

# Life Cycle Assessment (LCA)

## Verso la sostenibilità ambientale delle pavimentazioni stradali

### Life Cycle Assessment of asphalt pavements



**MAURO MASCHIETTO**  
Consulente

#### Riassunto

L'intento perseguito nella preparazione del presente testo che segue è stimolare la curiosità culturale delle diverse componenti del settore stradale attraverso la descrizione delle motivazioni e dei concetti che stanno alla base del processo di "valutazione del ciclo di vita" altresì noto come Life Cycle Assessment (v. Rassegna n° 38/01). Attraverso la rielaborazione di dati provenienti da nazioni più sensibili al rispetto ambientale, viene fornito un esempio di calcolo dell'impegno energetico richiesto da diverse tecnologie di produzione del conglomerato bituminoso, associato alla valutazione delle emissioni in atmosfera di gas serra.

#### Summary

*This paper intends to stimulate the cultural curiosity of the various road sector operators through the description of motivations and concepts, which are at the base of the "Life Cycle Assessment" process (LCA). Thanks to the reprocessing of data coming from eco-friendly nations, it gives a calculation example of the energy commitment required by the different asphalt mixture production technologies, in relation with the assessment of greenhouse gas emissions*

#### 1. Premessa

La conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile tenutasi nel 1992 a Rio de Janeiro ha costituito l'inizio della presa di coscienza universale sui rischi di degrado a cui va incontro il pianeta. Questa presa di coscienza si è formalizzata, attraverso gli accordi di Kyoto del 1997, nell'impegno dei Paesi firmatari di ridurre le emissioni di gas a effetto serra agli stessi livelli del 1990. Nel quadro della sua politica di sviluppo sostenibile l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) ha fissato la priorità per il primo decennio del XXI secolo a due azioni:

- ▶ la limitazione dell'impatto dell'industria sui cambiamenti climatici;
  - ▶ l'ottimizzazione della gestione delle risorse naturali.
- Vi sono evidenze che le attività connesse alla costru-

zione e manutenzione delle pavimentazioni stradali siano connotate da un elevato consumo di materie prime ed energia laddove si valuti in particolare tanto il dato afferente l'attività di estrazione e confezionamento quanto quello relativo ai consumi dei mezzi d'opera. Se ne può dedurre che una maggior propensione da parte degli attori del processo costruttivo e manutentorio stradale (enti proprietari/concessionari e imprese) verso l'individuazione ed applicazione di pratiche più sostenibili potrebbe consentire loro di identificare opportunità di riduzione dei costi e maggiori efficienze nell'impiego delle risorse.

Questo obiettivo è raggiungibile attraverso l'uso di uno strumento nato per l'analisi dei sistemi industriali ed in forte espansione a livello internazionale: il *Life Cycle Assessment* o Valutazione del Ciclo di Vita (LCA). »

## 2. LCA: definizione e scopi

Nel suo rapporto per le Nazioni Unite nel 1987, H. Burtland descriveva lo sviluppo sostenibile come: “uno sviluppo in grado di soddisfare i bisogni attuali senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri”.

Parafrasando questa affermazione si potrebbe definire la pavimentazione stradale sostenibile nel modo seguente: “Una pavimentazione sicura, efficace e rispettosa dell’ambiente, rispettosa delle esigenze degli utenti di oggi senza compromettere quelle delle generazioni future”.

In quest’ottica si può introdurre il concetto di *Life Cycle Assessment* quale strumento di ottimizzazione dell’impatto ambientale della struttura attraverso lo studio del risparmio dell’energia e delle risorse non rinnovabili.

Il *Life Cycle Assessment* rappresenta il principale strumento operativo del “*Life Cycle Thinking*”: si tratta del “processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali connessi con un prodotto/processo/attività attraverso l’identificazione e la quantificazione dell’energia e dei

materiali utilizzati, dei rifiuti rilasciati nell’ambiente, al fine di quantificare l’impatto, valutare e realizzare le opportunità di miglioramento ambientale” (Congresso *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993).

LCA permette, quindi, di valutare l’impatto ambientale di un prodotto, processo o attività attraverso l’identificazione e la quantificazione dei flussi di energia e dei materiali; assegnando un valore a questi consumi quanto alle emissioni generate ed, infine, individuando le possibili misure atte a migliorare l’ambiente. L’analisi comprende il ciclo completo di vita di un prodotto, processo o attività, comprendendo in ciò la produzione di materie prime, la lavorazione, il trasporto e la distribuzione, uso ed il riutilizzo, la manutenzione, il riciclaggio dei materiali e la loro eliminazione finale o distruzione.

A livello internazionale la metodologia LCA è regolamentata dalle Norme ISO della serie 14040, recepite in ambito europeo e nazionale con la serie UNI EN, in base alle quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede:

- la definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione dell’analisi (UNI EN ISO 14041);

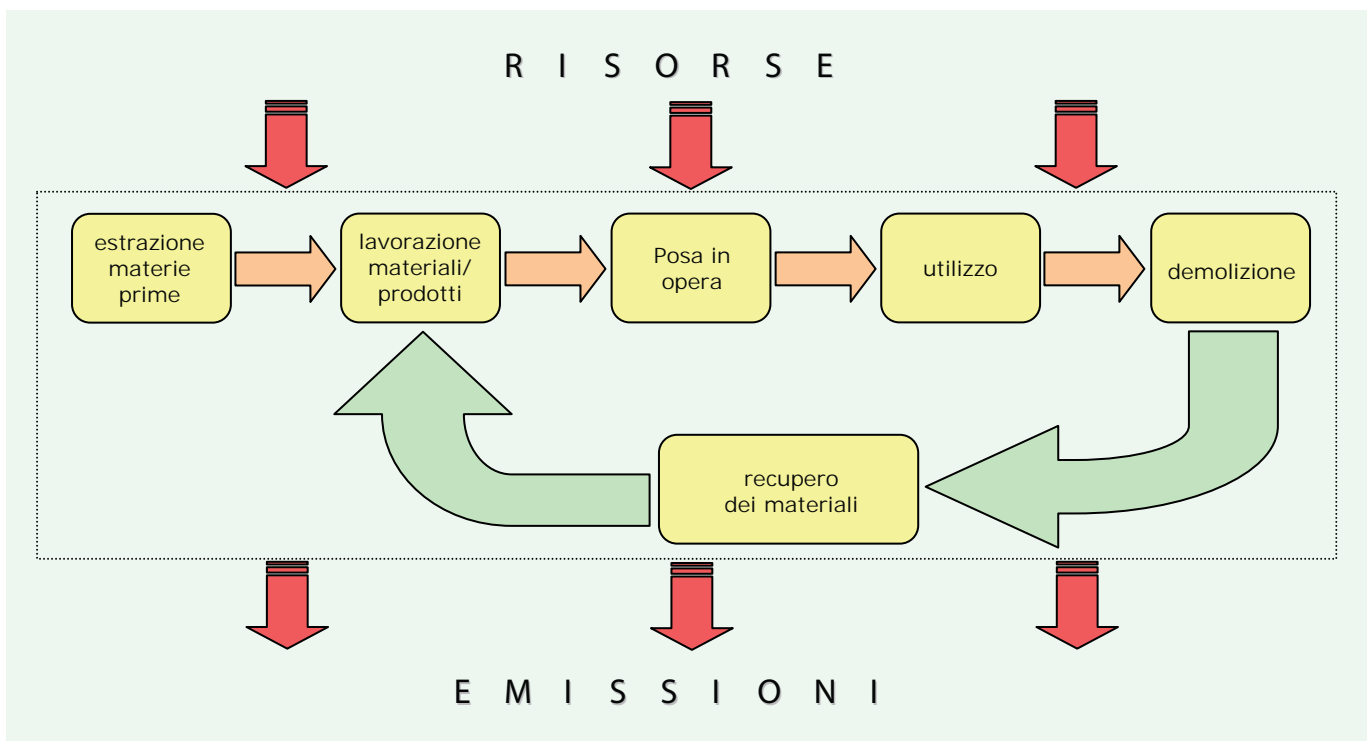


Fig. 1 Schema di Life Cycle Assessment di un conglomerato bituminoso

- ▶ la compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (UNI EN ISO 14041);
- ▶ la valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input ed output (UNI EN ISO 14042);
- ▶ l'interpretazione dei risultati (UNI EN ISO 14043).

### Perché effettuare l'analisi del ciclo di vita di un prodotto?

- ▶ Per realizzare una raccolta completa ed organica di tutti i dati relativi alla fabbricazione di un prodotto, creando così un sistema informatico che supporti un sistema di gestione ambientale, tenendo sotto controllo le emissioni, i consumi delle risorse e gli effetti connessi.
- ▶ Per raggiungere un maggior controllo delle prestazioni ambientali di un prodotto e/o di un processo.
- ▶ Per evidenziare i "punti deboli" del processo produttivo: individuando le fasi sulle quali è possibile intervenire per diminuire l'impatto ambientale del prodotto, si può arrivare a ridurre i consumi di energia, di materie prime e la produzione di rifiuti, diminuendo di conseguenza i costi di produzione.
- ▶ Per valutare la "prestazione ambientale" di un prodotto rispetto a un prodotto analogo, in modo tale da poter fare delle opportune scelte.
- ▶ Per progettare e quindi realizzare un prodotto che causi un minor impatto sull'ambiente.
- ▶ Per individuare le possibili migliorie tecnologiche e gestionali di un prodotto e del suo indotto nell'ottica dello sviluppo sostenibile.
- ▶ Per migliorare l'immagine del prodotto e dell'Azienda, nei confronti del pubblico.

Uno studio dettagliato di LCA può risultare a volte costoso, sia in termini economici che di tempo, e complesso da eseguirsi: in quanto si devono acquisire

una notevole quantità di dati ambientali durante ogni fase del ciclo di vita, per cui a volte può essere sufficiente fermarsi al primo stadio dell'analisi – il cosiddetto *Life Cycle Inventory* – per poter, comunque, apprezzare i vantaggi e gli svantaggi ambientali collegati a determinate scelte opzionali. Nella fase di inventario (LCI), vengono individuati e quantificati i flussi in ingresso ed in uscita al sistema di prodotto. Sono previsti tre momenti: la raccolta dei dati, il processo di calcolo e l'interpretazione dei risultati.

La raccolta dei dati prevede la spiegazione in dettaglio

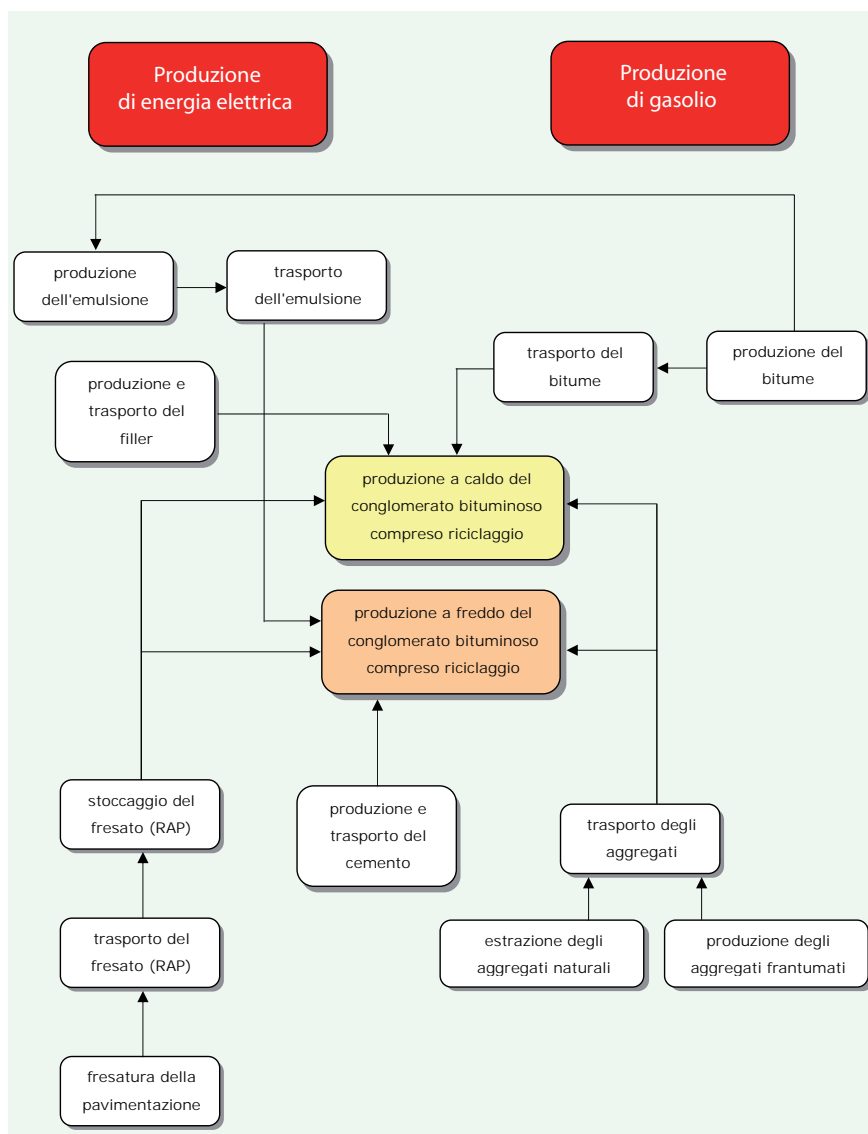


Fig. 2 Modello di ciclo di vita per il conglomerato bituminoso

delle modalità di acquisizione (diretti, indiretti, elaborati) e delle categorie a cui i dati appartengono (materia, energia, ambiente). Il procedimento di calcolo elabora i dati in ingresso tramite algoritmi che simulano i processi industriali in esame. Questa fase prevede anche il trattamento di eventuali dati mancanti con la relativa motivazione della loro assenza. Spesso è necessario mettere insieme dati provenienti da diversi Paesi e da diverse sorgenti (industria, statistiche nazionali, manuali di ingegneria, ecc.), a volte con una precisione diversa. I risultati ottenuti dal procedimento di calcolo sono: le emissioni gassose, solide, liquide; le quantità di prodotto finito e/o di semiprodotto lavorati; i consumi energetici.

La fase di interpretazione dei risultati dell'analisi di inventario prevede la verifica della qualità dei dati e dei risultati (bilanci di massa ed energia); viene anche valutata la correttezza e l'adeguatezza delle scelte metodologiche assunte nel procedimento di calcolo.

Questo macro approccio fornisce delle informazioni molto utili nello sviluppo di una strategia globale ed i risultati dell'analisi di inventario costituiscono il punto di partenza della fase successiva: la valutazione degli impatti ambientali.

### 3. Modello di Ciclo di Vita per il conglomerato bituminoso

L'esercizio che ci si propone di fare nel seguito è appunto quello di definire macroscopicamente l'impatto in termini energetici e di emissioni legati al confezionamento del prodotto conglomerato bituminoso nelle diverse formulazioni ed applicazioni che l'attuale livello di conoscenze permette di identificare, il tutto allo scopo di fornire uno strumento utile alla definizione di un concetto di sostenibilità nella costruzione stradale.

### 4. Inventario delle materie prime e delle attività

L'analisi d'inventario è basata sui dati prodotti all'interno dello studio pilota curato da H. Stripple per conto dell'IVL *Swedish Environmental Research Insti-*

*tute* dal titolo "Life Cycle Analysis of Road" (seconda edizione, 2001). Una verifica eseguita su dati prodotti da uno studio presentato al XXI Convegno Nazionale AICPR (1990) da Bocchi-Francesco pur con lievi scostamenti, in parte dovuti a diversi dati di partenza, conferma i risultati ottenuti.

#### Produzione di energia elettrica

Va considerato che l'energia elettrica in Svezia viene prodotta principalmente attraverso centrali idroelettriche e nucleari e in parte minore attraverso combustibili fossili e da biomasse. Quindi, praticamente, attraverso processi poco o per nulla rappresentativi della realtà italiana.

#### Aggregati

Si sono considerati esclusivamente aggregati prodotti per frantumazione di roccia compatta. Non sono state eseguite distinzioni fra le varie frazioni granulometriche, né si è preso in considerazione l'uso di sabbia naturale, poiché non utilizzata o presente in misura marginale nel confezionamento di conglomerati bituminosi. Il filler è considerato come prodotto finale di un processo raffinato di frantumazione. Non sono considerati i consumi energetici legati all'uso dei materiali esplosivi.

#### Bitume

Si considera l'utilizzo di bitume proveniente da distillazione di greggio venezuelano, con contenuto di bitume pari 60-65%.

Non si tiene conto dell'energia intrinseca del bitume, in quanto il bitume non è usato come combustibile e quindi la sua energia non viene rilasciata.

#### RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

Nel conteggio del consumo energetico non viene considerato il valore legato alle operazioni di rimozione e trasporto del materiale dal cantiere all'impianto ritenendolo parte del consumo legato alle operazioni di recupero o manutenzione. Vengono qui considerate le seguenti operazioni eseguite all'impianto di confezionamento dei conglomerati:

- ▶ movimentazione del materiale;
- ▶ frantumazione e selezione del materiale.

**Tab. 1 Consumi energetici richiesti per il confezionamento di alcuni tipi di conglomerato**

|                          | Base<br>MJ/t | Binder<br>MJ/t | Usura<br>MJ/t | LEA<br>MJ/t | CPR<br>MJ/t |
|--------------------------|--------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| Legante                  | 1,35E+02     | 1,52E+02       | 1,86E+02      | 1,86E+02    | 8,46E+01    |
| Aggregati                | 4,35E+01     | 4,98E+01       | 6,23E+01      | 6,23E+01    | 1,57E+01    |
| RAP                      | 9,22E+00     | 6,14E+00       | -             | -           | 2,19E+01    |
| Cemento                  | -            | -              | -             | -           | 1,05E+02    |
| Energia per emulsionare  | -            | -              | -             | -           | 4,91E-01    |
| Confezionamento a caldo  | 3,65E+02     | 3,65E+02       | 3,65E+02      | 2,69E+02    | -           |
| Confezionamento a freddo | -            | -              | -             | -           | 2,32E+01    |
| TOTALE                   | 5,53E+02     | 5,74E+02       | 6,14E+02      | 5,17E+02    | 2,51E+02    |

### Emulsione

L'emulsione utilizzata nel processo di produzione a freddo del conglomerato è una tipica emulsione a lenta rottura con contenuto residuo di bitume del 70% e della quale viene considerato il consumo energetico per la sua produzione comprensiva dell'agente emulsionante. Non è considerato il legante in quanto già conteggiato nel consumo del bitume.

### Produzione a caldo del conglomerato bituminoso

Si sono valutati i diversi tipi di conglomerati tradizionali previsti negli strati bituminosi dei pacchetti stradali utilizzati nel "Catalogo delle pavimentazioni stradali" redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Per lo strato di usura si è previsto una percentuale di bitume pari al 5,5% ed una miscela di inerti vergini. Per lo strato di collegamento una percentuale di bitume del 4,5% ed un apporto in RAP del 20%. Per lo strato di base una percentuale di bitume del 4% ed un apporto in RAP del 30%.

### Produzione con tecnologia a bassa energia del conglomerato bituminoso (LEA)

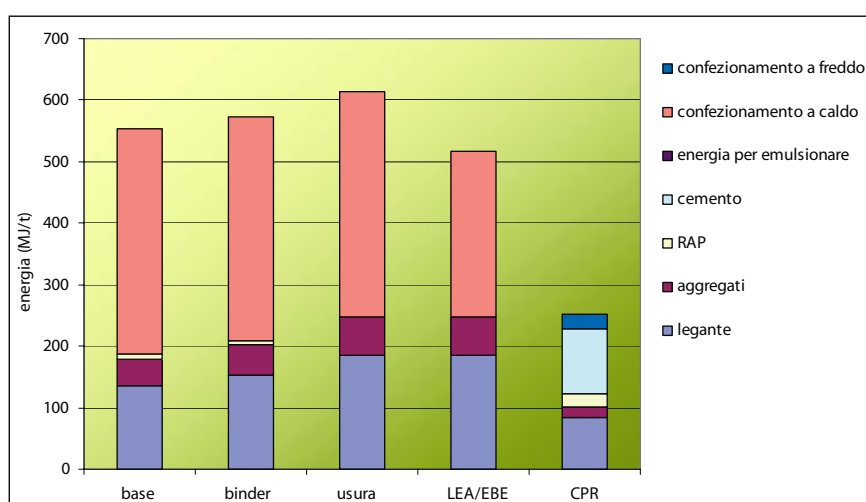
Viene preso in considerazione un conglomerato a bassa energia (*Low Energy Asphalt* o *Enrobé à Basse Énergie*) il quale viene confezionato utilizzando aggregati fini umidi e non riscaldati; pertanto il risparmio energetico si ottiene per differenza dal bilancio termico dell'operazione di essiccazione degli inerti per il confe-

zionamento di un conglomerato con questa tecnologia e per un conglomerato per strato di usura tradizionale. Si sono utilizzati i seguenti dati:

|  |              |
|--|--------------|
| Percentuale di aggregato grosso                    | 66%          |
| Contenuto di umidità dell'aggregato grosso         | 1%           |
| Percentuale di aggregato fine                      | 34%          |
| Contenuto di umidità dell'aggregato fine           | 4%           |
| Temperatura iniziale degli aggregati               | 15 °C        |
| Temperatura di riscaldamento dell'aggregato grosso | 160 - 130 °C |

### Produzione a freddo del conglomerato bituminoso (CPR)

Il conglomerato a freddo può essere prodotto con percentuali variabili di RAP da 0% al 100%; la scelta effettuata, basata su studi ed applicazioni recenti in Italia, ha comportato l'uso di una percentuale del 75%



**Fig. 3 Consumi energetici richiesti per il confezionamento di alcuni tipi di conglomerato (proporzioni relative)**

di RAP, 3,5% di emulsione e 2,5% di cemento. Si è considerato di utilizzare un impianto mobile e quindi posizionabile nelle vicinanze del cantiere di messa in opera.

### Analisi energetica

Una volta determinati i contributi energetici delle singole componenti e delle operazioni elementari si è proceduto a determinare il contenuto energetico relativo alla produzione di una tonnellata di conglomerato bituminoso per i diversi tipi di conglomerato che partecipano alla pavimentazione.

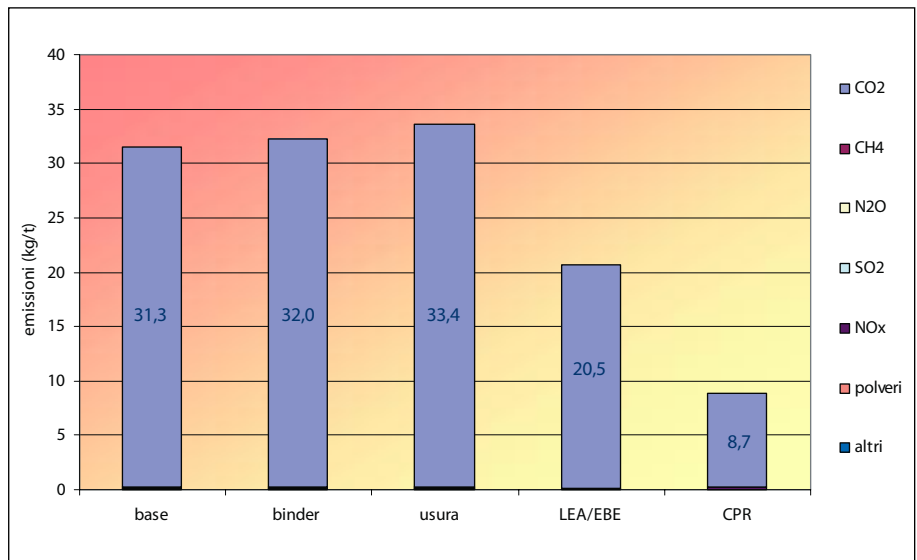


Fig. 4 Grafico delle emissioni di GES conseguenti al confezionamento di alcuni tipi di conglomerato

## 5. Analisi delle emissioni

I sei gas serra regolati dal Protocollo di Kyoto sono:

- ▶ l’anidride carbonica (CO<sub>2</sub>),
- ▶ il metano (CH<sub>4</sub>),
- ▶ il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O),
- ▶ gli idrocarburi fluorati (HFC),
- ▶ gli idrocarburi perfluorati (PFC)
- ▶ l’esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>).

Inoltre risultano particolarmente critici anche l’anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) alla base del fenomeno delle piogge acide (Tab. 2). Di tutti questi quello che risulta avere un peso nettamente

preponderante sugli altri, nelle attività connesse alla produzione delle materie prime che concorrono al prodotto finale «conglomerato bituminoso», è di gran lunga l’anidride carbonica. Va segnalato che uno studio accurato richiederebbe un’analisi molto complessa: in questo studio si dà conto di un caso semplificato, utile soprattutto per un confronto intuitivo. Inoltre risente anche dei dati d’ingresso non necessariamente riproducibili in realtà diverse da quelle dove è stato concepito. Si ricorda che il tipo di produzione elettrica considerato (idroelettrica e nucleare) genera bassi volumi di emissioni di NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

Tab. 2 Emissioni di GES (Gas Effetto Serra) conseguenti al confezionamento di alcuni tipi di conglomerato

|                  | Base     | Binder   | Usura    | LEA/EBE  | CPR      |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub>  | 3,13E+01 | 3,20E+01 | 3,34E+01 | 2,05E+01 | 8,65E+00 |
| CH <sub>4</sub>  | 1,03E-04 | 7,21E-05 | 1,06E-05 | 9,23E-06 | 2,25E-04 |
| N <sub>2</sub> O | 7,81E-04 | 5,39E-04 | 5,50E-05 | 5,10E-05 | 1,18E-03 |
| SO <sub>2</sub>  | 3,96E-02 | 4,27E-02 | 4,87E-02 | 4,48E-02 | 1,71E-02 |
| NO <sub>x</sub>  | 1,44E-01 | 1,30E-01 | 1,02E-01 | 8,95E-02 | 1,78E-01 |
| Polveri          | 3,50E-03 | 3,58E-03 | 3,76E-03 | 2,99E-03 | 2,70E-03 |
| Altri            | 3,70E-02 | 3,71E-02 | 3,73E-02 | 3,73E-02 | 3,70E-02 |
| TOTALE           | 3,15E+01 | 3,22E+01 | 3,35E+01 | 2,07E+01 | 8,89E+00 |

## 6. Conclusioni

Al di là delle valutazioni economiche legate ai prezzi crescenti dei prodotti petroliferi, abbiamo il dovere di interrogarci sul futuro delle risorse naturali e sul loro utilizzo più razionale.

Un processo intellettuale di questo genere portò, all'epoca della prima crisi petrolifera, allo sviluppo di tecniche interessanti di riciclaggio dei conglomerati bituminosi che permisero di far fronte all'emergenza ma soprattutto diedero spunto e vitalità al mondo della ricerca in questo campo, mai troppo vitale nel nostro Paese.

Oggi la situazione non è molto diversa da allora ma presenta alcuni elementi peggiorativi:

- ▶ si sono moltiplicati, sia in numero sia in volume, i depositi di materiali provenienti dalla fresatura delle pavimentazioni;
- ▶ il Piano delle Grandi Opere richiede un apporto di materiali naturali non sostenibile;
- ▶ il rispetto degli impegni assunti con il Protocollo di Kyoto impone a tutti i settori dell'industria di operare per il contenimento energetico e delle emissioni in atmosfera.

Quanto illustrato può rappresentare un utile strumento per comparare sul piano della sostenibilità ambientale i conglomerati bituminosi confezionati con la tecnologia tradizionale ed altri confezionati con tecnologie più rispettose dei parametri ambientali. È evidente che a questa analisi dovrà essere affiancata un'accurata analisi strutturale al fine di progettare comunque una struttura in grado di sopportare i carichi previsti. In base ai dati estrapolati si può giungere ad una

prima conclusione significativa: utilizzare la tecnologia a freddo consente un risparmio energetico superiore al 50% e una limitazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 72%; la tecnologia del tipo semitiepido consente un risparmio energetico del 16% ed una minor emissione di gas serra del 38%. Pertanto se utilizziamo la tecnologia a tiepido per lo strato di usura e quella a freddo per lo strato di base si arriva a tagliare le emissioni del 110% rispetto all'uso di materiali a caldo.

## 7. Bibliografia

- ▶ Stripple H. - *"Life Cycle Inventory of Asphalt Pavements"*, Report IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd for the European Asphalt Pavement Association (EAPA) and Eurobitume - October 2000.
- ▶ Stripple H. - *"Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis"*, Second Revised Edition. Report IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd - March 2001.
- ▶ FHWA - Federal Highway Administration - *"Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design"*, Pavement Division Interim Technical Bulletin - September 1998.
- ▶ Bocchi L., Francese M. - *"Riciclaggio delle pavimentazioni stradali flessibili. Risparmio energetico e beneficio ecologico"*, Atti del XXI Congresso Nazionale AIPCR Trieste - Giugno 1990.
- ▶ SITEB Associazione Italiana Bitume Asfalto Strade *"Il Life Cycle Assessment dell'asfalto"*, La Rassegna del Bitume 38/01.
- ▶ Eurobitume - *"Asphalt Advantages Report"*, 01/05 ■