

*Il ruolo determinante dell'aspetto ambientale degli interventi per le scelte progettuali e operative:
i "materiali ecoefficienti" per la riduzione dell'inquinamento, parametro significativo in termini economici diretti e come costo sociale*

AGGREGATI RICICLATI DI ACCIAIERIA E POLVERINO DI GOMMA: INSIEME PER L'ECOEFFICIENZA DEI CONGLOMERATI

Vincenzo Orlando*
Simona Masciullo**

Materiali & Inerti



Anche nel mondo delle costruzioni stradali - e in particolare nel settore dei conglomerati bituminosi - da alcuni anni si sta manifestando la tendenza a utilizzare nuove tecnologie e idee innovative per raggiungere prestazioni sempre più elevate, nel rispetto dell'ambiente e dell'uomo.

Figura 1 - La stesa del conglomerato bituminoso

L'ecoefficienza

Con l'introduzione del concetto di "materiali ecoefficienti", per la prima volta la riduzione dell'inquinamento inteso in senso globale è diventata un parametro significativo e chiaramente valutabile - sia in termini economici diretti sia come costo sociale - durante la realizzazione di un'opera.

L'"ecoefficienza" può essere raggiunta utilizzando materie prime secondarie derivate dal recupero di materiali di varia natura provenienti da scarti di lavorazione, poi trattati in appositi impianti autorizzati, sistemi di produzione a basso impatto ambientale con riduzioni delle emissioni in atmosfera e risparmio energetico, materiali esistenti rigenerati in situ con apposite macchine fresatrici e additivi, in modo tale da trasformare vecchie pavimentazioni ormai al termine della loro vita utile in nuove strutture senza alcuna movimentazione di materiali al di fuori dei cantieri. Naturalmente l'uso di questi materiali non deve ridurre le caratteristiche necessarie al funzionamento del prodotto finale in cui essi sono impiegati e per questo motivo è necessario misurare e tenere in considerazione i parametri fisici che li caratterizzano e che influiscono sulle prestazioni del prodotto finito.

Tutto ciò tra l'altro è in linea con le Direttive comunitarie e nazionali (D.M. 203/2003) sul Green Public Procurement per l'impegno delle Pubbliche Amministrazioni sull'impiego di materiali, beni e manufatti riciclati e, raccogliendo le esperienze provenienti dal resto d'Europa, la Direzione Generale dell'ANAS - Unità Ricerca e Innovazione, intro-

ducendo le Linee Guida dell'Aprile 2008, successivamente modificate e aggiornate, ha segnato un punto di discontinuità tra il tradizionale approccio prescrittivo e un nuovo approccio prestazionale nella progettazione e gestione delle pavimentazioni stradali. Si è così dato slancio ad attività sperimentali, progettazioni e interventi che puntassero non più al rigoroso rispetto di prescrizioni contrattuali concepite in tempi passati in cui la disponibilità e i costi dei materiali naturali e delle tecnologie non costituivano un problema (né in fase di esecuzione delle opere né in fase di successiva gestione e manutenzione delle stesse), bensì lasciando spazio all'applicazione di materiali e tecnologie innovative con l'obiettivo di ottenere elevate prestazioni per aspetti specifici (oltre ai benefici ambientali sopra citati), precedentemente relegate ad attività pionieristiche di pochi tecnici.



Figura 2 - Un particolare della stesa del conglomerato bituminoso



Le sperimentazioni

In tale contesto, il Compartimento ANAS dell'Emilia Romagna ha avviato una serie di sperimentazioni rivolte prevalentemente al rinforzo delle pavimentazioni stradali e in generale al miglioramento di alcune prestazioni delle pavimentazioni e in particolare all'allungamento della vita utile delle stesse. La presente applicazione mira a valutare l'efficacia dell'utilizzo contestuale di due tecnologie già note e utilizzate da tempo, ossia dei benefici apportati al conglomerato mediante la sostituzione della frazione grossa degli aggregati con scorie di acciaieria (cosiddetta "granella") e mediante le modifiche chimico-fisiche indotte sul bitume dal polverino di gomma.

L'efficacia dell'utilizzo della granella in sostituzione degli aggregati naturali al fine di migliorare le condizioni di aderenza (e quindi di stabilità in curva dei veicoli, spazio di frenatura, ecc.) era già stata accertata in occasione di un tratto sperimentale eseguito nel Gennaio 2006 nel Compartimento ANAS della Puglia tra la pk 0+000 e la pk 0+700 della S.S. 274 svincolo per località Baia Verde di Gallipoli, ove nel tempo è stato possibile constatare una drastica riduzione della incidentalità, dovuta probabilmente alle buone caratteristiche di aderenza (LV ex CLA) e alla porosità della granella che tende a mantenere le caratteristiche di aderenza, pur avendo il difetto dell'eccessivo peso e della durezza (fessure future, ecc.).

A lato di questo intervento essenzialmente si è voluto poi valutare, in termini di resistenza a fatica e, quindi, di vita utile della pavimentazione, in che misura i conglomerati "rugosi" costituiti da inerti artificiali possono beneficiare del contributo fornito dal polverino di gomma ai fini della resistenza alle deformazioni e del comportamento elasto-plastico.

In particolare nell'impostazione progettuale di questa applicazione stradale sono state ipotizzate le seguenti proprietà e caratteristiche:

- ♦ capacità di sopportare senza deformazioni permanenti le sollecitazioni trasmesse e quindi elevata resistenza alla propagazione delle fessurazioni;
- ♦ notevole indeformabilità e resistenza alle sollecitazioni verticali e orizzontali indotte dai veicoli;
- ♦ elevata rugosità per ottenere la massima aderenza;
- ♦ attenuazione del rumore da rotolamento.

Il sito prescelto è ubicato in prossimità dell'abitato di Rivergaro (PC) sulla S.S. 45 della Val Trebbia, in corrispondenza di un tratto caratterizzato da un susseguirsi di curve e interessato spesso dal transito di motocicli a elevata velocità.

I materiali utilizzati

Il programma sperimentale, definito in accordo con il Laboratorio Geotema di Scorzè (VE), e seguito anche dal Centro Sperimentale Stradale ANAS di Cesano (RM) ha previsto il progetto della miscela costituita da aggregati riciclati di acciaieria, sabbia calcarea, filler, bitume di tipo 50/70 e "polverino di gomma", con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni in



Figura 3 - Lo scarico del conglomerato bituminoso per alimentare la vibrofinitrice

termini di aderenza (e non di attrito) superficiale degli pneumatici, fonoassorbimento legato al rumore per rotolamento, elasticità, vita utile, tenendo conto dei costi di realizzazione e dei benefici complessivi.

Gli aggregati riciclati, forniti in diverse pezzature, provengono dalla frantumazione e vagliatura di scorie prodotte dalla lavorazione dell'acciaio con forno elettrico. Da tali aggregati si attendono elevate prestazioni in termini di resistenza meccanica e alla levigabilità, che dovrebbero mantenersi costanti per intervalli temporali molto lunghi.

Il "polverino di gomma", chiamato anche SBR-NR (Stirene-butadiene-rubber - normal rubber) è un prodotto derivante dalla triturazione degli pneumatici usati e loro vagliatura in frazioni a diversa granulometria (quella utilizzata corrisponde a 0,1 mm) e avente una massa volumica pari a 0,5 g/cm³, quindi molto bassa.

Dal polverino di gomma ci si attende che svolga la funzione di inerte elastico, che assorbe le vibrazioni meccaniche (fessurazione e disturbi a lato strada) e sonore (rumorosità da rotolamento), e inoltre che partecipi a un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del legante, anche se la vulcanizzazione a cui è stato sottoposto in origine tenderebbe a ridurre queste potenzialità alle temperature di esercizio. L'aggiunta di polverino nelle percentuali così elevate (2% in peso sulla

Tipo di prova	Aggregato acciaieria 8/15	Aggregato acciaieria 4/8	Polimero SBR-NR 0/1
Determinazione della massa volumica dei granuli (UNI EN 1097-6) (g/cm ³)	3,60	3,60	0,80
Determinazione della resistenza alla frammentazione - Los Angeles (UNI EN 1097-2:1999) (%)	--	16,0	--
Determinazione del valore di levigabilità (UNI EN 1097-8:2001) (%)	--	0,54	--
Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi (UNI EN 933-5:2000) (%)	100,0	100,0	--

Tabella 1 - Le caratteristiche dei componenti

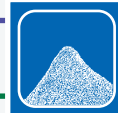


Figura 4 - La stesa in corrispondenza del tratto in curva



Figura 5 - Un particolare della superficie del manto di usura

miscela ma molto di più in volume) comporta qualche cambiamento della struttura del conglomerato che lo rende diverso dai conglomerati standard. L'obiettivo è valutare in situ l'evoluzione del conglomerato in oggetto e capire (anche con l'aiuto di test su strada e in laboratorio) se la tecnologia può fornire spunti e avere applicazioni che possano apportare (almeno in alcuni specifici impieghi) miglioramenti rispetto agli standard attuali. Le caratteristiche fisiche sono riportate in Tabella 1.



La tecnica di produzione della miscela

La produzione della miscela è stata eseguita in un moderno impianto di tipo continuo; l'inserimento dell'additivo polimerico nell'impasto è stato effettuato mediante dosatore automatizzato.

La tecnica utilizzata si basa semplicemente sull'introduzione del polimero durante la miscelazione dei componenti, in modo da indurre un rammollimento del conglomerato tale da creare un "mastiche coloso" idoneo a rivestire e legare efficacemente tutti i componenti della miscela. Il conglomerato è stato prodotto a una temperatura di circa 175°C.

La messa in opera

La messa in opera della miscela (disturbata tra l'altro da una breve pioggia) è stata condotta alla temperatura di circa 165°C e costipata con un rullo meccanico del peso di circa 100 q. Le modalità di compattazione hanno subito lievi variazioni rispetto a quelle standard; in particolare la compattazione è stata prolungata fino al raggiungimento di una temperatura dello strato di 60/70°C in modo tale da ridurre il "ritorno elastico" indotto dall'additivo, manifesto quando la viscosità del legante è ancora troppo bassa.

Le prove e i controlli

Il Laboratorio Geothema ha seguito la sperimentazione, effettuando prelievi di campioni e prove di vario genere, durante la fase di produzione, messa in opera ed effettuato successive prove sulla pavimentazione in esercizio.

L'obiettivo è stato quello di individuare le caratteristiche fisico-mecchaniche tali da poter permettere di stimare le prestazioni in termini di sicurezza e durata della pavimentazione.

In fase preliminare è stato realizzato un mix design (Tabella 2) per la definizione della curva ottimale e le caratteristiche meccaniche della miscela e in seguito in fase di lavorazione si sono verificati gli stessi parametri: verifica della curva granulometrica e contenuto di legante (Tabella 3), parametri Marshall (Tabella 4), resistenza a trazione indiretta (Tabella 5), modulo di rigidezza (Tabella 6).

Dal Laboratorio ANAS di Cesano, che ha effettuato anch'esso dei prelievi (tuttora in corso di analisi), sono scaturite ad oggi le caratteristiche volumetriche su provini giratoria (Tabella 7), le resistenze a trazione indiretta

Apertura vaglio (mm)	Passante %
14	100,0
12,5	99,3
10	84,5
8	60,3
6,3	41,7
4	27,7
2	24,6
1	19,1
0,5	17,3
0,25	13,1
0,125	10,4
0,063	7,8

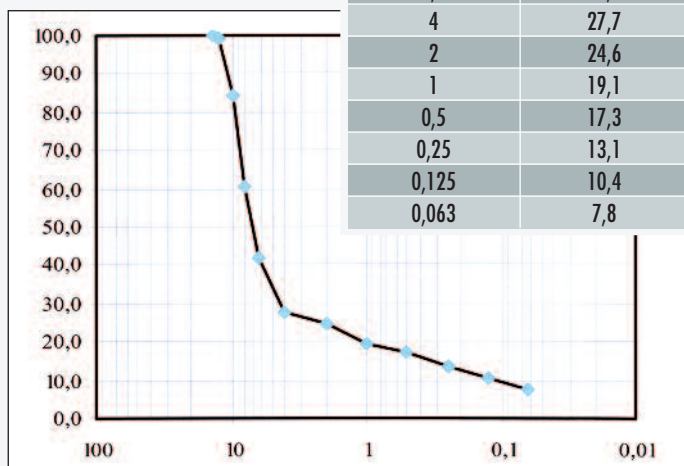


Figura 6 e Tabella 2 - La composizione ottimale della miscela

(Tabella 8) tutti in doppio (uno su una corsia e uno sull'altra) e le caratteristiche di resistenza a fatica (Figure 9 e 10) secondo la metodologia messa a punto dal Centro Sperimentale di Cesano.

Apertura vaglio (mm)	Passante %
14	100,0
12,5	100,0
10	86,5
8	63,5
6,3	43,9
4	29,8
2	25,9
1	20,1
0,5	18,3
0,25	14,9
0,125	11,0
0,063	7,2

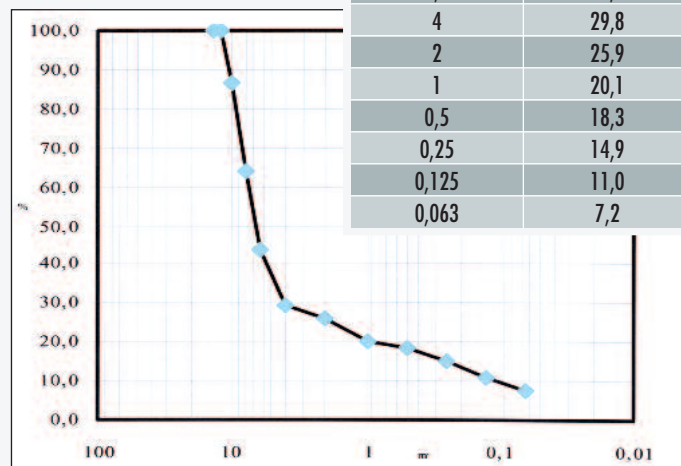


Figura 7 e Tabella 3 - Il controllo in corso d'opera

Stabilità Marshall (kN)	12,99
Scorrimento (mm)	5,8
Rigidezza (kN/mm)	2,2

Tabella 4 - La prova Marshall: la preparazione del provino mediante compattatore a impatto (UNI EN 12697-30: 2007)

Provino confezionato con pressa giratoria (UNI EN 12697-31)	
Peso del provino	4.500 g
Pressione	600 kPa
Angolo giratorio	1,25° ± 0,02°
Velocità	30 rpm
Temperatura di confezionamento	168°C
Resistenza a trazione indiretta N/mm²	1,24 N/mm²

Tabella 5 - La determinazione della resistenza a trazione indiretta e della deformazione a rottura di miscela di aggregati lapidei e bitume (UNI EN 12697-23)

Parametri di set up					
Tempo di carico (ms)	250	Spessore	52,8 mm	T (°C)	20
Periodo di ripetizione carico (ms)	3.000	Diametro	150 mm	di prova	
Numero di impulsi di condizionamento	10	Campione confezionato con pressa giratoria			
Elongazione di riferimento (mm)	7,0				
Coefficiente di Poisson stimato	0,35				
Valore finale modulo rigidità = 8.631 MPa					

Valore finale modulo rigidezza = 8.631 MPa

Tabella 6 - La determinazione del modulo di rigidezza mediante prova IT-CY di trazione indiretta su provino di conglomerato bituminoso cilindrico secondo Normativa UNI EN 12697-26

Caratteristiche volumetriche	Prelievo 1	Prelievo 2
Bitume %	5,78	5,25
MVA (g/cm³)	3,53	3,64
Numero di giri	180	180
V% medi	4,03	7,18

Tabella 7 - L'aderenza superficiale: il metodo di prova per la misura della resistenza di attrito radente con l'apparecchio portatile a pendolo (CNR B.U. N. 105:1985); la prova è stata effettuata dopo tre settimane dall'apertura al traffico

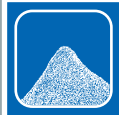


Figura 8 - La prova del pendolo

Sono state avviate verifiche in situ sui parametri prestazionali relativi all'aderenza superficiale agli pneumatici e alla fonoassorbenza, che saranno oggetto di futuri approfondimenti.

espressa è la resistenza a fatica che si pone al di sopra di una usura con bitume hard (stiamo parlando però di un "conglomerato-gomma" molto particolare).

Altre prove sono in corso, va poi valutato oltre alla tenuta della miscela in strada, in maniera rigorosamente scientifica, il comportamento in sito in termini di aderenza, e il suo andamento nel tempo (non subito per evitare di eseguire prove sul legante). Inoltre vanno misurati gli eventuali vantaggi in termini di emissione del rumore di rotolamento (diminuzione del livello di inquinamento acustico), potenziale caratteristica positiva dei conglomerati additivati con polverino di gomma.

Conclusioni

La ricerca, ancora in fase iniziale, e la messa in opera di una miscela costituita da aggregati di acciaieria e additivo polimerico tipo SBR-NR offrono la possibilità di valutare un'ulteriore alternativa all'impiego del polverino di gomma (qui abbinato alle scorie per l'aderenza) con dati che potrebbero far pensare (se le caratteristiche a fatica venissero avvalorate da ulteriori indagini, ad esempio fatica a elevata temperatura, creep, invecchiamento, ecc.), a impieghi più profondi (base e binder), laddove serve la resistenza a fatica e la portanza.

Va inoltre approfondito l'aspetto della fase di lavorazione (temperature minime di stesa e quindi potenziali difficoltà a stendere a basse e medie temperature) e soprattutto dimostrare l'assenza di problematiche ambientali sia durante la fase di prima produzione che durante il reimpiego futuro mediante riciclaggio del conglomerato.

Ai fini della valutazione del rapporto costi/benefici di tale applicazione, oltre alla previsione di vita della pavimentazione utile valutata in laboratorio mediante prove di resistenza a fatica, occorrerà monitorare nel tempo il conglomerato steso e sottoposto all'azione diretta del traffico nelle diverse condizioni ambientali. Ciò sarà oggetto di successivi approfondimenti. Il Compartimento ANAS dell'Emilia Romagna estenderà a breve la sperimentazione in argomento su tratti limitrofi della S.S. 45 anche sugli strati non superficiali (base e binder) per valutare i benefici in termini di resistenza a fatica. Inoltre, al fine di valutare e raffrontare in aggiunta alla tecnologia sopra descritta gli effetti sulle caratteristiche prestazionali della miscela, verrà utilizzato uno specifico additivo fluidificante e an-

Caratteristiche volumetriche	Prelievo 1 (25°C)	Prelievo 2 (40°C)
ITS Gpa*10-3	1,44	0,67
GTI Gpa*10-3	140	44

Tabella 8 - La trazione indiretta

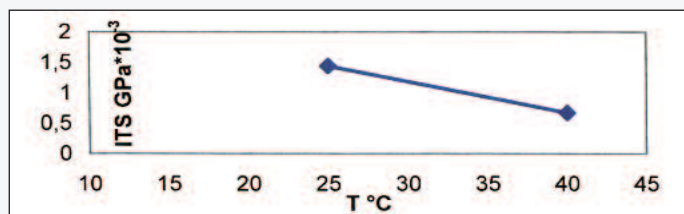


Figura 9 - Le curve di fatica secondo la metodologia ANAS Cesano

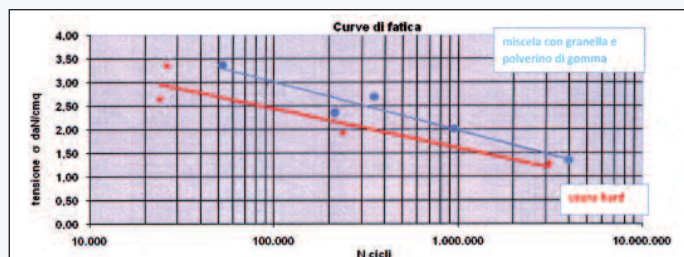


Figura 10 - Le curve di fatica secondo la metodologia ANAS Cesano



Figura 11 - La pressa dinamica per test di fatica (Cesano)



Figura 12

La valutazione dei risultati

Le prove condotte su campioni prelevati durante la produzione hanno confermato che l'aggiunta del polverino di gomma (nel mescolatore) ha cambiato le caratteristiche del conglomerato bituminoso trasformandolo in una miscela in cui il polverino di gomma fa sentire il suo effetto sia come inerte (comportamento a "gomma") sia sul bitume (iniziale 50/70) come testimoniano le resistenze meccaniche (Marshall e trazione indiretta), apportando un aumento di tenacità e modulo (aumento di viscosità del legante). Ma la caratteristica più interessante

tiossidente del bitume che ha già fornito buoni risultati in termini di aumento di vita utile della pavimentazione e di incremento della capacità termica dell'impasto, con ulteriori benefici ambientali. ■

* Ingegnere Dirigente Tecnico Esercizio Compartimento ANAS Emilia Romagna

** Ingegnere Capo Centro Compartimento ANAS Emilia Romagna