

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA  
PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

Classe delle Lauree in Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Classe LM-35

***ABSTRACT***

**IL RICICLAGGIO DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO:  
VALUTAZIONE DELL' IMPATTO SULL' AMBIENTE**

Relatore

Prof.ssa Ing. Bruna Festa

Correlatore

Dott. Ing. Manuela Esposito

Candidato

Guido Boldoni

Matr. M67/259

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

La “via” è parte dell’offerta di trasporto e ha il compito di facilitare lo spostamento di persone e merci in comfort e sicurezza, limitando la produzione di emissioni fastidiose (rumore e/o vibrazioni) nelle aree circostanti. Per raggiungere tale scopo le strade sono ricoperte da una pavimentazione che ha un compito sia strutturale sia funzionale: essa deve, infatti, fornire un piano viabile regolare ed offrire l’aderenza necessaria per garantire la sicurezza, ma non è possibile conservare nel tempo regolarità e scabrezza se per il passaggio dei veicoli pesanti il piano viabile si deforma e/o si leviga.

Tanto premesso, appare chiaro che bisogna realizzare una struttura che abbia un’interfaccia resistente all’usura e una portanza che durante la vita utile garantisca la necessaria planarità. Le pavimentazioni stradali sono realizzate con tecnologie diverse, ciascuna delle quali ha dei vantaggi e dei limiti.

La tecnologia più diffusa è quella che vede utilizzare negli strati superiori, usura e binder, il conglomerato bituminoso, il cui modello meccanico è il multistrato elastico appoggiato su un semispazio elastico alla Boussinesq.

Mediamente una pavimentazione è calcolata per durare circa 30 anni, considerando che durante detta vita utile sono necessari interventi di manutenzione per il ripristino dell’aderenza (ogni 5 anni) e di regolarità (ogni 10 anni) non solo all’atto della costruzione, ma anche durante la sua vita, sono necessari interventi che prevedono la fabbricazione di conglomerato bituminoso.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> degli impianti di produzione di conglomerato rappresentano un grave problema per l’ambiente poiché sono una delle maggiori cause dell’effetto serra, ovvero il noto fenomeno per il quale all’immissione in atmosfera di alcuni gas (che per l’appunto prendono il nome di “gas serra”) corrisponde un aumento della temperatura media terrestre.

I principali imputati ritenuti responsabili di tale fenomeno sono: il metano, il vapor acqueo, gli ossidi d'azoto, i clorofluorocarburi e l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), quest’ultima prodotto di tutti i fenomeni di combustione, alla base di molte attività umane, come ad esempio il moto degli autoveicoli o la produzione di energia elettrica.

Durante il ciclo produttivo dei conglomerati bituminosi, il materiale lapideo viene essiccato e riscaldato ad una temperatura di circa 160-170°C e successivamente mescolato con bitume, anch’esso preventivamente riscaldato intorno ai 150-160°C

Le emissioni in atmosfera che caratterizzano uno stabilimento in cui si producono conglomerati bituminosi sono pertanto:

- emissioni convogliate, prodotte durante le fasi “essiccazione” e “mescolamento”, caratterizzate da punti di emissione ben definiti e con VLE (Valore limite di Emissione) specifici della tecnologia di produzione dei conglomerati bituminosi;
- emissioni diffuse, prodotte durante le fasi di “carico/scarico materiali” e altre fasi “accessorie al funzionamento dell’intero lay-out impiantistico” prive di un punto specifico di misurazione.

Con questo lavoro di tesi si è affrontato il problema delle emissioni di anidride carbonica generate dalla realizzazione di una pavimentazione stradale e si è proceduto, a tal fine, ad effettuare un confronto fra due tecnologie, volto a dimostrare l’efficacia, sia in termini di impatto ambientale sia in termini economici, del conglomerato riciclato a freddo, rispetto a quello prodotto ex novo in stabilimento.

Studiando un lavoro eseguito dalla Pavimental Spa, azienda leader nel settore, si è confrontato il quantitativo di emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte da un impianto di produzione di conglomerato bituminoso e quelle prodotte dal riciclaggio in sito.

Sulla base dei dati forniti è stato applicato il modello LCCA (Life Cycle Cost Analysis) che è un metodo di valutazione che consente di determinare il costo globale di un prodotto, considerando il suo intero ciclo di vita; in esso rientrano, pertanto, costi di investimento, costi di manutenzione, ma soprattutto costi ambientali (ivi compresi i costi connessi alla immissione in atmosfera di CO<sub>2</sub>) secondo la seguente formula:

$$LCCA = C_0 + C_{amb(t0)} + \sum_{t=0}^n \frac{C_{MS} + C_{amb(MS)}}{(1+r)^n}$$

Il case study analizzato è rappresentato da un tratto di strada urbana a 2 corsie, di 1 km di lunghezza e 6 metri di larghezza, ipotizzando la ricostruzione della parte funzionale della pavimentazione, costituita dai seguenti spessori:

- Strato d’usura: 5 cm
- Binder: 5 cm

Si sono ipotizzate, quindi, due tipologie di intervento per il rifacimento degli strati:

- utilizzo di conglomerato bituminoso prodotto in impianto;
- utilizzo di conglomerato bituminoso riciclato, tenendo presente che è possibile riciclare fino al 30% del materiale asportato.

I risultati dell’analisi costi (prezzi forniti dal Prezziario Lavori Pubblici Regione Campania) e della relativa applicazione della metodologia LCCA sono riportati nel seguito

<b>Conglomerato Ex Novo</b>			
C <sub>0</sub> tot [€]	Camb [€]	Costo tot manut straord [€]	LCCA [€]
245820	945	103324	350089

Tabella 1 : LCCA per pavimentazione con conglomerato bituminoso ex Novo

<b>Conglomerato riciclato</b>			
C <sub>0</sub> tot [€]	Camb [€]	Costo tot manut staord [€]	LCCA [€]
163254	585	96222	260061

Tabella 2 : LCCA per pavimentazione con conglomerato bituminoso riciclato

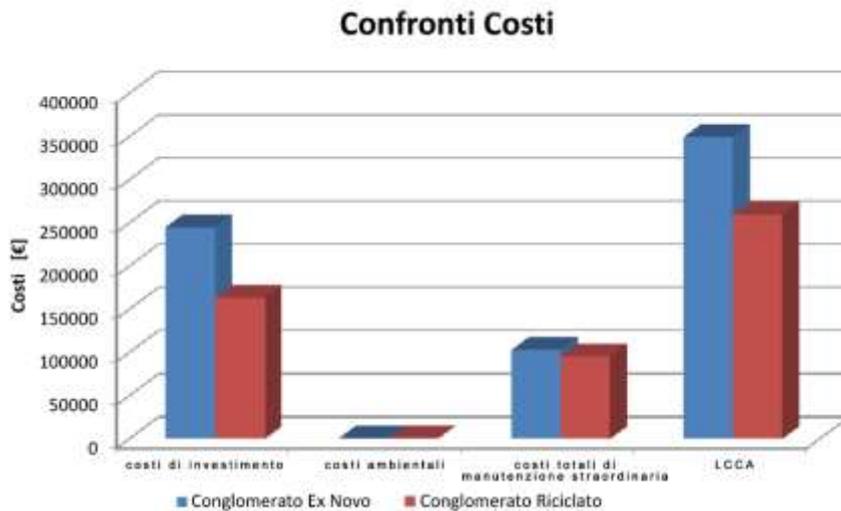


Grafico 1 : Confronto costi nelle due tipologie di pavimentazioni

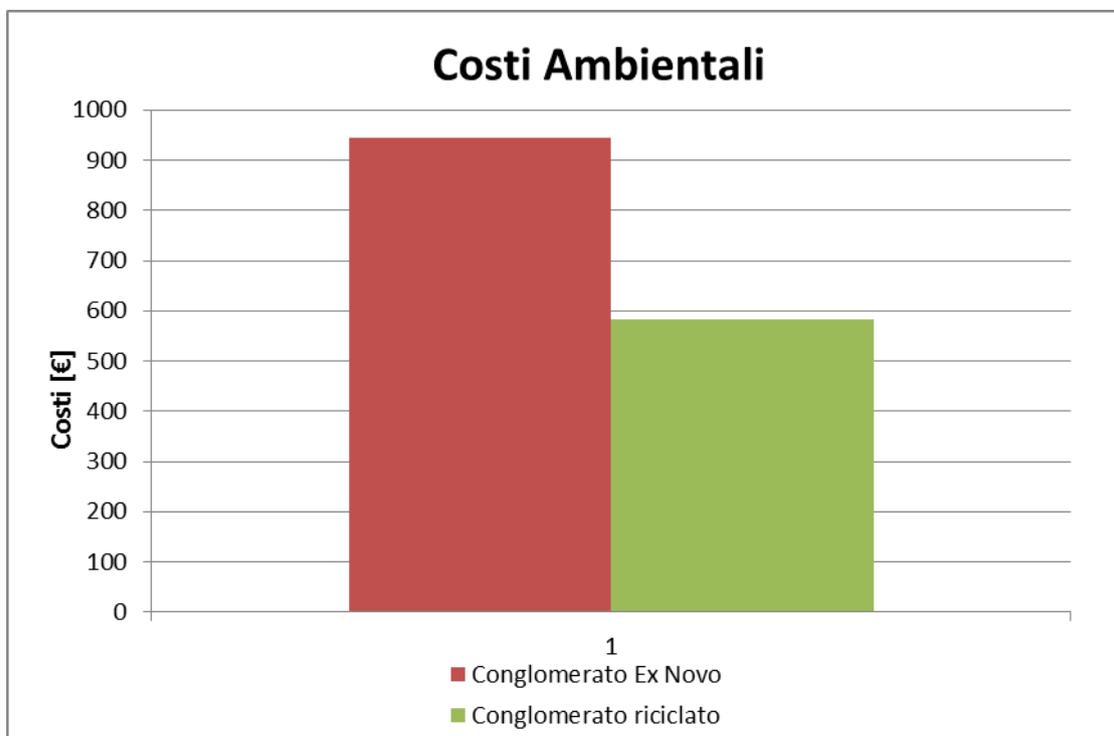


Grafico 2 : confronto dei costi Ambientali nella due tipologie di Pavimentazione

Il secondo scenario è risultato economicamente più conveniente poiché la soluzione con il riciclaggio non solo abbatta le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (e dunque i relativi costi ambientali), ma dall'analisi LCCA essa si è rivelata anche la scelta economicamente più vantaggiosa poiché i costi di produzione del riciclato e della sua manutenzione risultano inferiori rispetto a quelli della seconda alternativa.

Parallelamente ad una mera analisi dei costi dei due scenari proposti ci si è interrogati anche sulle caratteristiche, in termini di resistenza, dei due materiali oggetto di studio. Dallo studio della letteratura è emerso che è possibile ricavare il modulo del conglomerato riciclato a partire da quello del conglomerato prodotto in stabilimento, mediante l'uso di un fattore di conversione, definito GBE (Granular Base Equivalency). La caratterizzazione per mezzo del JEGEL, Nottingham Asphalt Tester (NAT), delle proprietà resilienti di tasselli realizzati in laboratorio con conglomerato riciclato a freddo e di carote estratte da una pavimentazione sottoposta a riciclaggio a freddo in sito, ha mostrato che il valore generalmente assunto per il GBE è generalmente pari a 1.4.

Ad una siffatta riduzione di modulo corrisponde, chiaramente, un aumento dello spessore dello strato realizzato in riciclato, al fine di poter garantire le stesse prestazioni. Si è, dunque, ipotizzato di aumentare lo spessore dello strato di binder, moltiplicando il valore originario per un coefficiente pari proprio al GBE.

Da una nuova LCCA applicata al nuovo case study è emerso, in ogni caso, che a fronte di un aumento dei costi di circa 50000€, si registrava in ogni caso una convenienza rispetto al caso di realizzazione della pavimentazione totalmente con materiale prodotto in stabilimento.

Passo successivo, infine, è stato quello di effettuare un confronto fra le due alternative oggetto di studio in termini di vita utile. Infatti attraverso la Life Cycle Cost Analysis non è possibile tener conto dell'incidenza di eventuali interventi di manutenzione straordinaria legati ad un prematuro raggiungimento della fine della vita utile della pavimentazione.

La vita utile delle pavimentazioni si esprime in termini di passaggi di assi standard sopportabili dalla stessa; ai fini di tale valutazione si è ricorso al metodo *AASHTO*, riassunto dalla seguente formula:

$$\log W_{8.2} = Zr * So + 9,36 * \log \left( \frac{SN}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \frac{\log (PSI_i - PSI_f)}{0,40 + \frac{1094}{\left( \frac{SN}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} + 2,32$$

\* *Log Mr - 3,056*

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati del confronto

<b>W<sub>8.2</sub> conglomerato bituminoso ex novo</b>	439.630.373
<b>W<sub>8.2</sub> conglomerato bituminoso riciclato</b>	335.357.628

Tab 3 : Numero di passaggi di assi standard sopportabili dalle due tipologie di pavimentazione

È evidente come si registri una riduzione della vita utile di circa il 25% adottando la soluzione con conglomerato bituminoso riciclato.

In conclusione, se da un lato l'alternativa con riciclaggio si configura come quella ottimale dal punto di vista dei costi sostenuti e di impatto ambientale (minor produzione di CO<sub>2</sub> e eventuale riduzione di apertura cave di approvvigionamento del materiale), dall'altro presenta comunque l'inconveniente di dar luogo ad una pavimentazione che, vista la minor vita utile, sarà soggetta prima ad un importante intervento di ripristino della stessa.