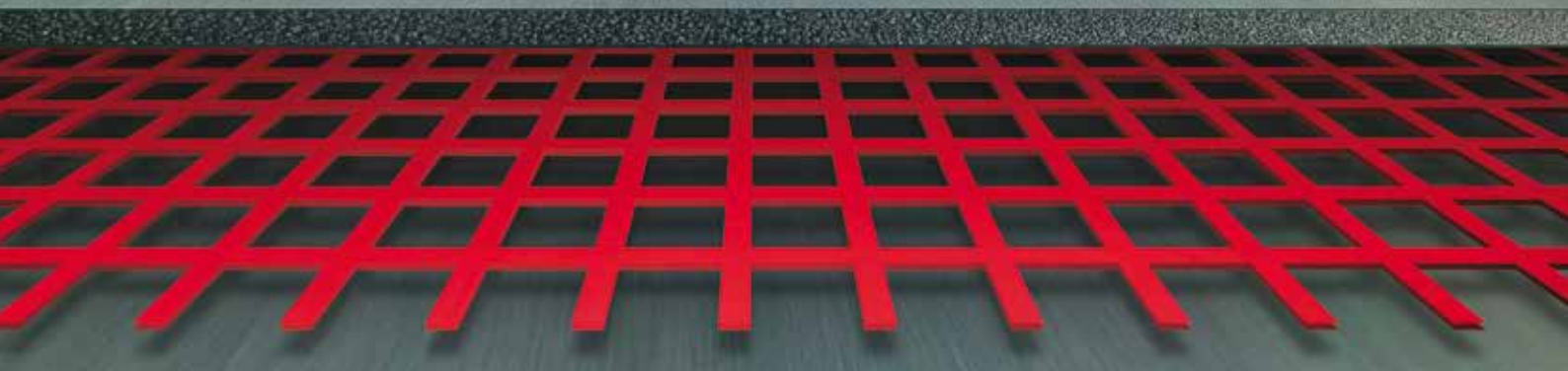


RETI D'ARMATURA IN FIBRA DI CARBONIO PER PAVIMENTAZIONI BITUMINOSE

UNA SOLUZIONE PER AUMENTARE LA PORTANZA, EFFICACE CONTRO FESSURE DI RIFLESSIONE E ORMAIE DA TECNOKRAFT SRLS, DISTRIBUTORE UNICO PER L'ITALIA DI TUTTI PRODOTTI S&P E AZIENDA LEADER MONDIALE NELL'AMBITO DEI SISTEMI DI RINFORZO NEI SETTORI EDILE E STRADALE



L'utilizzo delle reti di rinforzo (armatura) nell'ambito d'interventi di manutenzione, di ripristino e di costruzione di sovrastrutture flessibili sta assumendo una rilevanza crescente a seguito del costante aumento dei volumi e dei carichi di traffico, per i quali le tecniche di manutenzione e progettazione convenzionali sono spesso inadeguate.

Le reti di rinforzo prolungano la vita utile della pavimentazione ritardando sensibilmente i principali processi di degrado, quali ad esempio l'accumulo di deformazioni plastiche e la riflessione di fessure e crepe con conseguente infiltrazione d'acqua all'interno della sovrastruttura stradale.

Grazie all'impiego delle reti di rinforzo, i costi di intervento vengono ottimizzati: è possibile non violare le quote esistenti del piano viabile e, nel caso delle reti di rinforzo metalliche e in fibra di carbonio, si può migliorare il valore strutturale di una pavimentazione (grazie all'elevato modulo elastico).

A seguito dei problemi di posa in opera e a seguito della difficoltà di garantire la necessaria connessione tra gli strati - indispensabile per distribuire le forze - le reti di rinforzo faticano ad affermarsi sul mercato.

Le reti di armatura sono poste in opera su superfici fessurate per essere ricoperte con un nuovo strato di conglomerato bituminoso.

Per garantire la connessione tra il nuovo e il vecchio strato nel corso delle operazioni di posa in opera, qualsiasi movimento della rete d'armatura deve essere evitato.



1. Un esempio della posa della rete S&P

Al momento della posa in opera del conglomerato bituminoso in seguito all'irregolarità superficiale del piano di posa, la rete d'armatura spesso forma delle onde e questo può avere come conseguenza la formazione di zone nelle quali gli strati sono scollegati. Soprattutto quando ci sono pendenze importanti, in

presenza di raggi di curva molto stretti o nel caso di macchine finitrici cingolate, va tenuto conto di un possibile movimento della rete al momento della sua ricopertura con uno strato di conglomerato bituminoso.

Il sistema di posa in opera delle reti di rinforzo S&P, invece, permette di mantenere la rete aderente alla superficie di posa, quindi nella corretta posizione di progetto, nel corso delle operazioni di stesa del conglomerato bituminoso e la sua struttura reticolare a nodi liberi garantisce una connessione ottimale degli strati (Figura 1). Correva l'anno 2001 quando per la prima volta si utilizzarono fibre di carbonio al posto delle fibre di vetro prebitumate per il rinforzo delle pavimentazioni stradali.

In seguito vengono illustrate le differenze tra i prodotti in fibra di carbonio e i materiali di armature convenzionali.

LE ARMATURE PER CONGLOMERATI BITUMINOSI

Fondamentalmente vengono distinti i seguenti tipi di rinforzi per pavimentazioni stradali:

- reti di armatura per aumentare la vita utile e incrementare la capacità portante;
- geogriglie per aumentare la vita utile della pavimentazione;
- geomembrane per contrastare le fessure di riflessione (interstrato);
- geocompositi per contrastare le fessure di riflessione ottenuti dal rinforzo delle geomembrane con geogriglie (interstrato rinforzato).

Le fibre con un modulo elastico elevato assorbono forze con allungamenti contenuti e sono quindi adatte all'impiego come armatura (acciaio, carbonio, vetro). Invece, prima di poter essere attivate dalla forza le fibre con moduli bassi, si allungano (poliestere, polipropilene).

Un ulteriore criterio per l'idoneità di una fibra in un sistema di rinforzo per pavimentazioni bituminose è la caratteristica di non assorbire le forze a taglio e quindi di poter essere fresabile e riciclabile (carbonio, vetro, polipropilene).

Le fibre di carbonio, quindi, sono idonee all'utilizzo come griglia di rinforzo. I geotessili vengono confezionati con fibre di vetro o di polipropilene; la fibra di vetro può essere utilizzata sia come geogriglia, che come geocomposito.

I sistemi di armatura sono impiegati per contrastare la propagazione di fessure di riflessione e ormaie nei nuovi strati di usura. La scelta del tipo di fibra deve essere accurata.

I SISTEMI DI RINFORZO OTTIMIZZATI

Nel sistema di rinforzo in fibra di carbonio ottimizzato S&P vengono impiegati differenti tipi di fibra:

- in direzione longitudinale, secondo esigenza, fibra di vetro o fibra di carbonio;
- in direzione trasversale (trasversalmente alla fessura o all'ormaia), fibra di carbonio.

I prodotti vengono commercializzati come reti di armatura prebitumate con bitume modificato con polimeri Glasphalt G (fibra di vetro) e Carbophalt G (fibra di carbonio). La sistemazione delle reti sul piano di posa avviene tramite l'eliminazione, mediante fiamma, della pellicola di protezione, a cui segue una breve rullatura. Eseguite queste operazioni, è consentito il passaggio del traffico sopra le reti.

L'esperienza ha dimostrato che il traffico veicolare non distacca le reti dalla superficie di posa.

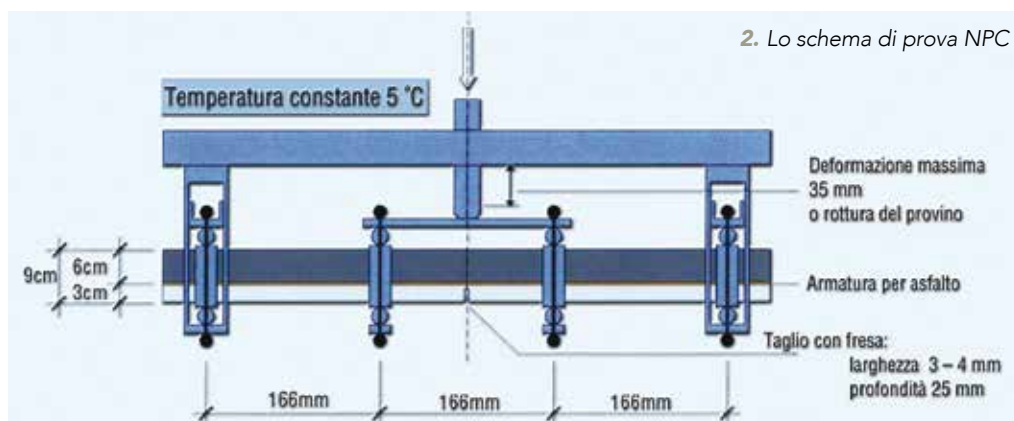
Un esempio: dopo aver seguito previsioni meteo risultate non attendibili, dopo la posa delle reti su di una strada di montagna in Svizzera (Passo del San Bernardino) si è verificato un periodo di pioggia della durata di due settimane. In questo periodo alcune migliaia di veicoli e motociclette sono passate sopra la rete posta in opera. La sabbia presente sulla rete bitumata ha garantito la ruvidezza necessaria della superficie già pronta per la posa del conglomerato bituminoso. Non si sono verificati episodi che evidenziassero carenze della superficie stradale armata. Dopo due settimane è stato possibile procedere alla posa del conglomerato bituminoso.

I CONGLOMERATI BITUMINOSI ARMATI SOTTO CARICHI DINAMICI CONTINUI

Da NPC (Netherlands Pavement Consultants), uno studio d'ingegneria e Laboratorio, che si occupa esclusivamente di pavimentazioni bituminose, è stato sviluppato un metodo di prova (Figura 2), per testare la resistenza delle pavimentazioni bituminose ai carichi dinamici continui.

È stato testato il funzionamento di alcune armature per asfalto. Nel rapporto di prova (NPC n° 018463), per la prima volta viene dimostrata la straordinaria efficacia della rete in carbonio prebitumata, Carbophalt.

Su di uno strato (esistente) di 3 cm viene posata l'armatura secondo le indicazioni del produttore. Il supporto viene ricoperto con 6 cm di conglomerato bituminoso e costipato e viene eseguita una prova a fatica in configurazione flessionale su quattro punti (con frequenza di carico dinamica definita). La temperatura dell'aria nell'area di prova è tenuta costantemente a 5 °C. Il carico dinamico viene eseguito fino a rottura, o meglio fino a una deformazione irreversibile di 35 mm del provino. Il numero di movimenti viene tenuto come criterio di confronto (vita utile del provino).



I RISULTATI

Queste prove dimostrano che l'impiego di un rinforzo ritarda il fenomeno della propagazione delle fessure. La risalita della fessura nel nuovo strato non porta a deformazioni permanenti e alla conseguente rottura del provino. Il risultato sono indicazioni precise sulla vita utile della pavimentazione. Queste indicazioni sono tuttavia da considerarsi teoriche, poiché non tengono conto dell'abrasione, dell'usura né di altri fenomeni che possono sopraggiungere, come ad esempio cedimenti del sottofondo o altro. Nei provini di asfalto rinforzati con Carbophalt G, sono state riscontrate eccellenti caratteristiche di resistenza alla propagazione delle fessure sotto carico dinamico costante. L'aspettativa di vita di una pavimentazione rinforzata con fibra di carbonio sottoposta ad un carico dinamico in teoria è di 35 volte superiore a quella della stessa pavimentazione non armata. Inoltre, l'utilizzo di questo nuovo tipo di rinforzo riduce notevolmente la formazione di ormaie.

La fibra di carbonio deve essere posata trasversalmente alla direzione di marcia. Affinché le forze possano essere assorbite dalla fibra di carbonio, è indispensabile una corretta connessione tra i due strati. Nel corso della prova, prima della posa della rete è stata applicata una mano d'attacco bituminosa (emulsione) in quantità pari a 300 g/m². In Figura 3 sono riportati i risultati.

LA CONNESSIONE TRA GLI STRATI DI PAVIMENTAZIONI ARMATE

All'EMPA di Zurigo è stata analizzata la connessione tra gli strati di pavimentazioni armate con diversi sistemi e tipi di rinforzo. Uno strato esistente di 6 cm di conglomerato bituminoso è stato fresato per 3 cm.

Come primer, prima della posa dell'armatura è stato applicato uno strato di 150-200 g/m² di lacca di bitume.

Sono stati posati differenti tipi di reti prebitumate in fibre di vetro e di carbonio, e reti in fibra di vetro non prebitumate. Dopo di che è stato posto in opera un conglomerato bituminoso AC 11 in uno spessore di 3 cm. Infine è stata testata la connessione tra gli strati.

LE MODALITÀ DI PROVA E L'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Per l'esecuzione della prova sono stati estratti mediante carotaggio dalla pavimentazione provini cilindrici di diametro di 150 mm, che sono stati messi in cella climatica a 20 °C per 8 ore. In seguito sono state sottoposte alla prova di taglio diretto secondo il metodo Leutner. La forza taglio (kN) tra gli strati viene presa come riferimento per la valutazione della connes-

sione. Il provino C, armato in monostrato con Carbophalt G, ha la stessa connessione degli strati del provino di riferimento non contenente il rinforzo (Figura 4).

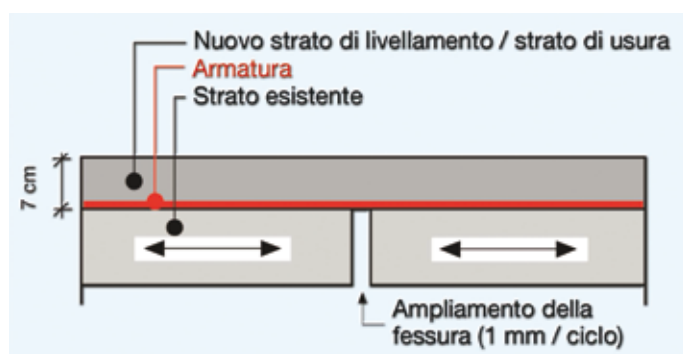
Nel punto di sovrapposizione delle reti, la connessione è risultata leggermente ridotta. Il supporto prebitumato non ha influenzato in maniera sostanziale la connessione tra gli strati rispetto al provino di riferimento. Nei rinforzi non prebitumati in fibra di vetro invece (provini G) è stata riscontrata una notevole riduzione della connessione. La rottura di questi provini G non prebitumati è avvenuta all'interfaccia tra lo strato nuovo e la rete: la mano di attacco è stata ricoperta parzialmente dalla rete e, di conseguenza, tra lo strato nuovo e la rete, la superficie incollante è insufficiente. È questa la causa della riduzione del collegamento. L'incremento della connessione su superficie fresata delle reti S&P è da ricondurre anche alla struttura della rete a nodi liberi.



4. La carota dopo la prova di connessione (Leutner)

LA PROPAGAZIONE DELLE FESSURE COME CONSEGUENZA DEL GELO

Il Road Research Center in Belgio ha analizzato in diverse occasioni il funzionamento di varie reti di rinforzo contro la propagazione delle fessure. A seguito dell'azione di gelo/disgelo, il fenomeno della propagazione di fessure nei tappeti d'usura appena stesi sopra pavimentazioni fessurate è inevitabile.



5. Lo schema di prova RRC

	PROVINO DI RIFERIMENTO	GEOTESSUTO	GEOGRIGLIA PES	RETE IN FIBRA DI VETRO PREBITUMATA "S&P GLASPHALT G"	RETE IN FIBRA DI CARBONIO PREBITUMATA "S&P CARBOPHALT G"
N° cicli fino a rottura	~ 30.000	~ 75.000	~ 90.000	~ 185.000	~ 1.150.000
Resistenza a fatica (carico continuo)	1 x	2,5 x rispetto a riferimento	3 x rispetto a riferimento	6 x rispetto a riferimento	35 x rispetto a riferimento

3. Il prospetto dei risultati di prova

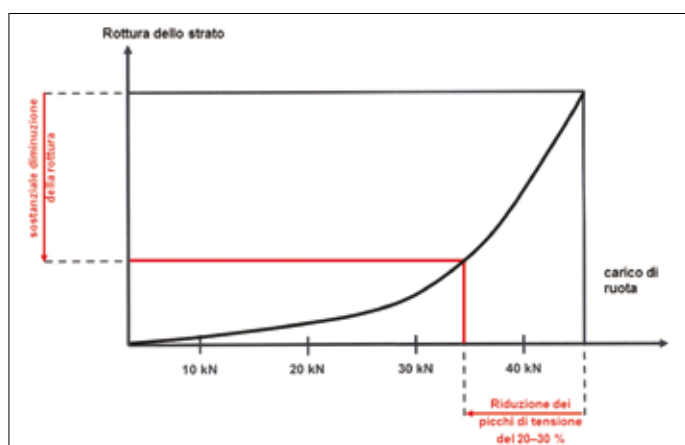
Con una procedura di prova standard normalizzata (Figura 5), è stato confrontato il funzionamento dei diversi tipi di rinforzo.

I RISULTATI

Nel provino di riferimento (senza rinforzo) dopo sei cicli di gelo/disgelo, la fessura si è propagata fino alla superficie dello strato d'usura. Le reti di poliestere e il telo di polipropilene, aventi un modulo elastico molto basso, non sono riusciti a contrastare la risalita della fessura. Nel campione rinforzato con il telo di polipropilene la propagazione della fessura in superficie è avvenuta dopo dieci cicli; per il campione con la rete di poliestere ci sono voluti 18 cicli di carico. La rete prebitumata con fibra di vetro ha impedito la propagazione in superficie. La vecchia fessura si è propagata per 3-4 cm all'interno dello strato d'usura. Le tensioni sono state poi assorbite dalla rete di armatura in fibra di vetro. e l'ulteriore propagazione delle fessure è stata evitata. Di conseguenza, nelle applicazioni pratiche, viene consigliato di ricoprire armature in fibra di vetro con uno strato di usura di spessore pari a minimo 5 cm. La rete in carbonio Carbophalt G e una rete zincata posta all'interno di uno Slurry seal hanno impedito completamente la risalita della fessura all'interno dello strato d'usura. Le tensioni vengono assorbite immediatamente dall'armatura e neutralizzate nell'interfaccia come forze tangenziali. Sopra la rete in carbonio è possibile prevedere strati di minor spessore o microstrati.

IL CARICO DINAMICO CONTINUO SOTTO EFFETTIVO CARICO DI RUOTA

Presso i laboratori dell'Empa sono stati sottoposti alla prova di carico dinamico continuo provini a due strati con e senza armatura in fibra di carbonio. Per simulare un sottofondo cedevole, i provini sono stati applicati su di un supporto di gomma.



6. L'influenza del carico sulla rottura dello strato



7. Una rete di rinforzo in fibra di carbonio utilizzata come armatura di ripresa tra la corsia esistente e quella nuova per l'allargamento della corsia Metrobus ad Appiano (BZ)

In seguito sono stati sottoposti alla prova di ormaio con 0,5 milioni di passaggi alla temperatura di 25 °C. Sulla parte sottostante dei provini sono stati applicati degli estensimetri sia in direzione longitudinale sia trasversale. I risultati delle indagini sperimentali sono stati rielaborati dall'Empa con un calcolo agli elementi finiti. Il modello e le indagini sperimentali hanno dato risultati confrontabili. Grazie alla fibra di carbonio gli allungamenti trasversali al carico della ruota, sulla superficie inferiore del provino, sono stati abbattuti del 33%. Nel provino armato con rete al carbonio, le tensioni sono trasmesse all'armatura e assorbite dalla stessa. Ecco che lo strato di conglomerato bituminoso è sottoposto a tensioni ridotte.



8. Nella realizzazione di una rotatoria ad Appiano (BZ), l'applicazione della rete di armatura in fibra di carbonio per ottenere l'aumento del valore strutturale di circa 4 cm di asfalto, con il conseguente scarico delle forze agenti verso l'esterno per un aumento della vita utile della pavimentazione



11. L'asporto parziale della pavimentazione bituminosa con posa di rete in fibra di carbonio su tutta la sede stradale per impedire la riflessione delle fessure e aumentare la portanza della pavimentazione stradale sulla S.S. 12 a Bronzolo (BZ)



9. Il rinforzo della pista dell'aeroporto di Zurigo (Svizzera) con rete in fibra di carbonio



10. Il rinforzo della pavimentazione con rete in fibra di carbonio in prossimità dei lavori di posa di infrastrutture (fibra ottica) con tecnica Trencher a Schwyz (Svizzera)



12. Il rinforzo strutturale dello svincolo di Campogalliano (MO) con rete in fibra di carbonio sulla A22 Autostrada del Brennero

La rete d'armatura prebitumata al carbonio riduce le dilatazioni e di conseguenza anche le tensioni negli strati in conglomerato bituminoso di circa il 30%. La fibra in carbonio migliora inoltre i valori strutturali. La Figura 6 mostra come la rottura degli strati aumenti con l'aumentare dei carichi delle ruote. La fibra in carbonio riduce i picchi di tensione causati da carichi importanti che esercitano la loro azione sugli strati in conglomerato bituminoso e riduce di conseguenza la rottura della pavimentazione. Questo si manifesta con una vita utile maggiore, cicli di intervento più lunghi e di conseguenza meno lavori di manutenzione, cosa che porta i suoi benefici anche politico/economici per ciò che riguarda il traffico e le possibili code che un cantiere stradale origina. Nel valutare la convenienza delle pavimentazioni armate vanno considerati anche tutti questi aspetti. Alcune immagini di esempi di applicazione si trovano nelle Figure 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

CONCLUSIONI

Le reti in fibra di vetro e di carbonio hanno un vasto campo di applicazione; in particolare, in un periodo in cui la carenza di mezzi finanziari si sta facendo sentire, il ripristino della regolarità delle superfici stradali viene eseguito con risanamenti e non tramite demolizioni e ricostruzioni. Le armature per gli asfalti sono la soluzione per risanare pavimentazioni bituminose in maniera veloce ed economicamente vantaggiosa.

Esperienze fatte in autostrada, su strade statali, aeroporti ecc. hanno dimostrato che la formazione di fessure di riflessione e di ormaie a seguito di deformazioni è rallentata se non del tutto scongiurata. Ciò che è decisivo è l'elevato modulo elastico, che ha una come conseguenza un minimo allungamento della fibra. I sistemi di rinforzo S&P descritti sono di facile posa e al contrario di sistemi di armatura in poliestere o acciaio, completamente fresabili e riciclabili. La prebitumatura dei sistemi garantisce la necessaria connessione tra gli strati. I prodotti sono stati concepiti per un programma di manutenzione economico e sostenibile e aumentano la vita utile della pavimentazione in maniera decisiva.

n

⁽¹⁾ Ingegnere Titolare della Tecnokraft Srl