sistema dovrebbero essere assegnati ai diversi prodotti accoppiati secondo una ripartizione che rifletta le relazioni fisiche di base. La ripartizione non deve essere necessariamente basata sul criterio di massa.
- Se le relazioni fisiche non fossero applicabili, oppure insufficienti, la ripartizione potrebbe essere applicata sulla base di altre relazioni, ad esempio di natura economica. Nel caso in cui fossero possibili diverse tipologie di ripartizioni, sarebbe opportuno condurre un'analisi di sensibilità.

### **Benefici e unità funzionali**

I benefici (o le funzioni) dei sistemi di prodotti analizzati devono essere determinati chiaramente. Per quantificare un certo beneficio, è necessario definire un'unità funzionale (ad esempio: una tonnellata di prodotto), che serva da riferimento per tutti i flussi in entrata e in uscita rispetto al sistema e per i potenziali effetti ambientali. Comparando tra loro differenti prodotti o procedure, risulta di particolare importanza che il criterio dell'equivalenza funzionale (le proprietà e le funzioni dei prodotti devono essere simili; ad esempio: contenitori di bevande da 1 L) sia valido per i sistemi analizzati: solo in queste condizioni, infatti, è possibile tracciare un paragone! Le differenze negli effetti ambientali riscontrabili a livello di sistemi alternativi possono essere attribuite ai prodotti o alle procedure in esame, solo qualora le funzioni dei sistemi analizzati siano equivalenti.

### **Analisi dell'inventario**

Nell'analisi dell'inventario, i flussi di materiale ed energia vengono annotati minuziosamente, prendendo in considerazione l'intera vita del prodotto in esame. In un primo momento, vengono modellate le strutture del processo complessivo, così da avere un supporto per assemblare tutti i dati. I flussi di materiale ed energia vengono quindi determinati sulla base delle entrate e delle uscite di ciascun processo parziale, in relazione ai confini del sistema. Successivamente, connettendo tra loro i vari passaggi analizzati, si riesce a simulare la rete di connessioni che intercorrono tra i moduli e l'ambiente: in questo modo si possono tracciare i bilanci di massa e di energia, che diventano l'inventario vero e proprio

del sistema complessivo. Per finire, tutti i flussi di materiale ed energia che passano i confini precedentemente fissati vengono annotati quantitativamente (come unità di misura si usano quelle normalmente impiegate in fisica), facendo sempre riferimento all'unità funzionale.

### **Stima dell'impatto ambientale**

L'obiettivo della stima dell'impatto ambientale è la valutazione (secondo precisi parametri ambientali) dei flussi di materiale e di energia calcolati durante l'analisi dell'inventario: tale stima, quindi, serve per riconoscere, riassumere e quantificare i possibili effetti ambientali dei sistemi esaminati, nonché per fornire informazioni essenziali intese alla loro valutazione.

Diverse commissioni lavorano ancora oggi sullo sviluppo di questo metodo; un primo riconoscimento internazionale può essere trovato nella normativa ISO DIN 14042, in accoglimento delle raccomandazioni SETAC (1993). I singoli passaggi della valutazione dell'impatto (ad esempio: la definizione delle categorie di impatto, la classificazione e la caratterizzazione) sono riportati di seguito.

Nel contesto della "Classificazione", i flussi di materiale ed energia, esaminati nell'analisi dell'inventario, vengono assegnati alle categorie ambientali (assimilabili a veri e propri effetti ambientali), che sono state fissate in precedenza. In LCA vengono normalmente impiegate le seguenti categorie di impatto:

- Riscaldamento globale (GWP)
- Riduzione dell'ozono presente nella stratosfera (ODP)
- Formazione fotochimica dell'ozono nella troposfera (POCP)
- Eutrofizzazione (NP)
- Acidificazione (AP)
- Tossicità per l'uomo (HTP)
- Eco-tossicità (ETP)
- Utilizzo del territorio

Le categorie di impatto descrivono i potenziali effetti sull'uomo e sull'ambiente; tra le altre cose, esse differiscono in relazione alla loro collocazione spaziale (effetti globali, regionali e locali). In linea di principio, ciascun effetto ambientale potrebbe essere incluso all'interno di un'indagine, a patto che i dati necessari all'analisi e un modello adatto per la descrizione e parametrizzazione dell'effetto stesso siano disponibili. Per finire, occorre ricordare che un flusso di materiale può essere assegnato a diversi effetti ambientali.

Nella fase di "Caratterizzazione", vengono quantificate le porzioni precedentemente assegnate: con l'aiuto dei fattori di equivalenza, infatti, i differenti contributi dei materiali vengono aggregati in un determinato effetto ambientale e rapportati ad una sostanza (presa come riferimento). I flussi registrati nell'analisi dell'inventario vengono moltiplicati per i rispettivi fattori di equivalenza e sommati tra loro: il potenziale d'impatto così determinato rappresenta la misura di un possibile danno ambientale (NB: i valori dei differenti potenziali d'impatto non sono direttamente confrontabili tra loro).

Durante la “Standardizzazione”, il potenziale d’impatto determinato viene messo in relazione con un valore di riferimento all’interno della stessa area. Non viene condotta alcuna aggregazione delle categorie d’impatto in uno (o più) indici riassuntivi; la valutazione dei singoli criteri può quindi essere condotta esclusivamente sulla base di parametri individuali (marginali), che spesso non possono essere tradotti in un linguaggio scientifico.

## **Interpretazione**

L’obiettivo della fase di interpretazione è l’analisi dei risultati ottenuti, nonché la spiegazione del significato che essi assumono e delle restrizioni che pongono. I fatti essenziali, basati sui risultati dell’analisi dell’inventario e sulla stima dell’impatto ambientale, devono essere determinati e verificati in merito alla loro completezza, sensibilità e consistenza. Le assunzioni fatte nella fase di definizione dell’obiettivo e dell’ambito dell’analisi devono essere richiamate in questo passaggio: solo sulla base di questi presupposti, infatti, è possibile trarre delle conclusioni e fornire delle raccomandazioni.

## **Bibliografia**

Striegel, G. (2000). *Entwicklung von Methodenbausteinen für die Ökobilanzierung technischer Verfahren am Beispiel von zwei Fallstudien*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Technische Chemie und Umweltchemie, Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät.

Umweltbundesamt. (1992). *Ökobilanzen für Produkte, Bedeutung Sachstand–Perspektiven*. Berlin: Umweltbundesamt.

Umweltbundesamt. (1995). *Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen – Wirkungsbilanz und Bewertung*. Berlin: Umweltbundesamt.

ISO/EN/DIN 14040. (1997). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen*.

ISO/EN/DIN 14041. (1998). *Umweltmanagement, Produkt-Ökobilanz, Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz*.

ISO/EN/DIN 14042. (2000). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Wirkungsabschätzung*.

ISO/EN/DIS 14043. (2000). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Auswertung*.

Burgess, A.A. und Brennan, D.J. (2001). *Application of life cycle assessment to chemical processes*. *Chemical Engineering Science*, 56(2001), 2589-2604.

Curran, M.A. (2000). *Life Cycle Assessment: An International Experience*. *Environmental Progress*, 19(2), 65-71.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC): *Guidelines for Life-Cycle Assessment, A "Code of Practice"*; SETAC Workshop in Sesimbra 31.03.-03.04.1993, Brüssel, 1993