



Life Cycle Assessment

Due esempi

di Carlo Giavarini

Il Life Cycle Assessment (LCA) valuta le implicazioni ambientali create da un prodotto o da un servizio durante tutto il proprio ciclo di vita. Il presente articolo mostra due esempi pratici di valutazione di Life Cycle Inventory (LCI), e cioè dei primi stadi che costituiscono il LCA. Tali esempi sono riferiti al bitume e all'asfalto stradale, rispettivamente. Vengono evidenziate la complessità del procedimento e la necessità di ricorrere a modelli esemplificativi, soprattutto quando ci si riferisce a prodotti industriali complessi.

Il Life Cycle Assessment (LCA) è una tecnica relativamente nuova che considera l'impatto ambientale creato da un prodotto o servizio durante l'intero suo ciclo di vita ("dalla culla alla tomba"). Originato dagli studi in campo energetico alla fine anni sessanta, è oggi uno strumento utilizzato e standardizzato per la valutazione dell'impatto ambientale.

LCA valuta dal punto di vista ambientale tutte le risorse e gli *input* (materie prime, combustibili, elettricità, acqua ecc.) necessari ad un dato sistema e tutte le relative emissioni, aeriformi, liquide e solide. Copre quindi l'intero sistema-prodotto, a partire dall'acquisizione della materia prima, al trasporto, alla fabbricazione, all'uso e manutenzione, al riciclo e smaltimento finale.

Si tratta di un nuovo modo di vedere un prodotto, capace di cambiarne totalmente il profilo commerciale; ovviamente è di grande interesse per l'industria chimica, in quanto un cattivo eco-profilo può anche, al limite, "distruggere" un prodotto.

La tecnica LCA può essere usata per vari scopi, soprattutto per il confronto e la selezione dei prodotti. L'Unione

Europea l'ha prescelta come uno dei metodi ufficiali per le valutazioni ambientali; la relativa normativa è in preparazione. Per il momento sono state pubblicate le prime due norme nella serie ISO 14040, mentre due altre sono in discussione.

Il metodo LCA può essere diviso

in tre fasi principali (Figura 1), di cui le prime due sono già definite come metodologia, mentre la terza è più difficile e controversa.

Con riferimento alla Figura 1, lo scopo e le prospettive più l'analisi delle voci che concorrono alla valutazione vengono di solito definiti come "inventario del ciclo di vita" (LCI).

Mentre esistono al momento esempi di LCI, poco è disponibile (almeno a conoscenza di chi scrive) relativamente all'effettuazione completa di LCA.

Anticipiamo due esempi di tentativo di definizione di LCI, per mostrare in sintesi i principali aspetti che concorrono alla sua definizione.

Il primo è relativo alla produzione del bitume ed è dovuto ad un gruppo di



Figura 1 - Schema del Life Cycle Assessment secondo Iso 14040

lavoro dell'associazione europea Eurobitume (Report 99/007, maggio 1999); il secondo è stato elaborato per conto di Eapa (European Asphalt Paving Association) e non è ancora pubblico.

L'inventary analysis del bitume

Lo studio prende in considerazione la catena di produzione del bitume, a partire dall'estrazione del grezzo fino ad arrivare al prodotto pronto per essere venduto (Figura 2). Come si vede, manca la fase finale (la "tomba", ovvero lo studio d'uso e smaltimento finale), che però dovrà essere vista a parte, a seconda dell'uso del bitume:

Carlo Giavarini, Dipartimento di Ingegneria Chimica - Università "La Sapienza" - via Eudossiana, 18 - 00184 Roma - carlo.giavarini@uniroma1.it.





Tabella 1 - Eco-profilo della produzione del bitume, dell'estrazione del grezzo fino allo stoccaggio nei serbatoi della raffineria (riferito a 1 kg di bitume)

		Estrazione del grezzo	Trasporto in Europa	Bitume prodotto	Stoccaggio del bitume	Elettricità prodotta	Totale
Energia							
Gas	MJ/kg	2,196		0,855	0,01		3,061
Olio	MJ/kg		0,588	0,404	0,096		1,088
Elettricità	MJ/kg			(0,14)	(0,033)		
Energia primaria	MJ/kg					0,561	0,561
Emissioni aeriformi							
SO ₂	mg/kg	0,324	914	655,7	122,1	108,5	1.800
NO _x	mg/kg	658	1.219	137	32,4	44,5	2.090
CO ₂	mg/kg	109.918	45.941	81.062	19.114	20.609	277.000
CO	mg/kg	3,24	130,6	0,06	0,01	3,81	138
HC	mg/kg	1.163	36,24	12,7	4,6	61,6	1.280
Polveri	mg/kg	154		33,3	7,9	24,6	220
Metalli	mg/kg			2,8	0,6	1,04	4,44
HCl	mg/kg			0,9	0,2		1,1
Emissioni liquide							
Olio	mg/kg	40		2,0		2,08	44,1
Acido come H ⁺	mg/kg	30					30
Fenolo	mg/kg			<0,1			<0,1
Fosforo	mg/kg			0,3		0,17	0,47
Solfato	mg/kg					98,3	98,3
Cloro	mg/kg	10				96,0	106
Sali minerali	mg/kg					79,2	79,2
Composti organici	mg/kg	20					20
Azoto	mg/kg			10,8		0,17	11
C.O.D.	mg/kg	1		54		0,17	55,2
B.O.D.	mg/kg			16			16
Metalli	mg/kg	5				22,5	27,5
Solidi	mg/kg	80		29		6,75	116
Rifiuti solidi	mg/kg	1.480		3.350		3.157	7.987
Materie prime							
Acqua	g/kg	23,1		325		89,4	438
Calce / Ossido Fe	g/kg	0,728					0,728
Bitume	g/kg			1.000			1.000

per fare strade, per membrane bitume-polimero o per altri usi.

Non potendo prendere in considerazione tutti i possibili casi (tipo e origine del grezzo, tipo di bitume, localizzazione dei pozzi e della raffineria ecc.) occorre definire uno scenario, che potrebbe essere il seguente: si ipotizza di produrre bitume di penetrazione 50/70 per distillazione diretta, ossia secondo il metodo più tradizionale (Figura 3) e che il grezzo di origine sia una miscela proveniente dal Medio Oriente (70%) e dal Venezuela (30%). Sebbene questi grezzi non vengano normalmente usati insieme per produrre bitume, rappresentano tipiche proporzioni usate dalle raffinerie europee.

Si suppone altresì che il bitume ven-

ga prodotto in una raffineria costiera di grandi dimensioni, con una capacità di 400.000 t/a di bitume.

Il consumo di energia si calcola sulla base del potere calorifico; l'energia inerente al bitume (39,5 MJ/kg) non è inclusa perché il bitume è considerato un materiale da costruzione e non un combustibile, così che la sua energia non viene mai persa. Nelle sue principali applicazioni è praticamente riciclabile al 100%.

Nel calcolare le implicazioni durante l'estrazione del grezzo e il trasporto in Europa, occorre fare altre assunzioni (tipologia di estrazione, tipo di nave e di rotta ecc.) che portano ad approssimazioni nel valore finale. Più controllabili sono il bilancio di energia e quello di emissioni durante la raffi-

nazione, specie se riferiti ad una ben definita tipologia di raffineria.

Lo sviluppo di tutto il procedimento, lungo ma relativamente semplice (i problemi sono il reperimento di dati, il calcolo delle rese ecc.) porta ai valori, che in questo caso dobbiamo considerare tipici e soggetti ad affinamenti successivi, della Tabella 1.

Se si volesse fare un confronto tra due diversi produttori di bitume, occorrerebbe considerare le relative specifiche realtà produttive. Se invece si considera il risultato ottenuto nel contesto di un completo LCA, includendo ad esempio la preparazione e la posa dell'asfalto stradale, il grado di approssimazione raggiunto può forse essere sufficiente.

Fortunatamente, non tutti i prodotti



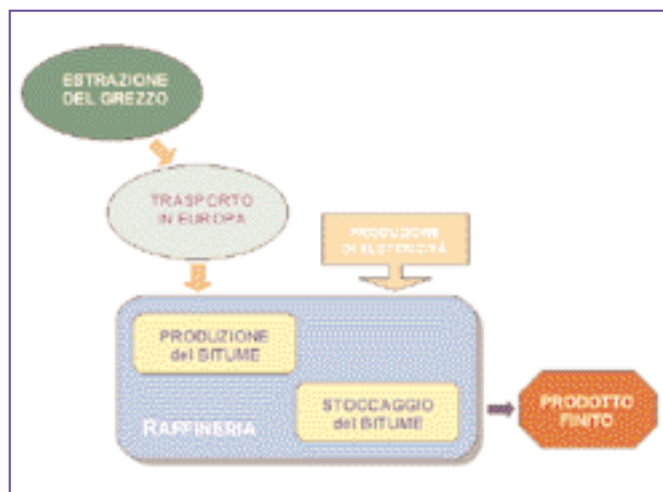


Figura 2 - Diagramma di flusso e limiti di studio per il bitume

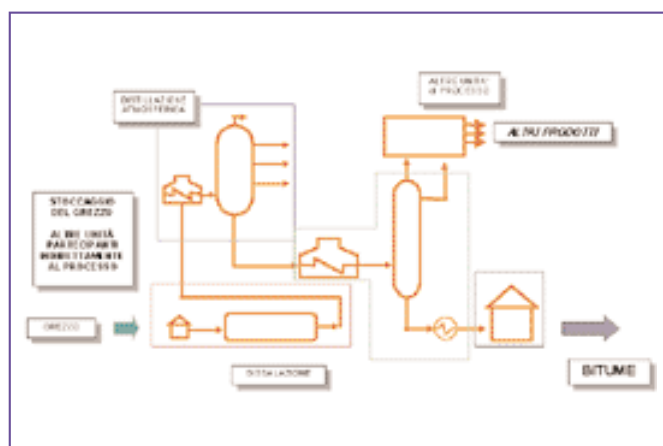


Figura 3 - Ciclo di produzione preso in considerazione per il bitume

presentano la complessità produttiva del bitume, cosa che rende più semplici ed accurati la definizione ed il calcolo delle varie voci che concorrono alla loro *inventory analysis*.

Il Life Cycle Inventory delle pavimentazioni stradali

Il complesso processo di costruzione della strada può essere suddiviso in varie parti, analizzandone poi sepa-

ratamente ogni porzione, purché ognuna di queste sia relativamente indipendente dalle altre.

Prendiamo ad esempio in considerazione il manto asfaltico, che è una delle componenti principali della strada (Figura 4). Esistono più strati di asfalto (tre nella figura), con inerti sempre più piccoli, andando dal basso verso l'alto.

In effetti, anche il ciclo di vita del solo "prodotto pavimentazione" è complesso e non sempre uguale; occorre anche distinguere, tra costruzione iniziale di una nuova strada e manutenzione successiva. Un modello adatto a descriverlo deve essere perciò sufficiente-

mente flessibile (vedi Figura 5).

Il modello riportato non include la produzione del bitume in raffineria (vista nel paragrafo precedente); non include neppure la produzione delle macchine per asfaltare. È poi necessario definire un periodo di vita per il manto stradale; in questo caso si può ipotizzare (ma sempre in modo approssimato) un periodo medio di quarant'anni. Relativamente al valore residuo dopo quarant'anni, esso può essere ancora alto, a causa delle procedure di manutenzione. Anzi, è probabile che lo spessore della pavimentazione (e quindi il valore) sia aumentato dopo tale periodo.

Quello che può

Tabella 2 - Risultati complessivi per la pavimentazione presa come esempio

Flussi In e Out (unità)	Risultati finali
Risorse energetiche (MJ)	
Gas naturale	1.32E+06
Olio combustibile	3.49E+06
Carbone	1.77E+05
Energia nucleare	2.46E+05
Energia idroelettrica	7.76E+04
Altra forma di energia	9.89E+02
Risorse materiali (g)	
Bitume	3.79E+08
Sabbia e inerti	1.07E+09
Inerti frantumati	4.30E+09
Calcare	2.43E+08
Emissioni nell'aria (g)	
SO ₂	9.72E+05
NO _x	1.63E+06
CO	1.38E+06
CO ₂	3.62E+08
CH ₄	6.97E+05
CH ₄	1.07E+05
NMVOC	2.38E+04
TOC	3.26E+05
N ₂ O	1.45E+04
Particolato	2.14E+05
Emissioni nell'acqua (g)	
BOD	6.06E+03
COD	2.12E+04
N totale	2.72E+02
HC	2.71E+03
Olio	1.70E+04
Rifiuti (g)	
Industriali	3.29E+06
Minerali	2.48E+08
Radioattivi (cm ³)	1.43E+06

essere deteriorato è il sottofondo, incidendo così sul valore totale della strada. Va però detto che un manto stradale in buone condizioni protegge e contribuisce alla durabilità del sottofondo.

Nello studio devono poi essere definiti i vari parametri coperti nell'*inventory*: tipo di energia, di materiali, di emissioni e di residui, che vanno riferiti ad una tecnologia *standard* e ad una specifica tipologia di impianti. Ovviamente, è anche necessario definire il tipo di strada presa in considerazione. Dato il gran numero di parametri in gioco il procedimento è molto complesso, ma una volta modellizzato può servire per analizzare vari casi. Immaginiamo di considerare una strada avente le seguenti caratteristiche:

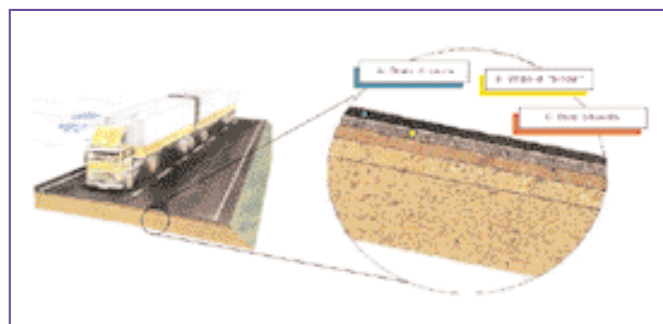


Figura 4 - Sezione (non in scala) di strada-tipo. Gli strati A, B, C sono asfaltici e cioè composti da bitume più inerti



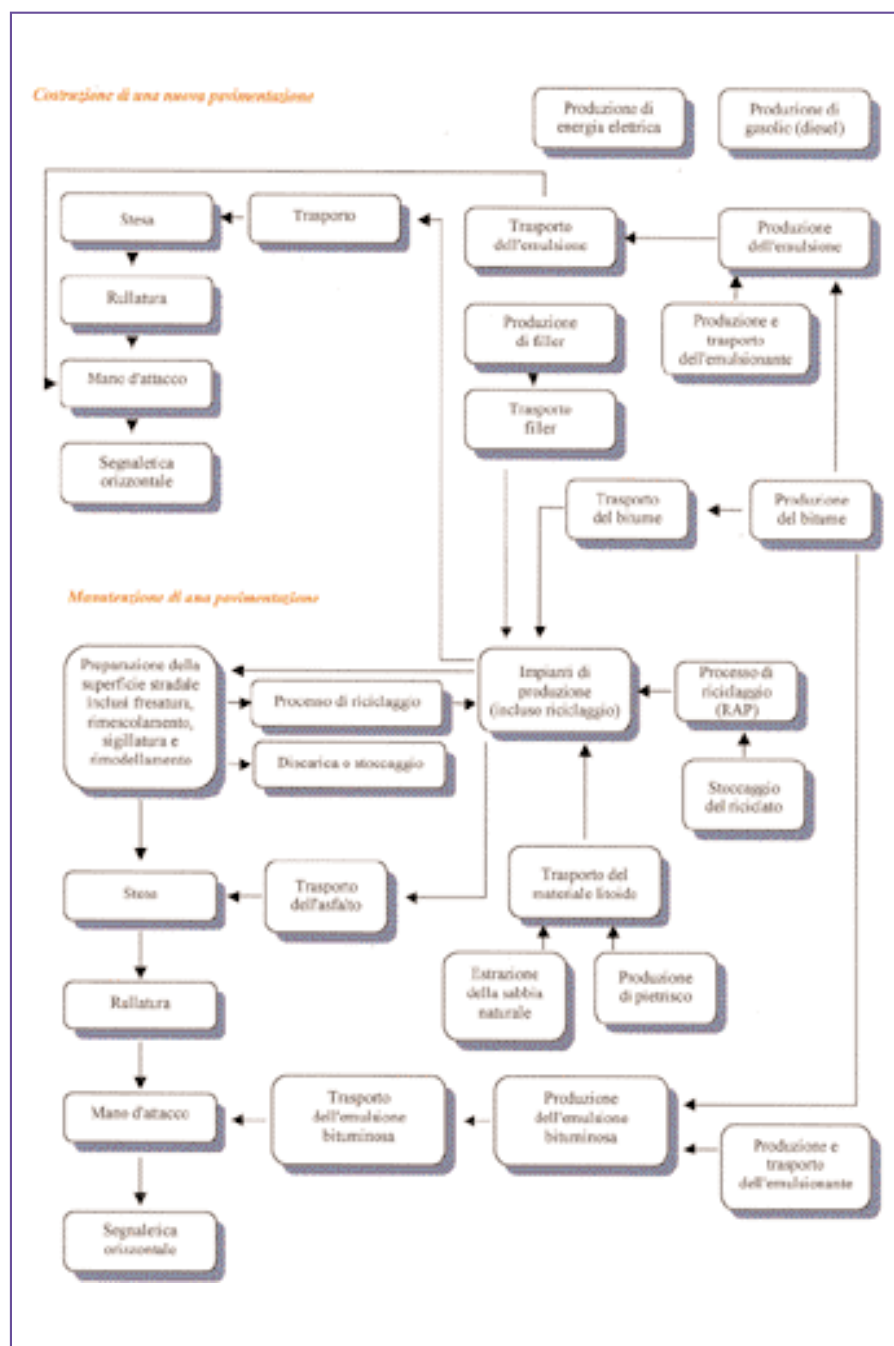


Figura 5 - Diagramma di flusso relativo al ciclo di vita di una pavimentazione asfaltica, inclusi costruzione iniziale e manutenzione

- larghezza: 9 metri per carreggiata (18 in totale);
- lunghezza: 1 km;
- intensità di traffico: 1.000 veicoli/giorno (500x2);
- traffico pesante: 15%;
- durata: 40 anni.

I risultati tipici che ne derivano sono riportati in Tabella 2 in cui si vede che il modello applicato, pur tipico della situazione europea, andrebbe ritoccato per l'Italia (dove non sono presenti né il nucleare, né il carbone). Relativa-

mente al bitume sono stati usati, per arrivare alla Tabella 2, i dati dello studio citato nel paragrafo precedente.

La produzione del conglomerato asfaltico può anche essere analizzata sotto forma di sub-processi diversi. In pratica si può evidenziare che la produzione del bitume e la combustione del *fuel oil* durante la preparazione del conglomerato sono gli stadi più importanti, sia dal punto di vista del consumo energetico che delle emissioni nell'atmosfera.