

**LA METODOLOGIA
DELL'ANALISI DEL
CICLO DI VITA
(Life Cycle Assessment)**

Silvano Falocco



INDICE

1. L'origine dell'LCA	3
2. Le esperienze in corso	5
3. Le fasi della valutazione del ciclo di vita (LCA)	11
4 Definizione degli obiettivi (Goal definition and scoping)	12
5. Realizzazione dell'inventario (Inventory)	18
6. Analisi e interpretazione degli impatti sull'ambiente (LCIA - Life Cycle Impact Analysis)	29
7. Le proposte di miglioramento (Improvement assessment)	32
8. La pubblicazione dei risultati dell'LCA	32
9. Limiti dell'ecobilancio	33
10. Conclusioni	34
Glossario	37

L'ANALISI DEL CICLO DI VITA

1. L'origine dell'LCA

Nel corso degli ultimi venti anni gli strumenti di gestione dell'ambiente a disposizione delle industrie sono diventati sempre più raffinati. La consapevolezza dell'integrazione tra la biosfera e la tecnosfera è aumentata considerevolmente e, a partire dalla conferenza patrocinata dall'Università di Tokyo nel 1988, è stata introdotta la nozione di "metabolismo industriale", per ricordare che il sistema industriale dipende anch'esso dall'ingestione di materie prime estratte dall'ambiente, quindi trasportate, trasformate e successivamente scartate.

Alcuni studiosi hanno parlato a più riprese della necessità di ricostruire la "storia naturale" delle merci, ovvero la quantità di materie prime, acqua, energia, scarti, materiali ed emissioni che ognuna di esse porta con sé. Infatti solo una "contabilità" fisica degli aspetti ambientali associati ai beni, ai processi ed ai servizi permette di ridurre gli impatti.

La valutazione del ciclo di vita (LCA-Life Cycle Assessment), conosciuta anche come "ecobilancio", ma sarà l'ultima volta che questo termine verrà utilizzato in modo improprio, è lo strumento principale della contabilità ambientale analitica.

Anche il legislatore sembra essersi accorto della sua importanza. *Attualmente l'utilizzo dei risultati dell'LCA viene espressamente richiamato dalla normativa europea sull'ecolabel e dalla direttiva europea sugli imballaggi nonché dal Decreto Legislativo sui rifiuti (Decreto Ronchi).*

Questo strumento, i cui predecessori sono stati l'analisi energetica e il Repa (Resource and Environmental Profile Analysis) sviluppato nel Midwest Research Institute, è nato verso la fine degli anni '70 anche per merito dei lavori pionieristici di Boustead e Sundström e, in seguito, dell'Öko-Institut di Friburgo e dell'istituto di ricerca tedesco IÖW (Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung GmbH). Per avere le prime formalizzazioni dell'LCA occorre attendere il lavoro dell'Empa (il laboratorio svizzero per i test e la ricerca sui materiali - Eidgenössischen Materialprüfungs und Forschungsanstalt) realizzato nel 1984 e il Pla (Product Line Analysis) elaborato negli stessi anni dall'Öko-Institut. E' del 1990, però, il primo convegno della Setac (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) sulla valutazione del ciclo di vita e di due anni più tardi è la fondazione dello Spold (Society for the Promotion of LCA Development).

Si tratta quindi di uno strumento d'analisi relativamente giovane ed è per questo che, attorno al suo corretto significato, esistono ancora dubbi, perplessità e fraintendimenti.

La Setac ha fornito sicuramente la migliore definizione di LCA: la Life Cycle Assessment rappresenta un “processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali connessi con un prodotto, un processo o un'attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia, dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente, per valutarne l'impatto ambientale e realizzare così le opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l'intero *ciclo di vita* del prodotto, processo o attività, che comprende l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il ri-uso, il riciclo e lo smaltimento finale.”

Definizione ripresa dall'Iso (International Standard Organization), nel documento ISO 14040, nel quale si sostiene che “l'LCA è un processo di valutazione degli aspetti ambientali associati ad un prodotto o ad un servizio” e “considera gli impatti ambientali lungo la durata del ciclo di vita del prodotto (dalla culla alla tomba) dall'acquisizione delle materie prime alla produzione, all'uso fino allo smaltimento”.

In sintesi, la valutazione del ciclo di vita è strutturata come una matrice input-output che, sulle righe, riporta tutti i fattori d'impatto sull'ambiente (quali le emissioni atmosferiche, le materie prime consumate, gli scarichi idrici, i rifiuti prodotti, etc.) e, sulle colonne, riporta tutte le fasi e sottofasi (estrazione e trasporto delle materie prime, produzione e trasporto dei prodotti intermedi, produzione, trasporto, distribuzione, uso, riuso e smaltimento del prodotto/servizio analizzato) che compongono il ciclo di vita.

Ogni cella di questa matrice mostra il contributo delle singole fasi alla formazione di un dato fattore d'impatto ambientale. In questo modo si evidenziano i “punti deboli” (le fasi con maggiore impatto) e i “punti forti”, da un punto di vista ambientale, del ciclo di vita.

Quando si effettua la valutazione del ciclo di vita occorre innanzitutto affrontarne gli aspetti metodologici. La possibilità di incorrere in equivoci terminologici è assai elevata in un settore di così recente istituzione.

Il rischio è che diversi soggetti, pubblici o privati, imprese, associazioni o autorità pubbliche, definiscano con gli stessi termini strumenti di analisi e di valutazione del tutto differenti.

Per superare queste difficoltà, nel 1993-1994, la Setac, il Csa (Canadian Standard Association) e l'Afnor (Association Francaise de Normalization) hanno redatto dei criteri guida nel campo della valutazione del ciclo di vita. Nel 1995 lo Spold ha iniziato un lavoro di definizione di un formato comune dei dati dell'ecobilancio.

Proprio a partire da questi documenti, l'Iso ha iniziato un lavoro, conclusosi all'inizio degli anni '80, che prevede la redazione di un set di raccomandazioni, la definizione degli standard metodologici della valutazione del ciclo di vita e l'elaborazione di linee guida sulla qualità dei dati utilizzati nell'LCA e sulle informazioni che devono essere contenute in un report.

L'ISO ha riconosciuto attraverso le norme della serie 14040 la validità del modello proposto dal SETAC definendo l'LCA come uno strumento per la **"compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata ed uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto"** tanto da raccomandare questo tipo di valutazione alle imprese che volessero dotarsi di un Sistema di Gestione Ambientale.

La serie ISO 14040 si completa, inoltre, con alcuni rapporti tecnici che costituiscono ottimi supporti per l'applicazione delle norme: l'ISO/TR 14049 riporta esempi di analisi dell'inventario secondo la ISO 14041, l'ISO/TR 14047 riporta esempi di valutazione degli impatti, mentre per l'interpretazione dei risultati l'ISO/TR 14048 definisce il formato dei dati per la presentazione dei risultati dello studio in maniera omogenea.

2. Le esperienze in corso

2.1 Le esperienze di LCA

Gli organismi internazionali certamente più impegnati per la diffusione delle pratiche dell'LCA sono l'UNEP, *United Nations Environment Programme* e il SETAC, *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*.

E' stato creato anche un *International Journal of Life Cycle Assessment* nel cui sito internet c'è uno spazio apposito, il *Global LCA Village*, che costituisce un forum on-line dove tutti gli attori impegnati in questo campo possono scambiarsi le esperienze in materia di LCA.

Esistono, inoltre, molte società di ricerca in tutto il mondo che si occupano di LCA sul proprio territorio nazionale allo scopo di far circolare le esperienze e le informazioni in materia: Australia, India, Giappone, Korea, USA, ecc.

La SPOLD è un'associazione di imprese a livello internazionale impegnate nella diffusione e sviluppo delle metodologie LCA come strumenti necessari per orientare verso lo sviluppo sostenibile le politiche aziendali.

Numerosissimi sono i siti internet esclusivamente dedicati all'informazione riguardo all'LCA e numerosi sono gli eventi, come seminari, workshop di formazione soprattutto sui software utilizzabili per compiere un LCA, organizzati dai diversi enti.

A livello europeo, per facilitare la diffusione dell'IPP presso le PMI, 45 esperti di Gran Bretagna, Germania, Italia, Spagna e Grecia hanno deciso di unire le proprie conoscenze nelle Tecnologie dell'Informazione e Comunicazione, nella Gestione, nel Marketing e nella Formazione in un progetto ambizioso: *eLCA*.

eLCA è un progetto intersettoriale che coinvolge Piccole e Medie Imprese (PMI), settore pubblico dell'informazione e Tecnologie dell'informazione e della Comunicazione (ICT).

È obiettivo principale del progetto la creazione di un sito web multilingue che fornirà, al tempo stesso, conoscenza in materia di IPP e strumenti software per la valutazione ambientale dei prodotti. Inoltre esso creerà opportunità commerciali per i fornitori di servizi verdi e società di consulenza, centri di analisi e di servizio, ecc.

In Italia il coordinatore del progetto è *l'Ente italiano per le Nuove tecnologie, L'Energia e l'Ambiente* (ENEA). Nell'ambito del progetto, l'ENEA analizza diversi casi studio su beni durevoli in collaborazione con partner industriali (IBM Italia, Merloni Elettrodomestici, ecc).

Un nuovo filone di attività, in fase di avvio, riguarda l'analisi del ciclo di vita di un prodotto di largo consumo della filiera legno-arredo.

In particolare l'attenzione sarà focalizzata sul mobile componibile; contatti sono stati già avviati con il distretto del mobile di Pesaro.

2.2 La situazione dell'ecolabel

L'Ecolabel è un'etichetta riportata direttamente sul prodotto e/o servizio per attestarne la rispondenza a specifici requisiti ambientali denominati [Criteri](#). I Criteri sono redatti dal Comitato dell'Unione Europea per il Marchio Ecologico (CUEME), su mandato della Commissione Europea, che con la partecipazione del Forum consultivo elabora un progetto dei criteri. Il progetto viene poi valutato dalla Commissione che ne verifica la corrispondenza con i requisiti del mandato e che demanda al Comitato di Regolamentazione l'approvazione.

L'etichetta è uno strumento affidabile e indipendente che valuta la qualità ecologica dei prodotti/servizi ed è rivolta direttamente al consumatore in quanto al

momento della spesa consente all'acquirente, pubblico o privato, di riconoscere facilmente tra i prodotti di largo consumo quelli con minore impatto ambientale.

L'etichetta ecologica è un attestato di eccellenza, pertanto viene concessa solo a quei prodotti che dimostrano di avere un ridotto impatto ambientale sulla base dei criteri ecologici e prestazionali messi a punto a livello europeo secondo la logica della valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA).

I criteri vengono revisionati e resi più restrittivi (in genere ogni 3/5 anni), quando se ne verifichi la necessità, in modo da premiare sempre l'eccellenza e favorire il miglioramento continuo della qualità ambientale dei prodotti.

Attualmente sono stati definiti i "criteri ecologici" di assegnazione del marchio europeo di 21 "gruppi di prodotti" per i quali è quindi possibile richiedere il marchio Ecolabel, e precisamente:

- Aspirapolvere
- Carta tessuto
- Detersivi per lavastoviglie
- Personal Computer
- Detersivi per lavatrice
- Ammendanti
- Detersivi multiuso per superfici e per sanitari
- Lavastoviglie
- Detersivi a mano per piatti
- Materassi
- Lampadine
- Computer portatili
- Carta da copia
- Pitture e Vernici per interno
- Lavatrici
- Prodotti Tessili
- Frigoriferi
- Calzature
- Materiali duri per pavimenti (Piastrille ed altro)
- Televisioni
- Strutture ricettive

Altri saranno certificabili a breve:

- carta stampata
- mobili
- pompe di calore
- saponi.

In seguito sono stati riportati i riferimenti della Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea (GUCE) dove è possibile trovare tutti i dettagli per ogni singolo prodotto, peraltro scaricabili dal sito di APAT (www.emas-ecolabel.it).

PRODOTTO	PUBBLICAZIONE SU G.U.C.E.
Ammendanti	<u>GUCE L 57/51 del 27/02/2001</u> <u>GUCE L 242/17 del 12/09/2001</u> <u>GUCE L 219/39 del 07/08/1998</u>
Aspirapolveri	<u>GUCE L 47/56 del 21/02/2003</u>
Calzature	<u>GUCE L 77/50 del 18/03/2002</u> <u>GUCE L 310/30 del 28/11/2001</u>
Carta copie	<u>GUCE L 237/6 del 04/09/2002</u>
Computer portatili	<u>GUCE L 242/11 del 12/09/2001</u> <u>GUCE L 167/38 del 27/10/1999</u>
Coperture dure per pavimenti	<u>GUCE L 94/13 del 11/04/2002</u>
Detersivi multiuso e per servizi sanitari	<u>GUCE L 189/25 del 11/07/2001</u>
Detersivi bucato	<u>GUCE L 76/25 del 22/03/2003</u> <u>GUCE L 187/52 del 20/07/1999</u>
Detersivi per lavastoviglie	<u>GUCE L 9/11 del 15/01/2003</u> <u>GUCE L 167/38 del 02/07/1999</u>
Detersivi per lavaggio piatti a mano	<u>GUCE L 214/30 del 08/08/2001</u>
Frigoriferi	<u>GUCE L 13/22 del 19/01/2000</u>
Lampadine	<u>GUCE L 242/44 del 10/09/ 2002</u>
Lavastoviglie	<u>GUCE L 242/23 del 12/09/ 2001</u> <u>GUCE L 139/21 del 23/05/ 2001</u> <u>GUCE L 216/12 del 04/08/1998</u>
Lavatrici	<u>GUCE L 89/16 del 5/04/2003</u> <u>GUCE L 16/74 del 21/01/2000</u>
Materassi	<u>GUCE L 236/10 del 03/09/2002</u> <u>GUCE L 302/31 del 12/11/1998</u>
Personal Computer	<u>GUCE L 242/4 del 12/09/2001</u> <u>GUCE L 70/46 del 17/03/1999</u>
Pitture e Vernici per interno	<u>GUCE L 214/43 del 8/08/2001</u> <u>GUCE L 5/77 del 9/01/1999</u> <u>GUCE L 236/4 del 4/09/2002</u>
Prodotti Tessili	<u>GUCE L 133/29 del 15/05/2002</u> <u>GUCE L 310/29 del 28/11/2001</u> <u>GUCE L 57/21 del 05/03/1999</u>
Strutture Ricettive	<u>GUCE 102/2003 del 24/4/2003</u>
Televisioni	<u>GUCE L 87/53 del 25/03/2002</u>
Tessuto carta	<u>GUCE L 195/62 del 19/07/2001</u> <u>GUCE L 142/10 del 29/05/2001</u>

In Europa sono state concesse finora oltre 120 licenze soprattutto nei gruppi di prodotto come vernici, tessili, carta, ammendamenti, detersivi, calzature.

In Italia sono state assegnate ad oggi 34 licenze relative a per un totale di circa 822 articoli facenti parti di 10 gruppi di prodotto. (Le licenze sono concesse ai produttori o importatori, ogni produttore può avere più licenze in base ai gruppi di prodotti cui appartengono quelli certificati).

Per qualsiasi informazioni è necessario consultare il sito dell' APAT:

<http://www.sinanet.apat.it/certificazioni/ecolabel.asp>

Es. di “criteri ecologici” per il Poliestere

Per la concessione del marchio devono essere rispettati i seguenti criteri:

Il contenuto di antimonio nelle fibre di poliestere < 260 ppm

La media annua delle emissioni in atmosfera di composti organici volatili durante la polimerizzazione del poliestere $< 1,2$ g/kg di resina di poliestere prodotta

2.3 Le esperienze LCA in campo edilizio

Altro settore che sta influenzando positivamente sullo sviluppo dell’LCA è proprio il settore delle costruzioni: per le grandi opere di ingegneria civile e per la realizzazione di importanti interventi infrastrutturali ed edili è stato verificato il potenziale dell’LCA nel fornire risposte a problemi quali:

- la progettazione ecologicamente integrata;
- la selezione dei materiali a minore impatto ambientale;
- l’individuazione del sistema corretto di gestione dei rifiuti;
- la scelta delle tecniche di uso efficiente dell’energia;
- la strategia di conservazione delle risorse idriche;
- la gestione del fine vita dei manufatti;
- identificazione delle tipologie di impianti di servizio a “basso consumo di risorse”.

Tra i progetti più rilevanti, su scala internazionale, in questa direzione vanno ricordati:

- il Sidney’s Olympic Stadium per i Giochi Olimpici del 2000;
- il Millennium Experience Dome di Greenwich – Londra;
- l’Emmeryville Resourceful Building Project

In Italia non si può invece prescindere da:

- i Giochi Olimpici Invernali del 2006 a Torino;
- la realizzazione dell’Environmental Park.

2.4 Le esperienze di ecodesign

Numerose sono le società di consulenza, in campo industriale e non, impegnate nella diffusione di strumenti per l’eco progettazione dei prodotti e nell’implementazione di linee guida per l’applicazione dell’eco-design.

La società dei designers statunitensi ha implementato un set di strumenti di *Business EcoDesign* per aiutare i progettisti ad aumentare la performance

ambientale dei loro prodotti, in maniera simile alla funzione degli “*Eco-Indicators 99*” utilizzati in Europa ed ideati dalla Pré, *Product Ecology Consultants*, in Olanda. Tale società ha inoltre creato un software *ad hoc*, basato sugli stessi indicatori, per calcolare il profilo ambientale di un prodotto durante il suo intero ciclo di vita (ECO-it). L’Eco-Indicatore di un materiale o di un processo è un semplice numero che indica il suo impatto ambientale, basato sui dati reperibili da un LCA. Più è alto il valore dell’indicatore, più è grande l’impatto ambientale.

L’RMIT, il centro di design dell’università di Melbourne (Australia), ha ideato *The EcoReDesign (ERD) Information Kit* una guida completa per massimizzare la competitività e contemporaneamente minimizzare gli impatti ambientali attraverso la progettazione.

Ci sono anche molte altre esperienze simili in tutto il mondo, soprattutto nel Nord Europa e negli Stati Uniti.

Grosse compagnie industriali statunitensi e non solo (ABB AutoMation, Action Truck Caps & Accessories, Adcorp Business Centre, ecc.) partecipano al programma *Eco-business program* lanciato dall’*Eco-Efficiency Centre*, nel 1999, allo scopo di ridurre la produzione dei rifiuti e incrementare la conservazione delle risorse da parte delle grandi industrie massimizzandone, contemporaneamente, i profitti. Si tratta di diffondere le giuste scelte in campo ambientale da parte dei grossi produttori.

L’università viennese di tecnologia (Technische Universitat Wien), ha fondato un centro di ricerca sull’eco-design creando una pagina web apposita dove si possono reperire le informazioni relative ai loro lavori in materia e partecipare ad un forum di discussione. Al tempo stesso, in collaborazione con l’Università La Sapienza di Roma ed altri partner internazionali, ha creato un servizio on-line, *ECODESIGN PILOT*, per fornire consigli utili alle imprese che volessero attuare questa strategia di produzione. Il *PILOT* fornisce istruzioni pratiche ai progettisti per incrementare l’efficienza ecologica dei prodotti.

Alcune società d’architettura sono impegnate nell’integrare l’aspetto ambientale nella progettazione e costruzione edilizia, puntando sull’utilizzo di materiali innovativi, sulla massimizzazione dell’efficienza energetica degli edifici, ecc. (Penner & Associates Interior Design).

In Italia la società Cappellini Design offre consulenza alle aziende nel campo dell’analisi e dello sviluppo di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale: Design e Re-design. Inoltre, è impegnata nella valutazione di gestione sostenibile delle risorse ambientali, di tecnologie di produzione e materiali compatibili con l’ambiente, nella definizione di strategie di Eco-design e nella misurazione del grado di disassemblabilità e riciclabilità dei prodotti.

Come esperienze pratiche ci sono alcune attività recenti significative nel campo della progettazione ecologica di cui riportiamo alcuni esempi:

Ford ha progettato un'automobile eco-efficiente, il Modello U. Tale auto, affermano i progettisti, è in grado di rigenerarsi continuamente senza danneggiare l'ambiente. Molti dei materiali usati, anziché derivare dal petrolio, sono "sostanze nutrienti biologiche", altri sono "sostanze nutrienti tecniche". Alcuni ingredienti naturali sono: pneumatici con riempitivi a base di mais, gommapiuma e resina a base di soia, lubrificante a base di semi di girasole. Inoltre per garantire il riutilizzo dei "nutrienti tecnici", la vettura è disegnata in modo da essere reintrodotta in una catena di disassemblaggio e smontata praticamente pezzo per pezzo.

Un'azienda tessile svizzera, la Rohner ha trovato alternative non tossiche alle sue tinte riducendo i costi di produzione del 20%.

Una *joint venture* tra la società di prodotti agricoli Cargill e l'azienda chimica Dow ha inventato un nuovo polimero a base di zuccheri di mais.

L'azienda tedesca Basf, leader mondiale nel settore della chimica, ha creato recentemente un nuovo tipo di nylon riciclabile all'infinito e assolutamente privo di qualsiasi sostanza tossica.

La Interface Flooring, società americana leader nel settore della tappezzeria industriale, ha creato una moquette per uffici completamente riciclabile.

3. Le fasi della valutazione del ciclo di vita (LCA)

Tutte le proposte di standard suddividono l'LCA in quattro-cinque *fasi di lavoro*.

Per comprendere *cos'è* una valutazione del ciclo di vita (LCA) è necessario descrivere sistematicamente il contenuto di ogni singola fase di lavoro, ricordando che tutto il processo di valutazione, e quindi anche la metodologia adottata, deve essere trasparente. Senza trasparenza non esiste LCA, e difficilmente ci sarà trasparenza senza l'indipendenza del valutatore.

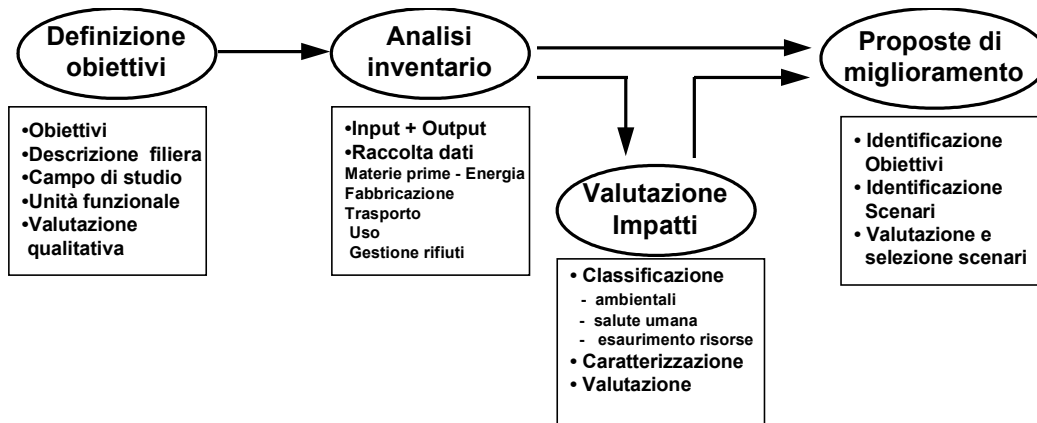
La valutazione del ciclo di vita è considerata valida se e soltanto se viene realizzata da *esperti indipendenti* rispetto all'azienda committente: è proprio l'assoluta indipendenza a fornire garanzie verso l'esterno circa la veridicità dei dati, la trasparenza e la correttezza dell'impostazione metodologica e dei risultati.

L'azienda, per verificare fin dall'inizio la correttezza dell'impostazione del lavoro può affiancare a questi esperti un peer review, che confronterà le varie fasi di lavoro con quanto previsto dagli standard internazionali.

Occorre quindi tornare sempre e comunque alla metodologia accettata, accreditata e validata a livello internazionali da organismi quali l'Iso o la Setac.

Adottando la ripartizione dello standard ISO l'LCA può essere ripartito in: a) definizione degli obiettivi (*goal definition and scoping*); b) inventario (*inventory*); c) valutazione degli impatti sull'ambiente (*classification and evaluation*); d) proposte di miglioramento (*improvement*).

Graficamente possiamo così indicare le relazioni esistenti tra le diverse fasi che costituiscono l'LCA.



Ogni singola fase di lavoro deve essere studiata ed analizzata per evidenziarne l'importanza e affrontarne i nodi concettuali.

4 Definizione degli obiettivi (goal definition and scoping)

La **prima fase** di lavoro riguarda la definizione degli obiettivi e degli scopi dell'LCA. Si tratta di una componente fondamentale, in quanto ogni valutazione del ciclo di vita ha senso solo in relazione agli obiettivi che intende raggiungere e all'oggetto che si prefigge di analizzare. Tale fase di lavoro, per essere compresa a fondo, deve essere a sua volta ripartita in quattro distinte sottofasi: A) definizione degli obiettivi e degli scopi; B) definizione e scelta dell'unità funzionale; C) delimitazione del campo di studio; D) esame della rappresentatività

A. Definizione degli obiettivi e degli scopi dell'LCA

Le domande iniziali a cui deve rispondere l’LCA che si vuol realizzare sono anche le più immediate: cosa si sta cercando ? come deve essere definito il problema ? quali obiettivi si intendono perseguire ? Quali sono i limiti temporali e geografici della valutazione ? Chi commissiona l’LCA e a quale target si rivolge ?

L’ISO 14040 afferma che “*l’obiettivo di un LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l’applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio*”.

La valutazione del ciclo di vita viene sempre realizzata in funzione di obiettivi ben determinati. La scelta di certe opzioni, determinanti ai fini della realizzazione dell’inventario, dipende dagli obiettivi che si vogliono perseguire. In generale si può affermare che gli scopi dell’LCA possono essere di tre tipi: *comparativi*, se si vogliono comparare prodotti o sistemi alternativi, *esplorativi*, se si intendono analizzare le performance ambientali di un prodotto, di un processo o di un servizio, *indicativi*, se permettono di ricavare indici per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali.

Gli obiettivi e gli scopi vanno definiti chiaramente anche per quel che riguarda le modalità di presentazione e di utilizzo dell’LCA, il livello di dettaglio dei dati e dell’analisi e soprattutto l’unità funzionale presa in considerazione per la valutazione.

Per chiarezza riportiamo una check-list che può aiutare alla comprensione di come deve essere articolare questa sotto-fase:

- a chi è rivolto lo studio: manager, personale, politici, esperti, consumatori, sindacati ?
- cosa dobbiamo comparare con l’LCA: due processi/prodotti/tecnologie alternative adottabili dalla nostra azienda o la nostra attività con un processo/prodotto adottato da un concorrente ?
- quale deve essere il grado di approfondimento dello studio, ovvero i ricavi devono essere raccolti sul campo o ricavati dalla letteratura ?
- quanti mesi durerà l’attività di LCA: due mesi o sei-dodici mesi ?
- quante risorse economiche abbiamo a disposizione per svolgere l’LCA ?

B. Definizione e scelta dell’unità funzionale

Tutti i flussi da e verso l’ambiente studiati mediante la valutazione del ciclo di vita (LCA), per poter essere calcolati, devono essere rapportati ad una certa unità, chiamata “unità funzionale” che deve essere comunque un’unità d’uso e di servizio, definita e misurabile. Per arrivare a definirla occorre chiarire

preliminarmente quali siano le funzioni studiate e con quale grado di precisione esse vengono definite.

L'ISO 14040 afferma che *“una unità funzionale costituisce una misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati di un LCA”*.

Si tratta di una fase di lavoro fondamentale che, se non eseguita correttamente, può arrivare ad inficiare i risultati, la valutazione e le proposte finali.

L'LCA viene sempre calcolato per un “servizio reso equivalente” (unità funzionale), che rappresenta l'unità a cui riferire le quantità che vengono prelevate e/o rilasciate nell'ambiente.

Tanto per comprendere la delicatezza della questione si può affermare (CML - Centrum voor Milieukunde Leiden) che, ad esempio, analizzando e valutando i materiali per l'imballaggio del latte, è irrilevante comparare direttamente una bottiglia di vetro con vuoto a rendere ed un cartone in tetrapack: il primo può essere usato 30-40 volte, la seconda invece solo una volta. Al contrario l'unità funzionale dell'LCA dovrebbe essere “l'imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte”, ovvero il servizio reso da un certo materiale in termini di imballaggio del latte.

Una volta definita l'unità funzionale, e prima di realizzare l'inventario, occorrerà conoscere le quantità di prodotto, di servizio e di attività corrispondenti all'unità funzionale; se l'unità funzionale prescelta per una LCA sull'imballaggio del latte fosse definita come *“l'imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte”*, sarà necessario conoscere con precisione la quantità di vetro e di tetrapack associate all'unità funzionale, e tutte le filiere ad esse collegate, nelle fasi che vanno dalla culla alla tomba.

Aver definito l'unità funzionale permette di poter misurare tutti i flussi associati all'UF: ad esempio, nel caso precedente, si tratterebbe di misurare quanta CO₂ o quanti rifiuti sono imputabili all'UF *“imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte”*.

Il pregio dell'unità funzionale è quello di permettere, anche in presenza di rilevanti mutamenti dei prodotti o dei processi che assolvono una determinata funzione, una perfetta comparabilità e valutazione ambientale delle alternative.

Anche il concetto di *filiera*, fondamentale in questo tipo di analisi, deve essere definito con precisione. Si tratta dell'insieme dei processi attivati durante il ciclo di vita dell'unità funzionale e comprende:

- la produzione dei materiali che costituiscono l'unità funzionale e dei prodotti intermedi utilizzati;
- la produzione degli impianti, macchinari, delle infrastrutture e delle materie prime energetiche necessari;
- la fase della produzione dell'unità funzionale a partire dai prodotti e dai materiali intermedi;
- il trasporto (trasporti intermedi, distribuzione ai clienti, trasporti verso i centri di eliminazione o di valorizzazione dei rifiuti);
- l'utilizzazione del prodotto;
- l'eliminazione/valorizzazione del prodotto alla fine della sua vita.

Una LCA teoricamente esaustiva dovrebbe includere tutte le fasi della produzione degli impianti, delle macchine, delle infrastrutture di trasporto, dei veicoli di trasporto, degli imballaggi intermedi, etc.

C. Delimitazione del campo di studio (confini del sistema)

In realtà è impossibile ottenere tutte le informazioni necessarie all'LCA per inventariare la totalità dei flussi: occorre quindi evidenziare e definire l'insieme dei sottosistemi di cui vengono studiati e calcolati i flussi, ovvero il "campo di studio".

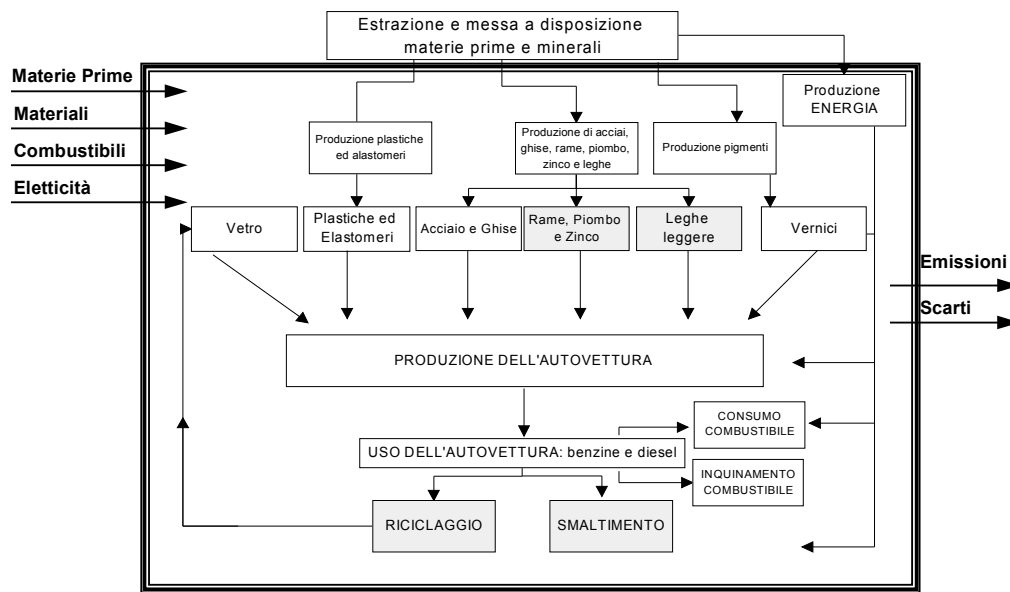
Ogni volta che si costruisce un bilancio, sia esso contabile o fisico, di un sistema è necessario stabilirne i confini; solo in tal modo possiamo contabilizzare i flussi in entrata (input) e i flussi in uscita (output) dal sistema. Questo passaggio viene definito come "*delimitazione del campo di studio*". In tal modo vengono evidenziate le fasi considerate e le fasi trascurate nel corso della ricerca.

Il campo di studio preso in considerazione deve essere rappresentato graficamente mediante flow-charts, considerando che all'esterno del confine del campo di studio vi possono essere sia prodotti, processi o servizi (dell'area della tecnosfera) che componenti ambientali (dell'area della biosfera) che non interferiscono in alcun modo con l'oggetto di studio.

L'ISO14040 afferma chiaramente che "i criteri adottati nello stabilire i confini del sistema devono essere identificati".

Se il confine del sistema avviene al termine del processo produttivo (“dalla culla allo stabilimento” - *from cradle to gate*) si è soliti parlare di *ecoprofilo*.

Di seguito riportiamo una modalità grafica per identificare la “delimitazione del campo di studio”.



Non è necessario solo definire le frontiere del sistema ma anche descrivere l’insieme delle operazioni che hanno luogo all’interno del sistema, mediante un flow chart dei processi.

Il sistema è suddiviso in un’insieme di sottosistemi ed ogni sottosistema rappresenta una fase o un’attività che si desidera selezionare, in virtù della disponibilità dei dati.

Il campo di studio (nell’LCA definito come “sistema”) deve includere un’insieme di sottosistemi ognuno dei quali rappresenta una fase o un’attività del processo di produzione che si intende analizzare, in base anche alla disponibilità dei dati. E’ tale disponibilità, a volte, a definire quali di essi vanno inclusi e quali esclusi.

Ovviamente farsi troppo guidare dalla disponibilità dei dati potrebbe non essere corretto: il campo di studio potrebbe essere solo una risultante delle informazioni presenti o mancanti. Al contrario un’analista di LCA deve conoscere la letteratura esistente sulle filiere teoricamente incluse nel campo di studio, per verificare poi la possibilità di adattare e di considerarle nel corso della ricerca, e deve essere in grado di costruire la raccolta dei dati altrimenti indisponibili.

Si tratta comunque di un esercizio delicato visto che la scelta delle fasi da trascurare dovrebbe essere compiuta, a rigor di logica, solo ex-post.

Per questo motivo la definizione del sistema di studio può essere rivista alla fine dell'inventario, visto che gli impatti ambientali di alcune fasi precedentemente trascurate possono dimostrarsi, alla luce dei fatti, rilevanti

D. Qualità dei dati

La valutazione del ciclo di vita richiede che i dati siano qualitativamente corretti. Occorre innanzitutto discutere la loro rappresentatività (tecnica, geografica, di mercato, temporale) in relazione ai prodotti, ai servizi, ai gruppi di prodotti o servizi, ai processi, ai siti o alle filiere studiate in rapporto al problema posto nella fase di esplicitazione degli obiettivi.

Ad esempio se si sta analizzando un'azienda italiana di raccolta e trattamento dei rifiuti, ma i dati sui processi di incenerimento riguardano tecnologie utilizzate in Francia e non in Italia, allora la valutazione potrebbe condurre a conclusioni sbagliate.

In secondo luogo si può evidenziare la possibile duplice origine dei dati inseriti ed utilizzati nella seconda fase di lavoro (quella denominata "ecobilancio"): questi possono essere reali oppure bibliografici.

Dati derivanti dai siti (dati reali)

La produzione dell'unità funzionale, generalmente, è il risultato di una produzione che avviene in diversi siti industriali e in diversi paesi; i dati reali sono raccolti direttamente presso i siti di produzione, del committente o dei suoi fornitori.

In qualche caso la questione può essere risolta ricordando che, per i problemi di localizzazione e di rappresentatività dei dati, possono essere adottati due semplici criteri:

- se si vuole realizzare un bilancio "italiano", si dovranno privilegiare i siti e i fornitori localizzati in Italia;
- se si vuole realizzare un bilancio che tiene conto degli scenari futuri, occorrerà considerare la dinamica dei processi e delle quote di mercato dei fornitori.

Dati bibliografici

Molte volte, non potendo avere a disposizione i dati misurati direttamente sui siti industriali, vengono utilizzati dati di origine bibliografica.

Essi si possono presentare in tre diverse forme :

- dati ricavati da un *ecobilancio "grezzo"*: in questo caso si dispone solo del risultato finale dell'inventario. Non esistendo dati parametrati, questi non possono essere né ricalcolati né adattati alla situazione che si sta analizzando;
- dati ricavati da un *ecobilancio documentato*: l'origine di tutte le informazioni è, in questo caso, riconosciuta e citata. In questo caso, che però si presenta assai raramente, i dati bibliografici possono essere adattati senza difficoltà;
- dati *bibliografici*: in questo caso i dati sono ricavabili da pubblicazioni.

Dato che l'acquisizione della metodologia degli ecobilanci è relativamente recente, quest'ultimo caso è quello più frequente: in questo caso tali dati permettono solo di realizzare l'inventario dei consumi di materia e energia.

La carenza di informazioni va in ogni caso evidenziata nel corso del lavoro al fine di poter completare, una volta che i dati reali sono disponibili, tale ecobilancio.

E' solo mediante l'acquisizione dei dati bibliografici che si riesce a risolvere il problema della mancanza di informazioni provenienti dai siti industriali: quando sarà possibile, dovranno però essere sostituiti da dati raccolti direttamente sui siti.

In ultimo, vista l'importanza fondamentale della trasparenza dei dati, si possono evidenziare quali caratteristiche devono presentare i dati assunti a base del calcolo per potere essere identificati correttamente; per ogni dato va riportata: la fonte (pubblicazioni ufficiali, ecobilanci bibliografici o fornitori singoli) l'anno, il livello tecnologico di riferimento, il luogo geografico di riferimento, la rappresentatività di mercato. Senza queste schede di identificazione è assai difficile comprendere se una LCA è corretta oppure no, se è adeguata agli obiettivi e allo scopo che ci si era prefissi.

Ad oggi esistono molte banche dati di LCA disponibili e tra queste vanno ricordate: I-LCA, E-LCA, Buwal, Boustead, APME

5. Realizzazione dell'inventario (Inventory)

La **seconda fase** di lavoro dell'LCA è costituita dalla realizzazione dell'inventario, ovvero all'ecobilancio in senso stretto.

La costruzione dell'inventario consiste nel tradurre in flussi elementari (ovvero in fattori d'impatto sull'ambiente: CO, NOx, Rifiuti, Acque di scarico, et.) tutti i flussi non elementari (ovvero tutti quei prodotti intermedi, l'energia, il trasporto, et. associati all'unità funzionale).

La traduzione di flussi non elementari in flussi elementari corrisponde allo studio dei sottosistemi associati all'unità funzionale: filiera dell'estrazione/acquisizione delle materie prime, filiera della produzione d'energia, filiera del trasporto, filiere delle materie plastiche e di metallo, filiere dei processi di eliminazione, di valorizzazione, etc.

In concreto l'inventario consiste nel raccogliere i dati relativi a tutti i prodotti o le attività intermedie sui siti produttivi inclusi nel "campo di studio".

Nel caso relativo "all'imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte" la traduzione da flussi non elementari a flussi elementari corrisponde, ad esempio, a trovare, per tutti i prodotti intermedi e le filiere coinvolte (cartone, alluminio, assemblaggio in tetrapak, inchiostro, trasporto, camion per il trasporto, scarto, trattamento tetrapak come rifiuto, et.) degli "ecobilanci intermedi" del tipo qui sotto riportato:

Tab.1 Ecobilancio Intermedio (da Flussi Non Elementari a Flussi Elementari)

Flussi Elementari - Input/Output	Unità	Flusso Elementare - Cartone
Fattori d'impatto sull'ambiente		
CO	g	
CO2	g	
NOx	g	
SOx	g	
COV	g	
BOD	g	
Rifiuti	g	
vari	g	
Effetti ambientali		
Effetto serra		
Piogge acide		
Consumo risorse naturali		
Distruzione ozono		

Questa trasformazione, per essere efficace, ovvero per permettere di arrivare ad effettuare il calcolo vero e proprio, necessita della definizione di alcune *ipotesi*, che vanno sempre specificate in modo dettagliato per garantire la trasparenza del lavoro. Ad esempio nel caso dell'LCA relativo "all'imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte", occorre stabilire un'ipotesi sul contenuto medio in litri del singolo contenitore.

Le ipotesi e il calcolo dei “flussi non elementari” rapportati all’unità funzionale vanno definire i *Coefficienti di Trasformazione*.

Cosa sono i coefficienti di trasformazione ? Sono quei numeri che, moltiplicati per il vettore dell’ecobilancio intermedio mi definiscono la colonna dei flussi associati ad una fase del ciclo di vita del prodotto:

$$FE_{FCV} = CT * EI$$

Facciamo un esempio prendendo il caso “imballaggio necessario per bere 1.000 litri di latte” e troviamo i coefficienti.

1 confezione tetrapak pesa 43 grammi: per l’unità funzionale servono 43.000 grammi (43 kg) di tetrapak

ogni confezione di tetrapak è composto da 32 grammi di cartone: UF richiede 32 kg di cartone

ogni confezione di tetrapak è composto da 9 grammi di polietilene: UF richiede 9 kg di polietilene

ogni confezione di tetrapak è composta da 2 grammi di alluminio: UF richiede 2 kg alluminio

l’inchiostro su un cartone è di 3 grammi: UF richiede 3 kg inchiostro

ogni pallet (che pesa 5 kg) porta 4 file da 40 confezioni di tetrapak (160 confezioni); ogni pallet viene scartato dopo 10 rotazioni; quindi ogni pallet da 5 kg di legno porta, nella sua vita, 1600 confezioni di tetrapak. Di conseguenza 1000 confezioni di tetrapak corrispondono a $(1000*5/1600) = 3,125$ kg legno

.....

Tab.2 Coefficienti di Trasformazione

Flussi Elementari - Input/Output	Unità	Flusso Elementare per Unità Funzionale “1000 litri latte imballato”
Fattori d’impatto sull’ambiente		
Cartone	kg	32
Polietilene	kg	9
Alluminio	kg	2
Legno	kg	3,125
Inchiostro	kg	3
.....		
.....		
....		

Se avessi a disposizione un foglio di ecobilancio intermedio (EI) relativo a 1 kg di cartone potrei ora moltiplicare questo vettore (che riporta i flussi elementari associati al kg di cartone: ovvero CO, NOx, CO2, et.) per il Coefficiente di

Trasformazione (CT) del cartone pari a 32. Otterrei in questo modo i flussi elementari associati al cartone associato in qualità di input alla produzione dell'Unità Funzionale "1000 litri di latte imballato".

Al termine della fase di raccolta dei dati questi vengono inseriti in un programma di calcolo (esistono decine di programmi per la LCA, tra i quali vanno ricordati il Team di Ecobilan, il SimaPro, il Boustead Model, l'Empa, l'Oko-Base II della Migros) che consente, in modo più o meno complicato, di associare all'unità funzionale prescelta i fattori d'impatto sull'ambiente registrati durante tutte le fasi del suo ciclo di vita.

Possiamo qui mostrare come si presenta, anche se approssimativamente, un foglio di ecobilancio (Tab.3); nella parte superiore viene riportata l'unità funzionale, appena più in basso troviamo le righe di descrizione (qualitativa e quantitativa) degli input associati all'unità funzionale (si tratta degli input la cui determinazione numerica dà luogo ai "coefficienti di trasformazione"), ancora più in basso troviamo le righe dei fattori d'impatto ambientale (gli output) associati a questa unità.

Tab. 3 Scheda di calcolo Input-Output dell'ecobilancio

INPUT/OUTPUT	Unità	Valore	Grado di Incertezza	Unità Funzionale = 100 km percorsi da una vettura
INPUTS				
rame	g			
piombo	g			
acciaio	g			
plastiche	g			
vetro	g			
vernici	g			
combustibile	g			
elettricità	g			
vari	g			
OUTPUTS				
CO	g			
CO2	g			
NOx	g			
SOx	g			
COV	g			
BOD	g			
Rifiuti	g			

Anche il calcolo applicato ai dati per ottenere l'inventario deve essere oggetto di verifica, anche se, nel corso degli ultimi anni, l'affidabilità dei programmi di calcolo è aumentata considerevolmente.

La fase dell'ecobilancio è sicuramente la più delicata della valutazione del ciclo di vita: è possibile valutare correttamente gli impatti sull'ambiente "dalla culla alla tomba" e proporre eventuali miglioramenti ambientali solo se l'impostazione di tale inventario è corretta. L'inventario è il cuore dell'LCA.

Per restare nell'esempio della vettura, gli impatti ambientali totali andranno suddivisi per le seguenti fasi del ciclo di vita: estrazione e trasporto materie prime, produzione e trasporto dei materiali, produzione della vettura, trasporto della vettura fino ai luoghi di vendita, uso della vettura e smaltimento finale della vettura dismessa (Tab.4) . E' chiaro che l'analista può ripartire le fasi del ciclo di vita fino al sottosistema più piccolo aumentando l'analiticità ma perdendo sicuramente in capacità descrittiva.

Riportiamo qui sotto come si presenta un foglio di calcolo dell'ecobilancio.

Tab.4 Matrice dell'ecobilancio - fattori di impatto ambientale/fasi del ciclo di vita

INPUT/ OUTPUT	Unità	Materie prime	Produzione e trasporto dei materiali	Produzione vettura	Trasporto vetture	Uso della vettura	Smalti mento vettura	Totale
Fattori d'impatto sull'ambiente								
CO	g							
CO2	g							
NOx	g							
SOx	g							
COV	g							
BOD	g							
Rifiuti vari	g							
Effetti ambientali								
Effetto serra								
Piogge acide								
Consumo risorse naturali								
Distruzione ozono								

Lo schema precedente rappresenta il profilo ambientale (l'impronta) associato all'unità funzionale studiata.

Alcuni necessari approfondimenti: Energia, rifiuti, trasporti ed effetti ambientali

L'energia contenuta nei processi produttivi

Nell'analisi del ciclo di vita è determinante il modo in cui viene trattato il tema dell'energia, ovvero stabilire il *carico energetico connesso ad un processo produttivo* o alla fornitura di un servizio.

In genere nelle analisi di LCA *l'energia cumulativa Et* che si prende in considerazione è quella data dalla somma di:

- energia diretta;
- energia indiretta;
- energia feedstock.

L'energia diretta Ec (delivered energy o energy content of fuel) rappresenta la quota di energia consumata per il funzionamento del processo.

L'energia indiretta Ep (production and delivered energy) comprende l'energia necessaria per produrre e trasportare l'energia e i materiali utilizzati nel processo.

L'energia feedstock Ef è invece definita come il contenuto energetico dei materiali input (potenzialmente combustibili ma non utilizzati come combustibili), eventualmente recuperabile dai prodotti in uscita.

$$Et \text{ Processo Produttivo} = Ec + Ep + Ef$$

Se parliamo di energia necessaria per produrre i combustibili, il discorso deve essere ancora un po' approfondito.

L'energia totale di un combustibile Et è uguale alla somma di energia indiretta Ep (energia spesa per rendere utilizzabile un combustibile) ed energia diretta Ec , che non è altro che l'energia diretta a disposizione dell'utente ovvero il suo potere calorifico, nel caso di combustibili solidi o liquidi, oppure l'equivalente meccanico del calore, nel caso di energia elettrica.

Potere calorifico

Il *potere calorifico inferiore PCI* è invece la quota di energia liberata sotto forma di calore quando il combustibile viene bruciato completamente con ossigeno e tutta l'acqua presente nei prodotti di combustione è raffreddata alla temperatura di 100° ma rimane allo stato gassoso.

Il *potere calorifico superiore PCS* o totale corrisponde alla quota di energia liberata sotto forma di calore quando il combustibile è completamente bruciato in ossigeno e tutta l'acqua prodotta al termine della combustione si trova nello stato liquido.

PCS (MJ/kg)

PCI (MJ/kg)

<i>Petrolio greggio</i>	45	42,7
<i>Coke</i>	32,6	30,9
<i>Antracite</i>	27,7	26,3
<i>Lignite</i>	11	10,5
In genere negli studi di LCA si utilizza il PCS.		

Et Energia = Ec + Ep

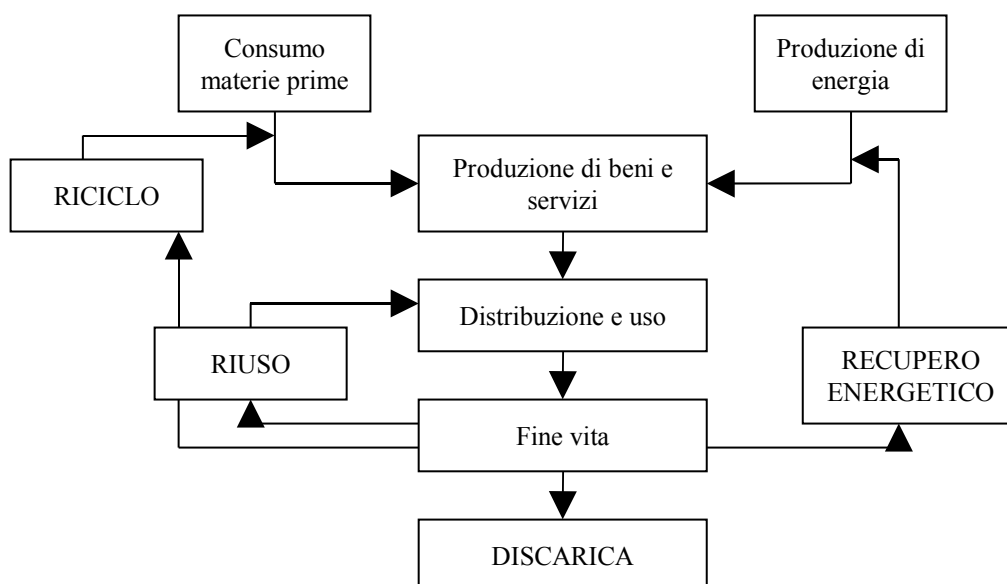
L'efficienza energetica di produzione di un combustibile è invece data da $E_c/(E_c+E_p)$ e quindi sarà inversamente proporzionale a E_p .

I rifiuti: riuso, riciclo e recupero

L'analisi del ciclo di vita LCA prende in considerazione anche la fase finale di trattamento dei rifiuti, ovvero:

- il riuso;
- il riciclo;
- il recupero energetico;
- la discarica controllata.

Tutte queste attività di trattamento finale possono essere considerati processi industriali a tutti gli effetti, con le relative conseguenze in termini energetici ed ambientali.



Un sistema di riciclo si definisce **riciclo chiuso o interno** quando il materiale da avviare al riciclo rientra in circolo nel medesimo processo che lo ha generato sostituendo i materiali vergini in ingresso (alla stessa stregua potrebbero essere trattati i prodotti riciclati a fine vita che vengono riciclati per ottenere lo stesso prodotto originario, come ad esempio le bottiglie d'acqua scartate dopo il consumo e poi riciclate per produrre di nuovo il vetro per le bottiglie d'acqua).

L'LCA confronterà

i benefici aggiuntivi

dei materiali vergini sostituiti;

dei consumi energetici e degli impatti ambientali connessi a quei materiali;

della messa in discarica degli scarti

con i costi aggiuntivi

dei consumi energetici e degli impatti ambientali associati al trattamento, alla movimentazione ed al trasporto degli scarti ricevono per rientrare in circolo

Un sistema di riciclo si definisce **riciclo aperto** quando il materiale scartato dalle linee di produzione o quello giunto a fine vita rientra in circolo in un processo diverso da quello originario.

A differenza del caso precedente, per la valutazione del sistema è ora però necessario confrontare almeno due processi produttivi (il primo è quello del prodotto scartato e poi riciclato, il secondo è quello del prodotto che viene sostituito con il prodotto riciclato).

Anche quando si prende in considerazione il **recupero energetico** (rifiuti utilizzati per la produzione di energia) occorre confrontare benefici e costi.

Tra i benefici vanno considerati i risparmi di risorse energetiche fossili e gli impatti ambientali alla loro "messa a disposizione".

Tra i costi vanno considerati la produzione di scarti e di emissioni in aria di sostanze inquinanti, l'energia spesa per il funzionamento dell'impianto e l'energia feedstock introdotta attraverso i rifiuti.

I trasporti

L'analisi del ciclo di vita LCA

Gli effetti ambientali

Nel prendere in considerazione gli effetti ambientali l'LCA fa riferimento ad alcuni di questi caratterizzanti le varie categorie di impatto.

Ciò significa che il software dell'LCA calcolerà automaticamente, sulla base dei valori degli impatti ambientali, gli effetti sull'ambiente presi in considerazione, sulla base di opportuni parametri stabiliti a livello internazionale.

Questi sono:

- effetto serra;
- assottigliamento della fascia d'ozono;
- acidificazione;
- eutrofizzazione;
- formazione di smog fotochimica;
- tossicità per l'uomo;
- consumo di risorse non rinnovabili.

Vediamone qualcuno di questi, analizzando le caratteristiche specifiche di ogni effetto ambientale preso in considerazione

Effetto serra

Si chiama "effetto serra" l'aumento della temperatura media dell'atmosfera dovuta all'aumento della concentrazione atmosferica media di diverse sostanze di origine antropica.

L'irradiazione solare viene riemessa dalla superficie della terra sotto forma di irradiazione infrarossa, che viene parzialmente assorbita dall'atmosfera.

Il bilancio radiativo determina la temperatura media del pianeta e permette che ci sia vita sulla terra. Lo squilibrio ecologico proviene dunque non dall'esistenza di quest'effetto, indispensabile alla sopravvivenza di ogni specie, bensì dall'aumento di quest'effetto.

L'unità adottata per misurare il contributo di una sostanza all'effetto serra è l'equivalente CO₂ in massa. Il GWP (Global Warming Potential) di una sostanza gassosa è l'effetto serra potenziale dovuto all'emissione istantanea di un grammo o chilogrammo di questa sostanza espressa in rapporto al potenziale della stessa quantità di CO₂.

L'equivalente CO₂ varia col tempo secondo la durata di vita delle molecole. Le seguenti misure sono state calcolate supponendo un periodo di vita di 100 anni (esistono altre scale):

Sostanza	Equivalente CO₂
CO ₂	1
N ₂ O	290

CO	4,5
NO _x	7
HCNM	5
CH ₄	14

L'I.P.C.C. ha pubblicato nel mese di febbraio del 1992 un'aggiunta alle sue ultime pubblicazioni. Le conclusioni dei gruppi di lavoro insistono sulle difficoltà a determinare per ogni sostanza un GWP che riesca ad integrare gli effetti indiretti della molecola studiata sull'effetto serra.

Il "potenziale effetto serra" permette di fare la sintesi dell'azione diretta di un gas con un dato effetto serra da una parte, e dall'altra dell'effetto indiretto di questo gas quando produce o distrugge altri gas con effetto serra, a secondo della sua interazione con i gas presenti nell'atmosfera.

Inoltre quest'ultimo parametro dipende anche dalla durata di vita di una molecola. I CFC per es., che sono dei gas con effetto serra, hanno un impatto ambientale diretto. In compenso contribuiscono alla distruzione della fascia di ozono stratosferica, che è un altro gas con effetto serra.

Il bilancio del contributo dei CFC verso il riscaldamento del pianeta presenta dunque un termine positivo e uno negativo. Ma non si riesce ancora a determinare se il saldo del bilancio risulta positivo o negativo.

Così anche secondo l'I.P.C.C. , l'azione indiretta degli ossidi d'azoto (NO_x) sarebbe doppia: aumento della percentuale di ozono (O₃) nell'atmosfera, e dunque aumento della concentrazione di un gas con effetto serra, da una parte, e dall'altra, aumento della percentuale di radicali liberi OH molto reattivi, che diminuiscono la durata di vita e dunque la concentrazione degli HCFC e HFC che sono dei gas con effetto serra.

Secondo l'I.P.C.C. , anche il metano, che è un gas con effetto serra diretto, ha un effetto indiretto sul riscaldamento del pianeta. Però non si riesce ancora a valutare l'effetto indiretto con precisione.

In un modo generale, tenendo conto del livello attuale delle conoscenze, l'I.P.C.C. consiglia di considerare soltanto gli effetti indiretti:

Sostanza	Equivalente CO₂ (diretto)
CO ₂	1
N ₂ O	270
CH ₄	11

Esaurimento delle risorse naturali

Si cerca di valutare l'esaurimento delle risorse naturali dovuto al consumo fatto dalla filiera di produzione del prodotto studiato di queste materie.

In un primo tempo, si può considerare che le materie prime di origine animale e vegetale sono rinnovabili.

Questa approssimazione si basa sull'ipotesi che ci sia una buona gestione delle riserve: una specie rara finisce col non essere più rinnovabile, quando il consumo annuo supera la soglia del rinnovamento della specie.

Per le risorse fossili, il RIVM ha elaborato un indice di rarità che permette di calcolare, per alcune materie prime, il quoziente:

riserva conosciuta tecnicamente sfruttabile (kg) / consumo annuo totale (kg/anno)

Questo indice permette di stimare per quanti anni ancora ogni riserva rimarrà disponibile.

A titolo di esempio si riportano i seguenti valori:

Sostanza	Anni di riserva
Carbone *	250
Petrolio*	44
Gas**	58

* Fonte: Ministero francese dell'Industria - DGEMP - Osservatorio dell'Energia.

** Fonte: Ministero francese dell'Industria - DGEMP - Osservatorio dell'Energia - Cedigaz 1991.

Acidificazione delle piogge

L'unità adottata per misurare il contributo di una sostanza all'acidificazione è l'AE (Potential Acid Equivalent): un AE è equivalente a 32 grammi di SO₂ o 46 grammi di NO_x o 17 grammi di NH₃ oppure 36,5 grammi di HCl.

L'AE dipende dal peso molecolare della molecola e dalla capacità di formazione di acido:

Sostanza	AE
NH ₃	1/17
NO ₂	1/46
SO ₂	2/64
HCl	1/36

Eutrofizzazione delle acque

Introdurre nutrienti nelle acque provoca un importante inquinamento organico che genera una proliferazione di alghe, le quali consumano importanti quantità di ossigeno.

L'unità adottata per misurare il contributo di una sostanza all'eutrofizzazione è l'equivalente fosfato:

Sostanza	Equivalente fosfato
N	0,42
NO	0,2
NO ₃ ⁻	0,10
NH ₄ ⁺	0,33
P	3,06
PO ₃ ⁻	1

6. Analisi e interpretazione degli impatti sull'ambiente (LCIA - Life Cycle Impact Analysis)

Per poter passare alle fasi di lavoro successive è però opportuno presentare le informazioni relative all'ecobilancio in modo più analitico, individuando le fasi più importanti del ciclo di vita.

Per analizzare l'inventario occorre quindi ripartire i valori complessivi dell'ecobilancio associato all'unità funzionale studiata nelle diverse fasi che compongono il suo ciclo di vita.

La fase di interpretazione di un'ecobilancio è funzione diretta della corretta costruzione dell'inventario. In passato si era portati a ritenere che tale fase fosse la componente principale dell'LCA mentre, oggi, il suo ruolo è stato ridimensionato, anche per il proliferare dei più disparati metodi d'analisi.

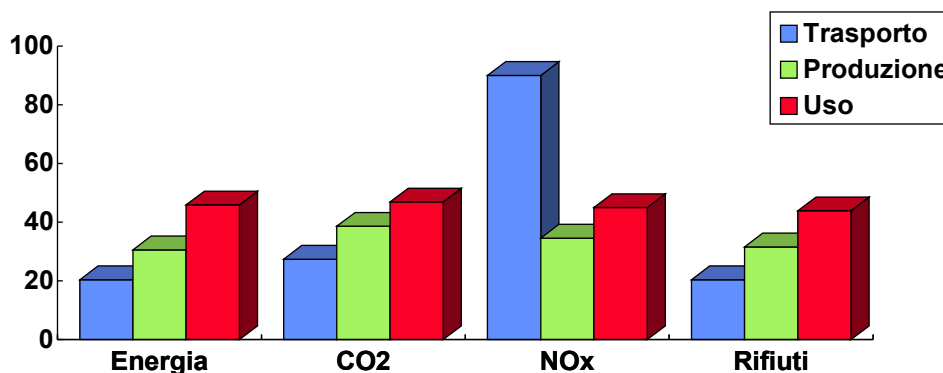
Gli unici metodi per i quali c'è unanimità di vedute tra gli analisti sono:

- l'analisi dell'origine dei fattori d'impatto della filiera;
- l'analisi dei flussi per effetto.

E' proprio questo profilo che consente di analizzare l'inventario secondo i due metodi di valutazione sopra esposti: a) l'analisi dell'origine dei fattori d'impatto della filiera; b) l'analisi dei flussi per effetto.

a) Analisi dei fattori d'impatto secondo la loro origine.

Questo metodo evidenzia le fasi o i materiali che contribuiscono ai flussi della filiera, per ogni fattore d'impatto, ovvero, quando i flussi della filiera sono tradotti in impatti, i campi ove agire per ridurre questi impatti sull'ambiente. Nel caso che la loro quantificazione sia assente, quest'analisi consente in ogni caso di gestire la filiera in modo da poter ridurre certi flussi.



Il grafico di tale analisi mostra il contributo di ogni singola fase alla formazione degli impatti ambientali complessivi: il profilo ambientale fornisce un quadro d'insieme di tali fattori.

Vengono evidenziati i punti forti ed i punti deboli, da un punto di vista degli effetti sull'ambiente, delle filiere, identificando le fasi che hanno un maggior impatto ambientale.

Si dispone così di uno strumento di gestione degli impatti sull'ambiente del suo prodotto, in relazione:

- progettazione del prodotto (ad es. scelta di additivi);
- scelta dei processi (vengono evidenziati quei fattori d'impatto associati ai processi);
- logistica (ad es. scelta dei modi di trasporto);
- mercato (posizione di mercato rispetto alle altre possibili filiere)
- scelta degli investimenti;
- scelta del design.

Il vantaggio di tale analisi è che consente, per ognuno dei fattori d'impatto ambientale (emissioni, rifiuti, scarichi, etc.) di evidenziarne l'origine attribuendolo percentualmente alle diverse fasi del ciclo di vita. E' evidente che una fase può essere responsabile delle emissioni di NOx ma non contribuire affatto alla produzione di rifiuti.

Un'azienda, per decidere in quale fase del ciclo di vita investire le proprie risorse per minimizzare gli impatti ambientali, deve preliminarmente definire quale impatti, tra i tanti, vuole ridurre.

L'analisi successiva, utilizzando gli indici sintetici, consente di delegare questa scelta agli indicatori stessi.

b) Analisi dei flussi per effetto

Questo metodo si basa su indici che permettono di valutare l'impatto globale di una sostanza su un dato effetto ecologico.

Tali indici sono strettamente dipendenti dal livello delle conoscenze scientifiche di cui si dispone al momento della loro elaborazione, ed è per questo che vengono regolarmente aggiornati.

L'utilizzo di questi indicatori sintetici permette all'azienda di semplificare le proprie scelte anche se "nasconde" alcune informazioni rilevanti.

Per ognuno degli effetti si cerca di identificare quali siano i principali fattori d'impatto, e di determinarne l'origine all'interno della filiera di produzione studiata.

I principali effetti dei quali ci si interessa, ed ai quali contribuiscono le sostanze evidenziate durante il ciclo di vita dell'attività analizzata sono: il riscaldamento del pianeta (effetto serra), l'esaurimento delle risorse naturali, l'acidificazione delle piogge e l'eutrofizzazione delle acque.

Il valore di questi indicatori viene calcolato a partire dai fattori d'impatto sull'ambiente associati all'unità funzionale.

Ad esempio, per calcolare l'effetto serra di una sostanza viene adottato l'indice del GWP (Global Warming Potential): si tratta dell'effetto serra potenziale dovuto all'emissione istantanea di un grammo o chilogrammo di questa sostanza espressa in rapporto al potenziale della stessa quantità di CO₂.

Per l'acidificazione delle piogge, l'unità adottata per misurare il contributo di una sostanza all'acidificazione è l'AE (Potential Acid Equivalent): un AE equivale a 32 grammi di SO₂ o 46 grammi di NO_x o 17 grammi di NH₃ oppure 36,5 grammi di HCl.

Negli ultimi anni il ricorso a questi indici si è però fatto più prudente, anche se rimane intatta la loro efficacia in termini di comunicazione dei risultati dell'ecobilancio.

7. Le proposte di miglioramento (Improvement assessment)

L'analisi precedente dà la possibilità ai valutatori di fornire alcune proposte per migliorare e ridurre gli impatti sull'ambiente associati all'unità funzionale studiata.

Le proposte di miglioramento basate sui risultati dell'inventario o sulla valutazione degli impatti possono aiutare i responsabili di una decisione ad identificare e valutare le possibilità di ridurre gli impatti sull'ambiente dei prodotti o dei servizi.

Per aumentare la capacità di proposta si possono anche effettuare, a partire dall'inventario, delle vere e proprie simulazioni e delle analisi di sensibilità. Queste vengono realizzate verificando "cosa succede se" gli scenari di base (relativamente ai prodotti, ai processi ed ai servizi utilizzati) vengono cambiati. In questo modo si possono valutare i costi ambientali delle alternative e delle sostituzioni.

Inoltre può essere utile associare l'analisi del ciclo di vita ad altri strumenti quali gli audit, l'analisi dei rischi, studi tossicologici, etc.

8. La pubblicazione dei risultati dell'LCA

Nella gran parte dei casi, più in Italia che all'estero, i risultati principali dell'LCA vengono pubblicati.

E' chiaro però che la pubblicazione dell'LCA e dei suoi risultati (soprattutto nel caso di ecobilanci comparativi) potrebbe fornire un vantaggio competitivo a quelle aziende committenti che dimostrassero, mediante questo strumento, un impatto ambientale ridotto.

Per evitare distorsioni e forzature sono state elaborate delle "regole deontologiche" che dovrebbero essere rispettate in ogni pubblicazione; esistono delle informazioni minime che gli ecobilanci pubblici dovrebbero fornire per poter essere presi in considerazione.

La trasparenza, garantita solo dall'indipendenza del valutatore, richiede che il documento riporti quanto espressamente previsto nella tabella successiva (Tab. 5).

Tab.5 Informazioni da riportare nei documenti pubblici dell’LCA

Generalità	Committente e realizzatore dell’LCA (eventuali loro legami)
	Periodo di realizzazione
Obiettivi	Problemi posti
	Prodotti o servizi corrispondenti all’unità funzionale
Inventario	Scelta unità funzionale
	Scelta del campo di studio
	Divisione del sistema in sottosistemi
	Modalità trattamento multi entrata o multi uscita
	Modalità trattamento sistemi e sottosistemi con riciclaggio
	Scelta modi di trattamento dell’energia e dei trasporti
	Origine, tipologia raccolta e rappresentatività dati
	Dati per il passaggio all’unità funzionale
	Risultato dell’Inventario
	Sensibilità dei risultati alle ipotesi
Impatti	Indici utilizzati per la valutazione degli impatti
	Regole di valutazione
Miglioramento	Elementi da considerare per le decisioni
	Esame contrasti tra dimensione ecologica ed economica

Tale documento dovrà essere messo a disposizione di tutti coloro che ne fanno domanda.

Esso dovrà consentire al lettore di apprezzare senza ambiguità la portata ed i risultati dell’ecobilancio nonché le condizioni di realizzazione dell’LCA.

Il documento di sintesi deve essere redatto con riferimento al rapporto finale e dovrà essere redatto sotto la responsabilità comune del committente e del valutatore indipendente.

9. Limiti dell’ecobilancio

L’ecobilancio, pur essendo il più efficace tra gli strumenti conosciuti di contabilità ambientale, presenta alcuni limiti, sia di carattere teorico che di carattere pratico.

Limiti di tipo teorico

Aspetti quantitativi: l’ecobilancio esclude la valutazione dei rischi e della sicurezza, del rispetto degli standard imposti dalla legge, delle condizioni di

lavoro e d'igiene, degli aspetti paesaggistici dei siti e della loro integrazione nell'ambiente. Infine l'ecobilancio esclude la valutazione del rumore e degli odori.

Aspetti qualitativi in merito alla presa in considerazione dei cosiddetti co-prodotti: un ecobilancio descrive un sistema ed i flussi ad esso associati. Questo sistema però, in genere, produce numerosi prodotti mentre occorrerebbe valutare gli impatti sull'ambiente di un solo prodotto. Si è dunque necessariamente costretti ad utilizzare regole, più o meno arbitrarie, che consentano di imputare gli impatti legati ad una sola unità funzionale (regole d'imputazione, regole di presa in considerazione del riciclaggio). La validità dell'ecobilancio è quindi sempre funzione del contesto analizzato, del campo di studio prescelto, delle regole di imputazione adottate e delle ipotesi previste.

Limiti di tipo pratico

Dati incompleti: i flussi emessi nell'ambiente non sono sistematicamente controllati nei siti industriali. Inoltre gli strumenti scientifici attualmente disponibili non permettono di quantificare certi processi e di identificarne gli impatti.

Evoluzione dei dati: un ecobilancio è rappresentativo di un prodotto solo in condizioni ben determinate quali l'utilizzo di tecnologie ottimali e rappresentative

Occorre quindi aggiornare l'ecobilancio non appena emergono delle differenze importanti riguardo alle ipotesi del scenario di riferimento.

10. Conclusioni

Dopo aver analizzato la metodologia della valutazione del ciclo di vita ed il suo uso corretto è forse opportuno trarre alcune conclusioni sui punti principali che ne consentirebbero una maggiore diffusione.

Sono quattro gli elementi rilevanti da porre in evidenza.

a) la correttezza metodologica

Attualmente il problema principale della valutazione del ciclo di vita (LCA) è proprio la correttezza dell'impostazione metodologica, la qualità dei dati utilizzati e la garanzia d'indipendenza dei valutatori.

Nella stampa specializzata la confusione terminologica, tra bilancio ambientale ed ecobilancio ad esempio, è ancora elevata; grande è lo sforzo culturale ancora da compiere per migliorare la conoscenza degli strumenti di gestione ambientale.

Un passo in tale direzione deve essere compiuto dalle imprese, dalle Università, dagli Istituti di Ricerca, dalle associazioni di categoria e dalle Autorità pubbliche.

b) la trasparenza delle informazioni

Le pubblicazioni che riportano i risultati principali di un'ecobilancio non rispondono ancora ai criteri di "informazione minima" necessaria allo scopo.

L'effetto immediato è che vengono comunicati risultati di un'ecobilancio del quale non è possibile discutere le ipotesi, i dati, il campo di studio o i criteri di delimitazione adottati.

A lungo termine il proliferare di argomentazioni e risultati non documentati non può che danneggiare l'LCA, la sua efficacia e le sue potenzialità. Al contrario la discussione pubblica e la consapevolezza dei limiti dell'ecobilancio assegna a questo strumento il giusto ruolo.

L'LCA consente in particolare di 1) migliorare la progettazione del prodotto; 2) supportare la scelta del design, dei processi e della logistica; 3) scegliere gli investimenti ad impatto ambientale ridotto; 4) migliorare l'allocazione delle risorse destinate alla riduzione degli impatti sull'ambiente; 5) posizionare meglio l'impresa sul mercato.

c) disponibilità di ecobilanci pubblici su trasporti, energia e materiali

Per poter costruire un'analisi di LCA relativa ad un prodotto o ad un servizio vengono utilizzati degli "ecobilanci intermedi", generalmente tratti dalla letteratura internazionale, relativi ai sistemi di trasporto, di smaltimento dei rifiuti, di produzione energetica e di messa a disposizione (estrazione delle materie prime, produzione e trasporto) dei materiali utilizzati come 'prodotti intermedi'.

Molte volte tali ecobilanci, essendo reperiti nelle banche dati internazionali, non sono adattati pienamente alla realtà italiana; se ad esempio utilizzassimo un modello energetico europeo nel quale il ruolo del nucleare francese è elevato e lo applicassimo alla realtà italiana faremmo un'operazione discutibile.

Per evitare un'uso improprio di tali ecobilanci intermedi sarebbe opportuno che l'Autorità Pubblica costruisse (in Italia è il Ministero dell'Ambiente che si sta occupando della costruzione di un'inventario dei dati) una banca dati pubblica dalla quale reperire dati e informazioni.

d) l'analisi del ciclo di vita: un nuovo punto di vista sull'ambiente

Infine un ultimo elemento riguarda l'analisi del ciclo di vita come strumento di conoscenza dell'ambiente e del grado di interdipendenza tra industria e ambiente.

Conoscere il ciclo dalla “culla alla tomba” dei materiali più importanti utilizzati nella produzione industriale (vetro, alluminio, ferro, plastiche, trasporti, combustibili, etc.) sarebbe fondamentale anche per l'educazione ambientale.

Tale conoscenza aumenterebbe il grado di responsabilità ambientale sia dei produttori che dei consumatori; essere consapevoli che l'utilizzo di un dato materiale ha certe implicazioni in termini di impatti sull'ambiente associati alla sua produzione, al suo trasporto, all'uso ed al suo smaltimento finale è indispensabile per “estendere” la responsabilità dei soggetti al di là dei confini definiti in senso giuridico od economico.

L'analisi del ciclo di vita allarga la visione ambientale d'insieme, la rende più complessa e, nel contempo, più integrata, consentendo di vedere laddove il senso comune non arriva.

E' forse a partire da queste semplici raccomandazioni che la “storia naturale” delle merci, la loro impronta ecologica, può essere ricostruita, contribuendo, in tal modo, a riconciliare maggiormente l'ecologia con l'economia.

Glossario

Allocazione (*Allocation or Partitioning* - ISO 14040, par. 3.1): Ripartizione dei flussi in ingresso o uscita di un processo unitario appartenente al sistema-prodotto studiato. Attribuzione, nel presente contesto, secondo regole e metodologie particolari, del carico di energia, di materiali e di emissioni corrispondente ad un output del sistema produttivo in esame.

Analisi degli impatti (*Life Cycle Impact Assessment* - ISO 14040, par. 3.10): fase di una LCA destinata allo studio e alla valutazione del potenziale impatto ambientale provocato dal sistema-prodotto in esame, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nell'Inventario.

Analisi del ciclo di vita: (*LCA* - ISO 14040, par. 3.9): Raccolta e valutazione degli ingressi, uscite ed impatti potenziali sull'ambiente di un sistema-prodotto lungo il suo ciclo di vita; è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativo ad un processo o una attività, effettuato attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale. Una LCA si compone delle seguenti quattro fasi principali: Definizione degli Scopi e degli Obiettivi, Inventario, Analisi degli Impatti, Interpretazione e Miglioramento. Le linee guida per redigere una LCA sono state redatte dalla SETAC e sono ora disponibili nelle norme ISO della serie 14.040. In italiano il termine LCA viene comunemente tradotto in analisi del ciclo di vita dei processi produttivi.

Analisi energetica (*Energy analysis*): tecnica per esaminare il modo con cui le risorse energetiche sono sfruttate per realizzare delle operazioni utili.

Compostaggio (*Composting*) degradazione biologica dei rifiuti umidi ad elevato contenuto organico; porta alla produzione di compost (materiale organico stabilizzato utilizzabile in agricoltura e floricoltura a seconda delle caratteristiche di composizione)

Concentrazione equivalente di anidride carbonica (*CO₂-equivalent*): esprime in maniera sintetica la capacità dei gas serra di dar luogo all'effetto serra; si ottiene convertendo la concentrazione di ciascun gas che può produrre un effetto serra nella concentrazione di CO₂ che darebbe un uguale contributo a tale effetto (a parità di concentrazione, gas differenti danno contributi diversi all'effetto

serra). La conversione avviene tramite i GWP (Global Warming Potentials) disponibili per diversi periodi di tempo (50, 100 e 500 anni).

Confini del sistema (*System boundary* - ISO 14040, par. 3.17): interfaccia tra il sistema-prodotto in oggetto e l'ambiente o altri sistemi-prodotto.

Confronto tra sistemi equivalenti (*Comparative assertion* - ISO 14040, par. 3.2): Dichiarazione ambientale riguardante la superiorità o equivalenza di un prodotto rispetto ad un prodotto concorrente con medesima funzione; neologismo introdotto dalla ISO 14.040 per indicare come dal confronto in termini LCA di sistemi produttivi con medesima funzione sia possibile asserire quale possieda un miglior rendimento ambientale.

Coprodotto (*Co-product* - ISO 14041, par. 3.2): Ciascuno dei 2 o più prodotti provenienti dallo stesso processo unitario; nel presente contesto, sottoprodotto o scarto di un medesimo processo industriale con valore di mercato e suscettibile delle regole di allocazione.

Ecobilancio (*Eco-balance*): un'analisi energetica ed ambientale applicata ad un singolo anello della filiera produttiva, ovvero l'elemento più semplice di cui è composta una LCA.

Eco-efficienza (*Eco-efficiency*): si tratta dell'efficienza produttiva che tiene conto anche dei costi ambientali, ovvero della capacità di offrire a più consumatori beni e servizi ad un costo economicamente affrontabile e con un peso ecologico significativamente minore.

Ecoprofilo (*Eco-profile*): è un'analisi del ciclo di vita interrotta all'uscita dei flussi di materiali dallo stabilimento (“from cradle to gate”).

Efficienza: Efficienza da un punto di vista generale, l'efficienza misura la capacità di un sistema di generare una funzione utile rispetto alla spesa sostenuta per ottenerla. L'efficienza energetica è data dal rapporto dell'energia nei prodotti e l'energia spesa (energia in ingresso + energia nelle materie prime).

Energia: è un termine astratto che può essere intesa come la capacità di produrre lavoro. L'energia non può essere creata o distrutta ma può solo subire variazioni da una forma ad un'altra. L'unità di misura SI dell'energia è il Joule.

Energia cumulata (*Gross energy*): è l'energia complessiva che compete ad un sistema produttivo ed è costituita dalla somma delle energie corrispondenti a tutte le operazioni che l'hanno resa possibile a partire dall'estrazione delle materie prime. La gross energy può essere suddivisa almeno in cinque quote: energia di produzione e trasporto dei combustibili (*production & deliverable energy*), energia diretta (direct energy o energy content of fuel), energia

competente ai trasporti utilizzati (*transport energy*), energia di feedstock (*feedstock energy*) e energia da biomasse (*biomass energy*).

Energia diretta o di processo (*Direct energy o Process Energy* - ISO 14041, par. 3.9): Energia richiesta per alimentare un processo unitario o un apparato all'interno del processo, con esclusione della produzione e distribuzione dell'energia stessa; è l'energia direttamente consumata nelle operazioni strettamente connesse con il processo in studio; coincide con il contenuto energetico della fonte di energia utilizzata.

Energia di Feedstock (*Feedstock energy* - ISO 14041, par. 3.5): Contenuto energetico delle materie prime in ingresso al sistema-prodotto, non utilizzate come fonte di energia, espressa in termini di potere calorifico superiore o potere calorifico inferiore; è l'energia contenuta nei materiali in ingresso nel processo che potenzialmente potrebbero essere impiegati come combustibili: il loro contributo in termini energetici è esprimibile con il potere calorifico superiore; il gas e l'olio impiegati nell'industria petrolchimica e il legno usato nell'industria cartaria costituiscono alcuni chiari esempi di energia feedstock.

Energia di produzione e trasporto dei combustibili (*Production & Deliverable energy*): è la quota di energia competente all'estrazione, trattamento e trasporto delle fonti di energia primaria rese successivamente disponibili all'utilizzatore sotto forma di energia diretta. Costituisce una quota parte dell'energia indiretta.

Energia indiretta (*Indirect energy*): è costituita dalla somma dell'energia di produzione e trasporto dei combustibili con l'energia necessaria a rendere disponibili i materiali in ingresso nel processo.

Interpretazione (*Life Cycle Interpretation* - ISO 14040, par. 3.11): Fase di una LCA in cui i risultati dell'Inventario e/o della analisi degli impatti sono elaborati in accordo con l'obiettivo e lo scopo dello studio in modo tale da raggiungere conclusioni e raccomandazioni.

Inventario (*Life Cycle Inventory Analysis* - ISO 14040, par. 3.12): Fase della LCA che prevede la raccolta e quantificazione degli ingressi e uscite per un dato sistema-prodotto lungo il suo ciclo di vita.

Life Cycle Assessment o Analysis vedi Analisi del ciclo di vita

Potere calorifico inferiore PCI (*Net Calorific Value or Low Heat*): è l'energia liberata quando il combustibile viene bruciato completamente con ossigeno e tutta l'acqua presente nei prodotti di combustione è raffreddata alla temperatura di 100°C ma rimane allo stato gassoso.

Potere calorifico superiore (*Gross Calorific Value or High Heat*): è l'energia liberata quando il combustibile viene completamente bruciato con ossigeno e tutta l'acqua prodotta è raffreddata allo stato termodinamico di riferimento (25°C e 1 atm).

Processo unitario (*Unit process* - ISO 14040, par. 3.19): la più piccola porzione in cui un sistema produttivo può essere suddiviso e per cui è possibile raccogliere i dati per redigere una LCA.

Riciclo aperto (*Open Loop Recycling*): è un sistema di riciclo di un rifiuto in cui il prodotto viene utilizzato in un sistema diverso da quello che ha generato il rifiuto stesso.

Riciclo chiuso (*Closed Loop Recycling*): è un sistema di riciclo di un rifiuto il cui prodotto costituisce un input del sistema che ha generato il rifiuto stesso.

Riuso (*Reuse*) riutilizzo del prodotto dopo un eventuale trattamento di pulizia.

SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*): è un organismo scientifico internazionale che si è occupato fin dall'inizio della promozione e della diffusione della LCA.

Sistema-Prodotto (*Product-System* – ISO 14040, par. 3.15): Insieme di processi unitari connessi da flussi di materia ed energia, che adempie ad una o più funzioni definite.

Tep tonnellata equivalente di petrolio; 1 tep = 45.000 MJ (utilizzando un valore medio di potere calorifico superiore del greggio).

Unità funzionale (*Functional Unit* - ISO 14040, par. 3.5): unità di riferimento per quantificare il rendimento in termini LCA di un sistema produttivo.