



UNIVERSITÀ DI PARMA

ARCHIVIO DELLA RICERCA

University of Parma Research Repository

Pavimentazioni rinforzate con membrane autoadesive

This is the peer reviewed version of the following article:

Original

Pavimentazioni rinforzate con membrane autoadesive / Giuliani, Felice; S., Lena; Merusi, Filippo. - In: LE STRADE. - ISSN 0373-2916. - 11:(2011), pp. 104-110.

Availability:

This version is available at: 11381/2430487 since:

Publisher:

Published

DOI:

Terms of use:

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available

Publisher copyright

note finali coverpage

(Article begins on next page)

23 April 2024

Pavimentazioni rinforzate con membrane autoadesive

NELLE NUOVE REALIZZAZIONI O NEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE, I RINFORZI SOTTILI RICICLABILI E DI AGEVOLE POSA RIDUCONO L'INCIDENZA NEL TEMPO DEI COSTI DI MANUTENZIONE E CONSENTONO DI MANTENERE I LIVELLI PRESTAZIONALI STRUTTURALI RICHIESTI DALLE MODERNE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI, AGENDO SULLA RESISTENZA E SULLA DUTTILITÀ DEGLI STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO.

L'esigenza di aumentare la vita utile e di estendere la durata delle pavimentazioni stradali flessibili mantenendo i previsti livelli di servizio, laddove non si voglia ricorrere a sezioni di progetto tipiche delle sovrastrutture semirigide e rigide, comporta spesso l'introduzione di specifici sistemi di rinforzo.

Rinforzi rigidi, elementi membranali o comunque interstrati di diversa natura possono risultare soluzioni tecniche efficaci sia in fase di manutenzione delle pavimentazioni esistenti sia in fase di progetto delle nuove costruzioni. In quest'ultimo caso un'attenta analisi costi-benefici porta spesso ad indicare come la presenza del rinforzo ottimizzi il rapporto tra oneri di realizzazione e oneri di gestione futura (Brown et al., 2001).

Recentemente, anche in Italia si è assistito ad un significativo sviluppo tecnologico nel settore dei rinforzi che risulta pertanto essere variegato e di non immediata comprensione per i progettisti e gli operatori del settore delle costruzioni stradali. Un possibile inquadramento funzionale dei sistemi di rinforzo delle sovrastrutture stradali può essere ricondotto alle seguenti classi:

R1. Classe dei rinforzi per materiali granulari

Compongono questa categoria i rinforzi destinati agli strati profondi della sovrastruttura stradale, tipicamente realizzati in materiali granulari non legati. Gli elementi di rinforzo di questo tipo sono generalmente rappresentati da *geotessili non tessuti* e *tessuti*. Scopi primari di questa soluzione tec-

nica sono l'incremento locale di capacità portante degli strati di fondazione, oltre alla realizzazione di barriere con compiti funzionali quali la separazione dei materiali appartenenti a strati differenti e l'intercettazione delle migrazioni di parti fini. Le sistemazioni più frequentemente utilizzate per questo tipo di rinforzi sono interne allo strato di fondazione in misto granulare stabilizzato o in prossimità dell'interfaccia fra lo stesso strato di fondazione ed il sottofondo. Si parla perciò in questo caso anche di *rinforzi profondi*.

R2. Classe dei rinforzi rigidi

Sono considerati *rinforzi rigidi* i sistemi dotati di specifica identità strutturale destinati a rappresentare un vero e proprio interstrato (*interlayer*) all'interno degli strati legati della pavimentazione. Ricadono in questa categoria geogriglie in materiali polimerici o in fibra di vetro e, sebbene non esenti da problematiche operative e gestionali, le reti in acciaio.

Il funzionamento in questo caso si basa sull'assunto di una maggiore rigidità del rinforzo rispetto al conglomerato bituminoso della pavimentazione. L'effetto auspicato è quindi riferito ad una variazione dello stato tensionale indotto dal traffico veicolare, con assorbimento di tensione da parte dell'interlayer a vantaggio di un parziale scarico degli strati legati a bitume (Koerner 2005).

R3. Classe dei rinforzi flessibili

Si definiscono qui rinforzi flessibili, gli elementi interlayer ibridi destinati, come i precedenti, agli strati legati della pavi-

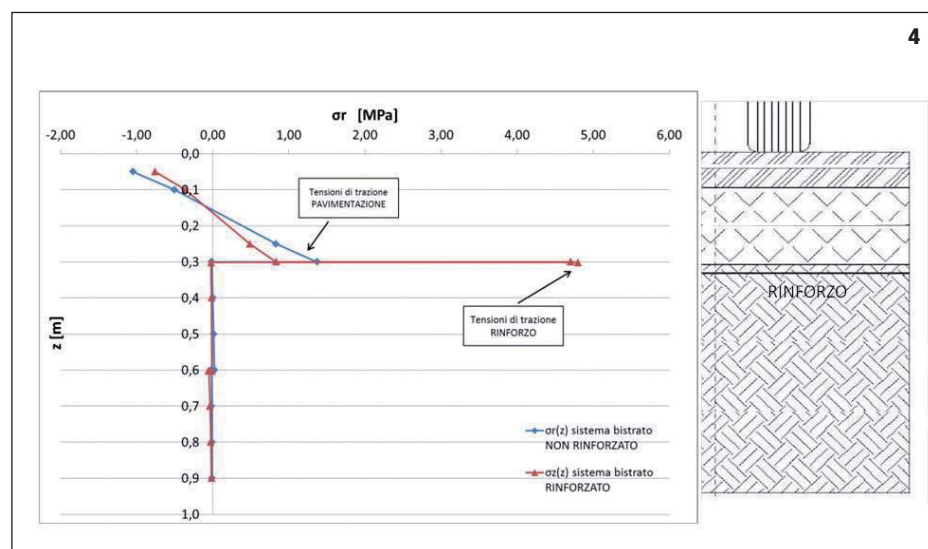
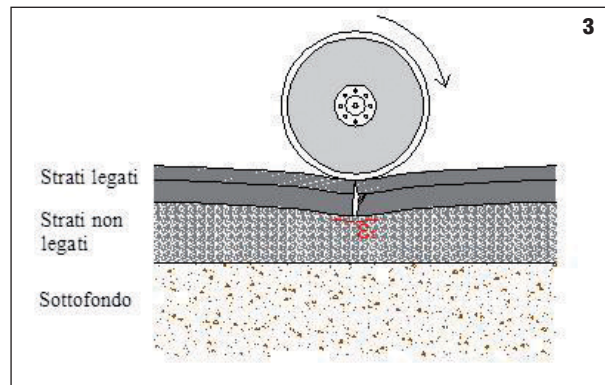
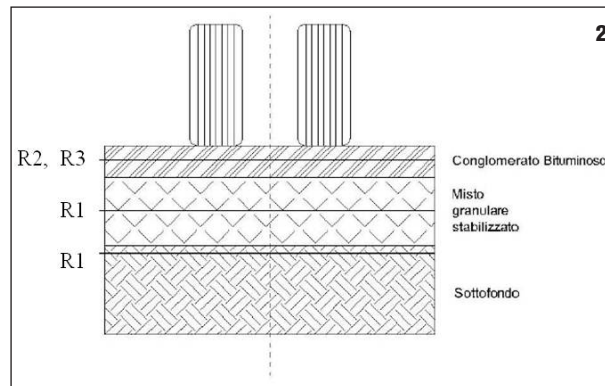
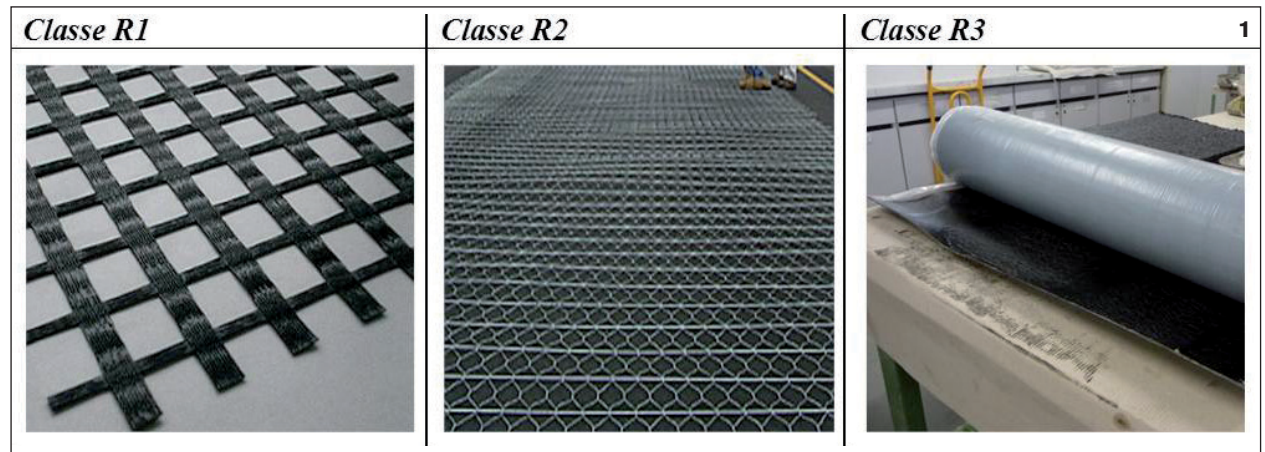
Felice Giuliani
Silvia Lena
Filippo Merusi
Università degli Studi
di Parma

1. Immagini rappresentative di elementi di rinforzo appartenenti alle tre classi R1, R2, R3

2. Rappresentazione schematica della collocazione delle classi di rinforzi R1, R2, R3

3. Meccanismo di fessurazione per fatica di una pavimentazione flessibile

4. Deviazione del campo tensionale dovuta alla presenza di un elemento di rinforzo di tipo R3



mentazione stradale ma caratterizzati da specifica struttura a membrana, con rigidezza pressoché nulla in direzione ortogonale al piano stradale ma capaci di elevata rigidezza e resistenza a trazione lungo le direzioni del piano occupato.

I vantaggi derivanti dall'impiego dei rinforzi leggeri R3 si possono identificare attraverso l'associazione di una parziale capacità strutturale alle caratteristiche funzionali tipiche delle membrane. Sono quindi da attendersi:

- locale distribuzione del carico;
- separazione, intercettazione, impermeabilizzazione;
- compartecipazione nell'assorbimento degli sforzi di taglio all'interfaccia;
- controllo del quadro fessurativo.

Il rinforzo strutturale delle pavimentazioni

Nell'ambito degli strati legati, l'introduzione di elementi di rinforzo (R2, R3) si riconduce a specifici compiti strutturali che derivano dal modello di funzionamento meccanico della pavimentazione stradale.

I carichi dovuti al traffico veicolare, uniti alle sollecitazioni derivanti dall'esposizione a temperature estremamente variabili, determinano deflessioni della pavimentazione, con il conseguente instaurarsi di deformazioni di trazione (ϵ_t in fig. 3). La sollecitazione flessionale esercitata dai carichi veicolari è di tipo ciclico e comporta pertanto fenomeni di fatica, causa principale del degrado strutturale delle pavimentazioni stradali. Le azioni ripetute generate da elevati volumi di traffico provocano la formazione di fessurazioni (*fatigue cracking*) che si innescano in profondità e si propagano verso la superficie per effetto del ripetersi delle tensioni di trazione σ_r . Uno stadio avanzato di questo tipo di deterioramento porta allo sviluppo di un quadro fessurativo di manifestazione superficiale diffuso in tutte le direzioni, tipicamente identificato come *alligator cracking*.

Da un punto di vista analitico questo fenomeno risulta legato al funzionamento statico di una pavimentazione flessibile, di cui il sistema multistrato elastico lineare può fornire una soluzione equivalente (fig. 4). Il comportamento strutturale della pavimentazione diventa quindi assimilabile a quello di una piastra poggiate su di un semispazio omogeneo, isotropo ed elastico lineare. Secondo tale configurazione, la pavimentazione inflessa dal carico veicolare risulta interessata

da un piano neutro e quindi sede di zone compresse e zone tese. Con esclusivo riferimento alle tensioni orizzontali, la fig. 4 illustra la deviazione del campo tensionale dovuta alla presenza di un elemento di rinforzo posizionato alla base degli strati legati, ovvero dove le tensioni di trazione sono massime nell'ambito delle ipotesi dell'analisi elastica lineare. L'interstrato sintetico, presentando caratteristiche di rigidità nel piano orizzontale superiori rispetto a quelle della pavimentazione, assorbe una maggiore percentuale degli sforzi di taglio indotti dai carichi veicolari, con conseguente scarico tensionale degli strati legati. La riduzione della tensione tangenziale determina, a parità di altre condizioni, un incremento della vita utile a fatica dell'intera sovrastruttura flessibile. (Ling et al., 2011; Al-Qadi et al., 2008; Cleveland et al., 2002; Brown et al. 1985).

I programmi di ricerca finora condotti ribadiscono la fondamentale importanza la corretta posa in opera e l'ottimale collocazione delle reti all'interno della sovrastruttura stradale (Dondi, 1997; Haas, 1985). Le condizioni operative e la selezione della profondità di posa devono pertanto scaturire da specifica valutazione riferita alla tipologia di rinforzo e alla funzione principale cui esso deve assolvere.

Programma sperimentale

Oggetto delle sperimentazioni condotte presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio ed Architettura dell'Università di Parma è la valutazione tecnica di una membrana composita in fibra di vetro autoadesiva (Stratos ARS 5.0 prodotta da Isoltema SpA) in riferimento al relativo impiego nelle costruzioni stradali.

La membrana in oggetto si colloca nel più ampio panorama dei sistemi di rinforzo delle pavimentazioni flessibili, attualmente composto da molteplici categorie di elementi tecnologicamente diversificati. Secondo lo schema proposto precedentemente la membrana oggetto di studio appartiene alla classe dei rinforzi flessibili R3 e rappresenta un prodotto innovativo per composizione e proprietà adesive.

Per l'esecuzione delle prove sono state confezionate miscele bituminose con riferimento ai requisiti delle "Norme tecniche di tipo prestazionale per capitolati speciali d'appalto" del Centro Interuniversitario di Ricerca Stradale ed Aeroportuale (CIRS), considerando la formulazione per conglomerati destinati a tappeti di usura con spessore compreso fra 3 cm e 4 cm. In particolare, sono stati utilizzati:

- aggregati lapidei di primo impiego provenienti da una medesima fornitura di prevalente natura calcarea (massa volumica = 2.71 g/cm^3);
- bitume di raffineria non modificato appartenente a classe di penetrazione 50/70;
- contenuto di legante pari al 5.5 % rispetto al peso totale degli aggregati lapidei.

Le lastre ed i travetti di conglomerato bituminoso sottoposti a test meccanici durante il programma d'indagine sperimentale sono stati prodotti in laboratorio facendo riferimento al seguente procedimento standardizzato. La compattazione è avvenuta in laboratorio per mezzo di compattatore a rullo (fig. 5).

La sequenza operativa durante questa fase ha previsto la compattazione delle lastre a temperatura di circa 140°C, partendo



5. Compattatore a rullo utilizzato per il confezionamento delle lastre.



6. Preparazione e posizionamento della membrana (sinistra) lastre finite (destra)

da un quantitativo di materiale sciolto del peso di 24 kg, in grado di garantire uno spessore finito della lastra pari a 6 cm. Il numero di passaggi del compattatore, controllato per mezzo di centralina elettrica, è stato imposto pari a 6 strisciate per ogni direzione. Stesa e compattazione sono avvenute in unico strato. Ove previsto, il posizionamento della membrana di rinforzo è avvenuto solo dopo aver regolarizzato la superficie di stesa ed isolato la membrana stessa dal cassero per mezzo di opportuni elementi anti-adesivi. La membrana è stata posizionata alla base della lastra dove gli sforzi di trazione sono massimi nell'ambito delle ipotesi dell'analisi elastica lineare. Tramite una sega circolare sono successivamente stati ricavati i travetti da sottoporre ai test meccanici di flessione. In ogni caso sono stati eliminati i travetti esterni alla lastra, al fine di evitare l'insorgere di errori di misura dovuti alla presenza di effetti di bordo. I travetti così ottenuti sono stati identificati con la dicitura TN se privi di rinforzo e con la dicitura TR se dotati di membrana di rinforzo posizionata al centro o alla base.

La sperimentazione è stata articolata nelle seguenti fasi:

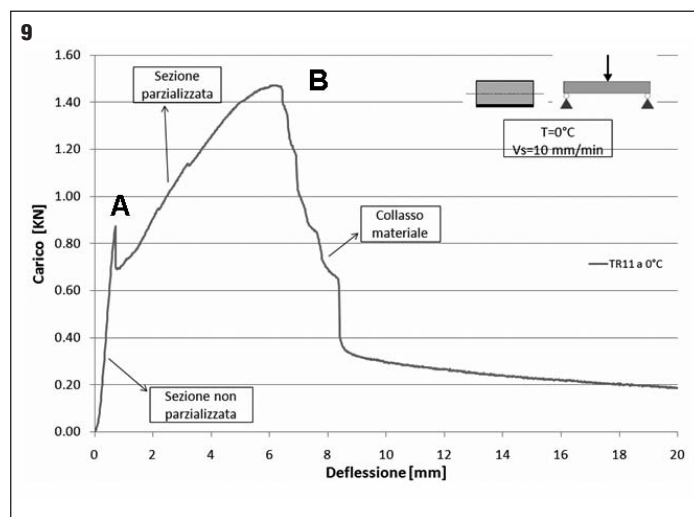
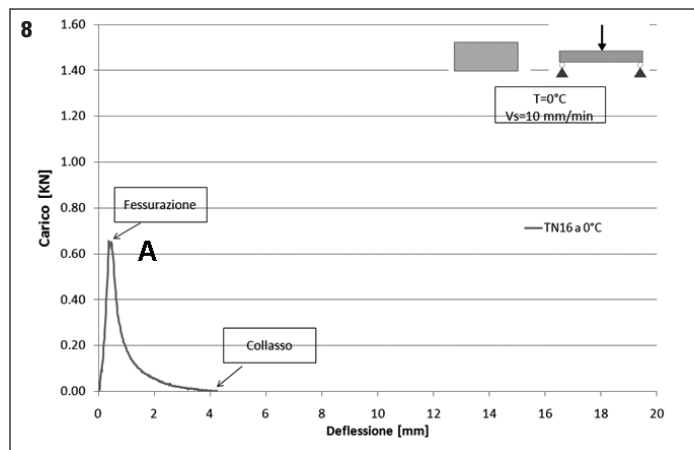
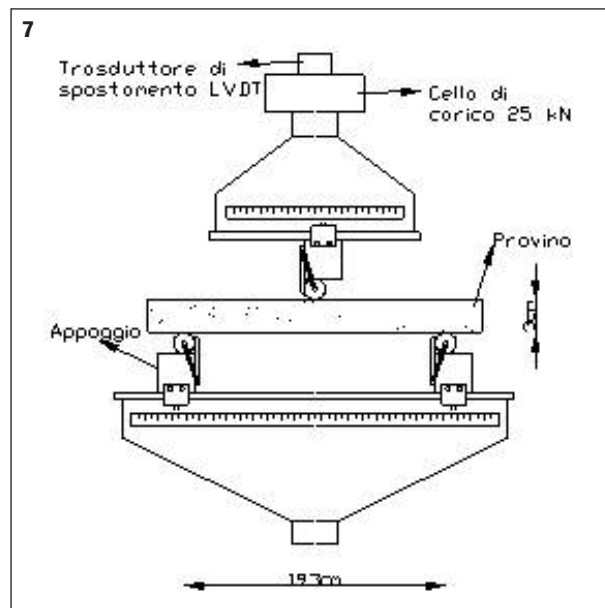
FASE 1. Resistenza a flessione

L'indagine relativa alla resistenza a flessione si pone come obiettivo la comprensione del ruolo della membrana nella ridistribuzione delle tensioni di trazione derivanti dall'azione del traffico veicolare anche in presenza di stati post-critici.

7. Configurazione di prova per flessione su tre punti

8. Grafico carico-deflessione relativo a prova di flessione su provino non rinforzato (T=0°C)

9. Grafico carico-deflessione relativo a prova di flessione su provino rinforzato con membrana posizionata alla base (T=0°C)



FASE 2. Analisi del quadro fessurativo

Tale sezione si propone di valutare gli effetti della presenza della membrana di rinforzo sull'evoluzione del quadro fessurativo di elementi strutturali in conglomerato bituminoso sottoposti a prove di flessione su tre punti in controllo di spostamento.

Resistenza a flessione

Configurazione di prova

I test di flessione su tre punti sono stati condotti tramite pressa servo idraulica MTS 810 (Material Test System) secondo la configurazione schematicamente rappresentata in fig. 7. I test sono stati eseguiti in controllo di spostamento, utilizzando una velocità di avanzamento imposta pari a 10mm/s. Tre diverse serie di test sono state ripetute al variare della temperatura di prova (0°C, 10°C e 25°C) al fine di riprodurre le diverse condizioni di esercizio della pavimentazione stradale. Una cella di carico da 25 kN montata fra la traversa di contrasto ed il sistema di carico è stata utilizzata per la misura delle forze; un trasduttore di spostamento LVDT ha invece restituito la misura degli spostamenti effettivi lungo l'asse di carico.

Carico ultimo e deformazione a rottura

La fig. 8 presenta il risultato di una prova di flessione su tre punti condotta a 0°C su di un travetto privo di rinforzo (Serie N). L'andamento sperimentale individua una classica curva carico-deflessione: in un primo tratto quasi lineare il carico cresce in accordo con la deflessione ed identifica un punto di massimo per poi decrescere fino ad annullarsi. In corrispondenza del punto A si verifica la fessurazione dell'elemento al lembo teso. Il valore del carico di picco, ordinata del punto A in Figura 8, rappresenta pertanto la resistenza ultima a flessione del materiale. Allo stesso modo l'ascissa del punto A rappresenta la deflessione a rottura, in ultima analisi connessa con la duttilità del materiale.

La fig. 9 illustra il risultato di un'identica prova condotta su di un travetto con membrana di rinforzo posizionata alla base (Serie R).

In questo caso l'andamento sperimentale presenta una forma decisamente più complessa. La presenza del rinforzo produce evidentemente un effetto non trascurabile cambiando in modo essenziale la curva carico-deflessione. A livello macroscopico risulta immediato come ad un primo picco (A) ne segua un secondo (B). Questa sequenza può essere ricondotta all'evoluzione del quadro fessurativo: in corrispondenza del punto A si raggiunge la resistenza a trazione del conglomerato bituminoso e la fessura si innesca alla base del travetto. Un repentino calo di resistenza è poi immediatamente interrotto dall'intervento del rinforzo, il carico riprende quindi a crescere fino al secondo picco (punto B), sede del distacco fra rinforzo e travetto. I fotogrammi di fig. 10 associano l'osservazione sperimentale alla rappresentazione analitica.

Le curve carico-deflessione relative al provino privo di rinforzo e al provino con membrana alla base mostrano quindi marcate differenze soprattutto dopo l'insorgenza della prima fessura, che si manifesta per valori di carico non molto diversi. Mentre nel caso di provino non rinforzato, in seguito alla fessurazione del conglomerato si assiste rapidamente al collasso, nel secondo caso il rinforzo assorbe interamente le tensioni di trazione, consentendo il raggiungimento di deflessioni molto elevate rispetto a quelle raggiunte dal campione non rinforzato (figg. 8 e 9). Nella fase in cui la sezione del provino rinforzato risulta parzializzata si assiste a una riduzione della rigidezza del materiale percepibile dalla riduzione del-

l'inclinazione della curva carico-deflessione.

Dopo la rottura del provino in seguito al raggiungimento della resistenza massima a compressione del conglomerato bituminoso, si assiste ad un repentino crollo del carico assorbito all'aumentare della deflessione imposta ma, contrariamente a quanto avviene nei provini non rinforzati, il carico non raggiunge mai valori nulli.

Tramite l'analisi di immagini acquisite per mezzo di una videocamera digitale ad alta definizione è stato inoltre possibile associare carichi e spostamenti registrati dalle strumentazioni di laboratorio ad un effettivo contrasto della propagazione delle fessure messo in atto dal rinforzo.

La fig. 11 evidenzia come nel travetto privo di rinforzo la fessurazione si sviluppi in modo completo già per una freccia appena percepibile visivamente. Nella medesima figura si può notare che la resistenza residua post-rottura propria dei provini rinforzati è garantita dall'azione della membrana che risulta ancora integra, anche dopo la rottura del conglomerato.

In sintesi, la presenza della membrana di rinforzo ha determinato un notevole aumento della resistenza ultima a rottura ed una modifica del comportamento meccanico globale, evidenziata dalla presenza di una regione di resistenza residua successiva alla comparsa della prima fessura, in corrispondenza della quale in caso di assenza di rinforzo si aveva una rapida evoluzione del quadro fessurativo. L'elemento di rinforzo comporta una maggiore duttilità del sistema che risulta quindi in grado di raggiungere deformazioni a rottura molto più elevate rispetto agli elementi privi di rinforzo.

Negli istogrammi delle figure seguenti si riportano i risultati delle misure espressi in termini di carico massimo e deflessione a rottura, registrati per diverse temperature. Per ogni temperatura di prova il confronto tra i valori di carico e freccia a rottura è proposto come media dei risultati ottenuti su almeno tre diversi provini.

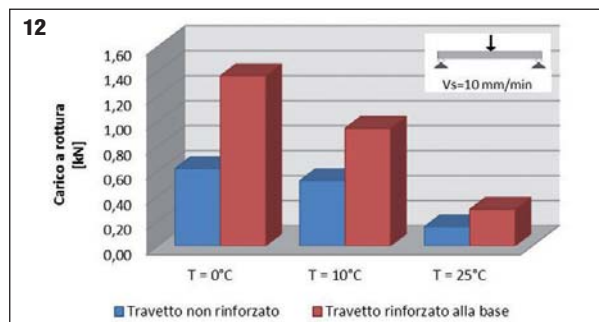
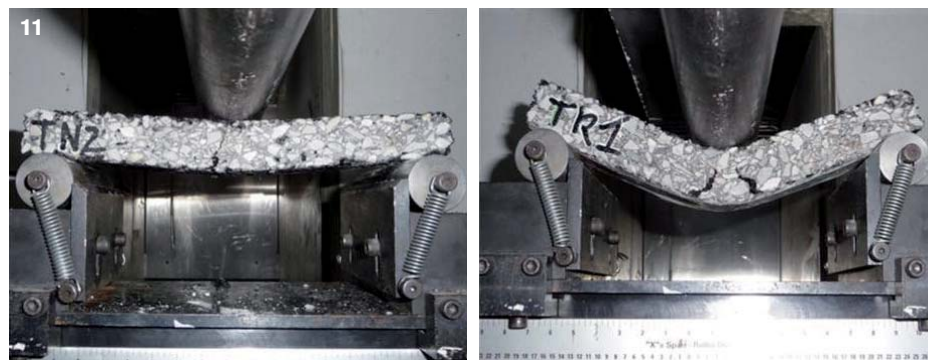
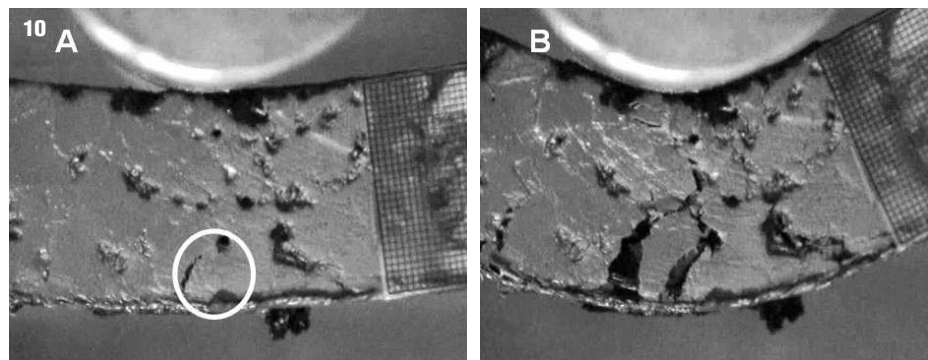
Data la natura viscoelastica del conglomerato bituminoso l'effetto del rinforzo non permane inalterato al variare della temperatura. L'efficacia del rinforzo deve quindi essere considerata dipendente dal rapporto tra la rigidità stessa della membrana e la rigidità del conglomerato bituminoso. Al crescere della temperatura di prova la rigidità del conglomerato si riduce mentre quella del rinforzo non cambia. Per differenze troppo elevate il contributo della membrana diviene meno evidente per l'instaurarsi di scorrimenti all'interfaccia.

Risulta comunque immediato verificare come le dinamiche descritte precedentemente, legate alla presenza del rinforzo, possano essere estese anche a temperature maggiori di 0°C. Sia a 10°C che a 25°C i travetti rinforzati presentano infatti valori di carico e deflessione più elevati rispetto ai travetti privi di rinforzo.

Calcolo dell'energia di frattura

L'applicazione del rinforzo garantisce, a parità di deformazione imposta, un innalzamento nei valori della curva carico-deflessione che si traduce in un notevole incremento dell'energia a rottura offerta dal singolo campione.

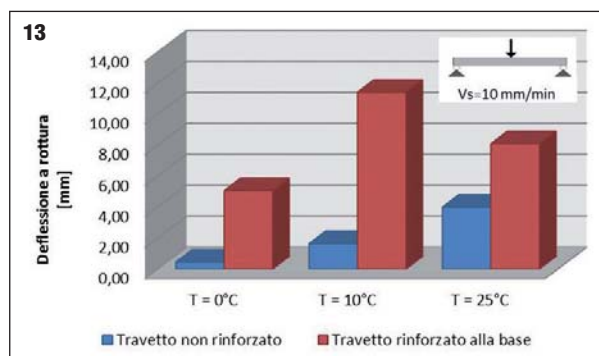
Tramite l'applicazione di una semplice formulazione matematica è stato possibile calcolare l'area sottesa dalla curva e, di conseguenza, dell'energia di frattura.



10. Fotogrammi estrapolati da ripresa digitale

11. Immagini relative al comportamento post-rottura di un provino non rinforzato (sinistra) e di un provino rinforzato (destra)

12. Confronto tra carico a rottura di provino non rinforzato e provino rinforzato



13. Confronto tra deflessione a rottura di provino non rinforzato e provino rinforzato

L'area sottesa dal grafico può essere vista come la somma di molteplici areole trapezoidali di ampiezza:

$$A_i = (F_{i-1} + F_i) \cdot \frac{D_{i-1} + D_i}{2}$$

$$A_{tot} = \sum_i A_i \quad 1$$

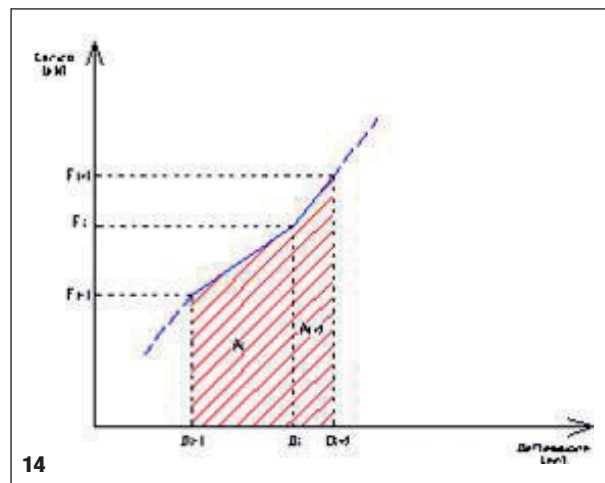
dove F_{i-1} e F_i sono valori di carico registrati in corrispondenza delle deflessioni imposte D_{i-1} e D_i . Il calcolo dell'energia di frattura conferma e rende ancor più

14. Calcolo dell'area sottesa alla curva carico-deflessione

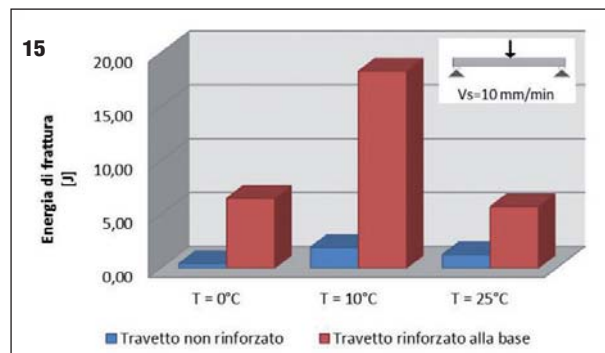
15. Energia di frattura per travetti rinforzati e non rinforzati al variare delle temperature di prova

16. Esempio di curva carico-deflessione, il punto di massimo coincide con l'istante di inizio fessurazione

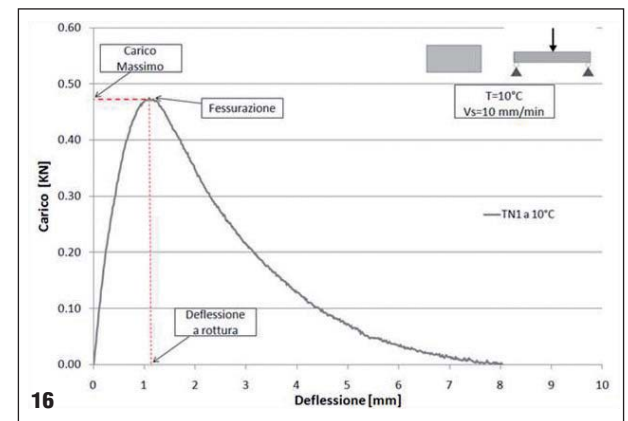
17. Misurazione dell'ampiezza e della lunghezza della fessura



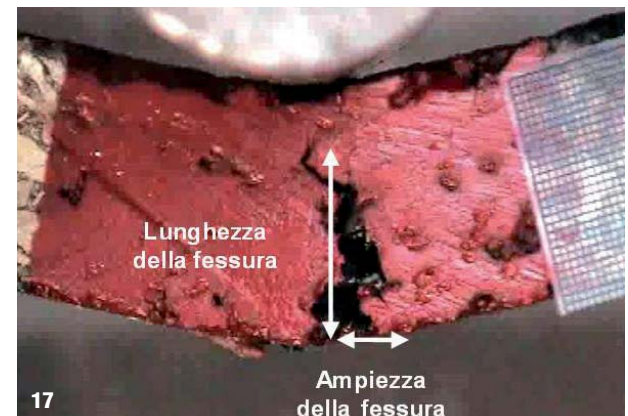
14



15



16



17

esplicito il ruolo della membrana nell'incremento di resistenza dei provini rinforzati, nei quali la manifestazione della fessura si sviluppa a partire da valori di deflessione molto più elevati rispetto a quelli dei provini privi di rinforzo. L'istogramma pone oltremodo in evidenza come la membrana espliciti massimo contributo in corrispondenza delle temperature più basse. Il rapporto fra l'energia di frattura del travetto rinforzato e quella del travetto non rinforzato vale 16.2 a 0°C e 9.4 a 10°C, per poi ridursi in modo marcato (circa 4.6) a 25°C. Tale risultato traduce in modo sintetico le considerazioni precedenti basate sulle misure dirette di carico e deflessione.

Analisi del quadro fessurativo Realizzazione dei filmati e analisi dei fotogrammi

Il rilievo dell'evoluzione delle fratture durante i test a flessione è stato svolto attraverso l'analisi dei fotogrammi estrapolati dai filmati effettuati durante le prove. L'analisi svolta ha consentito di monitorare, pur in modo qualitativo, l'evoluzione della fessura nel tempo, in termini di ampiezza e lunghezza. Tali grandezze sono state poi correlate ai valori di deflessione e carico registrati durante la prova. Per poter procedere ad una seppur qualitativa rilevazione metrica della geometria delle fessure, tutti i provini destinati a questo tipo di analisi sono stati ricoperti con vernice bianca e muniti di un foglio lucido millimetrato reso solidale tramite opportuno incollaggio precedentemente all'inizio del test. I filmati sono stati realizzati con una fotocamera Samsung Digital Cam VPDx105 montata su treppiede ed accuratamente allineata con la mezzera del campione.

L'istante di inizio ripresa è stato fatto coincidere con quello di inizio prova, in modo che la scala temporale del filmato coincidesse con quella fornita nei dati di output della strumentazione di prova. L'osservazione delle serie dati ha permesso quindi di poter identificare con sufficiente approssimazione l'istante di inizio fessurazione, coincidente con il punto di picco della curva carico-deflessione (fig. 16).

Tramite l'ausilio del software VirtualDub si sono estratti la serie di fotogrammi necessari per l'analisi. Il primo elemento estrapolato coincide con l'istante di picco, i successivi sono stati selezionati con un passo temporale prefissato fino all'istante di fine prova.

I fotogrammi sono stati poi importati in AutoCad 2007 e sfruttando il riferimento metrico sono stati correttamente scalati per procedere alla misura dell'ampiezza e della lunghezza della fessura (fig. 17).

I valori ottenuti sono quindi stati rappresentati in funzione della deflessione e del carico registrati durante il test.

Innesco ed evoluzione del quadro fessurativo

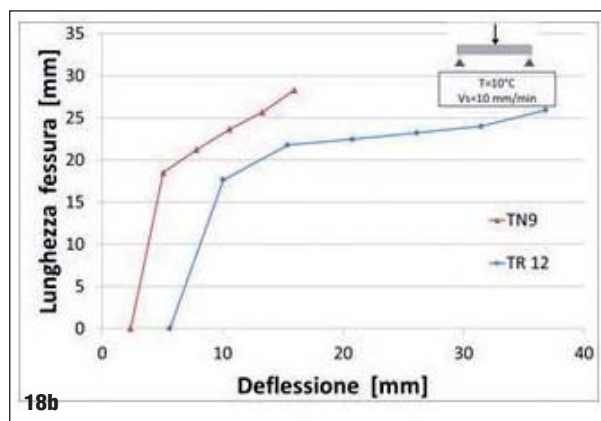
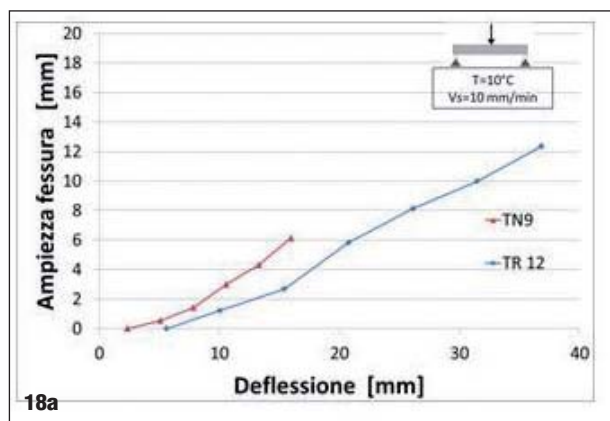
Dall'analisi dei filmati realizzati durante i test è stato possibile correlare l'evoluzione della fessura (in termini di lunghezza ed ampiezza) alla deflessione imposta all'elemento. I test a rottura sono stati condotti sempre con la medesima configurazione di prova ma con valori di temperatura del campione differenti. Si può quindi osservare l'effetto del rinforzo in termini di contenimento della fessurazione alle diverse temperature.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti a 10°C (fig. 18) per un travetto rinforzato TR12 ed uno privo di rinforzo TN9.

Riferimenti bibliografici

- Brown S. F. (1985), "An assessment of geogrid use in railways and asphalt applications", University of Nottingham, UK
- Brown S. F., Thom N. H. and P. J. Sanders (2001), "A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking", Proc. of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 70, USA
- Khodaii A., Fallah S., Nejad F.M. (2009), "Effects of geosynthetic on reduction of reflection cracking in asphalt overlays", Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
- Al-Qadi I. L., Dessouky S. H., Kwon J., Tutumluer E. (2008), "Geogrid in Flexible Pavements: Validated Mechanism", 87th Annual Transportation Research Board Meeting, Washington





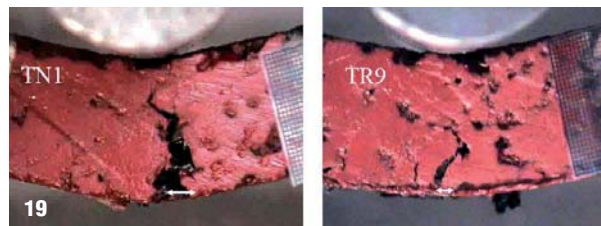
L'introduzione della membrana di rinforzo alla base del travetto garantisce un maggior controllo nella propagazione della fessura che, nell'elemento rinforzato, tende a svilupparsi in un intervallo di deflessione molto più ampio (circa 38 mm) rispetto a quanto avviene per il campione non rinforzato (circa 15 mm). Si nota, inoltre, come la curva che esprime la lunghezza della fessura in funzione della deflessione relativa al provino rinforzato identifichi la presenza di un valore quasi asintotico inferiore allo spessore del travetto stesso. Anche per valori di deflessione molto elevati la fessura nel travetto rinforzato non interessa l'intera sezione trasversale.

Tale effetto risulta essere ancora più evidente dall'analisi effettuata sull'ampiezza di fessura. L'azione della membrana consente di evitare il collasso del travetto nei tempi previsti per la prova, nonostante la formazione di fessure di ampiezza molto elevata. La fig. 19 mette a confronto l'ampiezza di fessura di un provino non rinforzato ed uno rinforzato in riferimento ad un medesimo valore di deflessione. Si può notare come la mancanza del rinforzo si traduca in una maggiore propagazione della fessura che precede il collasso del provino. Nell'immagine di destra risulta invece chiaro il confinamento della fessura rappresentato dalla presenza del rinforzo che tende certamente ad incrementare l'energia necessaria per l'innescò e la propagazione della fessura stessa. In sostanza, ad uno stesso valore di deflessione corrispondono due situazioni ben diverse a seconda che il rinforzo sia presente o meno. Nell'elemento privo di rinforzo la crisi è sopraggiunta, nell'elemento rinforzato la propagazione della fessura può ancora essere limitata e l'elemento, anche se visibilmente deformato mantiene una sua integrità strutturale.

Conclusioni

La sperimentazione condotta ha previsto la valutazione dell'efficacia delle membrane composite autoadesive quali elementi di rinforzo delle pavimentazioni stradali di tipo flessibile. La conformazione fisica e la specifica concezione della membrana oggetto della presente ricerca sperimentale, che integra caratteristiche di resistenza meccanica a proprietà di autoadesione sul supporto, hanno imposto la programmazione di uno studio articolato in diverse fasi.

Il programma sperimentale ha pertanto interessato il sistema pavimentazione-membrana sia in termini di quantificazione delle resistenze ultime a flessione sia in termini di analisi del quadro fessurativo conseguente ad uno stato tensionale



di tipo continuo. Considerata inoltre la specifica natura del comportamento meccanico del conglomerato bituminoso, le cui costanti fisiche dipendono dalla temperatura, le prove meccaniche sono state ripetute in diverse condizioni climatiche dei campioni riferibili a diverse condizioni di esercizio delle pavimentazioni stradali.

Per quanto concerne lo studio delle resistenze ultime a flessione i risultati hanno mostrato come la presenza della membrana comporti una effettiva modifica della risposta meccanica degli elementi in conglomerato bituminoso, modifica connessa sia con un incremento dei carichi ultimi a rottura sia con una ridefinizione della duttilità degli strati della sovrastruttura stradale. A questo proposito si è osservato come, in presenza della membrana, siano da attendersi deformazioni a rottura estremamente più elevate rispetto agli elementi privi di rinforzo, oltre che valori marcatamente maggiori dell'energia di frattura. L'impiego della membrana di rinforzo comporta un incremento del lavoro compiuto dalle forze esterne per deformare fino all'innescò di fessure gli strati in conglomerato bituminoso.

Allo stesso modo, in presenza della membrana si assiste alla generazione di una apprezzabile resistenza post-rottura degli strati legati, altrimenti assente nei sistemi tradizionali. Tramite l'analisi di immagini acquisite per mezzo di una videocamera digitale ad alta definizione è stato inoltre possibile associare carichi e spostamenti registrati dalle strumentazioni di laboratorio ad una effettivo contrasto della propagazione delle fessure messo in atto dal rinforzo.

Per quanto emerso dal complesso dell'impianto sperimentale si può ritenere che la membrana composita analizzata, oltre alle note funzioni di limitazione della propagazione di fessure esistenti, è in grado di costituire un versatile elemento di rinforzo strutturale garante della continuità degli strati legati, grazie alla propria originale costituzione ed alle specifiche proprietà autoadesive. ■

La presente ricerca è stata svolta grazie al contributo di Isoltema SpA di Gambettola (FC)

18. Lunghezza e ampiezza della fessura in funzione della deflessione imposta per i provini TN16, TR6, TR4 e TR11 sottoposti a prova di rottura per flessione su tre punti a 10°C

19. Ampiezza di fessura: confronto tra un elemento non rinforzato (sinistra) ed uno rinforzato (destra) a parità di deflessione imposta



- Cleveland G.S., Button J.W., Lytton R.L. (2002), "Geosynthetics in flexible and rigid pavement overlay systems to reduce reflection cracking", Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office, USA
- Koerner R. (2005), "Designing with Geosynthetic", Upper Saddle, New Jersey, USA
- Rigo J. M., Degeimbre R., Francken L. (1993), "Reflective cracking in pavements", Rilem
- Haas R. (1985), "Structural behavior of Tensar reinforced pavements and some field applications", Polymer grid reinforcement, Thomas Telford, London, UK.
- Dondi G. (1997), "Pavimentazioni flessibili con interstrati sintetici", Quaderno tecnico AIPCR, Associazione mondiale della strada
- H. I. Ling, Z. Liu (2001), "Performance of geosynthetic-reinforced asphalt pavements", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, February 2001