

Impiego della cenere volante come filler nei conglomerati bituminosi

Use of fly ash as a filler in asphalt mixes



Marco Bressan
Alessandro Pasqualini
General Admixtures S.p.A.
Felice M. Liberatore
Libero professionista

Riassunto

Le peculiari caratteristiche della cenere volante ne fanno un materiale particolarmente adeguato al confezionamento delle diverse tipologie di miscele bituminose. Attualmente disponibile sul mercato italiano come filler marcato CE secondo UNI EN 13043, questa aggiunta minerale migliora le prestazioni e la durabilità delle pavimentazioni stradali e, nel contempo, garantisce rilevanti benefici economici e di sostenibilità ambientale.

Summary

Due to its properties fly ash is a material suitable for use in many asphalt mixtures. This mineral admixture enhances performances and durability of asphalt mixtures, gives economical and environmental benefits, and now is available on Italian market, as a filler responding to Standard UNI EN 13043.

1. Introduzione

L'impiego di cenere volante nel settore delle costruzioni stradali, ed in particolare nella produzione di conglomerati bituminosi, rappresenta, in diversi Paesi, una tecnologia ormai consolidata.

L'utilizzo come filler nei conglomerati bituminosi è ampiamente diffuso negli Stati Uniti [1], in India [2] e in Australia [3] dove, alla luce di una rilevante produzione annua, sono stati eseguiti numerosi studi per lo sviluppo di tale tecnologia, riscontrando notevoli benefici dal punto di vista tecnico, economico e di sostenibilità ambientale.

Ricerche ed esperienze di campo hanno dimostrato che, le miscele bituminose realizzate con cenere volante garantiscono prestazioni meccaniche e di durabilità uguali o perfino superiori rispetto alle miscele confezionate con i filler tradizionali.

Come verrà ampiamente descritto nell'articolo, la cenere volante impiegata come filler consente di:

▶ ottimizzare i contenuti di bitume grazie alla forma

sferica delle particelle che determina una importante riduzione della superficie specifica;

- ▶ sostituire pari volumi dei tradizionali filler, come quello calcareo o il cemento, con quantitativi in peso inferiori grazie alla ridotta massa volumica, con conseguenti vantaggi di natura economica;
- ▶ completare la distribuzione granulometrica dell'aggregato attraverso una azione "fillerizzante". Le sue particelle, infatti, grazie alla ridotta dimensione, vanno ad occupare gli interstizi presenti tra i granuli più grandi e contribuiscono in maniera significativa alla riduzione dei vuoti presenti nella miscela;
- ▶ consentire al bitume di ricoprire adeguatamente l'intera superficie dei granuli degli aggregati. L'aggiunta di cenere volante al bitume caldo porta infatti alla formazione di un mastice che, per la maggiore viscosità rispetto al solo bitume caldo, aderisce alla superficie dell'aggregato in forma di film. Quest'ultimo costituisce la struttura legante del conglomerato e ne influenza radicalmente le proprietà;
- ▶ ridurre la suscettibilità termica del conglomerato in- ▶▶

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

nalzando il punto di rammollimento del bitume. La cenere volante garantisce quindi un ottimale comportamento reologico del mastice ed una riduzione delle deformazioni permanenti (*rutting*), soprattutto a temperature di esercizio elevate;

- ▶ incrementare la rigidità del conglomerato con conseguente riduzione delle deformazioni a lungo termine;
- ▶ migliorare il comportamento a fatica delle pavimentazioni;
- ▶ incrementare l'adesione aggregato-bitume riducendo il fenomeno dello spogliamento (*stripping*);
- ▶ migliorare la reologia delle miscele facilitando le operazioni di posa in opera;
- ▶ rallentare l'invecchiamento e quindi incrementare la durabilità delle pavimentazioni grazie alla tendenza ad evitare l'evaporazione delle componenti oleose costituenti il bitume (sostanze volatili);
- ▶ contribuire in modo sostanziale alla sostenibilità del settore delle costruzioni stradali.

2. Proprietà della cenere volante

La cenere volante è un materiale derivante dal processo di combustione del carbone presso le centrali ter-

moelettriche. Largamente impiegata nel settore delle costruzioni, soprattutto nell'ambito della produzione di cementi e conglomerati cementizi, presenta tuttavia caratteristiche particolarmente indicate per l'utilizzo anche nei conglomerati bituminosi.

La cenere volante di produzione italiana soddisfa pienamente i requisiti di accettazione della UNI EN 13043 "Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico" per la marcatura CE ai fini dell'impiego come filler nella confezione di conglomerati bituminosi (**Tab. 1**).

Le proprietà di questa aggiunta minerale fillerizzante, che influenzano positivamente le prestazioni di un conglomerato bituminoso, sono [4]:

- ▶ granulometria;
- ▶ forma delle particelle;
- ▶ massa volumica delle particelle;
- ▶ natura della superficie (porosità) delle particelle;
- ▶ caratteristica idrofobica;
- ▶ composizione chimica;
- ▶ rispondenza ai requisiti sulla assenza di sostanze organiche e di plasticità;
- ▶ opacità alla radiazione ultravioletta.

Tab. 1 Caratteristiche essenziali della cenere volante come filler per conglomerati bitumi (UNI EN 13043)

CARATTERISTICHE ESSENZIALI	U.M.	PRESTAZIONE	METODO DI PROVA
Granulometria Ø 2 mm Ø 0,125 mm Ø 0,063 mm	% in massa	100 93 82	EN 933-10
Blaine	cm ² /g	3850-5250	EN 196-6
Massa volumica delle particelle	Kg/m ³	2150	EN 1097-7
Porosità del filler compattato secco (Ridgen)	Cat.	V _{28/38}	EN 1097-4
Prova "Anello e Palla"	Cat.	Δ _{R&B} 8/16	EN 13179-1
Numero di bitume del filler addizionato	Cat.	BN _{28/39}	EN 13179-2
Solubilità in acqua	% in massa	WS ₁₀	EN 1744-1
Reattività in acqua	%	1,00	PrEN 1744-1
Pulizia	Cat.	MB _F 10	EN 933-9
Perdita all'accensione di ceneri volanti di carbone	% in massa	1,00-7,00	EN 1744-1

2.1 Granulometria

In **Fig. 1** si riporta la distribuzione granulometrica tipo della cenere volante.

Si può osservare come essa sia del tutto confrontabile con quelle relative a due filler normalmente utilizzati nella produzione dei conglomerati bituminosi: il filler calcareo ed il cemento.

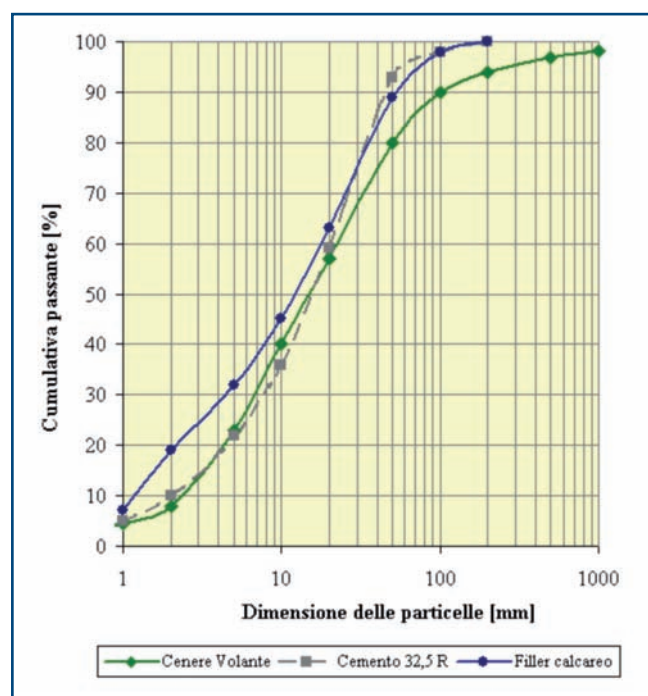


Fig. 1 Distribuzione granulometrica della cenere volante a confronto con altri filler

La presenza, nella cenere volante, di una piccola percentuale di particelle con dimensioni comprese tra i 200 e i 2000 μm risulta alquanto benefica. Dukatz e Anderson (1980) hanno infatti verificato che le particelle di filler aventi dimensioni maggiori del film di bitume che riveste gli aggregati contribuiscono a completare la curva granulometrica della miscela e quindi a ridurre i vuoti intergranulari. Quelle invece di dimensione inferiore rimangono in sospensione nel bitume a formare il mastice. C'è da aspettarsi quindi, ed i dati sperimentali lo dimostrano, che proprio per la sua caratteristica distribuzione granulometrica, la cenere svolga un rilevante ruolo fillerizzante. Il suo impiego può risultare particolarmente adeguato quan-

do si utilizzano sabbie prive, totalmente o parzialmente, della frazione più fine.

2.2 Forma delle particelle

La cenere volante è l'unica tipologia di filler caratterizzata dalla sfericità delle sue particelle. In **Fig. 2** sono riportate le immagini al microscopio elettronico di un campione di cenere volante (a), di un filler calcareo (b) e di un granulo di cemento (c).

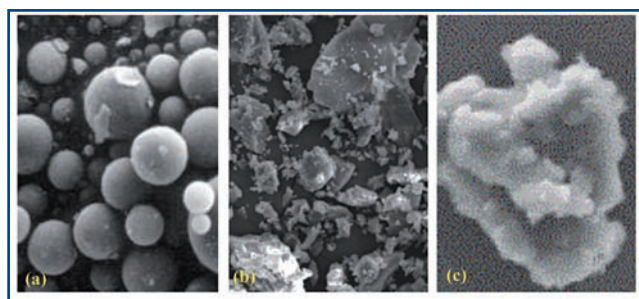


Fig. 2 Immagini al microscopio elettronico delle particelle di cenere volante (a), di filler calcareo (b) e di cemento (c)

La forma sferica delle particelle di cenere fa sì che la loro superficie specifica sia alquanto inferiore a quella delle altre tipologie di filler.

Questo, come dimostrato ampiamente in letteratura, favorisce la possibilità di ottimizzare il contenuto di bitume nelle miscele e, al tempo stesso, garantisce una eccellente reologia delle stesse.

2.3 Massa volumica delle particelle

La massa volumica media delle particelle di cenere volante, circa 2150 kg/m^3 , risulta sensibilmente inferiore a quello di un ordinario filler calcareo ($2650\text{-}2700 \text{ kg/m}^3$) o di un cemento (3150 kg/m^3). La semplice e diretta conseguenza di questo è data dal fatto che, a parità di volume di filler introdotto nella miscela, il peso di cenere volante impiegato è inferiore a quello delle altre tipologie di filler, con evidenti benefici economici.

2.4 Natura della superficie

Le particelle di cenere volante sono di natura vetrosa e la loro superficie è dura e assolutamente non porosa. Grazie a questo, le componenti oleose (tendenzialmente >>>

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

volatili) che costituiscono il bitume vengono ulteriormente preservate in quanto non assorbite dal filler. In queste condizioni il bitume tende ad invecchiare meno, con benefiche conseguenze sul suo comportamento a lungo termine (durabilità delle pavimentazioni stradali).

2.4 Caratteristica idrofobica

L'adesione tra gli aggregati ed il bitume è essenziale ai fini della durabilità di un conglomerato bituminoso. La perdita di tale adesione comporta un rapido degrado degli strati superficiali delle pavimentazioni e questo si verifica maggiormente in presenza di acqua (piovana o di falda).

La cenere volante presenta una scarsa affinità con l'acqua (comportamento idrofobico) e questo, come verrà meglio mostrato in seguito, determina una minore tendenza allo spogliamento (*stripping*) degli aggregati.

2.5 Composizione chimica

È stato verificato che la presenza di una certa quantità di CaO nel filler favorisce una efficace azione anti-spogliamento degli aggregati.

La cenere volante contiene una quantità media di CaO che si aggira attorno al 5%.

2.6 Pulizia e comportamento non plastico

Requisito essenziale per un filler è la totale assenza di componenti argillose o di sostanze organiche.

Come detto, la cenere volante deriva dalla combustione del carbone utilizzato nelle centrali termo-elettriche. Nello specifico, le sue particelle hanno origine dal brusco raffreddamento dei minerali precedentemente portati a temperature dell'ordine dei 1500 °C. Il processo produttivo e la composizione chimica del carbone originario escludono la presenza di qualsiasi sostanza organica o di natura argillosa.

Relativamente all'indice di plasticità, esso è assente, in quanto la cenere volante è un materiale non plastico.

2.7 Opacità alla radiazione ultravioletta

La componente ultravioletta presente nella radiazione solare si comporta come catalizzatore nella formazione, all'interno del bitume, di sostanze dilavabili dall'acqua.

La conseguenza di questo fenomeno è, evidentemente, un più rapido invecchiamento e degrado della pavimentazione.

La cenere volante risulta opaca ai raggi ultravioletti, ossia la struttura delle sue particelle non consente il passaggio di tale radiazione.

3. Letteratura tecnica

Esiste una vasta letteratura in merito a studi sperimentali condotti sull'impiego della cenere volante come filler nei conglomerati bituminosi.

Scopo di tali studi è stato quello di valutare il comportamento delle miscele bituminose confezionate con cenere volante sotto i seguenti aspetti:

- ▶ influenza del filler sulle proprietà del mastice;
- ▶ prestazioni meccaniche e deformabilità del conglomerato bituminoso;
- ▶ lavorabilità del conglomerato in fase di stesa;
- ▶ resistenza allo spogliamento degli aggregati;
- ▶ comportamento a lungo termine delle pavimentazioni.

In generale, è emerso che l'impiego di cenere volante nel confezionamento di conglomerati bituminosi risulta estremamente efficace.

Galloway nel 1980 ha verificato, attraverso uno studio molto dettagliato, che la predominante forma sferica delle particelle costituenti la cenere volante porta ad un significativo miglioramento della compattabilità delle miscele bituminose.

Diversi autori hanno definito la cenere volante come un *extender* del bitume, ovvero un materiale che riesce a sostituirne una piccola porzione e, nel contempo, agendo come lubrificante dello scheletro litico, a garantire una riduzione dell'energia di compattazione del materiale in opera.

Tons e altri (1983) hanno dimostrato che ceneri volanti tipo F, come quella di produzione italiana, sono eccellenti "*extender*" nei conglomerati bituminosi e che il contenuto di bitume può essere ridotto incrementando i dosaggi di cenere volante.

Ulteriori studi hanno confermato che in presenza di cenere volante si ottengono ottimi risultati in termini di:

- ▶ riduzione delle deformazioni permanenti;
- ▶ incremento della resistenza a fatica;

- incremento della resistenza al degrado per umidità (*anti-stripping*).

Una particolare conferma delle proprietà *anti-stripping* della cenere volante è emersa dallo studio di Rosener nel 1982. Miscele contenenti cenere volante hanno mostrato un significativo incremento della stabilità Marshall residua dopo immersione in acqua. Studi simili, condotti da Galloway nel 1980, hanno dimostrato che l'utilizzo di cenere volante come filler nei conglomerati bituminosi ne ritarda l'invecchiamento e quindi il degrado. L'istituto americano "US bureau of Public Roads" (attuale "Federal Highway Administration", HWFA) ha realizzato una serie di verifiche sperimentali sulle proprietà antispostamento della cenere volante, concludendo sulle eccellenti prestazioni di questo additivo minerale rispetto agli ordinari filler [5].

L'idoneità tecnica della cenere volante a poter essere impiegata come filler è stata valutata anche in conglomerati bituminosi "speciali" quali il conglomerato *anti-skid* (antisdrucchiolo). Si tratta di un particolare conglomerato, utilizzato come manto di usura, caratterizzato da elevati valori di macro-rugosità superficiale e quindi capace di assicurare grande aderenza anche in condizioni particolarmente sfavorevoli (presenza di acqua sulla carreggiata).

In uno studio comparativo [6], una miscela *anti-skid* tradizionale è stata confrontata con una del tutto analoga, salvo che per la presenza di cenere volante con funzione di filler. La caratterizzazione della miscela contenente cenere è stata fatta non solo in termini meccanici, ma soprattutto sulla base di due parametri rappresentativi della capacità del conglomerato di garantire aderenza ai veicoli: resistenza di attrito radente e macro-rugosità superficiale. Da un punto di vista meccanico, il confronto, eseguito con il metodo Marshall, ha evidenziato i risultati riportati in **Tab. 2**.

Tab. 2 Valori Marshall

MISCELA	STABILITÀ [kg]	SCORRIMENTO [mm]	RIGIDEZZA [kg/mm]
Anti-skid tradizionale	1224	3,83	320
Anti-skid con cenere volante	1162	3,70	314
Limiti ANAS	≥ 1100		≥ 300

In **Tab. 3** si riportano invece le misure relative all'attrito radente ed alla altezza in sabbia (quest'ultima rappresentativa della macro-rugosità superficiale) eseguite sulla miscela confezionata con cenere volante.

Tab. 3 Attrito radente e HS

MISCELA	RESISTENZA DELL'ATTRITO RADENTE	ALTEZZA IN SABBIA
Anti-skid con cenere volante	63 BPN	1,06 mm
Limiti ANAS	≥ 60 BPN	≥ 0,60

La sperimentazione ha quindi verificato che:

- la cenere volante è assolutamente idonea ad essere impiegata come filler nei conglomerati bituminosi *anti-skid*;
- miscele *anti-skid* confezionate con cenere volante esibiscono prestazioni meccaniche del tutto analoghe a quelle dei tradizionali *anti-skid*. In particolare, si conferma la riduzione dei valori di scorrimento trovata da altri autori;
- risultano garantiti i valori minimi di resistenza richiesti dell'attrito radente e dell'altezza in sabbia, essenziali per il conglomerato *anti-skid*.

Un altro interessante lavoro sperimentale [7] ha confrontato il comportamento di miscele bituminose confezionate con diverse tipologie di filler quali quello calcareo, la cenere volante (tipo F) e cemento portland. Tutte le miscele, realizzate con aggregati dal diametro massimo di 19 mm e filler dosati al 4% (in peso), sono state verificate con le procedure Superpave.

Si riporta di seguito un sunto dei principali risultati ottenuti nel citato lavoro.

Prima di tutto è stato confermato il comportamento di ottimo "extender" del bitume da parte della cenere. Rispetto alla miscela con filler calcareo, infatti, è stata ottenuta una riduzione, nella percentuale ottimale di bitume, dello 0,3%.

Utilizzando il cemento come filler, la percentuale ottimale di bitume è aumentata dello 0,2%.

Il risultato evidenzia l'importanza della forma sferica delle particelle di cenere volante rispetto a quella irregolare del filler calcareo e del cemento (vedi punto 2.2).

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

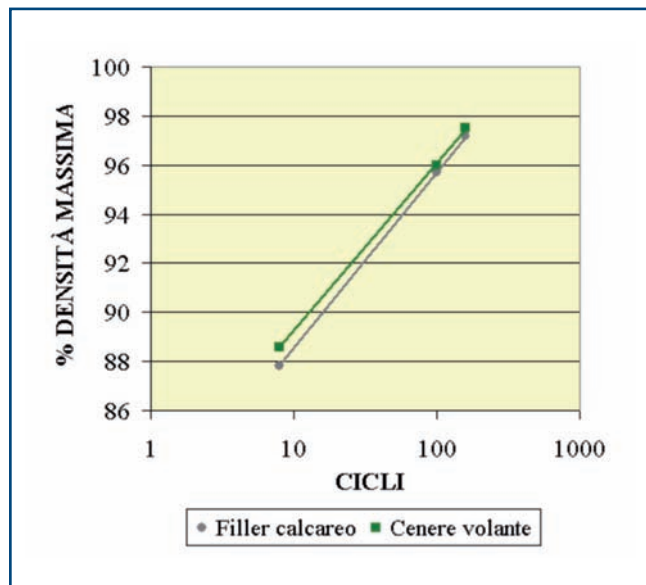


Fig. 3 Curve di compattazione di miscele con cenere volante e filler calcareo

La miscela con cenere volante ha poi evidenziato, rispetto a quella con filler calcareo, una curva di compattazione più favorevole (**Fig. 3**). A parità di cicli eseguiti con la pressa giratoria (e quindi di energia di compattazione) il costipamento della miscela con cenere volante (avente, come detto, lo 0,3% di bitume in meno) è risultata migliore di quella della miscela con filler calcareo.

La sensibilità all'acqua delle miscele è stata quantificata indirettamente attraverso la misura della trazione indiretta. In caso di fenomeno di spogliamento dovuto a contatto prolungato di un campione con acqua, infatti, la sua resistenza a trazione indiretta ne risulta penalizzata.

I risultati riportati in **Fig. 4** evidenziano che i provini confezionati con cenere volante mostrano, dopo una prolungata immersione in acqua, una minore penalizzazione della resistenza a trazione indiretta.

Ciò a conferma della capacità della cenere volante di aumentare la resistenza del conglomerato bituminoso all'azione spogliante dell'acqua (agente *anti-stripping*).

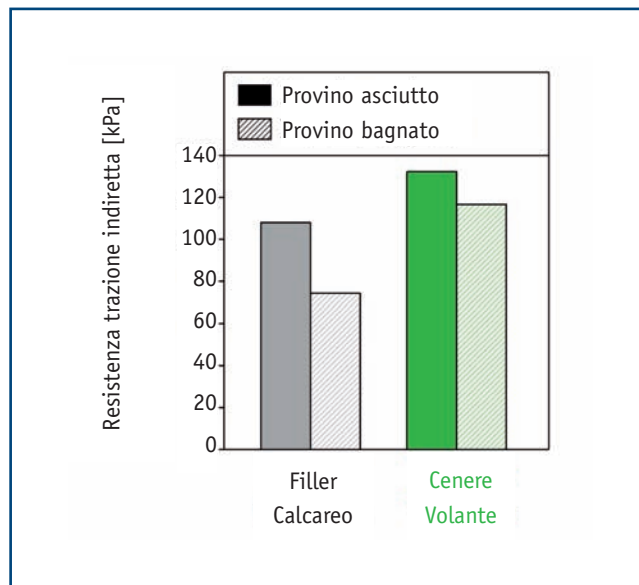


Fig. 4 Evidenza dell'azione *anti-stripping* promossa dalla cenere volante: a seguito di prolungata immersione in acqua, il conglomerato bituminoso realizzato con cenere ha evidenziato una minore penalizzazione della resistenza a trazione indiretta

La **Fig. 5** mostra l'aspetto visivo dei provini sottoposti ad immersione in acqua subito dopo la prova di trazione indiretta. Le zone nelle quali l'aggregato si è distaccato dal mastice sono state evidenziate con colorazione marrone.

A conclusione dei dati sperimentali dell'esperienza [7],

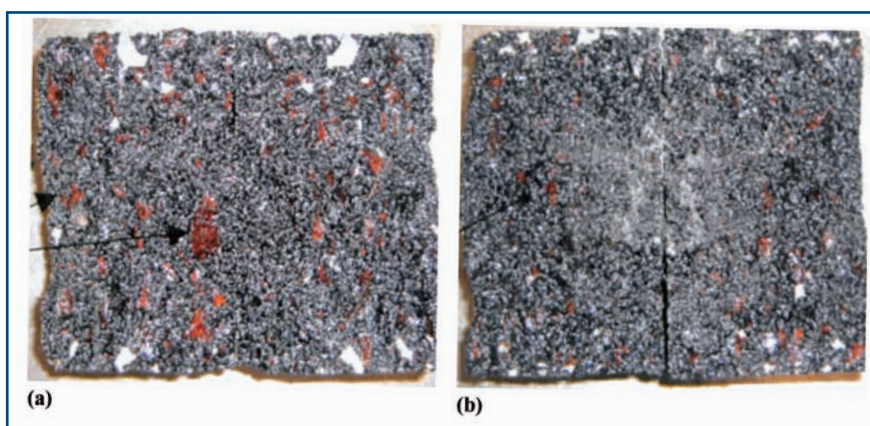


Fig. 5 Evidenza visiva dell'azione *anti-stripping* promossa dalla cenere volante.
(a): spogliamento severo subito dal conglomerato con filler calcareo.
(b): spogliamento limitato subito dallo stesso conglomerato con cenere volante

si riportano, in **Tab. 4**, i valori di stabilità, scorrimento e rigidità Marshall ottenuti.

Tab. 4 Valori Marshall

TIPO DI FILLER	STABILITÀ MARSHALL [N]	SCORRIMENTO MARSHALL [mm]	RIGIDEZZA MARSHALL [N/mm]
Calcareo	10.983	12,3	893
Cenere volante	12.625	10,8	1.169

4. Studio sperimentale

Vengono ora mostrati i primi risultati di una campagna sperimentale realizzata per valutare le prestazioni di una cenere volante di produzione italiana, impiegata come filler, nella realizzazione di miscele di conglomerato bituminoso. Oltre che per avere conferma dei risultati di letteratura presentati, lo scopo principale del lavoro è quello di evidenziare i benefici tecnici ed economici che possono derivare da questo tipo di impiego. In questa prima fase l'attenzione è stata focalizzata sulla valutazione comparativa tra la cenere volante ed il filler calcareo nel confezionamento di due miscele bituminose da utilizzare come strato di base e strato di usura in una pavimentazione stradale.

4.1 Materiali impiegati

Per il confezionamento delle miscele oggetto di studio è stato fatto uso dei seguenti materiali:

- ▶ pietrisco 3 ($d_{max} = 32$ mm);
- ▶ pietrisco 2 ($d_{max} = 16$ mm);
- ▶ pietrisco 1 ($d_{max} = 8$ mm);
- ▶ sabbia calcarea ($d_{max} = 4$ mm);
- ▶ cenere volante;
- ▶ filler calcareo.

Per la miscela dello strato di base (Capitolato ANAS) sono stati impiegati i pietrischi 2 e 3, mentre per la miscela dello strato di usura (Usura Tipo B, Capitolato ANAS) è stato escluso il Pietrisco 3. Relativamente al bitume, per lo strato di base è stato utilizzato un bitume 50/70 TQ mentre per quello di usura un 50/70 HD.

In **Fig. 6** si riportano le curve granulometriche degli aggregati e fillers utilizzati.

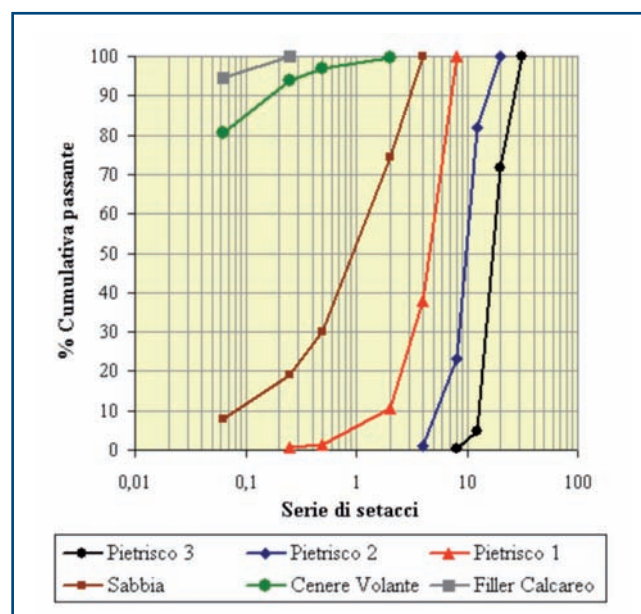


Fig. 6 Distribuzione granulometrica dei materiali impiegati

4.2 Proporzionamento delle miscele

Gli aggregati sono stati combinati fra loro in modo tale che la distribuzione granulometrica risultante ricadesse all'interno dei fusi granulometrici di riferimento indicati nel Capitolato Speciale ANAS (**Fig. 7**). »

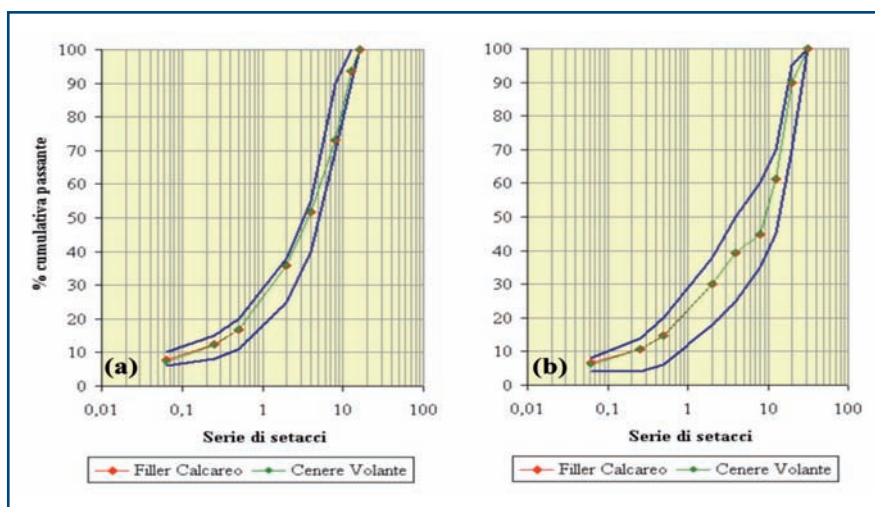


Fig. 7 Combinazione granulometrica degli aggregati per la miscela relativa allo strato di usura (a) ed allo strato di base (b)

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

Nella seguente **Tab. 5** si riportano le tabelle di dosaggio (in volume) delle due tipologie di miscela.

Tab. 5 Dosaggi percentuali (in volume) dei diversi componenti

COMPONENTE	"BASE"		"USURA"	
	FILLER CALCAREO	CENERE VOLANTE	FILLER CALCAREO	CENERE VOLANTE
Pietrisco 3	36 %	36 %		
Pietrisco 2	25 %	25 %	35 %	35 %
Pietrisco 1	-	-	22 %	22 %
Sabbia calcarea	35 %	35 %	38 %	38 %
Filler calcareo	4 %	-	5 %	-
Ceneri volanti	-	4 %	-	5 %

Il dosaggio di filler, secondo i quantitativi riportati in Tab. 5, è avvenuto a parità di volume. Questa scelta impone un minor dosaggio di cenere rispetto al calcare, dovuto alla minore massa volumica (vedi par. 2.3).

Nel rispetto degli intervalli di dosaggio di bitume suggeriti dal Capitolo Speciale ANAS, per ciascuna delle due tipologie di miscele sono stati realizzati tre differenti impasti caratterizzati dai seguenti contenuti di bitume (sul peso degli aggregati):

- ▶ strato di base: 4,0, 4,3 e 4,6 %;
- ▶ strato di usura: 4,5, 4,75 e 5,0 %.

4.3 Preparazione dei campioni e prove eseguite

Lo studio delle miscele è stato condotto con riferimento al metodo volumetrico ed i provini confezionati mediante l'ausilio della pressa giratoria (UNI EN 12697-31).

In **Fig. 8** un'immagine dell'apparecchiatura utilizzata.

La **Tab. 6** riporta i parametri di prova impostati sulla pressa giratoria in conformità a quanto richiesto nel Capitolo Speciale dell'ANAS.

Per lo studio delle caratteristiche volumetriche sono sta-

Tab. 6 Parametri impostati sulla pressa giratoria

PARAMETRO	VALORE IMPOSTATO
Pressione Verticale [kPa]	600
Angolo di rotazione [gradi]	1.25
Velocità di rotazione [giri/min]	30

ti confezionati, per ciascuna tipologia di miscela e per ciascun dosaggio di bitume, quattro provini. Per lo strato di

base sono state impiegate fustelle cilindriche dal diametro di 150 mm, mentre per lo strato di usura fustelle dal diametro di 100 mm.

La verifica delle percentuali dei vuoti è stata fatta in corrispondenza dei seguenti tre livelli di n° di giri della pressa giratoria:

- ▶ strato di base: 10, 100 e 180 giri;
- ▶ strato di usura: 10, 150 e 240 giri.

Le prestazioni meccaniche, in termini di resistenza a trazione indiretta



Fig. 8 Pressa giratoria (a) e particolare della fustella (b)

e coefficiente di trazione indiretta, sono state invece valutate su provini con diametro analogo alle precedenti ma confezionati con 100 e 150 giri rispettivamente per la base ed il tappeto d'usura.

Anche in questo caso sono stati confezionati 4 campioni per ogni singolo dosaggio di bitume.

In **Fig. 9** una immagine della tipologia di campioni realizzati.

La resistenza a trazione indiretta è stata misurata con l'apparecchiatura di **Fig. 10** secondo la UNI EN 12697-23, rilevando, oltre al carico massimo di rottura, la deformazione diametrale a rottura.

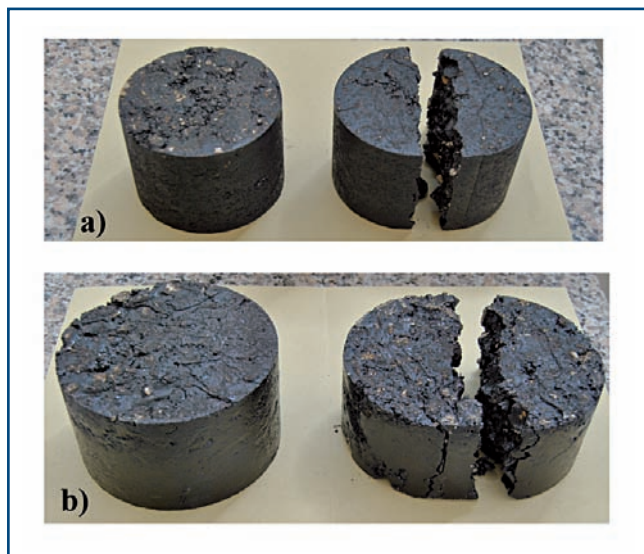


Fig. 9 Tipologia di campioni confezionati per lo strato di usura (a) e per lo strato di base (b)



Fig. 10 Apparecchiatura per la determinazione della resistenza a trazione indiretta

4.4 Risultati delle prove

In Tabella 7 si riportano i risultati relativi alla percentuale dei vuoti rilevata su tutte le miscele studiate con i relativi valori di accettazione del Capitolato Speciale ANAS.

I valori riportati per ciascuna miscela rappresentano i valori medi di 4 determinazioni (4 provini per miscela). Alla luce dei requisiti di accettazione considerati, è possibile individuare, per le due tipologie di miscele, le percentuali ottimali di bitume. Nel caso delle miscele relative allo strato di base, tali percentuali ottimali risultano essere:

- ▶ impasti con cenere volante: 4,3% di bitume;
- ▶ impasti con filler calcareo: 4,6% di bitume.

Il risultato è estremamente interessante soprattutto perché la riduzione della percentuale di bitume riscontrata è stata ottenuta a parità di volume di filler.

Il risultato concorda con quanto ottenuto da [7] (vedi par. 3), nonostante quest'ultimo si riferisse all'impiego di cenere volante dosata in peso (presente quindi in volume maggiore rispetto al filler calcareo). Nel caso delle miscele relative allo strato di usura, tutti gli impasti confezionati con cenere volante sono risultati conformi ai requisiti volumetrici stabiliti. Volendo quindi stabilire un dosaggio ottimale del bitume, questo può essere considerato pari alla percentuale minore testata, ovvero il 4,5%.

Per gli impasti con filler calcareo, le miscele soddisfacenti sono le prime due, mentre quella contenente il 5,0% di bitume non rispetta i requisiti imposti. Anche in questo caso, pertanto, la percentuale ottimale di bitume si potrà considerare pari al 4,5%.

In questa tipologia di conglomerato, sostituendo il filler calcareo con uno stesso volume di cenere volante, si perviene pertanto alla stessa percentuale ottimale di bitume.

C'è da osservare che le miscele con filler calcareo sono apparse molto sensibili alle variazioni della percentuale di bitume, in quanto un piccolo incremento di quest'ultima ha portato rapidamente all'eccessiva chiusura della miscela. In questo senso, gli impasti con cenere volante sono apparsi più "robusti", cioè più adatti ad assorbire piccole variazioni nel contenuto di bitume, senza pregiudicare le caratteristiche volumetriche della miscela.

In **Tab. 8** si riportano i risultati relativi alla resistenza a trazione indiretta (R.T.I.), alla deformazione diametrica a rottura (δ) ed al coefficiente di trazione indiretta (C.T.I.) delle miscele testate. »

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

Tab. 7 Percentuale dei vuoti nelle miscele testate

CICLI	STRATO DI BASE						REQUISITO
	CENERE VOLANTE			FILLER CALCAREO			
	% BITUME			% BITUME			
	4,0	4,3	4,6	4,0	4,3	4,6	
10	13,9	12,7	11,8	15,0	14,4	12,4	12÷15
100	5,7	4,2	3,2	6,1	5,2	3,7	3÷5
180	4,1	3,0	2,0	4,3	3,6	2,6	≥2

Cicli	STRATO DI USURA						REQUISITO
	CENERE VOLANTE			FILLER CALCAREO			
	% BITUME			% BITUME			
	4,5	4,75	5,0	4,5	4,75	5,0	
10	15,0	14,2	13,0	14,7	13,3	11,3	12÷15
150	4,3	3,9	3,0	4,0	3,0	1,9	3÷5
240	3,2	2,8	2,1	3,0	2,2	1,3	≥2

Tab. 8 Prestazioni meccaniche

PRESTAZIONE	STRATO DI BASE					
	CENERE VOLANTE			FILLER CALCAREO		
	% BITUME			% BITUME		
	4,0	4,3	4,6	4,0	4,3	4,6
R.T.I. [N/mm ²]	1,18	1,04	1,22	1,22	1,03	1,12
δ [mm/mm]	0,023	0,021	0,023	0,024	0,022	0,025
C.T.I. [N/mm ²]	81	78	85	81	74	72

PRESTAZIONE	STRATO DI USURA					
	CENERE VOLANTE			FILLER CALCAREO		
	% BITUME			% BITUME		
	4,5	4,75	5,0	4,5	4,75	5,0
R.T.I. [N/mm ²]	2,34	2,04	1,65	2,51	1,75	1,88
δ [mm/mm]	0,030	0,032	0,033	0,032	0,032	0,034
C.T.I. [N/mm ²]	123	100	80	125	86	86

Per entrambe le tipologie di miscela, le prestazioni meccaniche, in termini di resistenza a trazione indiretta e coefficiente di trazione indiretta, risultano sostanzial-

mente simili per i due filler. In effetti, i parametri meccanici trovati sono risultati superiori, per entrambi i filler, ai valori richiesti dal capitolato preso come riferi-

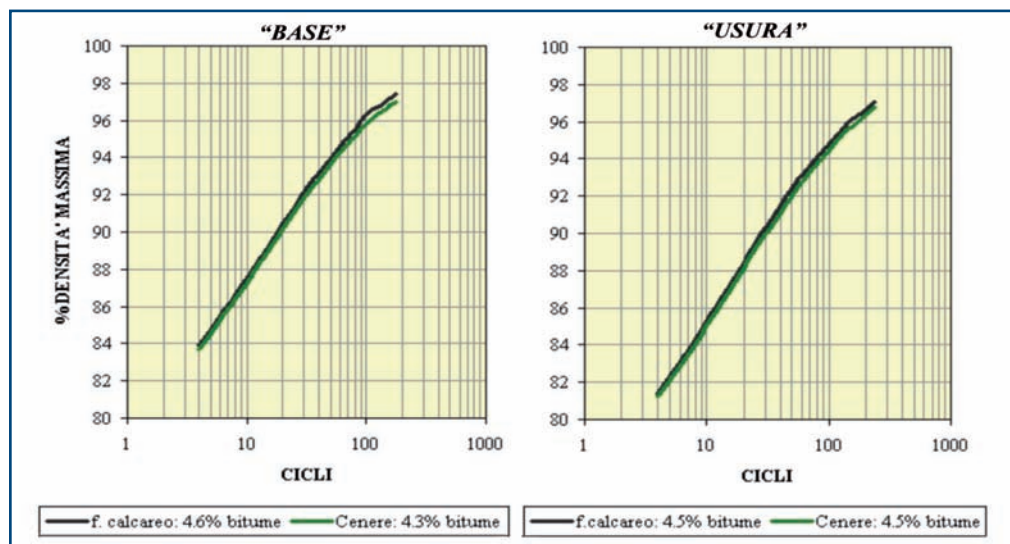


Fig. 11 Curve di compattazione

mento (ANAS). Tuttavia, essendo le prove di tipo comparativo, questo aspetto non ha inficiato lo scopo del lavoro. Per quanto riguarda invece la deformazione diametrica a rottura, anche se le differenze sono minime, c'è da sottolineare il fatto che tutti gli impasti con cenere volante (sia per la base che per lo strato di usura) hanno evidenziato sempre una deformazione inferiore alle corrispondenti miscele con filler calcareo.

Anche questo risultato conferma pienamente quanto riportato in letteratura. Sostituendo il filler calcareo con uno stesso volume di cenere volante, le prestazioni meccaniche sono state sostanzialmente conservate e le deformazioni sono state ridotte.

Il risultato non solo mostra che la sostituzione di filler realizzata è assolutamente valida da un punto di vista tecnologico, ma che tale scelta può prospettare rilevanti vantaggi economici, in termini di ottimizzazione nelle percentuali di bitume e nelle quantità, in peso, di filler. Un ultimo risultato interessante che si vuole proporre è il confronto, in termini di curve di compattazione, degli impasti "ottimali" trovati per le due tipologie di miscele.

In Fig. 11 si confrontano le seguenti curve:

- ▶ strato di base: Impasto con cenere volante al 4,3% di bitume ed impasto con filler calcareo al 4,6% di bitume.
- ▶ strato di usura: Impasto con cenere volante al 4,5% e impasto con filler calcareo al 4,5% di bitume.

Per entrambe le tipologie di conglomerato, la sostituzione del tipo di filler non ha comportato alcuna penalizzazione dal punto di vista della compattabilità delle miscele. Il risultato è notevole soprattutto nel caso della base, per la quale la compattabilità inalterata è accompagnata da una ottimizzazione del contenuto di bitume.

5. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata evidenziata, attraverso una serie di dati sperimentali, l'idoneità tecnica della cenere volante di produzione italiana all'impiego come filler nei conglomerati bituminosi.

Non solo questa aggiunta minerale presenta tutti i requisiti normativi necessari allo scopo, ma riesce a garantire una serie di benefici nelle miscele bituminose grazie ad alcune sue peculiarità:

- a. capacità fillerizzante. Le particelle di maggiori dimensioni completano la curva granulometrica degli aggregati, contribuendo alla riduzione dei vuoti, mentre quelle più sottili concorrono alla formazione del mastice;
- b. ottimo *extender* del bitume, capace di ottimizzarne i contenuti senza pregiudicare la compattabilità delle miscele, con evidenti benefici economici;
- c. possibilità di rilevanti ottimizzazioni nei contenuti di filler grazie al minor valore della massa volumica delle particelle di cenere rispetto a quella degli altri filler. Sostituendo *a parità di volume* i classici filler, quali quello calcareo o il cemento, si possono conseguire risparmi, *in peso*, rispettivamente di circa il 20% e il 30% di materiale;
- d. capacità di riduzione della suscettività termica del conglomerato grazie all'incremento del punto di rammolimento del mastice;
- e. notevole capacità di anti-spogliamento dell'aggregato;

» IMPIEGO DELLA CENERE VOLANTE COME FILLER

- f. capacità di riduzione delle deformazioni a lungo termine (*rutting*);
- g. capacità di contrastare l'invecchiamento del bitume ed incrementare la durabilità delle pavimentazioni;
- h. possibilità di impiego, con eccellenti risultati in termini di aderenza strada-veicolo, anche in conglomerati speciali quali gli *anti-skid*;
- i. materiale eco-compatibile ad elevata sostenibilità. ■

Bibliografia

- [1] Konstantin Sobolev et. Al (Milwaukee,WI,USA), Bloom Companies (Milwaukee,WI,USA), University of Wisconsin and We Energies (Milwaukee,WI,USA), *Application of Fly Ash in Asphalt concrete: from challenges to opportunities*.
- [2] J. Alam and M.N.Akhtar, *Fly ash utilization in different sectors in indian scenario*, Civil engineering department Aligarh Mulsim University Aligarh India.
- [3] Craig Heidrich, *Ash Utilisation – An Australian Perspective*, Ash development Association of Australia Inc.
- [4] Donald E. Shaw, The use of fly ash in the manufacture of asphalt shingles. Proceedings of the Fourth International Symposium on Roofing Technology.
- [5] Carpenter, Carl A. "Fillers in Asphaltic Concrete," Public Roads, Volume 27, No. 5, December, 1952.
- [6] Massimo Pisciotta (2009), L'impiego di ceneri volanti nei conglomerati bituminosi ecologici *anti-skid*, Strade & Autostrade 1-2009.
- [7] Calvin Fong (2007). *Performance characteristics of different mineral filler in asphalt concrete mixtures*, Ryerson University.

GENERAL G.A ADMIXTURES



La "mission" della General Admixtures spa (G.A.) è fornire prodotti innovativi, a tecnologia avanzata ed a costi competitivi all'industria delle costruzioni ed in particolare al settore del Calcestruzzo Preconfezionato.

Nel 2013 G.A. ha introdotto sul mercato un nuovo prodotto per la produzione dei conglomerati bituminosi, chiamato Micro-Filler GA. L'utilizzo della Cenere Volante "Micro-Filler GA" permette di

ottimizzare le miscele dei conglomerati bituminosi, migliorandone le prestazioni e riducendone i costi.

MICRO-FILLER GA (Class F Fly Ash), è un materiale ad elevata capacità fillerizzante, **marcato CE** secondo la norma **UNI EN 13043** (aggregato per conglomerato bituminoso - filler) il cui utilizzo è indicato nelle Norme Tecniche di riferimento del settore e nei capitolati dei principali enti.

GENERAL ADMIXTURES Spa

Via delle Industrie, 14/16 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. + 39 0422 966911 - Fax + 39 0422 969740
info@gageneral.com - www.gageneral.com



Azienda certificata per la gestione dei Sistemi Qualità ed Ambiente secondo le UNI EN ISO 9001 e 14001