



MAPEPLAST PAVI

Pavimentazioni stradali sostenibili e resistenti

MANUALE TECNICO





L'ADDITIVO PER MISCELE
IN CONGLOMERATO BITUMINOSO
A ELEVATE PRESTAZIONI.



Mapeplast PAVI

Pavimentazioni stradali sostenibili e resistenti

Le pavimentazioni stradali	2
Caratteristiche di Mapeplast PAVI	4
Proprietà dei conglomerati bituminosi.....	5
Caratteristiche volumetriche delle miscele	5
Modulo di rigidità	6
Resistenza a trazione indiretta	7
Tecnologie per la modifica dei conglomerati bituminosi	8
Principali fenomeni di degrado	9
Rottura per fatica	9
Ormaiamento.....	12
Progettazione delle miscele in conglomerato bituminoso	14
Mix design della miscela per strato di Base.....	14
Mix design della miscela per strato di Binder.....	15
Mix design della miscela per strato di Usura	16
Confronto tecnico.....	17
Confronto tecnico tra le proprietà meccaniche delle miscele	17
Resistenza a trazione indiretta	19
Confronto prestazionale tra miscele	22
Risultati da prove di laboratorio.....	22
Confronto tramite modelli previsionali adottati in fase di progettazione	26
Considerazioni sulle prestazioni	29
Sostenibilità ambientale	30
Referenze.....	32
Perché scegliere Mapeplast PAVI	36

Le pavimentazioni stradali

Le pavimentazioni stradali sono strutture che distribuiscono i carichi di traffico sul terreno di appoggio, rispettandone le caratteristiche di deformabilità e di resistenza. Allo stesso tempo, offrono una superficie regolare per il transito sicuro e confortevole dei veicoli, in ogni condizione meteorologica.

Le pavimentazioni sono composte da **strati sovrapposti di materiali differenti**, di qualità crescente verso la superficie di rotolamento. Esistono due soluzioni principali per le sovrastrutture in conglomerato bituminoso:

- **pavimentazione flessibile**, generalmente costituita da una sovrapposizione di tre strati in conglomerato bituminoso (Usura, Binder e Base) che poggiano su una fondazione in misto granulare;
- **pavimentazione semi-rigida**, rispetto a quella flessibile prevede l'aggiunta di uno strato in misto cementato tra la base e la sottostante fondazione in misto granulare.

Soluzioni progettuali per pavimentazioni in conglomerato bituminoso

PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE



- 1** Usura
- 2** Binder
- 3** Base
- 4** Fondazione in misto granulare
- 5** Sottofondo

PAVIMENTAZIONE SEMI-RIGIDA



- 1** Usura
- 2** Binder
- 3** Base
- 4** Misto cementato
- 5** Fondazione in misto granulare
- 6** Sottofondo

Proprietà degli strati

Lo **strato d'Usura**, essendo a diretto contatto con gli pneumatici, svolge una duplice funzione: garantire l'aderenza e sopportare gli sforzi tangenziali derivanti dal transito dei veicoli. Lo **strato di Binder** redistribuisce gli sforzi allo strato di Base sottostante, che risulta la più sollecitata dagli sforzi di trazione indotti dai carichi di traffico, motivo per cui è lo strato in cui hanno origine i principali fenomeni di fessurazione.

Le pavimentazioni stradali necessitano di un **opportuno dimensionamento sia strutturale sia funzionale**, necessario a garantire adeguate performance durante la loro vita utile. Esso dipende dalla definizione delle sollecitazioni cui l'infrastruttura sarà sottoposta in esercizio, dalla scelta dei materiali costituenti e dalle loro prestazioni meccaniche.

Per incrementare le prestazioni offerte dai materiali impiegati negli strati in conglomerato bituminoso, si possono impiegare, in sostituzione del bitume tradizionale, **bitumi modificati** con l'aggiunta di polimeri in impianti specializzati. Un bitume è considerato "modificato" quando il suo comportamento reologico e le caratteristiche che lo contraddistinguono risentono di quelle del polimero impiegato. In alternativa, è possibile incrementare le prestazioni della miscela di conglomerato bituminoso direttamente durante la mescolazione in impianto aggiungendo additivi e polimeri.

Questa seconda soluzione, oltre a essere più economica, permette anche di **dosare la quantità di additivo/polimero da aggiungere** in funzione del tipo di modifica e delle prestazioni desiderate.

La soluzione Mapei

Mapei ha studiato e sviluppato una **linea di polimeri plastomerici, Mapeplast PAVI**, che consente di produrre conglomerati bituminosi a elevate prestazioni.

Aggiungendo tali polimeri durante la fase di mescolazione del conglomerato bituminoso, è possibile **incrementare le caratteristiche meccaniche della miscela**, ottenendo diversi benefici per la pavimentazione.

Caratteristiche di Mapeplast PAVI

Scegliere di utilizzare i polimeri della linea **Mapeplast PAVI** porta diversi vantaggi nelle miscele di conglomerato bituminoso a elevate prestazioni.

La tecnologia **Mapeplast PAVI** consiste in particolari miscele di **polimeri plastomerici** per la produzione di conglomerato bituminoso modificato. Questi specifici additivi possono essere impiegati sia in ambito stradale che aeroportuale.

Nello specifico la tecnologia **Mapeplast PAVI** conferisce alla miscela di conglomerato bituminoso un notevole incremento delle caratteristiche meccaniche, maggiore resistenza all'accumulo di deformazioni permanenti e alla fatica. Garantisce, inoltre, una maggiore adesione tra gli inerti.

Dosaggio

Il dosaggio del polimero è in funzione del tipo di modifica che si intende ottenere e delle prestazioni meccaniche richieste nel Capitolato Tecnico di riferimento. Indicativamente il dosaggio suggerito è compreso tra il 3% e il 6% sul peso del bitume totale.

Utilizzo

I prodotti della linea **Mapeplast PAVI** si aggiungono direttamente durante la fase di produzione delle miscele bituminose in impianto, successivamente all'immissione degli aggregati nel miscelatore. L'additivazione dei conglomerati bituminosi ordinari con **Mapeplast PAVI** consente di ottenere un prodotto finito dalle caratteristiche meccaniche notevolmente superiori, che garantiscono un incremento della vita utile delle pavimentazioni, anche in considerazione delle più alte temperature di esercizio derivanti dai cambiamenti climatici in atto.

Proprietà dei conglomerati bituminosi

A ogni strato delle pavimentazioni stradali sono richieste caratteristiche funzionali e strutturali differenti, a seconda della funzione svolta. Le prestazioni di una miscela in conglomerato bituminoso dipendono dalle proprietà dei singoli componenti e dalla loro combinazione nella stessa. Lo studio di una miscela in conglomerato bituminoso permette di valutarne le proprietà volumetriche e meccaniche e, di conseguenza, le prestazioni offerte in situ.

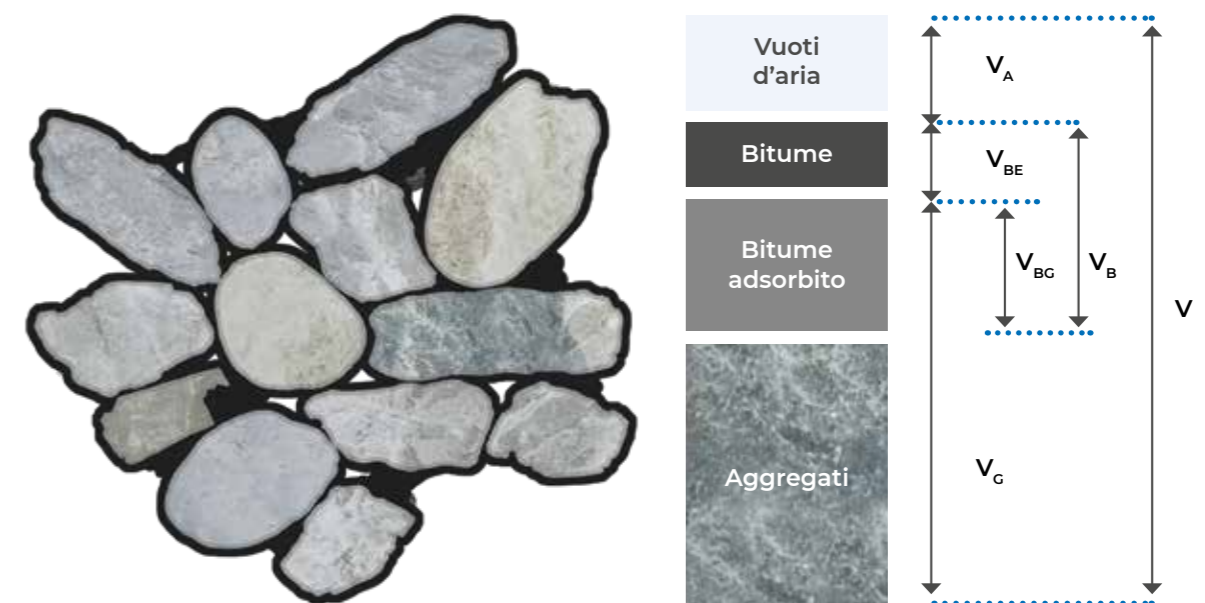
Caratteristiche volumetriche delle miscele

Le caratteristiche volumetriche delle miscele in conglomerato bituminoso ne influenzano significativamente le proprietà meccaniche.

Per diverse ragioni è necessario che una quota parte del volume della miscela sia costituito da vuoti d'aria. Tuttavia, un eccessivo contenuto di vuoti determina una diminuzione del numero di contatti aggregato-aggregato, necessari a trasferire gli sforzi indotti dal traffico, con conseguente diminuzione delle prestazioni meccaniche offerte dalla miscela.

Per questo è importante bilanciare le caratteristiche volumetriche dei conglomerati bituminosi.

CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE DI UNA MISCELA IN CONGLOMERATO BITUMINOSO



Principali fasi costituenti il conglomerato bituminoso allo stato compattato:

- volume occupato dagli aggregati [V_G];
- bitume effettivo, quantità che funge effettivamente da legante all'interno della miscela [V_{BE}];
- bitume adsorbito, quantità presente nella miscela ma, essendo adsorbito dalla porosità degli aggregati, non funge da legante nella miscela [V_{BG}];
- vuoti d'aria [V_A].

Proprietà dei conglomerati bituminosi

Parametri volumetrici

I parametri volumetrici più comunemente considerati per una miscela addensata sono:

- **contenuto di vuoti**, definito come il volume di vuoti riempiti di aria in un campione compattato di conglomerato bituminoso;
- **vuoti nella miscela di aggregato**, definito come il contenuto di vuoti lasciati liberi dall'aggregato nella miscela compattata;
- **vuoti riempiti da bitume**, definito come la percentuale di vuoti nella miscela di aggregato riempiti da bitume.

Queste caratteristiche volumetriche dei conglomerati bituminosi influenzano le caratteristiche meccaniche di base della miscela, come ad esempio il **modulo di rigidezza** e la **resistenza a trazione indiretta**.

Modulo di rigidezza

La **rigidezza di un conglomerato bituminoso** è un parametro fondamentale per definire la risposta della miscela, in termini di sforzi – deformazioni, quando la pavimentazione è soggetta a carichi di traffico e a variazioni di temperatura. I fattori che la influenzano sono le caratteristiche volumetriche e i materiali che costituiscono la miscela (bitume, aggregati, eventuali polimeri e/o additivi). Il **modulo di rigidezza del conglomerato bituminoso**, proprietà meccanica della miscela, è definito come il valore assoluto del modulo complesso ed è rappresentativo della risposta tenso-deformativa di un materiale con comportamento visco-elastico. Per una miscela sollecitata da forze cicliche, il **modulo complesso E*** si ottiene con la composizione vettoriale delle componenti elastica reversibile E₁ e viscosa irreversibile E₂.

RAPPRESENTAZIONE DEL MODULO COMPLESSO NEL PIANO DI GAUSS

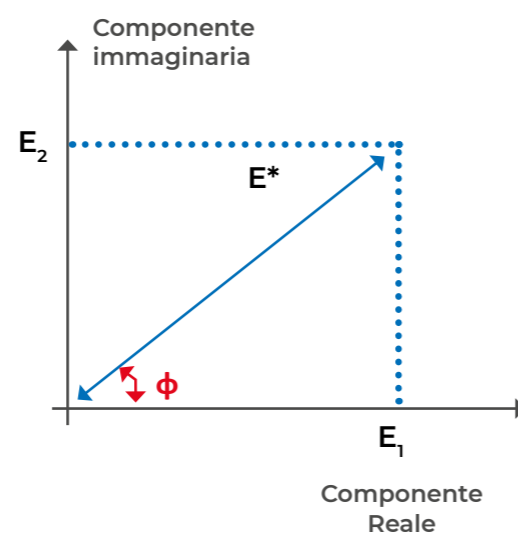
$$E^* = E_1 + i \cdot E_2$$

dove:

- E₁ = |E*| cos φ (componente reale - elastica)
- E₂ = |E*| sin φ (componente immaginaria - viscosa)

Dunque:

$$E^* = |E^*| (\cos \phi + i \cdot \sin \phi)$$



Il **valore del modulo di rigidezza |E*|** rappresenta la capacità del materiale di comportarsi in modo elastico, mentre l'angolo di fase φ indica quanto il materiale reagisce in modo viscoso. Quando si applica una sollecitazione sinusoidale, il materiale, essendo visco-elastico, si deforma seguendo la stessa frequenza del carico, ma con un leggero ritardo. Questo ritardo è misurato dall'angolo di fase. In poche parole, il modulo di rigidezza di un conglomerato bituminoso descrive quanto il materiale si deforma sotto un carico e rappresenta il parametro principale per definire il suo comportamento meccanico.

Resistenza a trazione indiretta

Per valutare le prestazioni di un conglomerato bituminoso, oltre alle caratteristiche volumetriche e al modulo di rigidezza, è possibile determinare lo sforzo massimo sopportabile dalla miscela tramite **prova di rottura a trazione indiretta**.

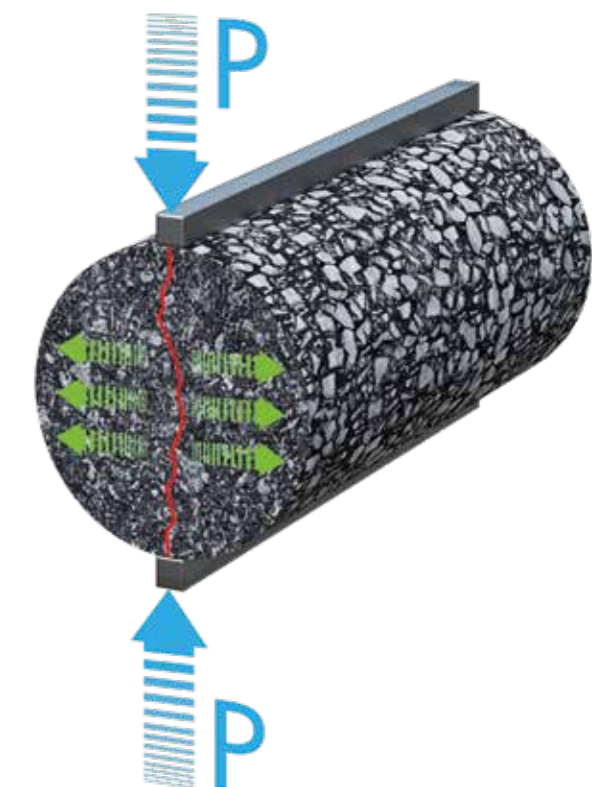
La prova (UNI EN 12697-23) consiste nell'applicare, fino a rottura, una forza di compressione a un provino cilindrico lungo due generatrici opposte che determina uno sforzo di trazione sul piano diametrale del campione.

La resistenza a trazione indiretta RTI del provino si calcola mediante l'espressione:

$$RTI = \frac{2 P}{\pi \cdot D \cdot h}$$

dove:

- P è il carico massimo [N];
- D è il diametro del provino [mm];
- h è l'altezza del provino [mm].



Prova di trazione indiretta

Proprietà dei conglomerati bituminosi

Tecnologie per la modifica dei conglomerati bituminosi

È possibile incrementare le prestazioni offerte dalle miscele confezionate con bitume tal quale (TQ), con due differenti soluzioni tecnologiche per la modifica dei conglomerati bituminosi.

- **Polymer modified Bitumen (PmB)**: bitumi modificati tramite l'aggiunta di polimeri in impianti specializzati – Metodo di modifica “WET”;
- **Polymer modified Asphalt (PmA)**: conglomerati bituminosi modificati tramite l'aggiunta di polimeri durante la fase di miscelazione in impianto di confezionamento – Metodo di modifica “DRY”.

La principale differenza tra le due tecnologie di modifica dei conglomerati bituminosi riguarda il processo di produzione della miscela.

Nel caso di **modifica “WET” (PmB)** il bitume tal quale derivante dalla raffineria viene prima modificato in impianto specializzato con l'aggiunta di polimeri e, in seguito, viene immesso nell'effettivo processo di produzione del conglomerato bituminoso alla temperatura di circa 170-180°C.

Il metodo di **modifica “DRY” (PmA)** prevede invece l'inserimento, a una temperatura di circa 140-150°C, del bitume tal quale proveniente dalla raffineria e dei polimeri necessari alla modifica direttamente all'interno del processo di produzione della miscela. Questo, oltre a essere più economico, permette di dosare la quantità di polimero da aggiungere in funzione del tipo di modifica e delle prestazioni che si desidera ottenere.

Principali fenomeni di degrado

Rottura per fatica e ormaimento sono i due principali fenomeni di degrado nelle pavimentazioni flessibili e semi-rigide. Sono dovuti all'effetto combinato delle sollecitazioni generate da carichi di traffico e condizioni ambientali.

Rottura per fatica

Per effetto dei passaggi dei veicoli, gli strati in conglomerato bituminoso sono soggetti a sollecitazioni di breve durata che innescano nella pavimentazione sforzi di diversa entità, solitamente inferiori al limite di rottura del materiale. La loro ripetizione ciclica determina un progressivo accumulo di danno nella sovrastruttura.

In particolare, gli strati in conglomerato bituminoso sono sottoposti a **deformazioni orizzontali di trazione** che causano, dopo un numero limitato di ripetizione di carico, microfessure alla base degli strati legati a bitume. Il continuo e ripetuto transito dei veicoli pesanti determina uno stato tensionale nella pavimentazione tale da far propagare queste microfessure fino al piano di rotolamento. Il risultato della rottura per fatica è la **formazione di fessure**, inizialmente longitudinali lungo la traccia degli pneumatici, che, all'avanzare dei cicli di carico, si espandono fino ad assumere la forma a “pelle di coccodrillo”.

Principali fenomeni di degrado

FASI DELLA ROTTURA PER FATICA NELLE PAVIMENTAZIONI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

1 Accumulo tensioni

Accumulo di tensioni in alcuni punti della pavimentazione, tipicamente quelli di maggior debolezza (in corrispondenza dei vuoti, nei punti in cui non vi è perfetta adesione tra bitume e aggregato o dove la coesione del bitume è scarsa).

- 1** Tensioni di trazione **3** Fondazione
- 2** Strati CB **4** Sottofondo



2 Innesco fessura

Innesco della fessura, fenomeno che interessa un'area maggiore rispetto a quella del solo accumulo delle tensioni.

- 1** Tensioni di trazione **3** Fondazione
- 2** Strati CB **4** Sottofondo



3 Propagazione della fessura

Propagazione della fessura fino in superficie.

- 1** Tensioni di trazione **3** Fondazione
- 2** Strati CB **4** Sottofondo



4 Fessurazione a "pelle di cocodrillo"

Fessurazione a "pelle di cocodrillo": la fessura, indebolendo un'intera regione della pavimentazione, ne innesca altre che, nel tempo, creano una rete di fessurazioni.

- 1** Tensioni di trazione **3** Fondazione
- 2** Strati CB **4** Sottofondo



Quando la fessurazione in superficie ha raggiunto una notevole estensione, gli strati in conglomerato bituminoso perdono ogni residua capacità portante e, pertanto, la pavimentazione ha raggiunto il termine della sua vita utile.

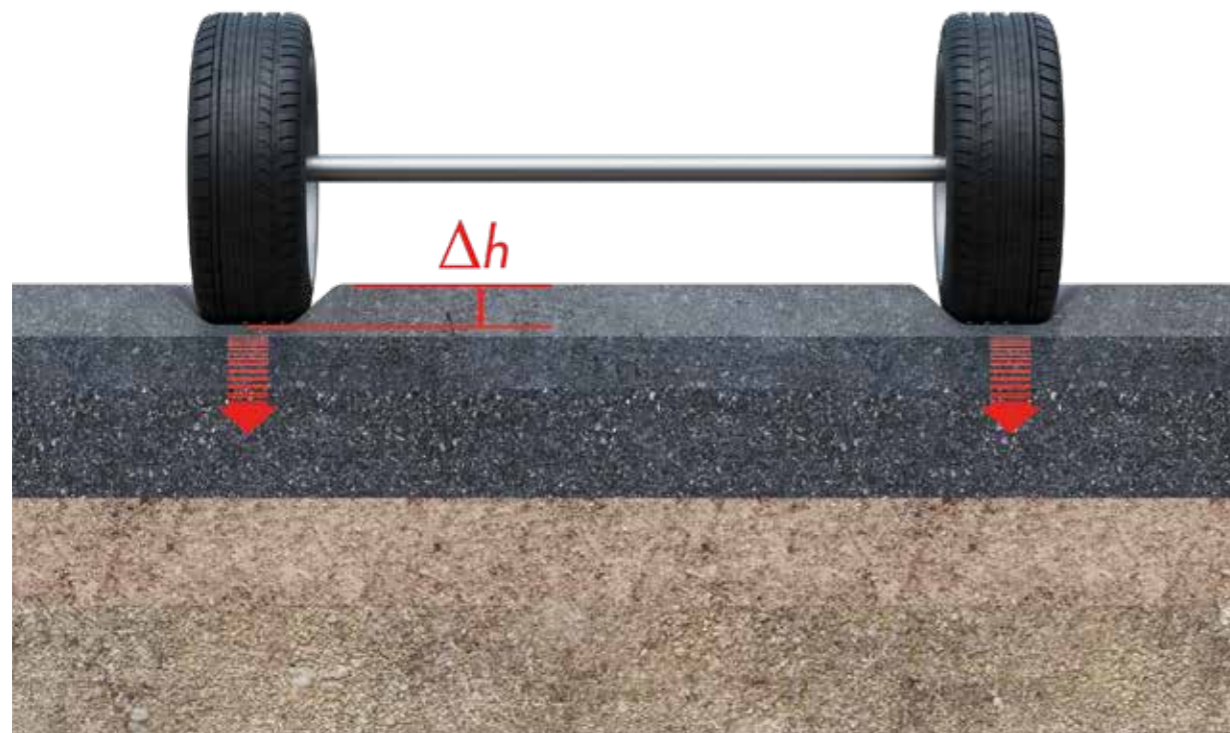
Principali fenomeni di degrado

Ormaiamento

L'ormaiamento si manifesta con la formazione di depressioni sulla superficie stradale, che si sviluppano longitudinalmente lungo le direttrici di impronta degli pneumatici. Questo fenomeno è causato dall'effetto combinato del traffico veicolare, soprattutto dei mezzi pesanti, e delle alte temperature di esercizio, che determinano un accumulo progressivo di deformazioni permanenti negli strati di conglomerato bituminoso. La presenza delle ormaie rende difficili le manovre di cambio direzione e il controllo del veicolo e riduce la sicurezza stradale: in caso di pioggia, infatti, favorisce la formazione di ristagni d'acqua, aumentando il rischio di aquaplaning.

Fasi sviluppo ormaiamento

1. Fase di post-compattazione: appena aperta una strada al traffico si assiste a un cedimento Δh della pavimentazione al di sotto dell'impronta degli pneumatici per effetto della riduzione dei vuoti. Questa deformazione è permanente e non più recuperabile (fenomeno di post-compattazione, con variazione di volume).



Prova di trazione indiretta

2. Fase di rifluimento laterale del materiale: quando si sviluppano degli scorrimenti viscosi nasce il fenomeno dell'ormaiamento dove il materiale si addensa sotto la ruota e rifluisce ai lati della stessa (variazione di forma senza variazione di volume).



Fase di rifluimento laterale del materiale

Progettazione delle miscele in conglomerato bituminoso

Per valutare l'efficacia dell'additivazione delle miscele bituminose con la tecnologia **Mapeplast PAVI**, è stato condotto un confronto tecnico tra diverse miscele impiegando nello specifico il prodotto **Mapeplast PAVI 02**:

- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume ordinario 50/70**;
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume modificato Hard 45/80-70 (PmB)**;
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume ordinario 50/70 additivate con Mapeplast PAVI 02**.

Il confronto si basa sulle risultanze di prove di laboratorio condotte su 3 differenti tipologie di miscele (Usura, Binder e Base) confezionate, per ciascuna tipologia di strato della pavimentazione, a parità di:

- composizione granulometrica;
- percentuale di RAP;
- contenuto di bitume;
- percentuale di ACF.

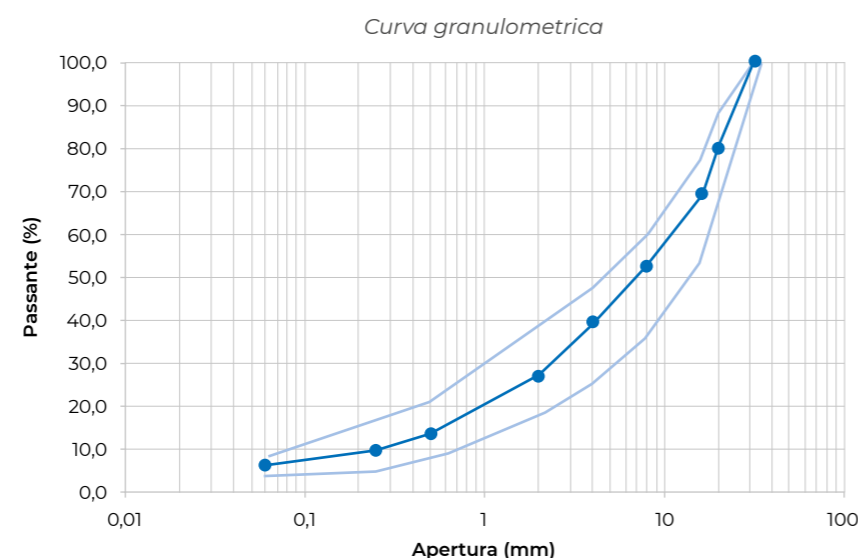
Il **mix design** di ciascuna miscela è stato studiato sulla base delle **specifiche tecniche ANAS**, con particolare riferimento al fuso granulometrico, al contenuto di legante e di RAP.

Ciascuna miscela additivata con il polimero **Mapeplast PAVI 02** è stata confezionata con il **6% di polimero sul peso del legante vergine di apporto**.

Mix design della miscela per strato di Base

Composizione della miscela in conglomerato bituminoso per lo strato di Base.

APERTURA (mm)	PASSANTE (%)
31,5	100
20	81,5
16	69,1
8	52,8
4	39,2
2	28
0,5	13,7
0,25	10,2
0,063	6,6

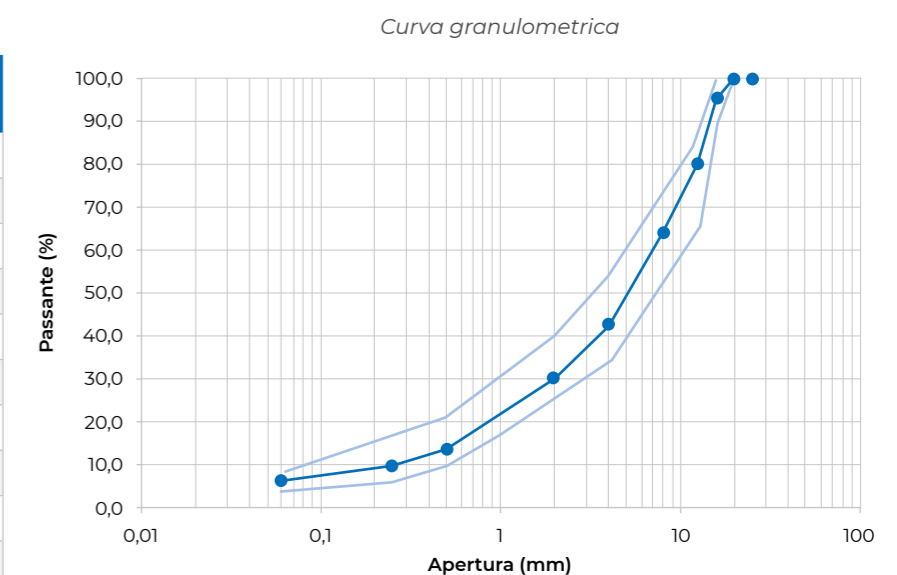


Tutte le miscele dello strato di Base contengono una percentuale di **fresato** pari al 30% in peso riferito alla miscela e una quantità di **ACF** pari allo 0,30% sul quantitativo di RAP impiegato. Il contenuto di **legante** totale è pari al 4,13% sul mix totale.

Mix design della miscela per strato di Binder

Composizione della miscela in conglomerato bituminoso per lo strato di Binder.

APERTURA (mm)	PASSANTE (%)
25	100
20	100
16	95
12,5	80
8	63,6
4	42,6
2	30,1
0,25	14,1
0,5	10,2
0,063	6,3



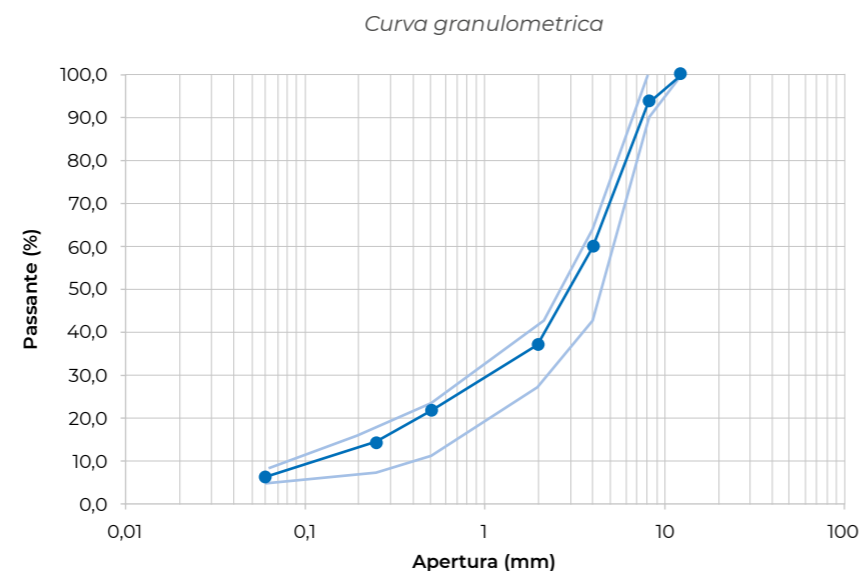
Tutte le miscele di Binder contengono una percentuale di **fresato** pari al 20% in peso riferito alla miscela e una quantità di **ACF** pari allo 0,30% sul quantitativo di RAP impiegato. Il contenuto di **legante** totale è pari al 4,74% sul mix totale.

Progettazione delle miscele in conglomerato bituminoso

Mix design della miscela per strato di Usura

Composizione della miscela in conglomerato bituminoso per strato di Usura.

APERTURA (mm)	PASSANTE (%)
12,5	99,2
8	92,8
4	59,2
2	37,7
0,5	22,5
0,25	15,4
0,063	7,7



Tutte le miscele di Usura contengono una percentuale di **fresato** pari al 15% in peso riferito alla miscela e una quantità di **ACF** pari allo 0,30% sul quantitativo di RAP impiegato. Il contenuto di **legante** totale è pari al 5,47% sul mix totale.

Confronto tecnico

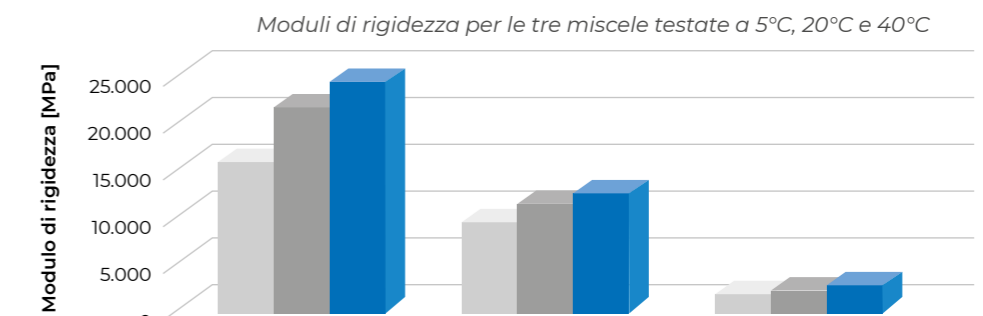
Confronto tecnico tra le proprietà meccaniche delle miscele

Per meglio comprendere le potenzialità di **Mapeplast PAVI 02** sono stati analizzati i risultati delle prove di laboratorio condotte su campioni delle miscele in CB ordinario, modificato hard e additivato con **Mapeplast PAVI 02**, espresse anche in termini di incremento percentuale. Nelle prove sono stati considerati i principali parametri meccanici di una miscela: modulo di rigidezza e resistenza a trazione indiretta.

Modulo di rigidezza

Dopo il confezionamento in laboratorio delle 3 tipologie di miscela sono state eseguite prove per la determinazione del modulo di rigidezza (secondo la norma UNI EN 12697-26 annesso C) a diverse temperature (5°C, 20°C e 40°C). Nelle tabelle sono illustrati i **valori dei moduli di rigidezza (E*)** ottenuti dalle prove insieme agli incrementi percentuali riscontrati per le miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** al 6% sul peso del legante di apporto. I risultati vengono confrontati con quelli delle miscele preparate con bitume ordinario e con bitume modificato Hard (PmB).

MISCELA PER STRATO DI BASE

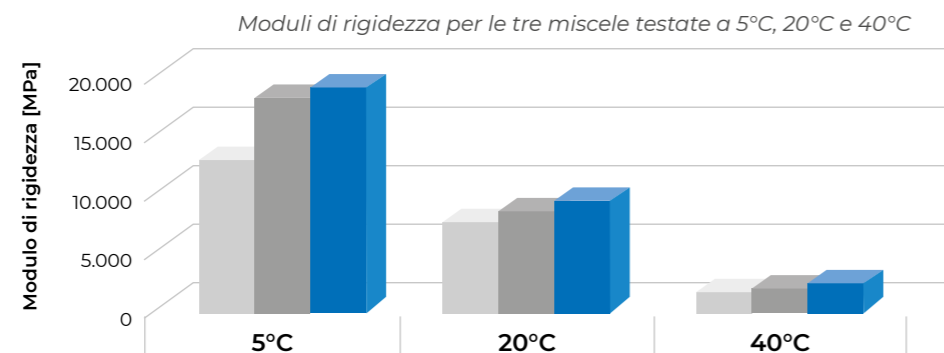


	5°C	20°C	40°C
Miscela ordinaria	15,987	9,457	1,826
Miscela mod. Hard	21,669	11,357	2,129
Miscela con PAVI 02	24,190	12,470	2,683

MISCELA PER STRATO DI BASE			
Incremento % modulo di rigidezza per miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)			
T di prova [°C]	5	20	40
Miscela ordinaria	+ 51%	+ 32%	+ 47%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 12%	+ 10%	+ 26%

Confronto tecnico

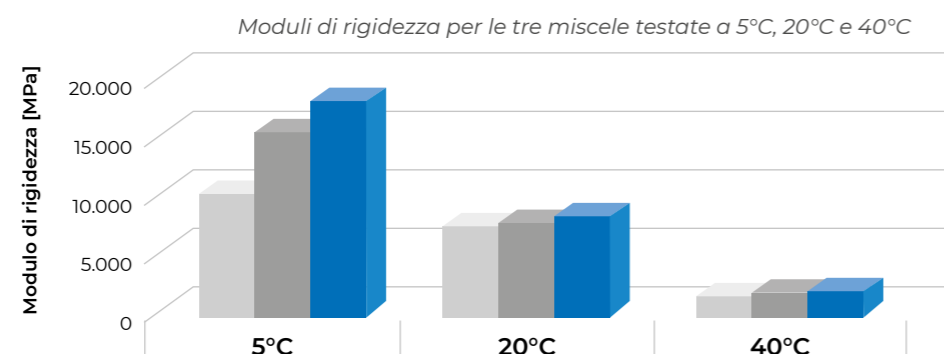
MISCELA PER STRATO DI BINDER



	5°C	20°C	40°C
Miscela ordinaria	12,886	7,013	1,237
Miscela mod. Hard	17,933	8,017	2,070
Miscela con PAVI 02	18,684	8,967	2,326

MISCELA PER STRATO DI BINDER			
Incremento % modulo di rigidezza per miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)			
T di prova [°C]	5	20	40
Miscela ordinaria	+ 45%	+ 28%	+ 88%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 4%	+ 12%	+ 12%

MISCELA PER STRATO DI USURA



	5°C	20°C	40°C
Miscela ordinaria	10,547	6,579	1,048
Miscela mod. Hard	15,660	7,359	1,589
Miscela con PAVI 02	17,756	7,851	1,732

MISCELA PER STRATO DI USURA			
Incremento % modulo di rigidezza per miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)			
T di prova [°C]	5	20	40
Miscela ordinaria	+ 68%	+ 19%	+ 65%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 13%	+ 7%	+ 9%

Risultati

I risultati mostrano che **le miscele additivate con Mapeplast PAVI 02 presentano un notevole incremento del modulo di rigidezza alle diverse temperature di prova rispetto alle altre miscele.** L'incremento di performance riguarda tutte e tre le tipologie di miscele testate: Base, Binder e Usura.

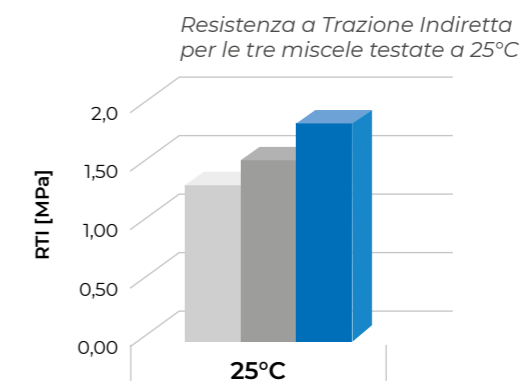
A parità di condizioni ambientali, di posa e di carico applicato, una pavimentazione con un maggiore modulo di rigidezza permette di trasferire al sottofondo carichi di compressione su una superficie più ampia e con un'intensità minore rispetto a una pavimentazione caratterizzata da una bassa rigidezza.

Resistenza a trazione indiretta

Oltre al modulo di rigidezza, per ogni tipologia di miscela è stata determinata la **resistenza a trazione indiretta a 25°C** (secondo la norma UNI EN 12697-23), parametro fondamentale per la valutazione della rottura istantanea di una pavimentazione.

Nelle tabelle sono illustrati i **valori di Resistenza a Trazione Indiretta (RTI)** desunti dalle prove e gli incrementi percentuali riscontrati per le miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** rispetto alle miscele confezionate con bitume tal quale (ordinario) e con bitume modificato Hard (PmB).

MISCELA PER STRATO DI BASE



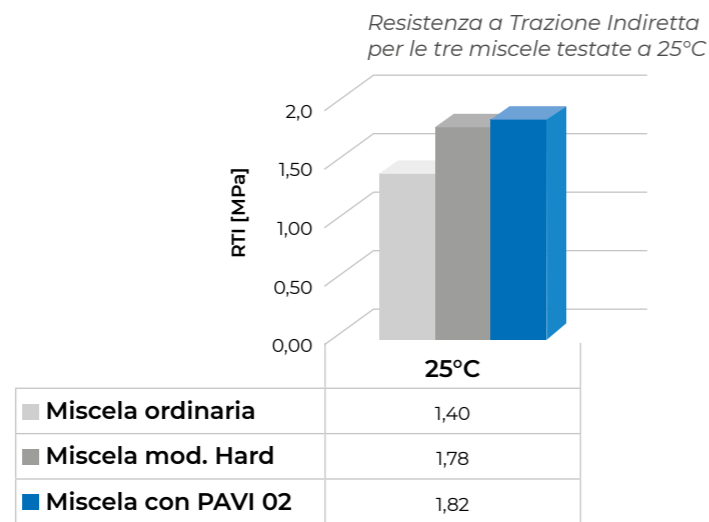
	25°C
Miscela ordinaria	1,39
Miscela mod. Hard	1,54
Miscela con PAVI 02	1,91

Nelle miscele in conglomerato bituminoso per lo **strato di Base**, l'additivazione con **Mapeplast PAVI 02** permette di registrare un incremento della Resistenza a Trazione Indiretta a 25°C pari a:

- **+ 37 %** rispetto a una miscela con bitume tal quale (ordinario);
- **+ 24 %** rispetto a una miscela con bitume modificato Hard (PmB).

Confronto tecnico

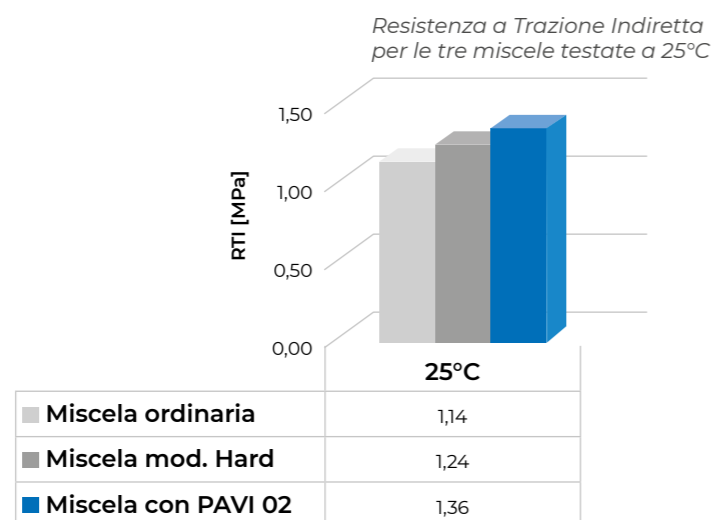
MISCELA PER STRATO DI BINDER



Le **miscele di Binder** additivate con **Mapeplast PAVI 02** presentano un incremento della Resistenza a Trazione Indiretta a 25°C pari a:

- **+ 30 %** rispetto a una miscela con bitume tal quale (ordinario);
- **+ 2 %** rispetto a una miscela con bitume modificato Hard (PmB).

MISCELA PER STRATO DI USURA



Le **miscele di Usura** additivate con **Mapeplast PAVI 02** presentano un incremento della Resistenza a Trazione Indiretta a 25°C pari a:

- **+ 19 %** rispetto a una miscela con bitume tal quale (ordinario);
- **+ 10 %** rispetto a una miscela con bitume modificato Hard (PmB).

Risultati

Tutte le miscele contenenti **Mapeplast PAVI 02** sono caratterizzate da **valori di Resistenza a Trazione Indiretta superiori** rispetto alle miscele confezionate con bitume ordinario e modificato Hard. Ciò permette alle pavimentazioni con miscele additivate con questo prodotto di **sopportare carichi di entità superiore**, di avere una **maggiore resistenza a rottura istantanea** e una **più elevata durata a fatica**.

Confronto prestazionale tra miscele

In riferimento ai principali fenomeni di degrado delle pavimentazioni, è stato effettuato un confronto prestazionale tra diverse miscele (Base, Binder e Usura) confezionate con bitume ordinario 50/70, con bitume modificato Hard 45/80-70 (PmB) e additivate con il polimero **Mapeplast PAVI 02**.

Il confronto si basa sia sui risultati delle prove di laboratorio di fatica e di ormaiamento sia sull'uso di modelli previsionali tipicamente adottati nella progettazione di pavimentazioni stradali.

Risultati da prove di laboratorio

Il primo approccio per verificare le prestazioni delle diverse tipologie di miscele è stato quello sperimentale basato fondamentalmente su **due tipologie di prova**:

- prove per la determinazione della **resistenza a fatica** (secondo la norma UNI EN 12697-24 annesso E);
- prove per la determinazione della **resistenza alle deformazioni permanenti o all'ormaiamento** (secondo la norma UNI EN 12697-22).

Resistenza a rottura per fatica

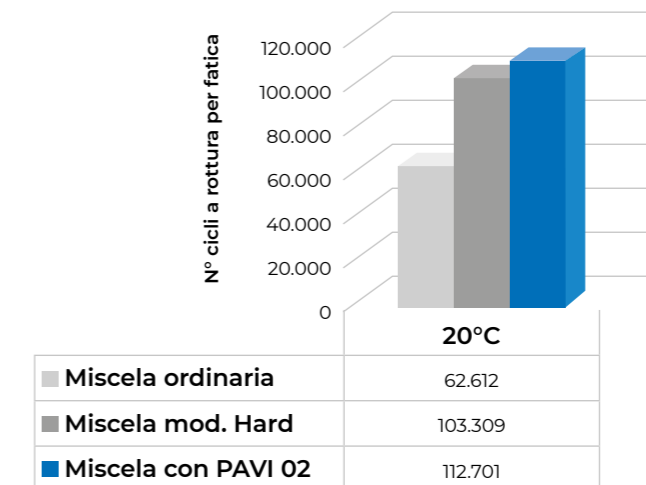
Per analizzare l'efficacia dell'additivazione con **Mapeplast PAVI 02** in termini di incremento della resistenza a rottura per fatica è stato condotto un confronto prestazionale tra le seguenti miscele:

- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume ordinario 50/70**;
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume modificato Hard 45/80-70 (PmB)**;
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con **bitume ordinario 50/70** additivato con **Mapeplast PAVI 02**.

Il confronto si basa sulle risultanze delle prove di laboratorio di fatica eseguite a 20°C applicando una tensione pari a 500 kPa e frequenza di carico pari a 2 Hz in configurazione di trazione indiretta. Le 3 differenti tipologie di miscele oggetto di analisi sono state confezionate come riportato a pagina 14. Nelle tabelle sono illustrati i numeri di **cicli a rottura per ciascuna miscela analizzata** e gli incrementi percentuali riscontrati per le miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** rispetto alle miscele confezionate con bitume tal quale (ordinario) e con bitume modificato Hard (PmB).

MISCELA PER STRATO DI BASE

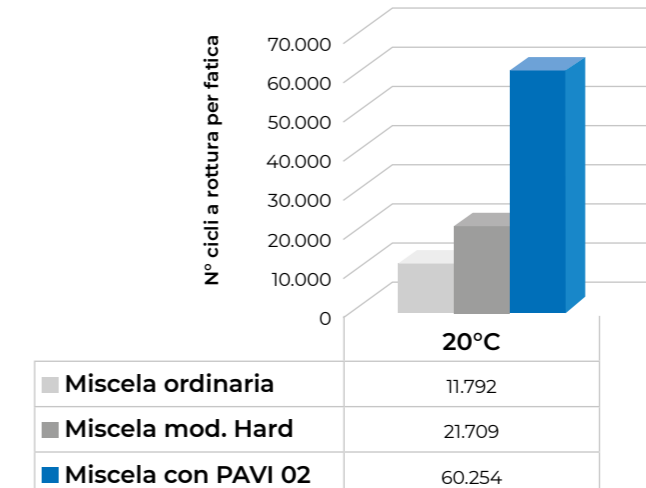
Esiti delle prove di rottura per fatica per le tre miscele testate a 20°C



MISCELA PER STRATO DI BASE	
Incremento % n° cicli a rottura per fatica – miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)	
Miscela ordinaria	+ 80%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 9%

MISCELA PER STRATO DI BINDER

Esiti delle prove di rottura per fatica per le tre miscele testate a 20°C

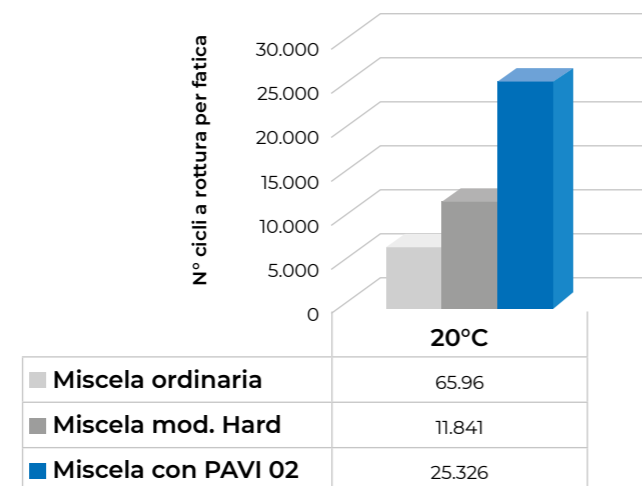


MISCELA PER STRATO DI BINDER	
Incremento % n° cicli a rottura per fatica – miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)	
Miscela ordinaria	+ 411%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 178%

Confronto prestazionale tra miscele

MISCELA PER STRATO DI USURA

Esiti delle prove di rottura per fatica per le tre miscele testate a 20°C



MISCELA PER STRATO DI USURA	
Incremento % n° cicli a rottura per fatica – miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)	
Miscela ordinaria	+ 284%
Miscela modificata Hard (PmB)	+ 114%

I risultati mostrano che le miscele additivate con Mapeplast PAVI 02 al 6% presentano un notevole incremento della resistenza a rottura per fatica rispetto alle miscele confezionate con bitume tal quale (ordinario) e modificato Hard (PmB). Questo incremento di performance, inoltre, si manifesta per tutte e tre le tipologie di miscele oggetto di analisi, Usura, Binder e Base.

Resistenza all'ormaiamento

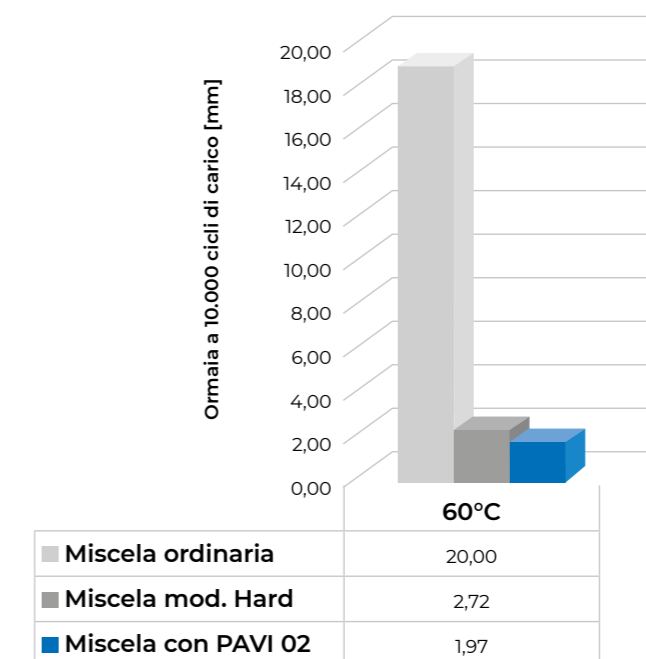
Per valutare l'efficacia dell'additivazione con Mapeplast PAVI 02 in termini di incremento della resistenza all'ormaiamento è stato condotto un confronto prestazionale tra le seguenti miscele per strati di usura:

- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con bitume ordinario 50/70;
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con bitume modificato Hard 45/80-70 (PmB);
- miscele in conglomerato bituminoso confezionate con bitume ordinario 50/70 additivate con Mapeplast PAVI 02.

Il confronto si basa sui risultati delle prove di laboratorio di ormaiamento eseguite a 60°C (condizionamento in aria) sulle 3 differenti tipologie di miscele di usura, confezionate come riportato a pag. 14. Le tabelle riportano la profondità dell'ormaiamento (UNI EN 12697-22) registrata dopo 10.000 cicli di carico (con ruota in gomma) per ciascuna miscela analizzata e la diminuzione percentuale riscontrata con l'additivazione di Mapeplast PAVI 02 rispetto alle miscele confezionate con bitume tal quale (ordinario) e con bitume modificato Hard (PmB).

MISCELA PER STRATO DI USURA

Esiti delle prove di ormaiamento (UNI EN 12697-22) per le tre miscele testate a 60°C



MISCELA PER STRATO DI USURA	
Riduzione % ormaia a 10.000 cicli di carico – miscela con Mapeplast PAVI 02 (6% sul peso del legante di apporto)	
Miscela ordinaria	- 90%
Miscela modificata Hard (PmB)	- 28%

I risultati mostrano che le miscele di Usura additivate con Mapeplast PAVI 02 presentano una notevole riduzione della profondità dell'ormaiamento rispetto alle miscele confezionate con bitume tal quale (ordinario) e modificato Hard (PmB). Questo incremento di performance, inoltre, dimostra che Mapeplast PAVI 02 garantisce una maggiore resistenza ai fenomeni di ormaiamento nello strato di Usura.

Confronto prestazionale tra miscele

Confronto tramite modelli previsionali adottati in fase di progettazione

Sulla base dei risultati delle prove di laboratorio, è possibile confrontare le diverse miscele per valutare le prestazioni con i modelli previsionali tipicamente adottati in fase di progettazione. L'analisi si concentra sui due principali fenomeni di degrado delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso: **rottura per fatica** e **ormaiamento**.

L'analisi prevede la determinazione dello stato tenso-deformativo della pavimentazione stradale di riferimento con un software di analisi basato sul modello del multistrato elastico. Le caratteristiche meccaniche di ciascuno strato vengono ricavate dalle prove di laboratorio condotte sulle tre miscele considerate secondo una precisa stratigrafia di riferimento.

STRATIGRAFIA PAVIMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	
Strato	Spessore [cm]
Usura	4
Binder	8
Base	10
Fondazione in Misto Cementato	20

Lo studio permette di confrontare, a parità di spessori dei singoli strati e del carico applicato, le prestazioni offerte da pavimentazioni stradali realizzate con differenti tipologie di miscele:

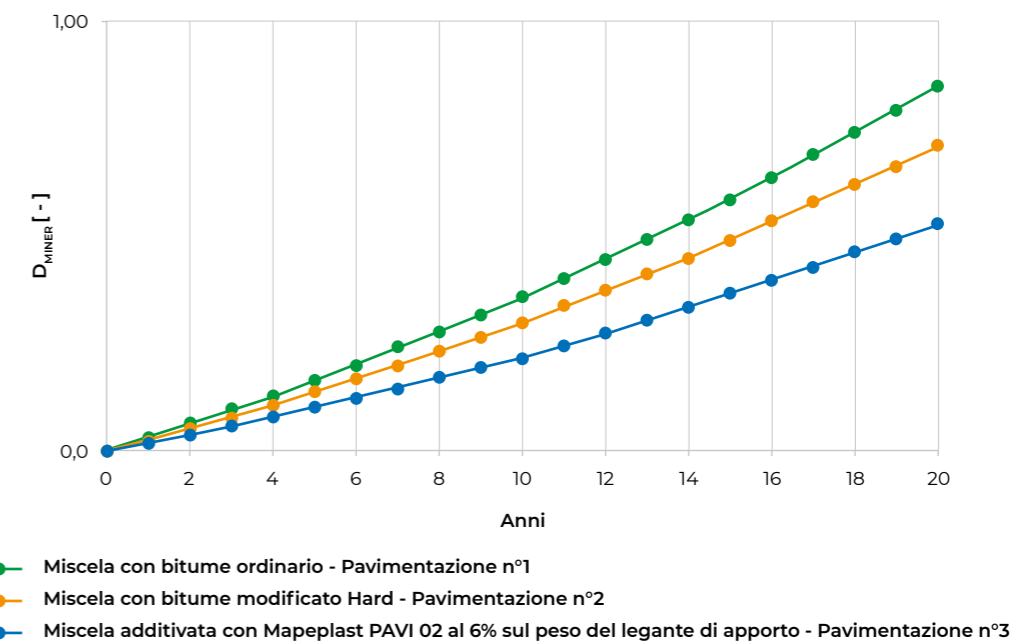
- miscele con bitume ordinario (Pavimentazione n°1);
- miscele con bitume modificato Hard (PmB) (Pavimentazione n°2);
- miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** (Pavimentazione n°3).

Resistenza a rottura per fatica

La **resistenza a rottura per fatica** è stata valutata grazie a elaborazioni con software dedicato che determinano lo stato tenso-deformativo della pavimentazione di riferimento al variare delle miscele. Le grandezze rilevate permettono di stimare, tramite le leggi di fatica riportate nel documento *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (AASHTO, 2008), il numero di passaggi dell'asse standard da 120 kN sopportabili dalla pavimentazione analizzata.

Nella rottura per fatica il parametro di riferimento per il confronto prestazionale è il **numero di Miner**, indicatore del danno cumulato della pavimentazione (D_{MINER}). Il grafico evidenzia l'andamento temporale di tale variabile in funzione del medesimo traffico transigente sulle tre pavimentazioni indagate. L'analisi è stata condotta variando soltanto le caratteristiche meccaniche delle miscele impiegate per ciascuno strato; gli spessori degli strati, il carico applicato e il traffico transigente, invece, sono costanti.

ANDAMENTO DEL PARAMETRO D_{MINER}



Dal confronto del parametro D_{MINER} emerge che la pavimentazione realizzata con miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** risulta avere un **minore danno cumulato** rispetto alle altre due soluzioni, che corrisponde a una **maggiore durata della sovrastruttura stradale**:

- **+ 60%** rispetto alle pavimentazioni costituite da **miscele con bitume ordinario**;
- **+ 35%** rispetto alle pavimentazioni costituite da **miscele con bitume modificato Hard (PmB)**.

Confronto prestazionale tra miscele

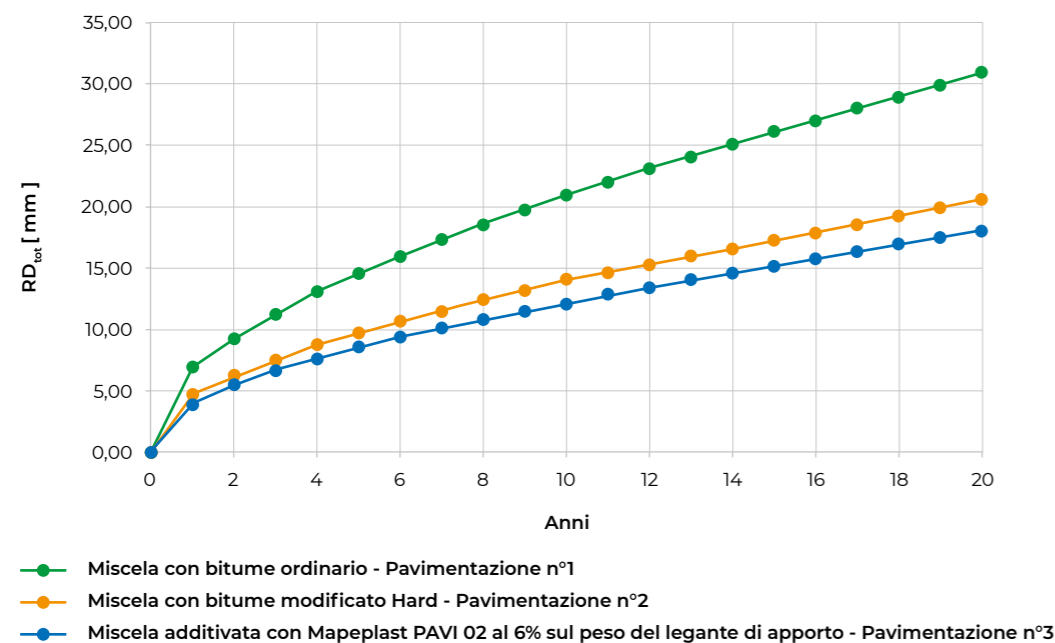
Resistenza all'ormaiamento

La **resistenza all'ormaiamento**, è stata valutata grazie a un software dedicato che ha determinato lo stato tenso-deformativo della pavimentazione di riferimento al variare delle miscele.

Le grandezze rilevate permettono di stimare, tramite le leggi adottate nel dimensionamento delle sovrastrutture stradali riportate nel documento *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (AASHTO, 2008), l'**incremento nel tempo delle deformazioni permanenti** (ormai) negli strati in conglomerato bituminoso. Il parametro di riferimento per il confronto prestazionale è la profondità totale delle ormaie RD_{tot} .

Il grafico riporta l'andamento temporale della variabile con lo stesso traffico transigente sulle tre pavimentazioni indagate.

ANDAMENTO DEL PARAMETRO PRESTAZIONALE RD_{TOT} PER LE TRE MISCELE ANALIZZATE



Dal confronto del parametro RD_{tot} , emerge che la pavimentazione realizzata con miscele additivate con **Mapeplast PAVI 02** risulta avere minori deformazioni permanenti rispetto alle altre due soluzioni.

L'impiego di **Mapeplast PAVI 02** nelle miscele in conglomerato bituminoso permette di ridurre le ormaie di una quantità pari a:

- **42%** rispetto alle pavimentazioni costituite da **miscele con bitume ordinario**;
- **12%** rispetto alle pavimentazioni costituite da **miscele con bitume modificato Hard (PmB)**.

Considerazioni sulle prestazioni

Nelle sperimentazioni è stato effettuato un confronto tra tre diverse miscele di conglomerato bituminoso per valutare l'efficacia dell'additivo **Mapeplast PAVI 02** rispetto al bitume ordinario 50/70 e al bitume modificato Hard (PmB). L'analisi è stata condotta attraverso prove di laboratorio e modelli previsionali utilizzati in fase di progettazione.

Le **prove di laboratorio sulla resistenza a fatica** hanno mostrato che le miscele con **Mapeplast PAVI 02** offrono una resistenza alla rottura significativamente superiore rispetto a quelle con bitume ordinario o modificato Hard. Il miglioramento riguarda tutte e tre le tipologie di miscele testate: Usura, Binder e Base.

I **modelli previsionali** hanno inoltre evidenziato che, a parità di spessori dei singoli strati e a parità di traffico circolante, le pavimentazioni con **Mapeplast PAVI 02** subiscono meno danni nel tempo, garantendo una **maggiore durata** rispetto alle soluzioni tradizionali.

Infine, le **prove di ormaiamento** e le stime eseguite sulla base dei modelli previsionali confermano che le miscele con l'additivo **Mapei** sono in grado di ridurre significativamente questo fenomeno. Ciò rende la **pavimentazione più duratura** e con una **minore necessità di manutenzione** nel tempo.

Sostenibilità ambientale

Tra le strategie per la **riduzione delle emissioni di gas a effetto serra**, l'utilizzo di materiali riciclati rappresenta una leva fondamentale. Questa pratica non solo riduce il consumo di risorse naturali, ma può contribuire in modo significativo alla diminuzione delle emissioni di CO₂. Utilizzare materiali riciclati evita infatti gran parte dei processi industriali associati all'estrazione, alla lavorazione e alla produzione di materiali nuovi che rappresentano una delle principali fonti di emissioni di gas serra.



L'analisi del ciclo di vita di un prodotto equivale alla valutazione dei suoi impatti ambientali durante tutte le sue fasi di vita.

Granulato di asfalto

Le miscele in conglomerato bituminoso analizzate contengono **granulato di asfalto** (RAP- Reclaimed Asphalt Pavement), un materiale derivante dalle operazioni di fresatura di pavimentazioni in conglomerato bituminoso che può essere impiegato come aggregato per il confezionamento delle nuove miscele. Per ottenere pavimentazioni contenenti materiale da recupero con adeguate prestazioni e durabilità, il fresato deve essere trattato, gestito e immesso nel ciclo produttivo delle nuove miscele secondo regola d'arte e in accordo con quanto previsto dalla Normativa vigente. Le **tecnologie di riutilizzo/riciclaggio del granulato** possono essere classificate in funzione del luogo in cui avvengono (in situ col treno di riciclaggio, in impianto fisso, in cantiere con impianti mobili o semoventi) e delle temperature di produzione (caldo, tiepido e freddo). Ciascuna di esse necessita di **integrare le nuove miscele con additivi** (ACF – Attivanti Chimici Funzionali) per restituire al bitume ossidato gran parte delle sue caratteristiche originali e garantire adeguate prestazioni finali.

I **benefici** che si hanno impiegando il fresato sono molti e universalmente riconosciuti, ma il più importante è sicuramente quello ambientale. Infatti, il riutilizzo riduce sensibilmente l'impiego di materie prime vergini (aggregati e bitume) che derivano da lavorazioni a elevato impatto ambientale. Ciò influenza positivamente il Carbon Footprint e la LCA (Life Cycle Assessment) inerenti alla produzione di conglomerati bituminosi.

Dal punto di vista delle prestazioni, le miscele contenenti fresato, se opportunamente rigenerate, presentano performance e caratteristiche fisico-meccaniche (ad esempio modulo di rigidità) eguali se non addirittura superiori rispetto alle miscele confezionate con solo materiale vergine.

Un prodotto virtuoso

L'utilizzo della tecnologia **Mapeplast PAVI** nella realizzazione di miscele bituminose è un esempio virtuoso di economia circolare.

Vantaggi

- Uso responsabile delle risorse.
- Ottimizzazione dei processi di produzione delle miscele in conglomerato bituminoso.
- Efficienza energetica.
- Riduzione delle emissioni.

Conformità ai criteri grazie all'utilizzo di materiale plastico di recupero certificato

- 2.1.2 "contenuto del capitolato speciale di appalto".
- 3.2.4 (criterio premiante) "prestazioni migliorative dei prodotti da costruzione".

I criteri sono riportati all'interno del CAM infrastrutture stradali pubblicato con DM del 5 agosto 2024 (e pubblicato in G.U. Serie Generale n. 197 del 23-8-2024).

Referenze



Monza - Italia

Autodromo Nazionale

► PROGETTO

Riqualifica della pavimentazione della pista di Formula 1 e relative opere idrauliche, di alcuni sottopassi e del viale di accesso da Vedano.

► INTERVENTI

Oggetto principale degli interventi di ristrutturazione è stata la pavimentazione dell'autodromo. Nello specifico, **Mapei** ha fornito gli additivi **Mapeplast PAVI 02** e **Mapei ACF L5 HF** per la riqualifica degli strati di Base e Binder e le fibre **Mapefibre FPC Plus** per l'adeguamento dello strato di Usura.

► COMMITTENTE

S.I.A.S. Società Incremento Automobilistico e Sport - S.P.A.
Ente Federato all' ACI.

► APPALTATORE

Impresa Bacchi Srl

► PERIODO DI INTERVENTO

2024

Tessera Venezia - Italia

Aeroporto internazionale Marco Polo

► PROGETTO

Interventi di riqualifica e adeguamento normativo delle infrastrutture di volo lotto 2.

► INTERVENTI

L'elemento centrale attività di riqualificazione sono state le pavimentazioni delle infrastrutture di volo: piste e raccordi aeroportuali. Per queste opere **Mapei** ha fornito l'additivo **Mapeplast PAVI 02** per il rinnovamento degli strati di Base e di Binder.

► COMMITTENTE

SAVE SpA

► APPALTATORE

ICM SpA

► PERIODO DI INTERVENTO

2018-2020

Referenze



Brescia - Italia Raccordo autostradale A4-A21

► PROGETTO

Riqualifica pavimentazioni del raccordo "Corda Molle" dell'autostrada A21 Brescia.

► INTERVENTI

Lavori di completamento del raccordo autostradale Montichiari-Ospitaletto. Per questo progetto è stato realizzato il pacchetto di strati in conglomerato bituminoso della pavimentazione stradale.

Per quest'opera, **Mapei** ha fornito l'additivo **Mapeplast PAVI 02** per la riqualifica degli strati di Base, Binder e Usura a miscela chiusa.

► COMMITTENTE

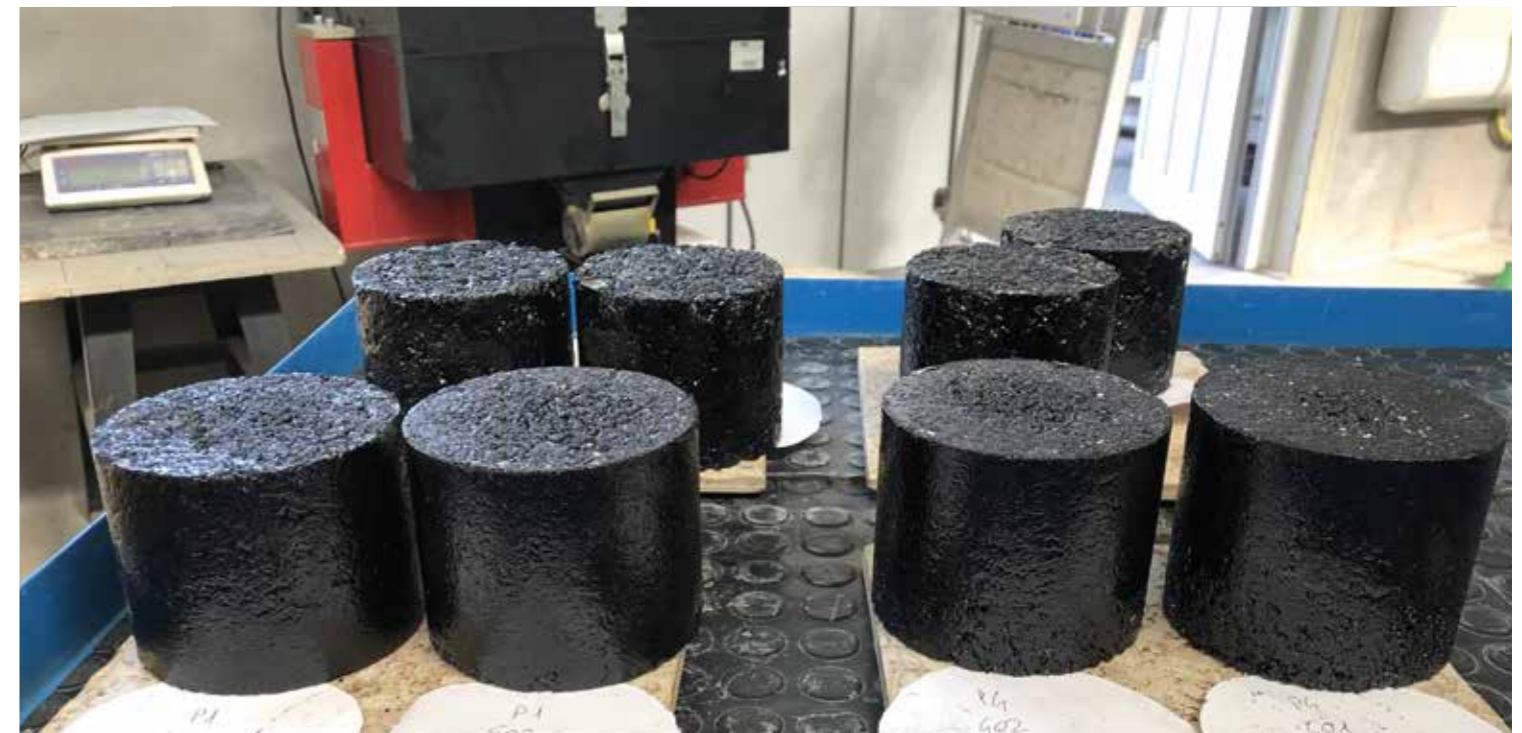
ASTM

► APPALTATORE

Giudici Spa

► PERIODO DI INTERVENTO

2022-
in corso



Trieste-Ronchi dei Legionari - Italia Aeroporto Pietro Savorgnan di Brazzà

► PROGETTO

Riqualifica funzionale e strutturale delle infrastrutture di volo pista 09-27 dell'aeroporto Friuli Venezia Giulia "Ronchi dei Legionari".

► INTERVENTI

Oggetto principale degli interventi di riqualifica sono state le pavimentazioni delle infrastrutture di volo, ossia di piste e raccordi aeroportuali.

Per quest'opera **Mapei** ha fornito l'additivo **Mapeplast PAVI 02** per la riqualifica degli strati di Base, di Binder e di Usura.

► COMMITTENTE

FVG SpA

► APPALTATORE

Impresa Bacchi Srl

► PERIODO DI INTERVENTO

2019-2020

Perché scegliere Mapeplast PAVI

La tecnologia **Mapeplast PAVI** è costituita da una speciale miscela di **polimeri plastomerici**, progettata per migliorare le proprietà meccaniche dei conglomerati bituminosi a cui viene addizionato. Nello specifico si è visto che il polimero **Mapeplast PAVI 02**, grazie alle sue caratteristiche, è un additivo ideale per applicazioni stradali e aeroportuali. Il suo impiego consente di ottenere miscele con prestazioni superiori poiché offre un'elevata resistenza alle deformazioni permanenti e alla fatica, oltre a migliorare l'adesione tra gli inerti.

Mapeplast PAVI 02 si aggiunge direttamente durante la produzione delle miscele bituminose in impianto, dopo l'immissione degli aggregati nel mescolatore, ottimizzando il processo produttivo.

Rispetto a quelle confezionate con bitume tal quale e modificato Hard (PmB), le miscele di Usura, Binder e Base in conglomerato bituminoso modificato confezionate con **Mapeplast PAVI 02** sono caratterizzate da:

- **apprezzabile incremento del modulo di rigidezza alle diverse temperature di prova** (5°C, 20°C e 40°C);
- **sensibile aumento della resistenza a trazione indiretta;**
- **notevole incremento della resistenza a rottura per fatica;**
- **notevole riduzione della profondità dell'ormai** a 10.000 cicli di carico.

Il confronto prestazionale con l'impiego dei modelli previsionali adottati in fase di progettazione ha dimostrato l'efficacia e i vantaggi di **Mapeplast PAVI 02**, rispetto alle prestazioni offerte dalle altre miscele testate, nel combattere i principali fenomeni di degrado delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso: la fessurazione per fatica e l'ormaiamento.

In conclusione, l'utilizzo della tecnologia **Mapeplast PAVI** e in particolar modo del prodotto **Mapeplast PAVI 02** consente, a parità di spessore della pavimentazione, di **incrementarne sensibilmente la resistenza a fatica** e, allo stesso tempo, di **ridurre considerevolmente il fenomeno dell'ormaiamento**. Questi benefici si traducono in una **maggiore durabilità della pavimentazione** e in una **minore necessità di interventi di manutenzione** nel corso della sua vita utile.

È TUTTO OK CON MAPEI

SEDE
MAPEI SpA
Via Cafiero, 22
20158 Milano
Tel. +39-02-37673.1
mapei.com
mapei@mapei.it

