

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Il materiale

FORTA FI è una miscela di fibre sintetiche strutturali appositamente studiata per realizzare un reticolo tridimensionale nei conglomerati bituminosi (CB), agendo cioè da armatura interna al fine di aumentare la durabilità in esercizio dei tappetini di usura per superfici carrabili e pedonabili, binder e lo strato di base. L'azione di **FORTA FI** nel CB indurito si esplica aumentandone considerevolmente la resistenza a trazione, migliorando quindi stabilità, scorrimento e rigidità (Prove Marshall), evitando la formazione di ormaie, le fessure a ragnatela, e i solchi da riflessione rispetto al CB realizzato con bitume normale o bitume modificato multifunzionale hard.

FORTA FI resistendo alle alte temperature del getto, migliora il legame del bitume con gli inerti, riducendo drasticamente il fenomeno della disgregazione del manto superficiale.

FORTA FI distribuita tridimensionalmente nell'asfalto risulta molto più efficace sotto il profilo strutturale rispetto alle reti che agiscono solo nel piano di posa delle stese, oltre ad incidere maggiormente in termini di costo del materiale e posa in opera dello stesso.

Le proprietà

Fibre	Poliammidica Aromatica	Poliiolefiniche
Densità	1,44 kg/m ³	0,910 kg/ m ³
Densità Lineare	3.250 dTex	-
Resistenza a trazione	2758 MPa	-
Modulo di Young	81 GPa	-
Temperatura di esercizio	-40°C : +427 °C	-
Lunghezza	19 mm	19 mm
Forma	Monofilamento	Fibrillate
Resistenza agli alcali/basi	Totale	Totale



L'aggiunta di **FORTA FI** al CB influenza le caratteristiche chimico-fisiche-meccaniche in fase plastica e dopo indurimento.

La principale proprietà è quella di costituire un'armatura tridimensionale nell'asfalto: pertanto il conglomerato bituminoso con **FORTA FI** aumenta l'energia meccanica residua rispetto a quello senza fibre. Una evidenza sperimentale e pratica di questa proprietà è quella di contrastare efficacemente il distacco di porzioni di asfalto, responsabile della formazione delle buche.

Un'altra importante proprietà riguarda la viscosità del bitume alle basse temperature che non è influenzata dalla presenza delle fibre; mentre possiamo considerarla trascurabile ad alte temperature dove la viscosità aumenta all'aumentare della temperatura stessa.

In altre parole, la variazione di viscosità del bitume è così elevata alle alte temperature che l'incremento dovuto alla presenza delle fibre risulta trascurabile.

Il rinforzo tridimensionale delle fibre **FORTA FI** incrementa la resistenza alla propagazione delle fessure, che dipende da diversi fattori quali i carichi del traffico veicolare, le escursioni termiche, l'invecchiamento del bitume con conseguente perdita di elasticità del manto di usura.

Rispetto poi alle reti di carbonio o di vetro che agiscono esclusivamente in un piano, le fibre **FORTA FI** di lunghezza 19mm si distribuiscono tridimensionalmente nell'asfalto indurito in modo che ogni parte di conglomerato bituminoso presenta una resistenza a trazione superiore al CB con una rete.

Le fibre, infatti, a differenza delle reti o dei bitumi modificati, per la loro natura morfologica, rimangono ancorate agli inerti e al bitume indurito, costituendo un'armatura fisica permanente in tutte le parti dell'asfalto.

Infine, un ulteriore criterio per l'idoneità della fibra **FORTA FI** in un sistema di rinforzo per pavimentazioni bituminose è la caratteristica di poter essere fresabile e riciclabile.

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

I campi di applicazione

FORTA FI è stata progettata per applicazioni strutturali nello strato di base, nel binder e nello strato di usura. Per le prestazioni sopra descritte è adatta in particolare per:

- pavimentazioni stradali ed autostradali (drenanti e non);
- piste aeroportuali;
- parcheggi commerciali ed industriali;
- marciapiedi;
- piste ciclabili;
- conglomerato bituminoso a freddo indicato per la manutenzione e riparazione di superfici stradali con traffico veicolare continuo (chiusure di buche, rappezzi, chiusura di scavi);
- conglomerati bituminosi con alto contenuto di fresato.

Prestazioni del conglomerato bituminoso con FORTA FI®

Premessa

Per evidenziare la principale caratteristica delle fibre **FORTA FI**, cioè quella di conferire al CB un 'armatura interna con funzioni strutturali, abbiamo eseguito una serie di test chimico-fisico-meccanico confrontando un CB confezionato con bitume standard, un CB con bitume modificato hard e un CB con bitume standard con aggiunta delle fibre **FORTA FI**.

Mix Design

- Conglomerato bituminoso realizzato con bitume standard tipo 50/70 (CB.Std).
- Conglomerato bituminoso realizzato con bitume modificato hard (CB.H).
- Conglomerato bituminoso realizzato con bitume standard tipo 50/70 con aggiunta di **FORTA FI** (CB-FORTA FI).

L'obiettivo delle prove è stato quello di mostrare il netto miglioramento prestazionale del conglomerato bituminoso, in fase plastica e dopo indurimento per strato di usura, addizionato con **FORTA FI**.

Miscele	CB 50/70	CB Hard	CB 50/70 con FORTA FI
Componenti	Quantità per 1000 kg CB (kg)	Quantità per 1000 kg CB (kg)	Quantità per 1000 kg CB (kg)
Bitume 50/70	56,6		56,6
Bitume Hard		56,6	
Filler	44,9	44,9	44,9
Aggregato fine	763,7	763,7	763,7
Aggregato Medio	134,8	134,8	134,8
FORTA FI			0,5

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Determinazione del contenuto dei vuoti secondo UNI EN 12697-31

Il contenuto dei vuoti di un CB è la percentuale volumetrica dei vuoti inter-granulari, non riempiti dal legante bituminoso che rimangono all'interno della miscela anche dopo rullatura in sito o compattazione in laboratorio. Le proprietà meccaniche del CB dipendono da questo valore: più è basso, migliore sono le prestazioni. Tale valore è prescritto dai capitolati in funzione dell'applicazione.

I test riportati in tabella, mostrano che il CB con aggiunta delle **FORTA FI** presenta una riduzione dei vuoti paragonabile a quella ottenuta con CB confezionato con bitume modificato hard.

Riduzione dei vuoti rispetto al conglomerato confezionato con bitume standard tipo 50/70		
	Riduzione vuoti %	
	CB HARD	CB CON FORTA FI
Numero giri compattazione 10	24,1	17,2
Numero giri compattazione 100	38,5	30,7
Numero giri compattazione 210	48,4	42,3

Stabilità, scorrimento e rigidità– Prove Marshall secondo UNI EN 12697- 30, 34,12

Controllare la "stabilità" della pavimentazione significa valutare la sua deformabilità misurando due grandezze fisiche, il carico di rottura e la conseguente deformazione. Dal rapporto di queste due grandezze fisiche si ricava la rigidità che, unitamente al valore della stabilità, determina la durabilità del CB: aumenta all'aumentare di stabilità e rigidità.

In tabella sono riportati i risultati confrontando tre CB, realizzati rispettivamente con bitume 50/70, bitume modificato hard e bitume standard 50/70 con aggiunta di **FORTA FI**.

Dal confronto di valori della stabilità e della rigidità, il CB con **FORTA FI** risulta più performante del CB con bitume modificato hard e del CB con bitume standard 50/70.

Prove Marshall		
Tempo iniziale T ₀	Stabilità corretta (kg)	Rigidità(kg/mm)
CB Bitume 50/70	1565	684
CB Bitume Mod. Hard	1808	719
CB Bitme 50/70 con FORTA FI	1900	719
Tempo T ₁₅		
CB Bitume 50/70	1290	471
CB Bitume mod.Hard	1560	516
CB Bitme 50/70 con FORTA FI	1648	533

T₀ = Prova Marshall al tempo iniziale T₀, dopo condizionamento in bagno termostatico a 60°C per 40 minuti

T₁₅ = Prova Marshall dopo condizionamento in acqua a 25C (T₁₅) per 15 giorni e successivo condizionamento in bagno termostatico a 60°C per 40 minuti

Nella tabella sottostante sono riportati valori di incremento della "stabilità corretta e "rigidità" con CB con bitume modificato Hard e CB standard 50/70 addizionato con **FORTA FI**.

Dall'analisi si evince che aggiungendo al CB con bitume 50/70 le **FORTA FI** si ottengono incrementi di stabilità e rigidità paragonabili al CB con bitume modificato Hard.

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Incremento di stabilità corretta e rigidezza		
Tempo iniziale T ₀	Incremento Stabilità corretta (%)	Incremento Rigidezza (%)
CB Bitume modello Hard	15,6	5,2
CB Bitume 50/70 con FORTA FI	21,4	5,1
Confronto al Tempo T ₁₅		
CB Bitume modello Hard	21	9,7
CB Bitume 50/70 con FORTA FI	27,8	13,4



Resistenza a trazione indiretta (T₀ e T₁₅) (UNI EN 12697-23)

La resistenza a trazione indiretta indica la massima tensione di trazione applicata al conglomerato bituminoso caricato diametralmente fino a rottura. La misura di questa proprietà meccanica è legata al danno da fatica che subiscono le pavimentazioni bituminose sotto l'azione dei carichi dovuti al traffico veicolare.

Le prove sono state eseguite sulle tre tipologie di CB (CB con bitume 50/70, CB con Bitume modello Hard, e CB con bitume 50/70 e fibre **FORTA FI**) determinando la resistenza a trazione indiretta e il coefficiente di trazione indiretta al tempo iniziale T₀ e dopo 15 giorni di condizionamento in acqua a +25°C (T₁₅). Anche da queste misure, riportate nelle tabelle che seguono, si evince che l'impiego delle **FORTA FI** nel CB con bitume stand, determina prestazioni paragonabili al CB con bitume modello Hard.

Trazione indiretta		
Tempo iniziale T ₀	Res. Media alla trazione indiretta (N/mm ²)	Coefficiente medio di trazione indiretta (N/mm ²)
CB Bitume std. 50/70	1,57	102,1
CB Bitume mod. Hard	1,72	121,5
CB Bitume 50/70 con FORTA FI	1,95	132,9
Condizionamento 15 gg		
CB Bitume std. 50/70	1,77	109,4
CB Bitume mod. Hard	1,86	124,4
CB Bitume 50/70 con FORTA FI	2,13	137,2

Prova di ormaiamento (wheel tracking) UNI EN 12697-22

A causa delle sollecitazioni ripetute e per effetto del comportamento viscoso non reversibile dei materiali costituenti le pavimentazioni bituminose (in particolare quelle di tipo flessibile o semi-rigido) si verificano negli strati delle sovrastrutture delle deformazioni permanenti.

Le deformazioni permanenti sono la causa dell'aumento dell'irregolarità del piano variabile, sia in senso trasversale al moto dei veicoli "ormiae", che in senso longitudinale.

Le ormaie sono pericolose perché causano l'aumento dello spessore del velo idrico durante gli eventi meteorici; mentre l'irregolarità longitudinale induce accelerazione nei veicoli, peggiorando in maniera significativa il confort di marcia. Per determinare se un CB è sensibile alla formazione di ormaie si eseguono delle prove secondo il Metodo della traccia delle ruote (Wheel Tracking), descritto nelle UNI EN 12697-22; UNI EN 12697-6.

In estrema sintesi lo scopo della prova è la determinazione della tendenza dei conglomerati bituminosi a deformarsi sotto carico.

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Le figure mostrano gli effetti positivi delle **FORTA FI**, in un **CB** confezionato con bitume std., nel ridurre la tendenza alla deformazione, misurando la profondità e la pendenza delle ormaie, rispetto ad un CB con bitume std. e un CB con bitume modificato Hard.



Nella tabella che segue vengono evidenziate in termini percentuali le superiori proprietà del CB con bitume tal quale + **FORTA FI** rispetto al CB confezionato con bitume Mod.Hard. In particolare:

- riduzione della pendenza media della curva di ormaio tra 5000 e 10000 cicli (WTSair);
- riduzione della profondità proporzionale media del solco formato a 10000 cicli (PRDAir);
- riduzione della profondità media del solco formato a 10000 cicli (RDAir).

Ormaio - Wheel tracking			
Conglomerato Bituminoso	WTSair (%)	PRDAir (medio) (%)	RDAir (medio) (mm)
CB bitume Mod.Hard	54,9	39,2	39,7
CB Std 50/70 + FORTA FI	62,7	48,5	49,3

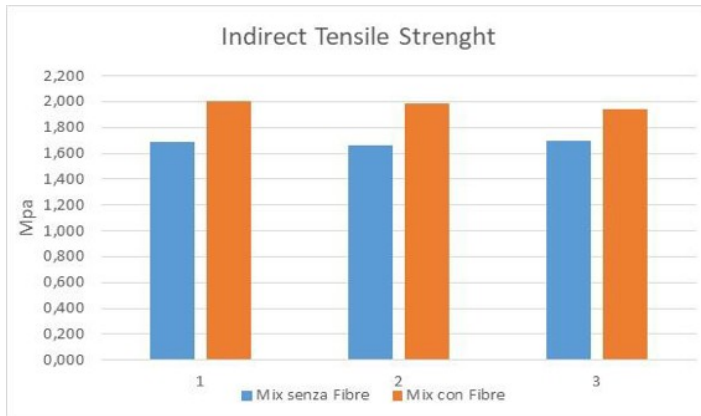
Legenda:
 WTSair: Riduzione della pendenza media della curva di ormaio, tra 5000 e 10000 cicli.
 PRDAir: Riduzione della profondità proporzionale media del solco formato, a 10000 cicli.
 RDAir: Riduzione della profondità media del solco formato a 10000 cicli.

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

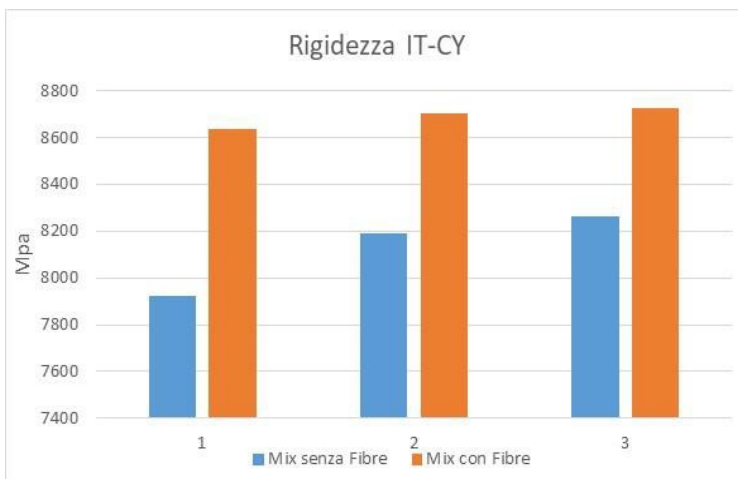
Capacità di resistenza meccanica alla trazione indiretta



I risultati mostrano un incremento di circa il 17% (da 1,681Mpa a 1,965 Mpa), con un corrispondente aumento della rigidità, avendo avuto un coefficiente di trazione indiretta che passa da 149,77Mpa a 185,47 Mpa.

(Test indipendente eseguito dal GEOLAB srl—Laboratorio prove e Ingegneria dei materiali-Brescia)

Modulo di rigidità IT-CY-UNI EN 12697-26 ANNEX C



Il CB con fibre ha avuto un incremento del modulo di rigidità del 7% (da un valore medio di 8124,7Mpa a uno di 8687,7Mpa) che rappresenta in generale, un ottimo valore con riferimento ai principali capitolati prestazionali attualmente utilizzati per le strade italiane.

(Test indipendente eseguito dal GEOLAB srl—Laboratorio prove e Ingegneria dei materiali-Brescia)

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Valutazione della resistenza a fatica

(prove flessionali in regime di carico sinusoidale – 4 PB)

Le prove sono state condotte in conformità alla norma quadro per la marcatura CE dei conglomerati bituminosi a caldo, UNIEN 13108-1.

Le prove a fatica sono state effettuate alla temperatura di 20 C° e alla frequenza di 10 Hz. I risultati ottenuti sono rappresentati nella seguente tabella.

MISCELA	$\epsilon_{6\text{-min}}$ (μ strain)
CB con bitume Standard	130
CB con Bitume Standard + Forta FI	160

Dal calcolo della grandezza $\epsilon_{6\text{-min}}$ (che individua il valore minimo di deformazione iniziale alla quale si ottiene una resistenza in termini di cicli di carico pari a 1 milione), è stato possibile valutare una diminuzione della deformazione iniziale a fatica della miscela contenente fibre pari al 23%, rispetto alla miscela realizzata con bitume standard STD.

RESISTENZA ALLA FATICA IT-CY- UNI EN 12697-24ANNEX E

Prova di trazione indiretta su provini di forma cilindrica ITCY

Carico di tipo impulsivo con tempo di carico = 0.1s e tempo di riposo 0.4s = 0.5s x ciclo di carico.

Intervallo iniziale di deformazione a trazione: 70 μ m/m÷400 μ m/m.

Vita a fatica risultante: 103÷106cicli di carico Identificazione della miscela:

MIX 1 Cgl. Bit.so “tappeto T100M”;

MIX 2 Cgl. Bit.so “tappeto T100M + fibre”.



<i>Livello 1 di sollecitazione</i>		MIX 1	MIX 2
PREPARAZIONE DEL PROVINO	Cod.	Avg Mix 1	Avg Mix 2
In laboratorio con pressa giratoria	n.ro cicli	120	120
T-°C di conservazione dei provini	°C	15	15
Tempo di Conservazione	gg	15	15
IDENTIFICAZIONE DEL PROVINO	Cod.	Provino 1	Provino 1
Forma	descr.	cilindrico	cilindrico
Dimensioni	diam. (mm)	* 100	* 100
	H (mm)	65,8	* 64,3
Massa Volumica	Mg/m3	* 2,537	2,565
Contenuto dei vuoti d'aria	%	* 5,0	3,9
Età del provino al momento della prova	gg	> 15	> 15
PROCEDURA DI PROVA	Cod.	Provino 1	Provino 1
Condizionamento	h	≥ 4	≥ 4
Temperatura di prova	°C	9,7	9,8
Livello di sollecitazione	N	12402,7	12120,9
Sollecitazione massima al centro del provino	[E.1]→ σ_0	1200	1.200,1
Deformazione di trazione iniziale massima	[E.2]→ ϵ_0	167,0	* 146,3
Deformazione elastica al centro del provino	[E.4]→ $\epsilon_{R,n}$	248,9	* 198,7
Modulo di rigidezza	[E.6]→ $S_{mix,n}$	9882,2	* 12382,2
NUMERO CICLI DI CARICO	#	7365	18161
Deformazione orizzontale totale	mm	0,064	0,054

I risultati comparativi evidenziano che a parità di tutte le altre caratteristiche/variabili, la miscela con l'aggiunta di Fibre pari allo 0,05% sul peso del conglomerato bituminoso, ha avuto un incremento di 2,5 volte del numero di cicli di carico a rottura ovvero da # 7365 a #18161 (= maggiore durata).
(Test indipendente eseguito dal GEOLAB s.r.l. - Laboratorio prove e Ingegneria dei materiali - Brescia).

FORTA-FI®

Fibre strutturali per conglomerati bituminosi

Fibre strutturali

Sintesi delle prestazioni tra CB-FORTA FI e CB-Hard

In tabella si riporta una sintesi delle prestazioni del CB con bitume std. 50/70 additivato con **FORTA FI**, in confronto con un CB confezionato con bitume Hard. Dall'analisi complessiva dei dati possiamo concludere che il CB con **FORTA FI** non solo può sostituire il CB con bitume std. ma ne supera le prestazioni, implementando la durabilità nelle diverse condizioni di esercizio.

Variazione dei parametri tra CB con bitume standard + Forta Fi e CB con bitume hard		
	Conglomerato confezionato con bitume modificato hard (%)	Conglomerato confezionato con bitume standard tipo 50/70 e FORTA FI (%)
Riduzione dei vuoti dopo 10 giri di costipamento	24,1	17,2
Riduzione dei vuoti dopo 100 giri di costipamento	38,5	30,7
Riduzione dei vuoti dopo 210 giri di costipamento	48,4	42,3
Incremento della stabilità corretta al tempo T ₀	15,6	21,4
Incremento di rigidità al tempo T ₀	5,2	5,1
Incremento della stabilità corretta al tempo T ₁₅	21,0	27,8
Incremento della rigidità al tempo T ₁₅	9,7	13,4
Incremento della resistenza media alla trazione indiretta a 25°C, R _{t,m} al tempo T ₀	9,7	24,6
Incremento del coefficiente medio di trazione indiretta a 25°C, C _{TI,m} al tempo T ₀	19,0	30,2
Incremento della resistenza media alla trazione indiretta a 25°C, R _{t,m} al tempo I ₁₅	5,1	20,3
Incremento del coefficiente medio di trazione indiretta a 25°C, C _{TI,m} al tempo I ₁₅	13,8	25,5
WT _{Sair} : Riduzione della pendenza media della curva di ormaiamento, tra 5000 e 10000 cicli	54,9	62,7
PRD _{air} : Riduzione della profondità proporzionale media del solco formato, a 10000 cicli	39,2	48,5
RD _{air} : Riduzione della profondità media del solco formato a 10000 cicli	39,7	49,3

Conformità

FORTA FI è conforme alla **ASTM D8395-23 Standard Specification for Aramid Fiber for Asphalt Mixtures**.

FORTA FI è conforme ai criteri del **CAM STRADE** ed è in possesso di **Dichiarazione ambientale di Prodotto (DAP o, in inglese, Environmental Product Declarations o EDP)**, conforme alla norma ISO 14025 **EPD verificata da ASTM International. Numero della dichiarazione: EPD 792.**

Confezioni, stoccaggio e resa

FORTA FI viene commercializzata in sacchetti di plastica da 0.5 kg.

Dosaggio 0,5 kg/ton di conglomerato bituminoso.

Raccomandazioni per l'uso

FORTA FI va aggiunta all'impianto di miscelazione con gli aggregati caldi. Mescolare per 20/25 secondi. Successivamente aggiungere il bitume.

Le informazioni e le prescrizioni sopra riportate, da noi fornite verbalmente o per iscritto come assistenza al cliente, si basano sulle nostre esperienze e corrispondono allo stato attuale delle conoscenze scientifiche e pratiche in nostro possesso. Queste informazioni sono da ritenersi non impegnative e non dimostrano alcuna relazione legale contrattuale né obbligo accessorio col contratto di compravendita e dovranno essere confermate da esaurienti applicazioni da parte del cliente. Si consiglia pertanto a chi intenda farne uso di stabilire, attraverso prove di cantiere o laboratorio, se esso sia o meno adatto all'impiego previsto e, comunque, il cliente si assume ogni responsabilità che possa derivare dal suo uso.

