

# Eco-profilo dell'asfalto

## Hot-mix production: energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions



**CARLO GIAVARINI**

Università di Roma La Sapienza

### Riassunto

Nella letteratura internazionale stanno comparando articoli che spesso si limitano a produrre tabelle di dati relativi a consumi energetici ed emissioni, collegati al conglomerato bituminoso, senza specificare quali ipotesi e/o algoritmi si celano dietro questi numeri. Basandosi sulla realtà italiana e su dati della letteratura internazionale, il presente studio vuole definire i consumi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> relativi alla produzione del conglomerato bituminoso; ciò considerando il contributo dei diversi costituenti del conglomerato e del processo di produzione. Vengono evidenziate le semplici procedure e ipotesi adottate, così che sia possibile, nel futuro, migliorare l'approssimazione dei dati e delle procedure.

### Summary

*A number of recent articles include tables and data related to energy consumption and emissions during the production of hot and warm asphalt mixes. The starting hypothesis and procedures are frequently not described. The present study evaluates the energy consumptions and CO<sub>2</sub> emissions related to the production of the Italian hot mix. The simple procedures and the hypothesis used for the evaluations are clearly explained. So doing, corrections and implementations of the data are always possible.*

### 1. Premessa

Energia e ambiente figurano oggi tra le parole più usate (e abusate) nella maggior parte delle attività umane, soprattutto di tipo industriale e manifatturiero; spesso sono accompagnate dall'espressione "sviluppo sostenibile".

Visto in senso lato, il settore dell'asfalto è sempre stato considerato scarsamente attento all'energia e all'ambiente. In effetti, l'impatto ambientale di qualche decennio fa poteva impressionare sfavorevolmente il cittadino. Oggi queste situazioni si sono fortunatamente ridotte e si limitano a casi in cui disturba più l'apparenza che la sostanza.

La realtà emerge dai dati, basandosi sui quali si può

dimostrare non solo che l'industria dell'asfalto ha le carte in regola, ma che possiede anche margini per migliorare ulteriormente le sue "prestazioni" ambientali ed energetiche.

Già nell'ormai lontano 2001, SITEB pubblicò, con notevole lungimiranza, un articolo dal titolo "Il Life Cycle Assessment dell'asfalto" (Rassegna del bitume 38/01, pg. 43-49), sottolineando il fatto che l'Unione Europea aveva scelto il *Life Cycle Inventory* quale metodo per la valutazione ambientale e che stava redigendo una apposita normativa in materia. Su questo argomento ritorna un altro articolo pubblicato in questo stesso numero della Rassegna.

Altri scritti stanno comparando nella letteratura internazionale: a parte alcuni casi, essi si limitano a produrre

re tabelle di dati, relativi a consumi ed emissioni, spesso senza dire quali misure, calcoli o algoritmi supportano i dati riportati che, ovviamente, variano da fonte a fonte e da Paese a Paese. Ciò rischia di creare confusione e, alla fine, di nuocere alla credibilità del settore. Senza avventurarci nella complessa valutazione del *Life Cycle Inventory*, o addirittura del *Life Cycle Assessment*, cercheremo di dare un'idea, nel modo più semplice e chiaro possibile, dell'impatto che ha la produzione del conglomerato bituminoso (*hot mix*) sull'ambiente. Ci limiteremo ad un tentativo di definizione, pur molto approssimato, dei consumi di energia e delle emissioni di anidride carbonica. Ciò basandoci sia su dati della letteratura che su informazioni e dati sperimentali raccolti presso i produttori nazionali, relativi cioè alla realtà italiana.

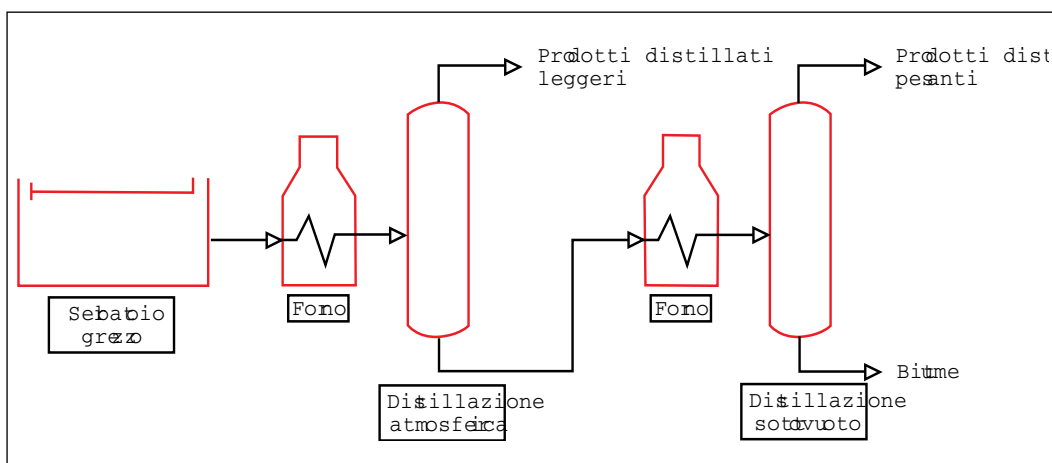
Esplicitando l'origine dei dati di input e il semplice procedimento che porta al dato finale, si rende possibile l'introduzione di successive correzioni e integrazioni, a mano a mano che si rendono disponibili informazioni più dettagliate e precise. Questo quindi vuole essere un primo punto di partenza, in attesa di avere ulteriori più precise informazioni e di disporre, come termine di

confronto, dei dati che le varie Associazioni europee (Eurobitume, Eapa, AEMA ecc) stanno preparando. In ogni caso questo tipo di valutazioni, anche le più serie, hanno un carattere generale e sono quindi necessariamente soggette a molte mediazioni ed approssimazioni che non permettono, ad esempio, di confrontare tra di loro i diversi impianti di produzione. Considerando però la valutazione dell'applicazione finale, ovvero la produzione del conglomerato bituminoso, si può arrivare a stime sufficientemente accurate. Cominceremo col prendere in esame la produzione del bitume, per poi passare a quella degli inerti e del conglomerato bituminoso che, come noto, contiene mediamente circa il 5% in peso di bitume come legante. Non si considera per il momento la possibilità di riciclare il fresato.

## 2. La produzione del bitume

Trascurando l'impiego (poco diffuso) del bitume proveniente da asfalti naturali, (per il quale d'altronde l'energia e le emissioni messe in gioco sarebbero trascurabili) consideriamo il bitume prodotto in raffineria a partire da asfalti

grezzi petroliferi. Il ciclo semplificato di produzione è normalmente quello indicato in **Fig. 1**; esso si realizza nei primi due impianti di una raffineria: la distillazione atmosferica (*topping*) e la distillazione sotto vuoto (*vacuum*). Per una valutazione più completa però, occorre considerare tutte le fasi che concorrono all'ottenimento del bitume, a partire dall'estrazione



**Fig. 1** Ciclo semplificato di produzione del bitume in raffineria. Non sono indicati i sistemi di pompaggio e di recupero del calore dai prodotti



**Fig. 2** Ciclo completo di ottenimento del bitume, a partire dall'estrazione del grezzo

del petrolio grezzo, per poi considerare il trasporto nei luoghi di consumo (spesso molto distanti da quelli di produzione), cui si aggiunge alla fine il processo di produzione e di stoccaggio in raffineria. La catena è molto complessa e presenta molteplici variabili (**Fig. 2**). Per riuscire a quantificare il processo globale occorre fare alcune ipotesi, mediando tra le varie possibilità, come ad esempio:

- ▶ considerare un "range" di grezzi provenienti sia dal Medio Oriente (70%) che dal Venezuela (30%), che sono le zone più tipiche per la fornitura di petrolio adatto alla produzione del bitume. Il trasporto verso l'Europa, ovvero verso il centro di raffinazione e consumo, avverrà quindi a partire da queste due zone;
- ▶ anche la tipologia e la potenzialità della raffineria va presa in considerazione per definirne i consumi energetici: si può considerare una tipica raffineria europea che produca circa 400.000 tonnellate/anno di bitume;
- ▶ sebbene non ci sia una grande differenza tra le più comuni produzioni di bitume (ottenuto come mostrato in Fig. 1) è bene fissare anche il tipo di bitume: ad esempio il grado 50/70, mediamente il più comune a livello Europeo.

Con queste ipotesi, gli esperti di Eurobitume e del Concawe si sono cimentati, già alla fine del secolo scorso, in un impegnativo e accurato esercizio, i cui dati più significativi sono riportati nella **Tab. 1** (origine: Eurobitume Report 99/007, maggio 1999).

Approssimando i dati, si ricava quindi che per produrre un Kg di bitume occorrono 4,9 MJ (ovvero  $4,9 \times 10^6$  Joule) o, nelle vecchie e forse più familiari unità: 1,17 MCal (ovvero 1.170 Kilocalorie).

Se ci riferiamo ad una tonnellata, anziché ad un chilogrammo, occorre ovviamente moltiplicare le suddette cifre per 1.000. La tabella 1 riporta anche i dati delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

**TAB. 1** Produzione del bitume a partire dall'estrazione del grezzo fino allo stoccaggio finale in raffineria. Energia necessaria ed emissioni di CO<sub>2</sub> riferite alla produzione di 1 Kg di bitume

	Estrazione e Trasporto Petrolio	Produzione e Stoccaggio Bitume	Produzione dell'energia elettrica	Totale
Energia [MJ/kg]	2,784	1,538	0,561	4,883
Anidride Carbonica [g/Kg]	155,86	100,18	20,61	276,65

Rispetto ad altri materiali leganti, questi dati sono relativamente confortanti. Così ad esempio, i dati forniti dai produttori in un Convegno sulla Sostenibilità nell'Industria del Cemento (Lillehammer, Norvegia, 16-19 Settembre 2007) hanno indicato in 800 grammi la quantità di CO<sub>2</sub> emessa durante la produzione di un Kg di cemento.

Occorre da ultimo fare una precisazione: in questo esame non è stata considerata l'energia insita nel bitume stesso, mediamente pari a circa 39.500 KJ/Kg (9.440 Kcal/Kg), in quanto il bitume non viene considerato come combustibile, ma come materiale da costruzione, interamente riciclabile e recuperabile; non essendo esso bruciato, la sua energia non viene persa.

Occorre inoltre fare un'ulteriore considerazione: indipendentemente dalla produzione del bitume, che è un residuo della distillazione, il grezzo petrolifero andrebbe comunque distillato e "lavorato" per ottenere prodotti molto più importanti dal punto di vista quantitativo e della redditività economica. Non si vuole con ciò dire che il bitume sia ottenuto a costo ambientale quasi zero, ma solo ribadire che i dati registrati da Eurobitume sono comunque molto "onesti".

### 3. Gli inerti

Il processo per ottenere gli inerti è in teoria molto più semplice di quello per il bitume. In pratica però una valutazione dell'energia e delle emissioni risulta più complessa in quanto non esistono studi e dati ufficiali sulla produzione degli inerti.

Il mondo della cava è più complesso di quanto possa sembrare al profano: l'escavazione può essere fatta a secco o in falda, con vari sistemi (vedi ad esempio un recente articolo pubblicato nel n. 1-2, 2008, pag. 117-119 della rivista Le Strade).

Seguono le operazioni di prevaglio ed eventuale frantumazione primaria, cui si aggiungono lo stoccaggio, l'eliminazione delle frazioni leggere e la selezione. Può poi essere necessaria una frantumazione secondaria e terziaria con i relativi trattamenti e ricomposizioni degli aggregati, stoccaggio e trasporto.

Gli inerti sono un componente importante del conglomerato bituminoso (circa 95% in peso), così come lo sono del calcestruzzo e quindi influenzano qualsiasi tipo di valutazione che si voglia fare.

Le leggi matematiche della comminazione si basano sul rapporto che lega l'energia impiegata e l'entità della riduzione dimensionale del prodotto; nel caso più generale sono del tipo:

$$dE = dx/x^n$$

La variazione dimensionale  $dx$  è direttamente proporzionale all'energia spesa la quale, a sua volta, è inversamente proporzionale (secondo una funzione che dipende dal valore  $n$ ) alla dimensione iniziale  $x$  del materiale. Esistono varie ipotesi analitiche, spesso nate da considerazioni aventi carattere prevalentemente empirico, che tengono conto anche degli indici di macinabilità dei vari materiali. In questa sede non si ritiene opportuno addentrarsi in questo campo complesso, che comunque porterebbe a risultati affetti da notevoli incertezze e approssimazioni. Più empiricamente, si è tentata una valutazione (molto approssimata) sulla base di informazioni arrivate da alcuni produttori, consci del fatto che per questi dati i margini per perfezionamento e correzioni sono elevati.

La prima ipotesi che facciamo, data la grande varietà dei casi possibili, è che l'energia spesa per l'estrazione sia paragonabile a quella necessaria alla successiva lavorazione. Quest'ultima è stata stimata essere, secondo alcune fonti, pari a circa 5-6 MJ/t.

L'energia totale, (estrazione più frantumazione, ecc.) potrebbe quindi essere dell'ordine dei 10 MJ/t (2,4 Mcal/t) ovvero di 10 KJ/Kg. Altri dati "di campo", basati su una estrapolazione dei consumi di elettricità, indicano valori intorno ai 5-6 Kwh, ovvero circa 20 KJ/Kg (20 MJ/t). Come stima più prudente, potremmo per il momento assumere quest'ultimo valore, in attesa di ulteriori precisazioni.

Considerando la grande differenza tra l'energia spesa per produrre i leganti e gli inerti, nonché il fatto che spesso il confronto viene fatto non tra gli inerti, ma tra i vari materiali (es. calcestruzzo, conglomerato o altro) che li contengono, gli inerti diventano quasi una "costante" e questo dato assume una importanza minore.

Per il calcolo della  $CO_2$  emessa durante la produzione, si può assumere l'impiego equivalente di olio combustibile o di metano, anche se nella centrale a monte si è impiegata energia elettrica.

Considerando un potere calorico (PCI) di 41.000 KJ/Kg (ovvero 9.800 Kcal/Kg) per l'olio combustibile, occorrono:

$$20.000/41.000 = 0,488 \sim 0,5 \text{ Kg di olio per tonnellata di inerti}$$

Considerando un contenuto medio di carbonio nel combustibile, pari all'85% (che corrisponde alla ipotetica formula bruta  $CH_2$ ) la combustione genera 3,4 Kg di  $CO_2$  per Kg di olio e quindi circa 1,7 Kg di  $CO_2$  per tonnellata di inerte.

Impiegando il metano come combustibile e assumendo un PCI di circa 36.000 KJ/m<sup>3</sup> (8.550 Kcal/m<sup>3</sup>) servirebbero circa 0,56 Nm<sup>3</sup> di metano per tonnellata. Le emissioni di  $CO_2$  sarebbero di circa 0,98 Kg di  $CO_2$  per tonnellata, considerando che un metro cubo di metano produce 1,96 Kg di  $CO_2$ .

#### 4. Produzione del conglomerato bituminoso (Hot Mix)

Consideriamo il caso più comune e tradizionale, ovvero la produzione del conglomerato bituminoso "a caldo" senza apporto di fresato. Come noto, il processo consiste nel riscaldare gli inerti e deumidificarli, così da predisporli alla miscelazione con il bitume caldo in impianti concettualmente molto semplici (Fig. 3). L'operazione di miscelazione avviene a circa 160 °C con brevi tempi di permanenza nel miscelatore. Si può ragionevolmente assumere che la temperatura media di partenza sia di 15 °C. Dato l'elevato valore del calore latente di evaporazione dell'acqua contenuta negli inerti (quasi 600Kcal/Kg) è molto importante riferirsi a un ben definito grado di umidità degli inerti stessi (iniziale e finale).

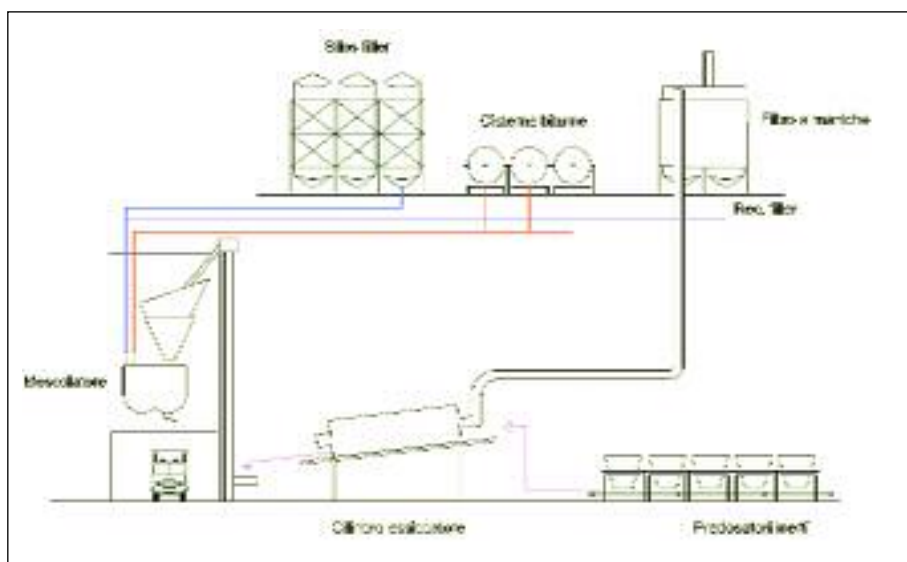


Fig. 3 Schema semplificato di impianto per la produzione del conglomerato bituminoso

Questo può variare notevolmente ed è normalmente diverso se si considera la frazione più fine ("sabbia") o quella più grossolana; varia inoltre a seconda della stagione, della latitudine e delle modalità di stoccaggio. Dati medi del Nord Italia indicano valori di 5-8% per la "sabbia" e di 2-5% per l'inerte "grosso".

Si consideri che in un "tappetino" (strato superficiale della pavimentazione) si può impiegare quasi il 50% di inerte fine. L'umidità residua dopo l'essiccazione è prossima a zero: mediamente si può considerare un valore di 0,5%. Un calcolo analitico ed accurato è stato fatto da Y. Le Goff et All. e pubblicato su "European Roads Review" (RGRA, n. 10, primavera 2007, pg. 54-63). Gli Autori partono da contenuti di umidità relativamente bassi (3% per le sabbie e 1% per l'inerte grossolano) e arrivano a consumi energetici di 176 MJ per tonnellata di conglomerato prodotto. Essi dettagliano le procedure di calcolo e le ipotesi fatte, con un approccio serio e trasparente al problema.

Un analogo calcolo è stato effettuato da F. Olard C. Le Noan e presentato (nonché premiato) al recente 13° Congresso Mondiale della Strada di Parigi (vedi anche "Routes/Roads" organo di AIPCR, n° 336-337, primo trimestre 2008, pg. 130-145).

Partendo da inerti con il 3,5% di umidità media, l'energia calcolata risulta essere di 227 MJ e quindi superiore a quella dei precedenti Autori.

Volendo verificare praticamente la validità delle ipotesi fatte e dei calcoli analitici dei colleghi francesi, abbiamo cercato di valutare gli effettivi consumi di alcune realtà nazionali, sia sulla base delle informazioni date dai produttori di conglomerati, sia di quella fornita da un costruttore di impianti. I dati si riferiscono a impianti di media potenzialità, con umidità media del 4-5% e riscaldamento da 15 °C a 150-160 °C.

Considerati entro questi limiti, i dati risultano abbastanza omogenei e si attestano intorno a valori di circa 300 MJ per tonnellata di conglomerato (280-320 MJ/t), con consumi dichiarati

di 7-8 Kg/t di olio combustibile o 9÷10 m<sup>3</sup> di metano. Il consumo elettrico (incluso nei 300 MJ/t) è stato stimato essere di circa 10 MJ/t (3,3%).

Una variazione di umidità dell'1% fa variare di circa 60/70 MJ il valore finale dell'energia richiesta, così come l'incremento di 10 °C nella temperatura di riscaldamento, provoca variazioni dell'1,3%, in più o in meno.

Considerando l'impiego di 7,5 Kg di olio combustibile, si può calcolare, con le ipotesi fatte nel precedente paragrafo, che le emissioni di CO<sub>2</sub> siano di circa 25,5 Kg per tonnellata di conglomerato. I consumi di gas naturale dichiarati (9-10 m<sup>3</sup>) corrispondono a gas con poteri calorifici inferiori a quelli del metano (ca 36.000 KJ/Nm<sup>3</sup>). Occorre tener presente anche la temperatura a cui è stato misurato il volume del gas metano.

Ciò è ininfluente per il calcolo, che deve comunque essere fatto sulla base dell'energia spesa, in quanto un gas con minore PCI prevede consumi maggiori, ma contiene meno metano e più gas inerti (e quindi emette meno CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>).

Il metano teoricamente necessario è quindi:

---


$$300.000/36.000 = 8,33 \text{ m}^3$$


---

La corrispondente CO<sub>2</sub> risulta essere:

---


$$8,33 \times 1,96 = 16,3 \text{ Kg/t}$$


---



Un aspetto interessante degli articoli citati di Le Goff e Martineau è l'estensione del calcolo all'impiego di tecnologie tiepide (WMA-CS process) per la preparazione del conglomerato.

In entrambi i casi l'energia richiesta si riduce del 40-50%, con conseguente riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Così per Y. Le Goff e colleghi, occorrono 91,5 MJ per produrre una tonnellata di conglomerato WMA, mentre per F. Olard e C. Le Noan ne occorrono 131 MJ/t.

Forse questi calcoli sono un poco ottimistici, ma danno comunque un'idea del risparmio che si può avere in termini di energia ed emissioni di CO<sub>2</sub>.

## 5. Eco-profilo dell'asfalto

Sulla base dei dati sopra riportati, proviamo a calcolare quanta energia viene spesa globalmente per produrre una tonnellata di conglomerato "a caldo", considerando anche i consumi energetici necessari per produrre il bitume e gli inerti. Il calcolo, i cui risultati sono riportati in **Tab. 2**, è molto semplice, considerando l'impiego del 5% in peso di bitume.

Ripetiamo che tale dato deve considerarsi provvisorio e necessita di ulteriori verifiche e aggiornamenti. È comunque una base di partenza per i successivi sviluppi. Siamo sicuri che per impianti di grandi potenzialità e moderni, i dati hanno discreti margini per essere ridotti.



Nel caso di produzione con le tecnologie tiepide, ipotizzando una riduzione del 40% sulla produzione del conglomerato, secondo i dati forniti dai citati autori francesi, l'energia per la produzione del conglomerato diventa 180 MJ/t e la produzione di una tonnellata di conglomerato richiederebbe circa 443 MJ. L'emissione di CO<sub>2</sub> scenderebbe a circa 35 Kg/t o a 24,6 Kg/t nel caso di uso del metano.

A parere nostro però questo dato richiede una migliore e più dettagliata analisi, con riferimento alle varie tecnologie per la produzione di conglomerati "tiepidi". ■

**Tab. 2** Dati riepilogativi relativi ai componenti del conglomerato e alla sua produzione (hot mix), riferiti ad una tonnellata

	Bitume	Inerti	Produzione Conglomerato	Conglomerato Finito
Energia MJ/kg	4.883	20	300	563,15
Anidride carbonica kg/t	276,65	1,70	25,5	40,9
Anidride carbonica kg/t (*)		0,98	16,3	31,1

(\*): con impiego di metano anziché di olio combustibile