



**DIMINUIZIONE DELLE MANUTENZIONI STRADALI  
MEDIANTE L'AUMENTO DELLA VITA UTILE DI  
PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI RINFORZATE CON  
RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE**

**Francesco Ferraiolo**

Direttore Tecnico – Officine Maccaferri S.p.a  
Via degli Agresti 6, 40123 Bologna  
Tel: +39 0516436000 - Fax: +39.051 236507  
E-mail: utp.officine@maccaferri.com

**Marco Vicari**

Ricerca e Sviluppo – Officine Maccaferri S.p.a  
Via degli Agresti 6, 40123 Bologna  
Tel: +39 0516436000 - Fax: +39.051 236507  
E-mail: mvicari.officine@maccaferri.com

## 1. INTRODUZIONE

Oggi giorno i più consistenti lavori stradali riguardano la manutenzione ed il rifacimento di pavimentazioni stradali ammalorate, sebbene la semplice posa di un nuovo strato di asfalto costituisca raramente una soluzione efficace e duratura. Allo scopo di prolungare la vita utile delle pavimentazioni stradali si sono resi disponibili molti materiali, il cui scopo principale è di evitare la propagazione delle fessure.

L'uso dei rinforzi nelle pavimentazioni stradali è aumentato in maniera significativa negli ultimi 30 anni e soprattutto negli ultimi 10 anni il mercato mondiale è stato sommerso da un grosso numero di *prodotti di rinforzo* che sono stati applicati con diversi risultati, non sempre positivi.

variano dalle geogriglie polimeriche al geotessile, fino a includere prodotti in fibre di vetro ed in rete metallica a doppia torsione

Il termine *rinforzo* implica un miglioramento nella capacità portante o strutturale ma, così come avviene per qualunque applicazione di un rinforzo, occorre che il materiale utilizzato sia caratterizzato da una rigidità superiore a quella dei materiali da rinforzare, cioè dei materiali bituminosi. Nella realtà, invece, molti dei cosiddetti prodotti di rinforzo sono caratterizzati da rigidità molto scarse e non comportano direttamente alcun miglioramento strutturale: semplicemente impediscono alcuni processi di dissesto della pavimentazione, quali la propagazione della rottura o la penetrazione dell'acqua all'interno della sovrastruttura stradale. Inoltre essi possono prevenire contaminazioni negli strati mantenendo costanti le caratteristiche prestazionali esistenti.

L'esplosione mondiale nel volume dei traffici e dei carichi assiali stanno rendendo inadeguati i convenzionali metodi di progetto delle pavimentazioni e dei loro materiali e per questo motivo si considera che l'utilizzo di un rinforzo nella sovrastruttura stradale sia adeguato per implementare la resistenza delle pavimentazioni contro una rottura prematura.

## 2. DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TIPI DI RINFORZO

I prodotti di rinforzo maggiormente utilizzati sono:

- SAMI o Stress Absorbing Membrane Interlayers: è un'interfaccia costituito da uno spesso strato di legante bituminoso (normalmente modificato ai polimeri) a cui viene aggiunto ghiaietto prima della rullatura
- Geotessili non tessuti: in genere sono realizzati in polipropilene o poliestere, con spessori di qualche millimetro. Allo scopo di garantirne l'aderenza, è necessario stendere uno strato di bitume (modificato) prima della loro installazione
- Geotessili tessuti: possono essere in fili di poliestere o in fibra di vetro, sono fissati al supporto sottostante mediante la stesa di un'emulsione bituminosa
- Geogriglie: realizzate in poliestere o in polipropilene o in fibre di vetro. La loro adesione al supporto sottostante è fornita dalla stesa di un'emulsione bituminosa; alcune geogriglie sono invece auto adesive
- Reti metalliche a doppia torsione: realizzate con fili in acciaio a forte zincatura, sono rinforzate trasversalmente mediante barrette dello stesso tipo di acciaio utilizzato per la rete. Le reti sono in genere fissate al supporto sottostante mediante chiodatura.

### 3. EFFICACIA DEI VARI MATERIALI DI RINFORZO

Il principale obiettivo di un rinforzo è di incrementare le caratteristiche strutturali delle pavimentazioni flessibili, coi conseguenti benefici:

- Prevenire la riflessione delle fratture.
- Provvedere ad un'uniforme distribuzione del carico sulla superficie fessurata.
- Fornire resistenza al taglio contro l'ormaiamento, specialmente nelle zone con i maggiori carichi di tensioni tangenziali.

Una revisione alla letteratura esistente relativa al rinforzo di pavimentazioni flessibili mostra che le principali funzioni espletate dal rinforzo sono di migliorare la capacità portante della sovrastruttura stradale e di prevenire la rottura riflessiva nella ricopertura dell'asfalto. Il beneficio secondario dovuto all'aumento della resistenza all'ormaiamento, data la difficoltà a quantificarlo, non è in genere calcolato nella fase progettuale e tale omissione ha un forte impatto nell'analisi costi-benefici.

Poiché le pavimentazioni flessibili sono caratterizzate da deformazioni verticali relativamente piccole (0.5-1 mm), le caratteristiche tenso-deformative dei materiali di rinforzo devono essere prese accuratamente in considerazione per poter determinare in modo corretto l'effetto del rinforzo sulla propagazione delle fratture. I rinforzi infatti si deformeranno diversamente a seconda della tensione applicata, la quale varia a seconda della posizione all'interno della sovrastruttura (Figura 1).

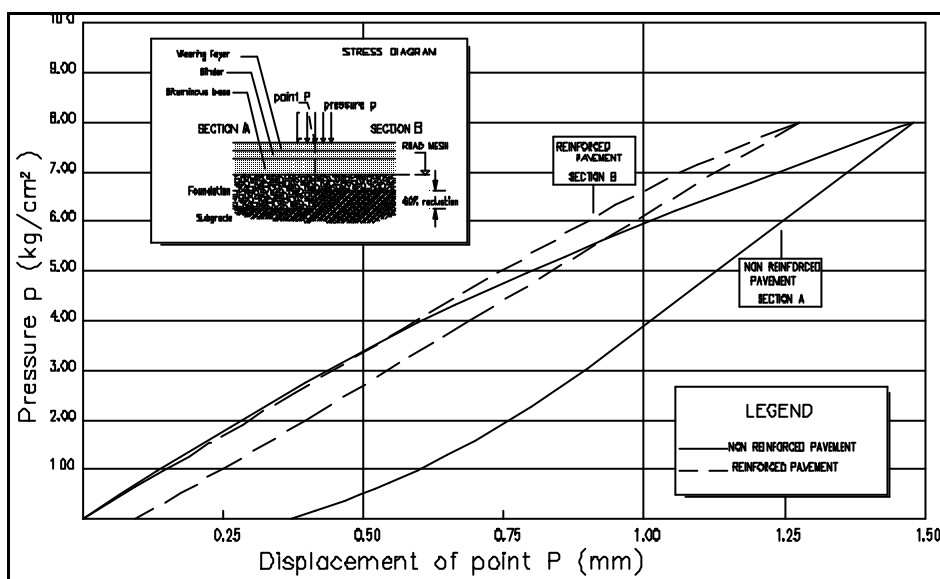


Fig. 1 : Comportamento tenso-deformativo di una pavimentazione rinforzata con Road-Mesh rispetto ad una non rinforzata

La capacità dei rinforzi a resistere alle tensioni dipenderà sia dal tipo di rinforzo che dalla sua posizione: a tale proposito è necessario ricordare che il rinforzo dovrà essere tale che già per piccole deformazioni possa erogare una notevole forza, ovvero deve essere caratterizzato da un'elevata rigidità. Si può infatti osservare che per rigidità dell'ordine di 200 kN/m o inferiori (valori ricorrenti per alcune geogriglie polimeriche) l'efficacia strutturale del rinforzo è pressoché nulla, come confermato sia dalle elaborazioni numeriche che dalle prove su campo reale: il rinforzo non potrà mai

svolgere le sue funzioni strutturali se la pavimentazione fletterà così tanto da rompere gli strati legati prima che la capacità reattiva del rinforzo sia stata innescata.

Per valutare l'efficacia dei vari materiali di rinforzo, si può fare riferimento al comportamento tenso-deformativo dei materiali normalmente utilizzati nella pratica (Fig. 2). I prodotti polimerici mostrano delle deformazioni sotto carico molto elevate e inoltre hanno una forte tendenza al creep, il che significa che essi hanno meno probabilità di prevenire efficacemente le propagazioni di rottura. I rinforzi in fibra di vetro, che non sono mostrati nella figura, giacciono tra la poliammide e l'acciaio ma sono molto fragili: il rinforzo in fibra di vetro non viene usato nelle terre rinforzate proprio a causa dell'alto rischio di rottura durante l'installazione. Tra tutti i materiali l'acciaio ha la migliore potenzialità di rinforzo, poiché presenta un'alta resistenza a trazione con limitate deformazioni.

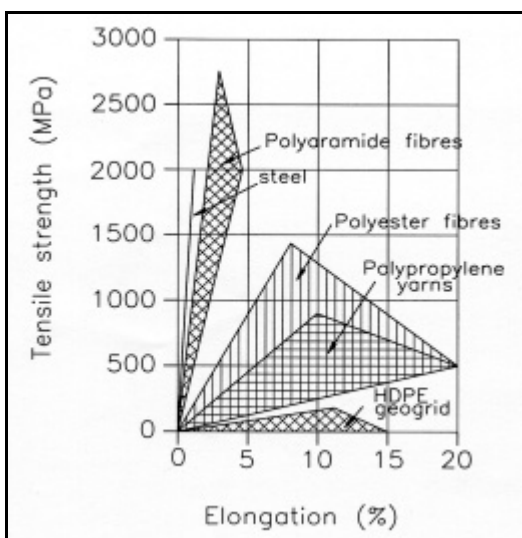


Fig. 2: Caratteristiche tenso-deformative dei materiali di rinforzo

Un'altra considerazione importante per la scelta dei rinforzi, specialmente negli strati legati, è l'interazione (adesione) tra il rinforzo ed il materiale circostante: nel caso degli strati bituminosi ogni discontinuità o mancanza di collegamento, tra il rinforzo e l'asfalto causerà rotture o laminazioni, lasciando filtrare l'acqua nelle pavimentazioni e portando all'inevitabile frattura dell'asfalto. Tra i vari materiali utilizzati la rete metallica presenta un'adesione ai materiali bituminosi estremamente buona, a causa delle larghe maglie della rete che permettono all'asfalto di avvolgerla completamente, riducendo così il rischio di discontinuità all'interfaccia. L'interazione tra rete ed asfalto è stata testata alla Nottingham University, facendo prove su campioni rinforzati con varie tipologie di materiale: le prove di taglio hanno dimostrato che tra tutti i rinforzi il Road-Mesh assicura la migliore aderenza all'interfaccia degli strati bituminosi.

Per quanto riguarda l'ormaiamento esso è essenzialmente una rottura a taglio ed è noto dalla meccanica dei suoli che per rinforzare i terreni contro il taglio, occorre intersecare il piano di taglio con dei rinforzi. La rete metallica raggiunge perfettamente questo obiettivo fintanto che aderisce bene al materiale circostante.

#### 4. CONSIDERAZIONI PROGETTUALI

Tutti i rinforzi per pavimentazioni bituminose fanno affidamento all'interazione tra il rinforzo e l'asfalto (bond strength), alla resistenza a trazione del rinforzo ed ai moduli di

rigidezza dell'asfalto. Gli attuali metodi di progettazione sono incapaci di seguire questi criteri, per cui l'inserimento dei dati da utilizzare negli strati dovrà richiedere verifiche fatte tramite test in laboratorio. Alcuni metodi di progettazione possono incorporare i rinforzi, ma non considerano le loro caratteristiche tenso-deformative e quindi ci appaiono fondamentalmente difettosi.

L'interazione del rinforzo con i materiali della pavimentazione forma un sistema molto complesso e perciò richiede analisi agli elementi finiti per considerare analiticamente le differenze fra i vari tipi di rinforzo. L'uso di metodi FEM è comunque complesso e richiede troppo tempo per poter essere applicabile alla corrente pratica progettuale di pavimentazioni. Sfortunatamente i limiti della teoria elastica lineare, che è solitamente usata per gli studi analitici delle pavimentazioni, non permettono ai materiali di rinforzo di essere inclusi nei calcoli, viceversa è importante notare che binders modificati (che sono un tipo di rinforzo) possono essere accettati dalla teoria lineare elastica.

È stato provato in numerosi studi che il rinforzo in rete metallica protegge la struttura sottostante dai carichi di traffico così come avviene per uno strato tradizionale aggiunto: in altre parole il rinforzo agisce come uno strato strutturale aggiunto all'interno del sistema di pavimentazione e distribuisce parte del carico. In questo approccio semplicistico sarebbe facile modellare la rete metallica come uno strato aggiuntivo equivalente all'interno dei modelli multistrato correntemente usati per progettare strutture di pavimentazione. L'elemento chiave di questo approccio è la determinazione empirica delle proprietà che lo strato equivalente può avere: il comportamento della rete è differente a seconda che questa venga installata in uno strato di asfalto o in uno granulato o cementato, e questi diversi fattori determinano le proprietà dello strato elastico lineare equivalente.

Il nuovo concetto dello strato strutturale equivalente conduce ad alcune osservazioni circa le pavimentazioni rinforzate con rete metallica. Una pavimentazione rinforzata con rete metallica avrà una durata più lunga rispetto all'equivalente struttura non rinforzata, senza comportare un aumento dello spessore delle strutture di pavimentazione: questo beneficio è quantificabile in termini di approccio lineare elastico. La presenza del rinforzo, allo stesso tempo, proteggerà anche la superficie di interfaccia da rotture premature, che potrebbero permettere il passaggio di acqua e il collasso degli strati non legati.

## **5. EFFETTI DELLA PRESENZA DEL ROAD-MESH**

L'impiego del Road-Mesh consente di prolungare la vita utile della struttura stradale attraverso i seguenti due meccanismi:

A- MIGLIORAMENTO STRUTTURALE: mediante l'aumento della portanza del pacchetto stradale

B- COMPORTAMENTO ANTIRIFLESSIVO: impedendo la riflessione in superficie delle fratture.

La valutazione dell'effetto positivo del Road-Mesh all'interno di una sovrastruttura stradale può essere ottenuta mediante analisi FEM: l'analisi del diagramma delle componenti normali di tensioni agenti nei piani paralleli alla stratificazione della sovrastruttura evidenzia che la zona all'intorno dell'intradosso dello strato di base è soggetta a sforzi di trazione.

La presenza nella pavimentazione di un elemento quale il “Road-Mesh” con un’elevata rigidità assiale consente di erogare forze significative anche per piccole deformazioni, limitando le forze trasmesse alla fondazione.

Anche nel caso di allargamenti della sede stradale, dove il problema principale è quello dei cedimenti differenziali tra il vecchio ed il nuovo rilevato con la risalita in superficie delle fratture al contatto tra vecchio e nuovo rilevato, l’interposizione di un elemento metallico ad alta rigidità impedisce la riflessione di fratture longitudinali e rallenta la formazione d’ormae, sfondamenti ed avvallamenti.

## **6. ESAME DI INTERVENTI CON ROAD-MESH IN OPERA**

Sono stati presi in esame alcuni interventi realizzati nel 1996 che rappresentavano per caratteristiche di carico stradale, traffico giornaliero, caratteristiche geomeccaniche del sottofondo, temperature d’esercizio, caratteristiche geomeccaniche e geometriche (spessori) dei vari materiali costituenti il pacchetto pavimentazione e richieste specifiche degli Enti proprietari delle opere, le condizioni maggiormente pesanti e quindi più sfavorevoli che dessero informazioni più rappresentative sul comportamento nel tempo di pavimentazioni bituminose flessibili rinforzate con l’utilizzo del RoadMesh:

- Marzo 1996; ANAS Compartimento Autostrada A3 SA-RC  
Gioia Tauro (RC) Corsia SUD (2000 m<sup>2</sup>)
- Giugno 1996; ANAS Compartimento Autostrada A3 SA-RC  
Svincolo Cosenza SUD (1350 m<sup>2</sup>)
- Luglio 1996; ANAS Compartimento per la Viabilità della Calabria (Catanzaro)  
SS 106 Crotona (3625 m<sup>2</sup>)

In particolare questi tratti sono stati monitorati trimestralmente, confrontandoli con interventi adiacenti eseguiti con rifacimenti tradizionali (senza l’interposizione del rinforzo RoadMesh).

Le osservazioni sulle sovrastrutture stradali sono state le seguenti:

- *presenza di retinature*
- *presenza di buche*
- *presenza di ormaie*
- *presenza di fratture longitudinali e/o trasversali*
- *presenza di avvallamenti e/o sfondamenti*
- *stato complessivo della pavimentazione bituminosa.*

Dall’analisi dei dati risulta che a distanza di quattro anni dagli interventi i tratti analizzati sono ancora in buone condizioni, mentre gli interventi di manutenzione adiacenti (non rinforzati) hanno richiesto rifacimenti (seppur non profondi) con ciclicità annuale. Si può quindi affermare che l’applicazione del rinforzo in rete metallica RoadMesh, negli interventi presi in esame, ha garantito un aumento di durabilità del corpo stradale di almeno 4 volte quello ottenuto con interventi tradizionali non rinforzati.

## **7. RICERCHE SUL ROAD-MESH CONDOTTE DALLA MACCAFERRI**

Per quantificare nel dettaglio i benefici economici e strutturali del rinforzo in rete metallica, la Maccaferri è impegnata in un vasto programma di ricerca (sul campo e in laboratorio) al fine di ottenere una metodologia di progetto delle pavimentazioni bituminose rinforzate che permetta di considerare i benefici strutturali della rete metallica nei confronti dell'aumento della vita utile della sovrastruttura stradale.

Nel seguito sono riportate le schede riassuntive delle principali ricerche svolte.

<b>TITOLO</b>	<b>Valutazione del comportamento a fatica di conglomerati bituminosi per effetto di un rinforzo metallico</b>
<b>REALIZZATO DA</b>	ENEL-HYDRO
<b>RESPONSABILE</b>	Ing. G. Baldi
<b>ANNO</b>	1999

## DESCRIZIONE

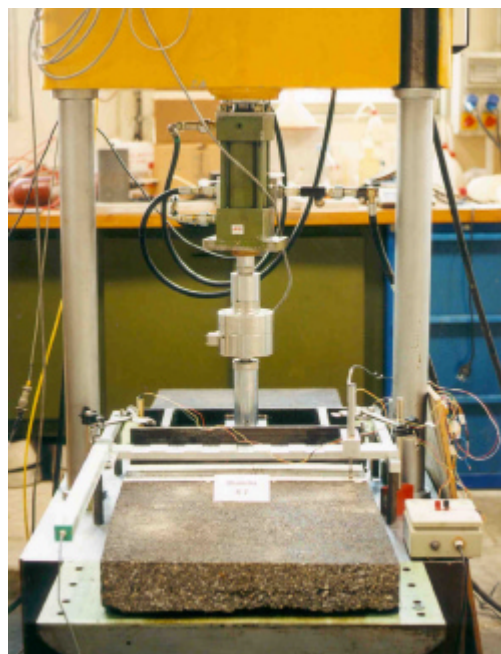
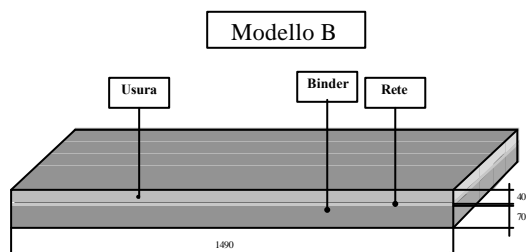
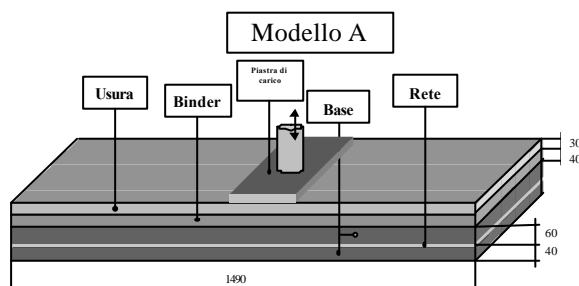
Le attività hanno inteso modellare una sollecitazione ciclica su modelli bituminosi per simulare il passaggio dei veicoli.

Nel dettaglio si sono svolte le seguenti attività:

- definizione delle caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi;
- ricostruzione di due tipologie di manto stradale;
- applicazione carichi;
- esecuzione doppia serie di prove sul modello (senza e con rinforzo):

### Tipologia dei modelli

- Modelli A (3) 100 mm di base, 40 mm di binder, 30 mm di usura, con il rinforzo a due diverse altezze (BxL = 550x1490 mm). I campioni sono stati adagiati su uno strato di sabbia silicea di spessore 9 cm.
- Modelli B (3) 70 mm di binder, 40 mm di usura con il rinforzo a due diverse profondità (BxL = 550x1490 m). I campioni sono stati adagiati su sottofondo infinitamente rigido.
- Modelli BC (4) campioni circolari (diam. 575 mm) con 70 mm di binder e 40 mm di usura, adagiati su sottofondo infinitamente rigido.





## RISULTATI

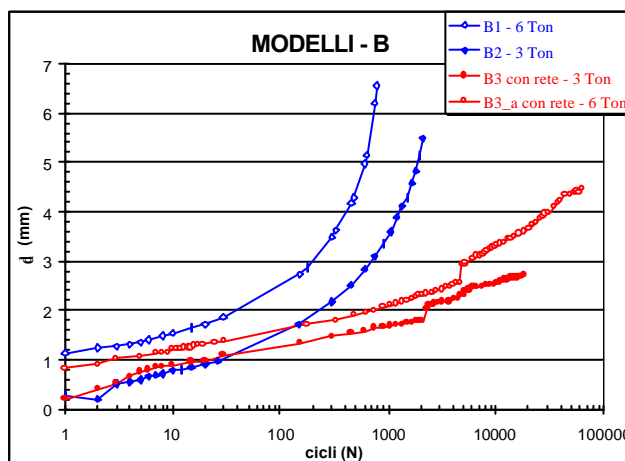
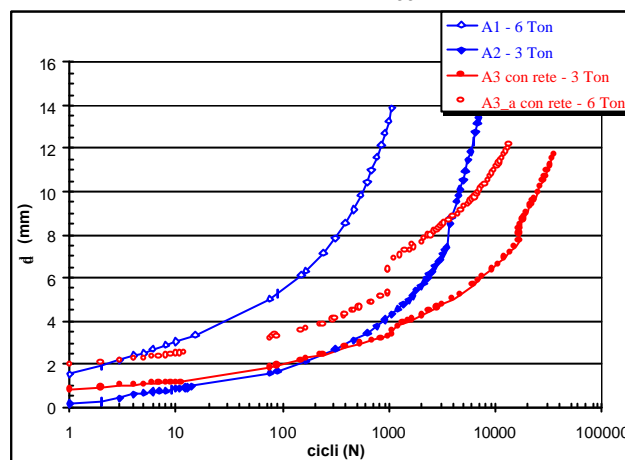
Per tutte le configurazioni sono state misurate le deformazioni all'estradosso dello strato di usura dopo l'applicazione ciclica di carichi pari a 3 ed a 6 tonnellate.

I risultati mostrano una sensibile riduzione dei cedimenti a parità di cicli applicati.

Se invece si vuole avere un'indicazione **sull'incremento di vita utile (R) della pavimentazione con rinforzo rispetto a quella senza rinforzo** (in termini di cicli necessari all'ottenimento di un cedimento prefissato), si ottiene:

$$\text{Modelli A: } R_{3t} = 6.7$$
$$R_{6t} = 11.7$$

$$\text{Modelli B: } R_{3t} = 5.5$$
$$R_{6t} = 20$$



Incremento di vita utile della pavimentazione rinforzata: prove su modelli A e B

<b>TITOLO</b>	<b>Asphalt Reinforcement</b>
<b>REALIZZATO DA</b>	Nottingham University - UK
<b>RESPONSABILE</b>	Prof. Brown Gruppo di Lavoro: N.H.Thom, P.J.Sanders, B.V. Brodrick
<b>ANNO</b>	1998-1999

## DESCRIZIONE

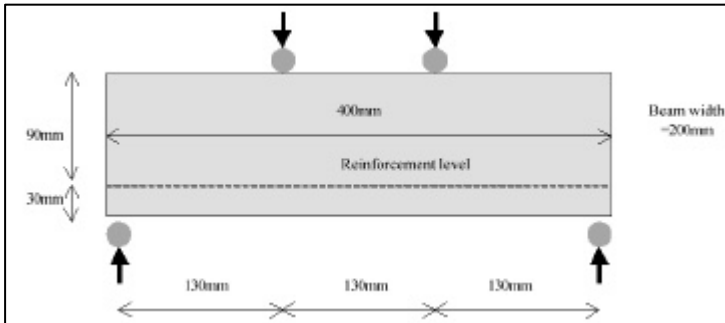
Scopo principale della ricerca, cofinanziata dalla Maccaferri, era quello di portare la progettazione di pavimentazioni rinforzate da metodologie empiriche ad un approccio basato su evidenze scientifiche.

La ricerca ha considerato vari materiali di rinforzo: geogriglie in PP ed in FRP, geotessili e rinforzi in rete metallica (Road-Mesh) e si è svolta nelle seguenti fasi:

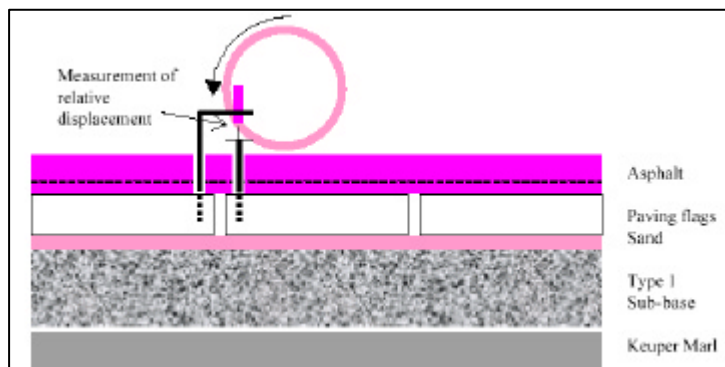
- Test di laboratorio per la valutazione delle caratteristiche di un asfalto rinforzato;
- Modellazione FEM-2D (codice CAPA)
- Definizione dei criteri progettuali di un asfalto rinforzato, mediante la creazione di un software (OLCRACK).

I numerosi test hanno riguardato:

- **Prove di taglio** per valutare l'aderenza del rinforzo all'interfaccia;
- **Prove di flessione (4 point bending test) su travetti** per valutare la resistenza a fatica;
- **Prova in scala 1:2 su pavimentazione** (Pavement Test Facility, PTF)



4 Point Bending Test

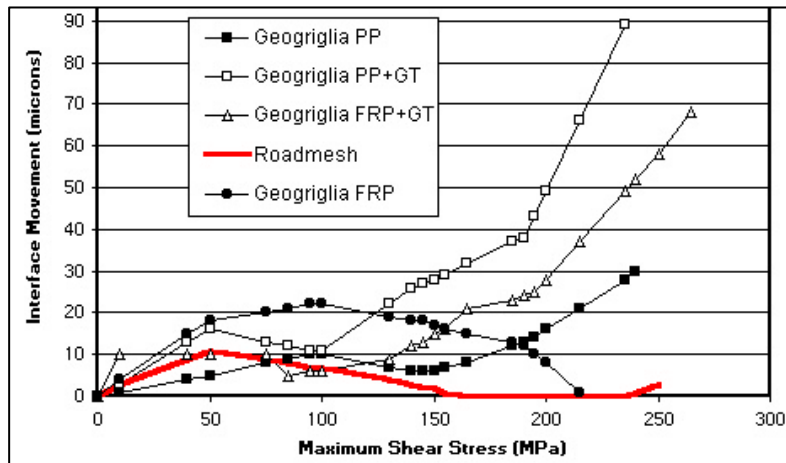


Sezione del PTF

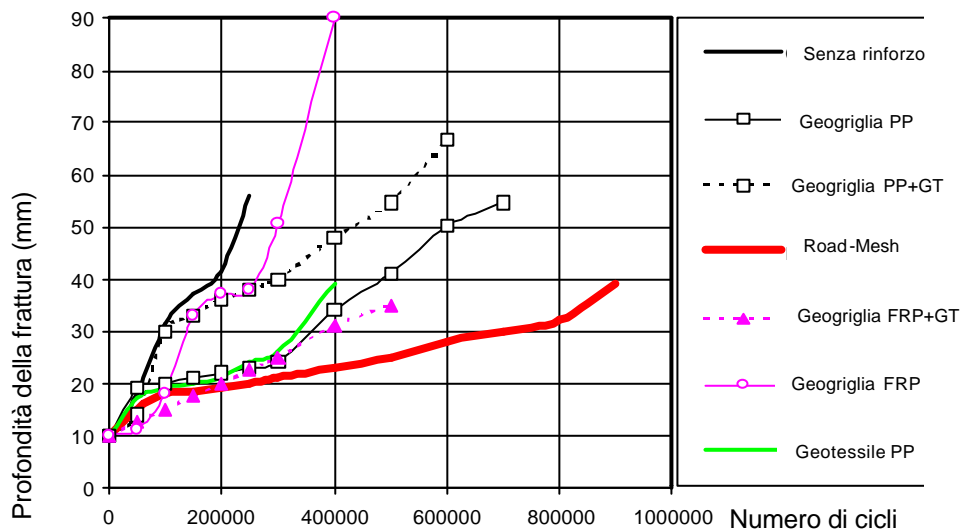
## RISULTATI

Le prove di flessione su travetto hanno evidenziato come il Road-Mesh sia il rinforzo che aumenta maggiormente la resistenza alla propagazione della frattura **con un fattore Incremento di Durata (rispetto alla sezione di controllo) pari a 3.**

Le prove di taglio hanno dimostrato che tra tutti i rinforzi il Road-Mesh **assicura la migliore aderenza all'interfaccia degli strati bituminosi.**



Le prove su PTF hanno confermato i risultati dei precedenti tests evidenziando che, mentre il miglioramento alla resistenza all'ormaiamento è stato simile tra i diversi materiali di rinforzo, il Road-Mesh **ha mostrato il maggiore incremento di vita utile risultando pari a 3 volte rispetto alla pavimentazione non rinforzata.**



I risultati della sperimentazione sono stati tradotti nel software per la progettazione OLCRACK

**TITOLO****Smart Road Project (USA)****REALIZZATO DA**

Virginia Department of Transportation, Virginia Tech, Federal Highway Administration

**RESPONSABILE**

Prof. I. Al-Qadi (Leader del Gruppo di Lavoro sulle pavimentazioni)

**ANNO**

1999-2002

**DESCRIZIONE**

La Smart Road è un tratto autostradale di nuova costruzione ad accesso limitato e di lunghezza 9,15 km, che collega la Interstate 81 con Blacksburg, Virginia.

La Smart Road ha due obiettivi principali:

collegare Blacksburg alla I-81

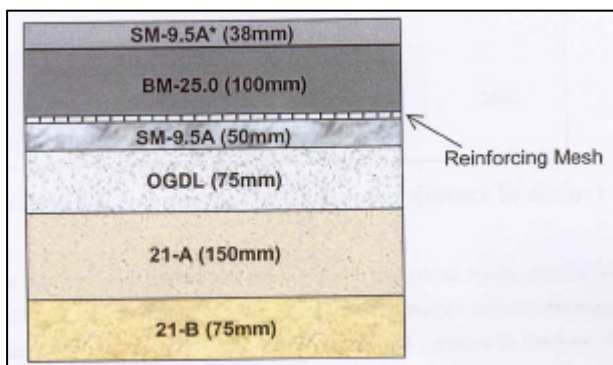
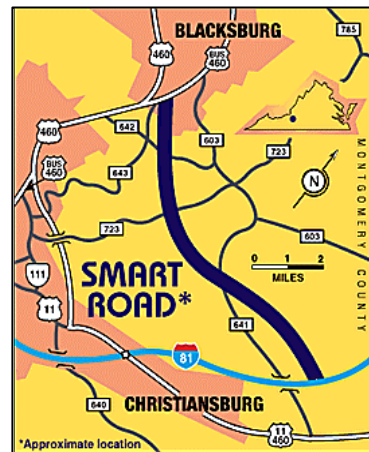
- offrire ai ricercatori un campo di sperimentazione in scala
- reale per verificare lo stato dell'arte sulle tecnologie di trasporti.

La Smart Road prevede l'impiego di 14 tipologie di pavimentazioni stradali: 12 flessibili, 1 rigida continua e 1 rigida a giunti.

Ogni sezione è lunga 100 m ed è monitorata da una miriade

di strumenti: celle di carico, accelerometri, rilevatori di traffico, igrometri, estensometri, ecc. Tutti gli strumenti

sono inseriti all'interno della pavimentazione durante la costruzione.

**OBIETTIVI**

Poiché allo stato attuale è difficile prevedere in anticipo quando una pavimentazione richiede lavori di manutenzione, i gestori delle infrastrutture stradali (DOT) sono costretti ad intervenire quando le pavimentazioni sono già deteriorate. La ricerca permetterà di sviluppare piani di manutenzione basati su accurati criteri prestazionali invece che sull'emergenza.

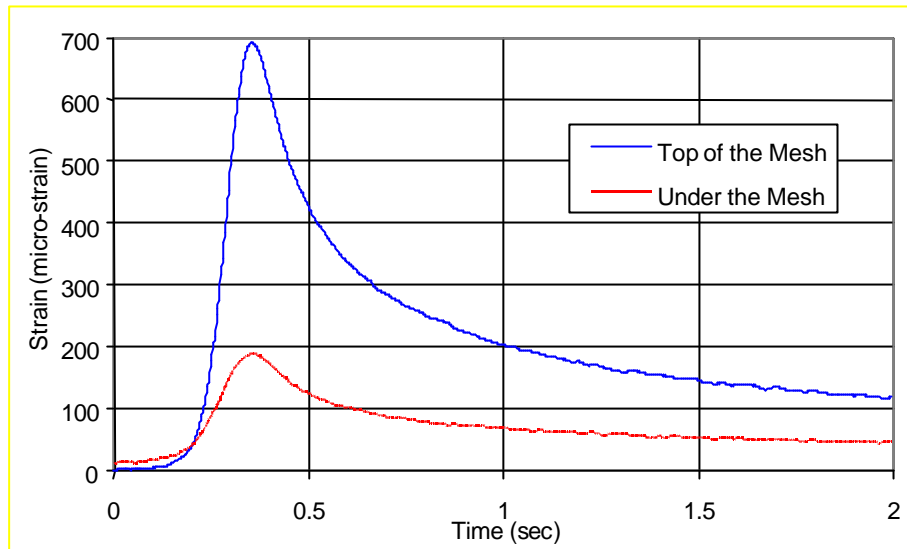
Tra i tratti monitorati, sono previsti 50 m rinforzati con RM-S e 50 m rinforzati con RM-L, con determinazione delle caratteristiche strutturali mediante FWD, oltre che a misure di tensioni, deformazioni e temperature.

I rinforzi RM sono posizionati a 15 cm dalla superficie all'estradosso del primo strato di base.

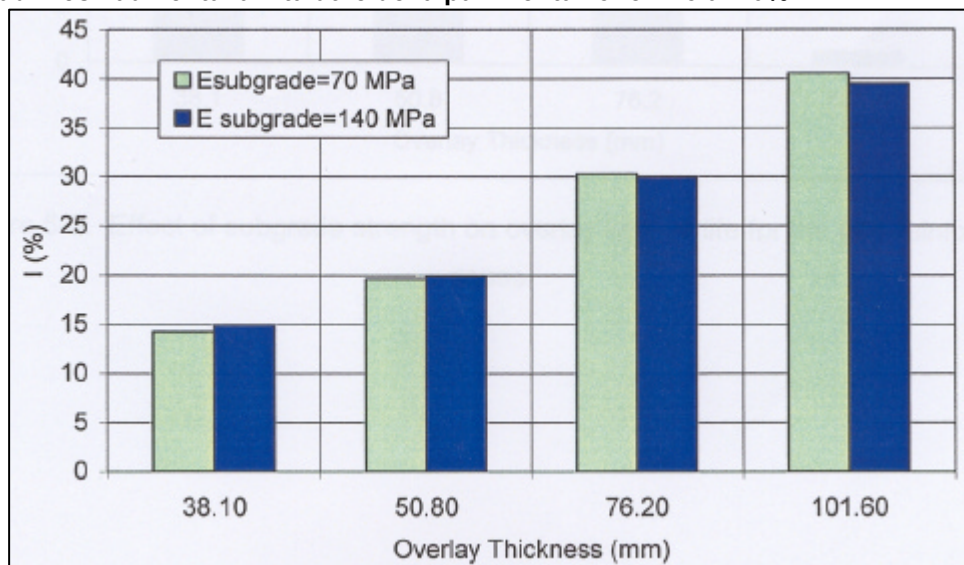
## RISULTATI

La sperimentazione è ancora in corso (termine previsto a fine 2001) ma i risultati preliminari indicano che:

- il Road-Mesh diminuisce le deformazioni dell'asfalto del 72% all'interfaccia;



- il Road-Mesh aumenta la vita utile della pavimentazione fino al 40%



Aumento della vita utile della pavimentazione per differenti valori di E e della profondità di posa

<b>TITOLO</b>	<b>Effetto della presenza del Road-Mesh sulla propagazione della frattura</b>
<b>REALIZZATO DA</b>	Università degli Studi di Cagliari - Dip.to di Ingegneria del territorio
<b>RESPONSABILE</b>	Prof. Ing. F. Annunziata Gruppo di Lavoro: Ingg. M.Coni, F. Maltinti, F. Pinna, S. Portas
<b>ANNO</b>	1999

## DESCRIZIONE

La ricerca è strettamente collegata alla precedente e ne rappresenta una continuazione.

L'analisi FEM ha riguardato lo sviluppo di un modello tridimensionale cui è stata considerata la presenza di una frattura. Lo studio è stato di tipo parametrico modificando la posizione della rete all'interno dello strato di base e la presenza o assenza del rinforzo metallico Road-Mesh. Inoltre l'analisi è stata integrata per valutare l'effetto dinamico del carico sull'apertura della frattura.

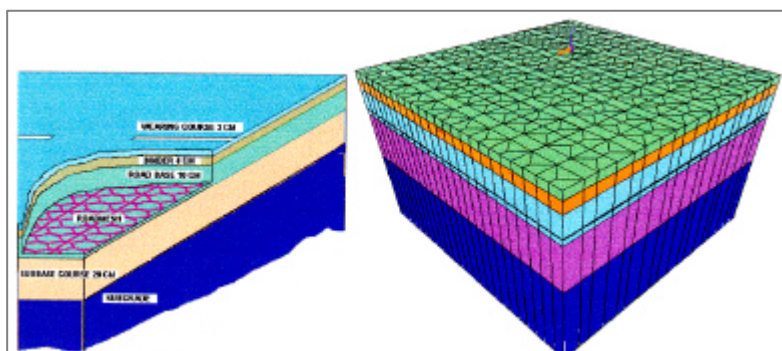
Nella figura è rappresentato il modello tridimensionale sviluppato, gli spessori e i materiali dei vari strati.

E' stata modellata tridimensionalmente una porzione finita (0.96x0.96x0.77 m) di pavimentazione assumendo condizioni di vincolo al contorno tali da simulare la condizione confinata del modello reale. Si è fatto uso di elementi finiti tipo BRICK assumendo per i materiali un comportamento elasto-plastico. Si è inoltre introdotto nell'analisi dinamica armonica una certa percentuale di smorzamento per simulare il comportamento viscoso e dissipativo dei conglomerati bituminosi.

La tabella mostra le caratteristiche dei materiali.

Strato	Spessore (cm)	Modulo (Gpa)	Coeff. Poisson	Peso spec. Kg/m <sup>3</sup>	Angolo d'attrito	Coesione MPa
Usura	3	2,7	0,47	1700	43°	0.5
Binder	4	2,7	0,47	1600	43°	0.5
Base	10	1,6	0,45	1500	45°	.35
Fondazione	20	0,2	0,35	1400	47°	0.01
Sottofondo	40	0,1	0,35	1300	30°	0.025

Sulla struttura è stato applicato un carico di 40 KN uniforme su un'impronta circolare di raggio 0,16 m. Il rinforzo metallico, quando presente, è stato simulato con elementi finiti tipo BEAM, assumendo per il materiale un comportamento elastico lineare.



## RISULTATI

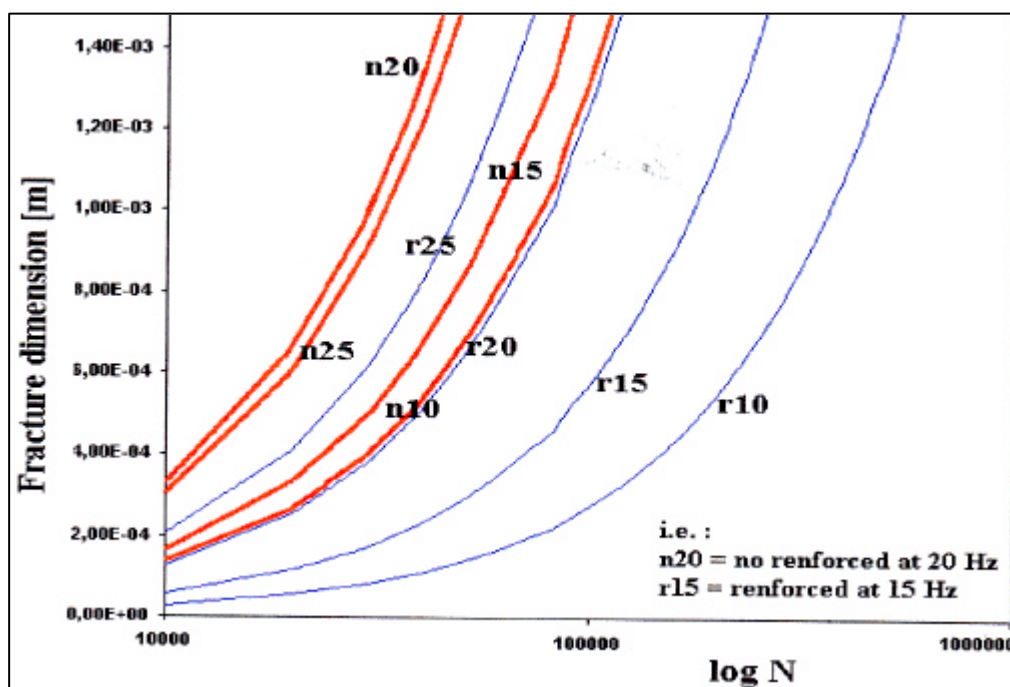
La dinamicità del carico ha grande influenza sugli effetti strutturali. Con modelli statici di dimensionamento delle pavimentazioni risulta un legame diretto fra carico applicato e sollecitazione.

Le analisi statiche condotte hanno mostrato che il rinforzo riduce le deflessioni verticali (11,8%) e, in modo maggiore, lo stato di trazione orizzontale negli strati di base e fondazione mentre risulta ininfluente ai fini del contenimento delle sollecitazioni di compressione verticale.

Ulteriori simulazioni sono state sviluppate per valutare l'apertura delle fratture al crescere della frequenza del carico applicato. Le curve ottenute per valori diversi della frequenza dal carico, testimoniano la notevole importanza di questo parametro. Per ogni frequenza viene rappresentata la curva relativa al caso non rinforzato ed al caso rinforzato. Il rinforzo determina minor incrementi nelle dimensioni della frattura per qualsiasi frequenza.

I risultati mostrano il contributo offerto dal rinforzo nel limitare l'apertura delle fratture e nell'incrementare la vita utile a fatica della pavimentazione successivamente alla formazione delle prime fessurazioni con i valori seguenti di aumento della vita utile (rapporto R) tra il numero di cicli necessario per avere una frattura di lunghezza 1 mm

<b>10 Hz</b>	<b>R = 12</b>
<b>15 Hz</b>	<b>R = 3,0</b>
<b>20 Hz</b>	<b>R = 2,83</b>
<b>25 Hz</b>	<b>R = 2</b>



Influenza del rinforzo sulla vita utile

## 8. CONCLUSIONI

Prendendo spunto dalle esperienze internazionali in termini sia di applicazioni che di ricerche, possiamo concludere che la rete metallica permette una notevole riduzione dei costi in termini di:

- Riduzione dello spessore degli strati stabilizzati
- Miglioramento delle caratteristiche meccaniche degli strati bituminosi
- Aumento della vita utile

Per quantificare nel dettaglio i benefici economici e strutturali del rinforzo in rete metallica, la Maccaferri è impegnata in un vasto programma di ricerca (sul campo e in laboratorio) al fine di ottenere una metodologia di progetto delle pavimentazioni bituminose rinforzate che permetta di considerare i benefici strutturali della rete metallica nei confronti dell'aumento della vita utile della sovrastruttura stradale.