

**asphaltica**  
INTERNATIONAL ASPHALT INDUSTRY EXHIBITION



3-7 MAY, 2023  
VERONA, Italy

**ON THE  
WAY**

TO SUSTAINABLE ROADS



## **Calibrazione mediante “Reverse Engineering” del metodo calcolo semplificato di pavimentazioni stradali rinforzate con geocomposito Autotene Asfaltico Antipumping HE/TVP**

- **Prof. Francesco Canestrari**
- **Università Politecnica delle Marche**
  
- **Danilo Valerio**
- **INDEX SpA**

**3 maggio 2023**

# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio
- Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio
- Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

# Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale



# Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale



Soluzioni?? → **FATTIBILITÀ TECNICA + SOSTENIBILITÀ ECONOMICA**



# Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale

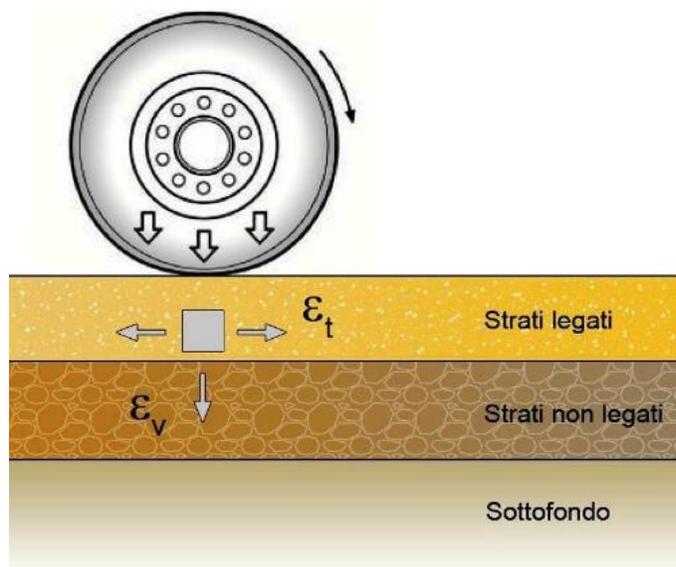


SISTEMA DI RINFORZO

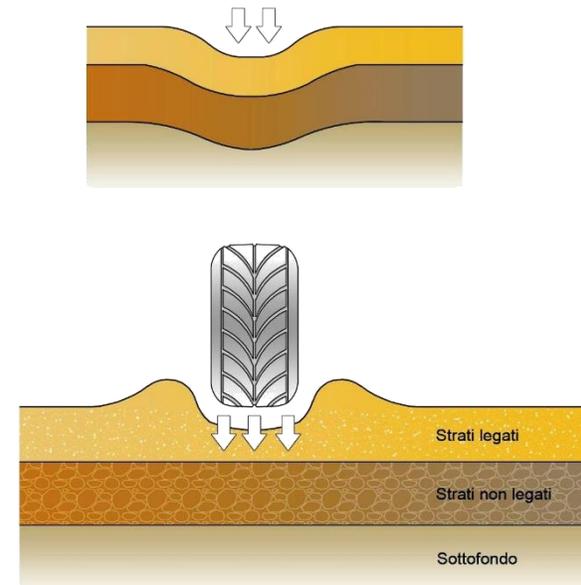


ASSORBIRE TENSIONI E DEFORMAZIONI ORIZZONTALI  
PREVENENDO LA FORMAZIONE DI DISSESTI

☐ Aumento **RESISTENZA A FATICA**



☐ Diminuzione **ORMAIAMENTO**



# Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale



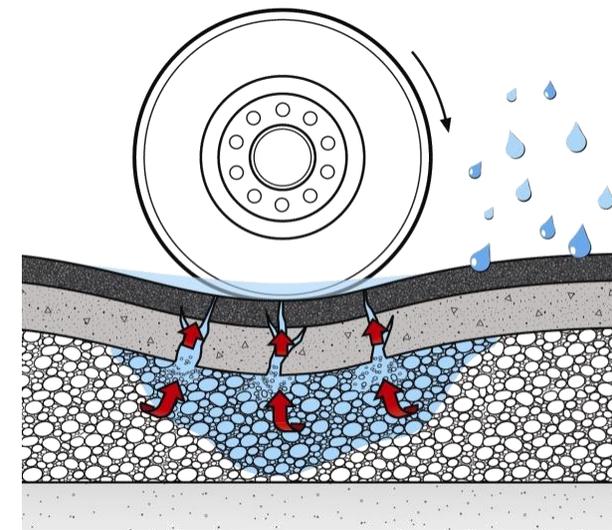
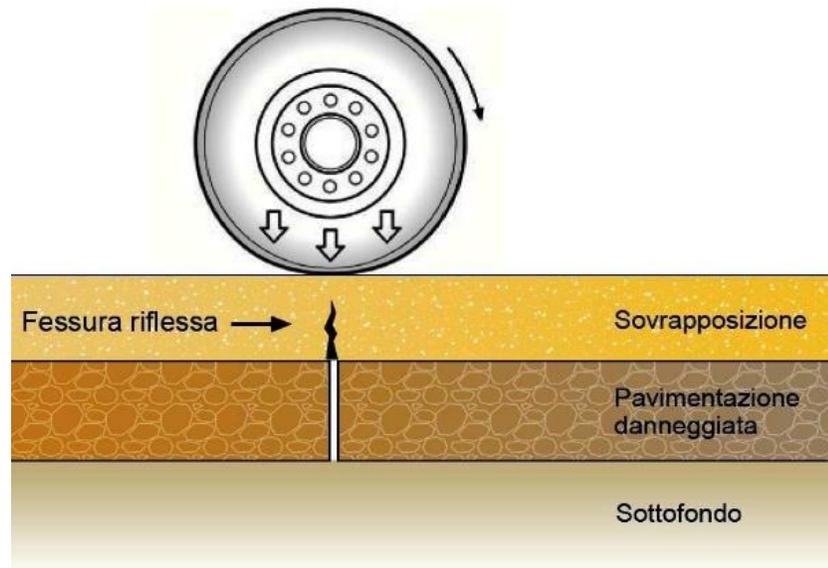
**SISTEMA DI RINFORZO**



ASSORBIRE TENSIONI E DEFORMAZIONI ORIZZONTALI  
PREVENENDO LA FORMAZIONE DI DISSESTI

☐ Limitazione **FESSURE DA RIFLESSIONE**

☐ Diminuzione **EFFETTO PUMPING**



**N.B. → DISCONTINUITA' TRA GLI STRATI**

# Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale

Valutazione prestazionale avanzata (i.e. resistenza a flessione e a taglio) di sistemi bi-strato RINFORZATI costituiti da materiali bituminosi.



## OTTIMIZZAZIONE SPERIMENTALE DI SISTEMI DI RINFORZO

DETERMINAZIONE DI PARAMETRI PRESTAZIONALI AI FINI DELLA CORRETTA  
APPLICAZIONE DEI GEOCOMPOSITI NELLE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI

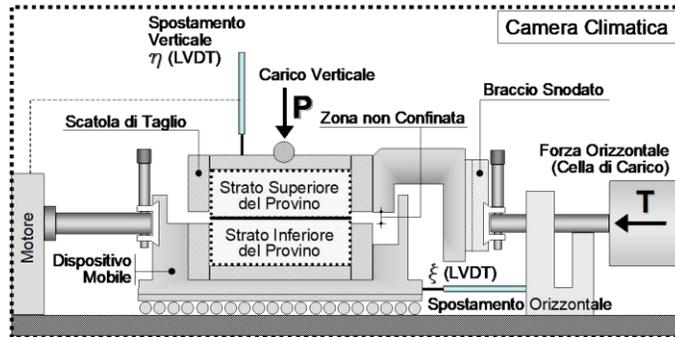
# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- **Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi**
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio
- Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

# Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi

## Taglio Interfaccia (UNI/TS 11214)

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v = 2.5\text{ mm/min}$ ;  $\sigma = 0.2\text{ MPa}$



## Carichi ciclici flessionali ( $F_f$ )

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $f = \dots$



Roller Compactor (UNI EN 12697-33)

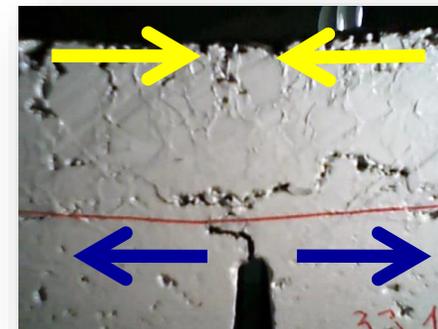
## Flessione a rottura (3PB)

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v = 50.8\text{ mm/min}$



## Fessurazione di Riflessione

$T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 660\text{ N}$ ; 21 cicli/min



Oltre 12 anni di esperienze

# Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi

## Obiettivo

### **Caratterizzazione prestazionale di laboratorio**

a taglio, flessione e fessurazione di sistemi bistrato rinforzati

+

### **Monitoraggio di tronchi sperimentali in esercizio**

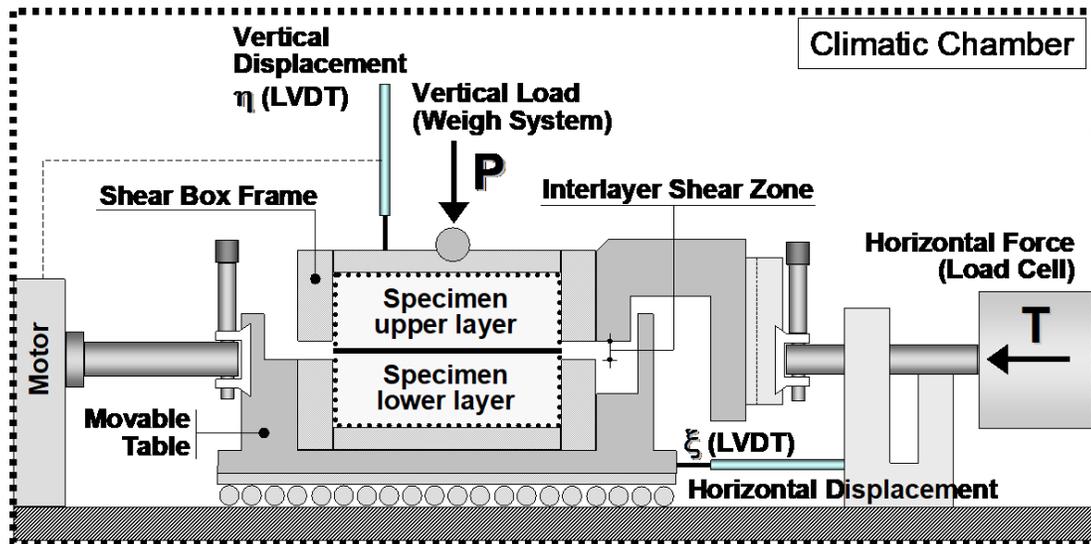


**parametri significativi ai fini del  
dimensionamento delle pavimentazioni rinforzate**

con geocompositi INDEX

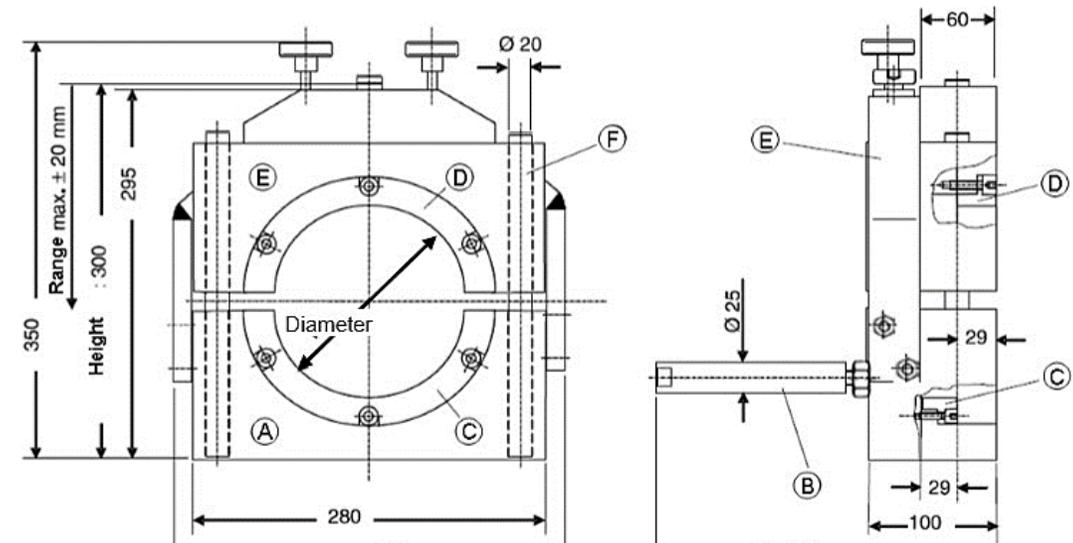
# Caratterizzazione avanzata a taglio

## ❑ ASTRA test – UNI/TS 11214



- Specimens prepared with materials actually used in the field or derived from cores;
- Boundary conditions:  
 GEOMETRIC (loading and configuration);  
 ENVIRONMENTAL (temperature -20/+60 °C and R.H.);
- Loading rate = 2.5 mm/min in standard conditions

## ❑ Leutner test – (BS EN 12697-48)



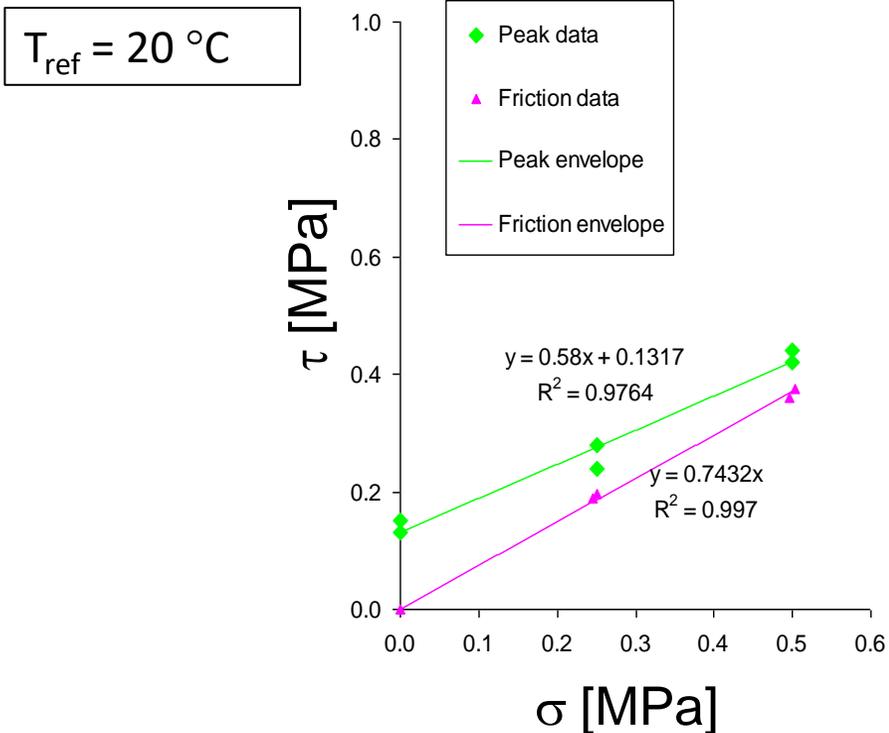
- Specimens prepared with materials actually used in the field or derived from cores;
- Boundary conditions:  
 GEOMETRIC (loading and configuration);  
 ENVIRONMENTAL (temperature 20 °C and R.H.);
- Loading rate = 50 mm/min in standard conditions

# Caratterizzazione avanzata a taglio

## Prestazioni a Taglio di Interfacce Rinforzate

Involuppo di picco e di attrito

Parametri di resistenza



- ✓ Taglio puro  $\rightarrow c_0$
- ✓ Angolo di attrito di picco  $\Phi_p$
- ✓ Angolo di attrito residuo  $\Phi_{res}$

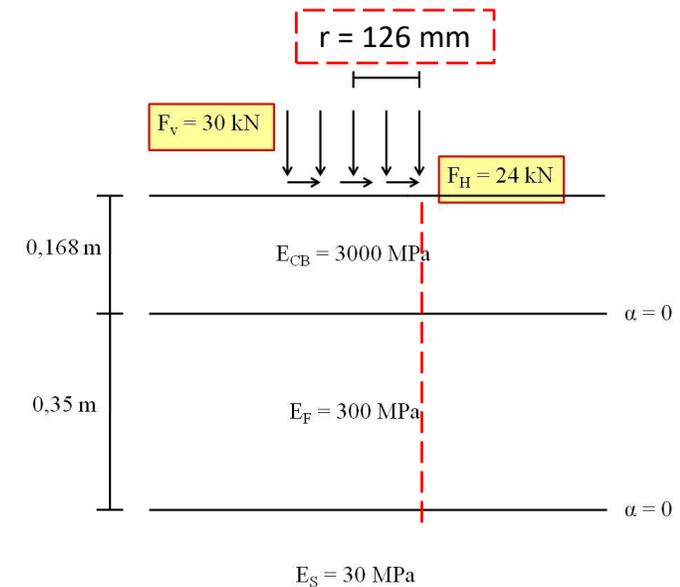
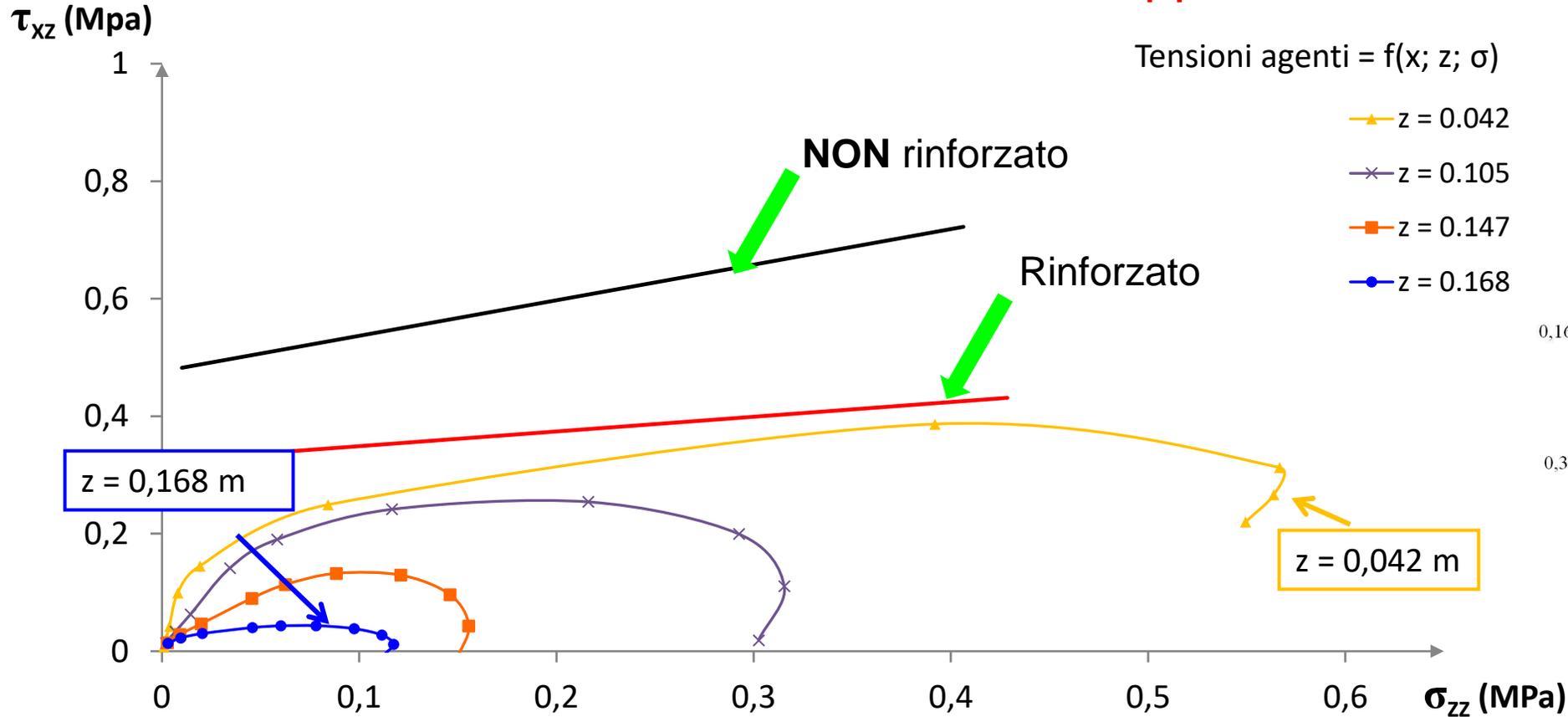
Leggi di resistenza

$$\tau_p = c_0 + \sigma \tan \phi_p$$

$$\tau_{res} = \sigma \tan \phi_{res}$$

# Caratterizzazione avanzata a taglio

## Stato tensionale e involuppi di resistenza



1. **Discontinuità** tra gli strati (resistenza a taglio funzione di T)
2. Evitare **installazioni superficiali** del geocomposito
3. Valutare il comportamento a taglio **in presenza di SFORZO NORMALE**

# Caratterizzazione avanzata a taglio

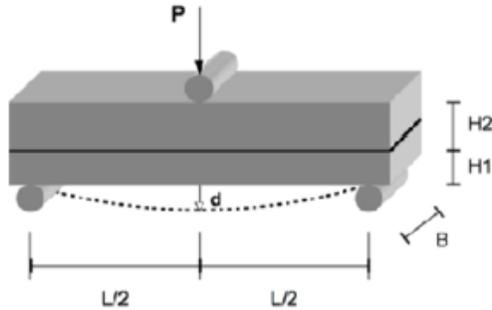
## Riepilogo Risultati Sperimentali

- I geocompositi riducono l'aderenza all'interfaccia
- Applicazione a profondità minima  $\geq 7,5$  cm
- I risultati risentono del disturbo arrecato durante i prelievi
- Risultati di laboratorio (nuovo su nuovo) superiori a quelli in sito (nuovo su nuovo)
- Limiti di capitolato specifici per «prequalifica» e «carotaggi in sito»

Requisiti resistenza a taglio interfacce con geocompositi		
<i>Fase di Controllo</i>	Leutner (SN 670461) 20°C; 50 mm/min	ASTRA (UNI/TS 11214) 20°C; 2,5 mm/min; 0,2 MPa
Carotaggi in sito	$\geq 0,50$ MPa	$\geq 0,30$ MPa
Prequalifica	$\geq 0,70$ MPa	$\geq 0,40$ MPa

# Caratterizzazione avanzata a flessione

## □ Prove 3-point bending (3PB)



Prova statica :

- $V = 50,8 \text{ mm/min}$

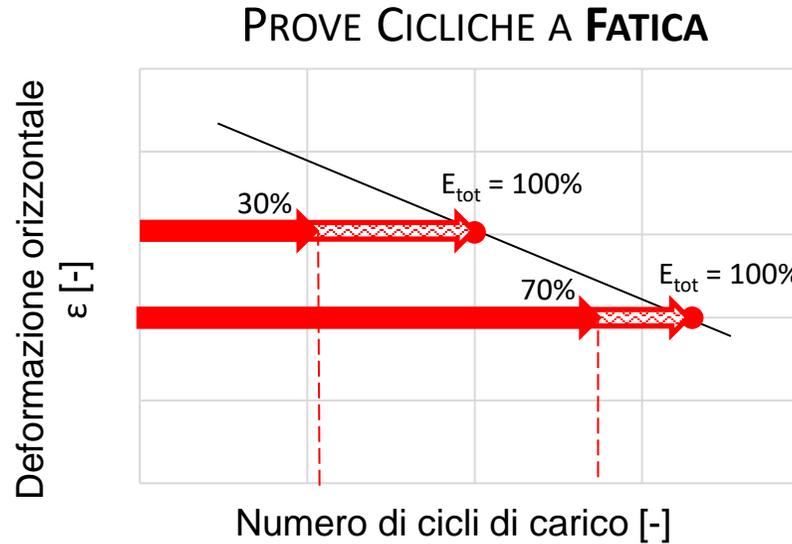
Provini prismatici:

- $10 \text{ cm} \times 30,5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$   
(larghezza x lunghezza x altezza)
- Condizionati a  $20^\circ\text{C}$

Output della prova:

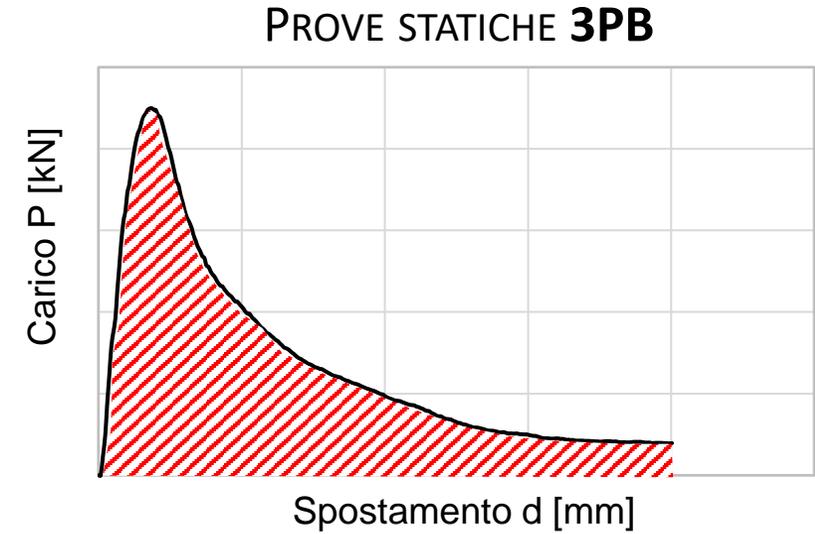
- Curve carico – spostamento

## Prestazioni a flessione 3PB Vs carichi ciclici a fatica



applicazione ciclica di  $\sigma < \text{resistenza max}$

$\Sigma$  energia accumulata ad ogni ciclo



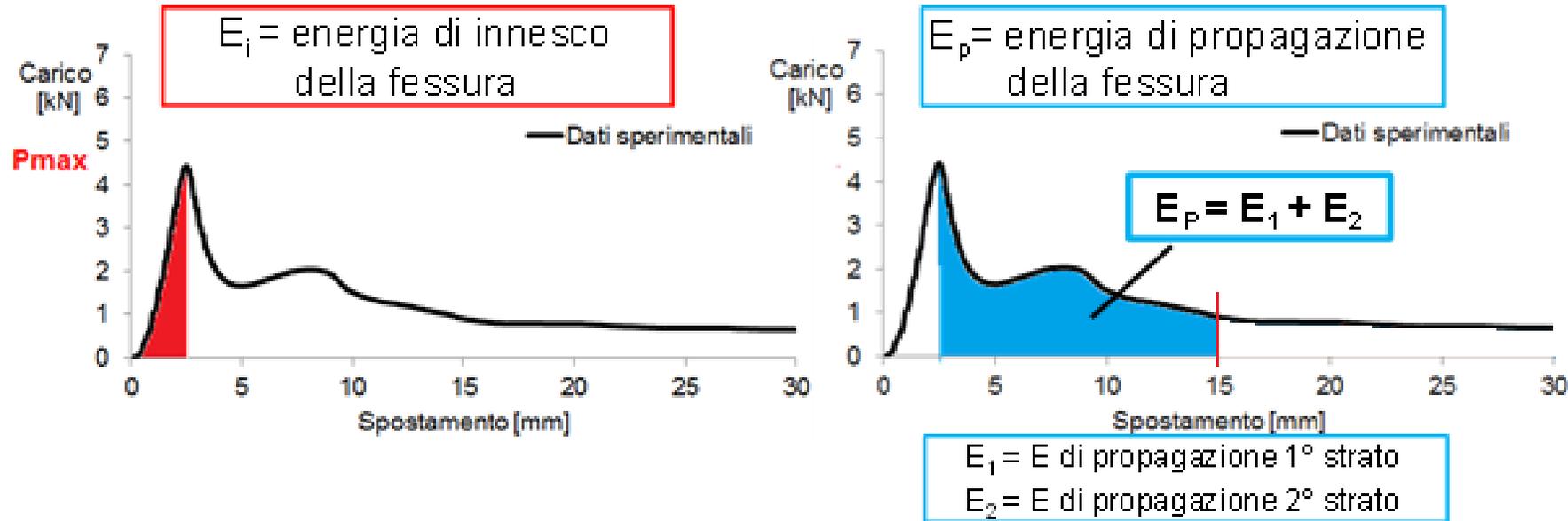
carico statico a rottura

energia specifica di rottura

**Capacità resistente del sistema nei confronti della fessurazione**

# Caratterizzazione avanzata a flessione

## Interpretazione Energetica prove 3PB



L'energia di propagazione della fessura si ricava come

$$E_p = E_1 + E_2$$

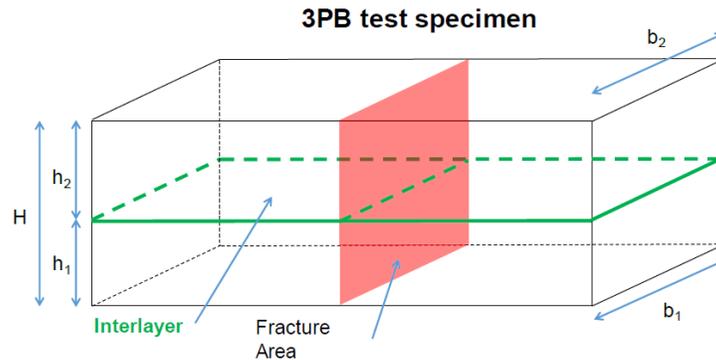
$$E_p = E_{tot} - E_i$$

Per  $E_{tot}$  si considera la curva fino a uno spostamento di 15 mm.

# Caratterizzazione avanzata a flessione

## Interpretazione Energetica prove 3PB

Normalizzazione delle energie rispetto le dimensioni reali del provino



Per il non rinforzato N :

$$E_p^{NR} = E_1^{NR} + E_2^{NR}$$

dove

$$E_1^{NR} = E_p^{NR} \times \frac{h_1^{NR}}{H^{NR}} \times \frac{b_1^{NR}}{B^{NR}}$$

$$E_2^{NR} = E_p^{NR} \times \frac{h_2^{NR}}{H^{NR}} \times \frac{b_2^{NR}}{B^{NR}}$$

Si ipotizza che

$$E_1^{NR} = E_1^R$$

Quindi si ricava l'energia E<sub>2</sub><sup>R</sup> :  $E_2^R = E_p^R - E_1^R = E_p^R - E_1^{NR}$

$$E_{p,norm}^R = E_p^R \times \frac{H^R}{H^{NR}} \times \frac{B^R}{B^{NR}}$$

$$E_{1,norm}^R = E_1^R \times \frac{h_1^R}{h_1^{NR}} \times \frac{b_1^R}{b_1^{NR}}$$

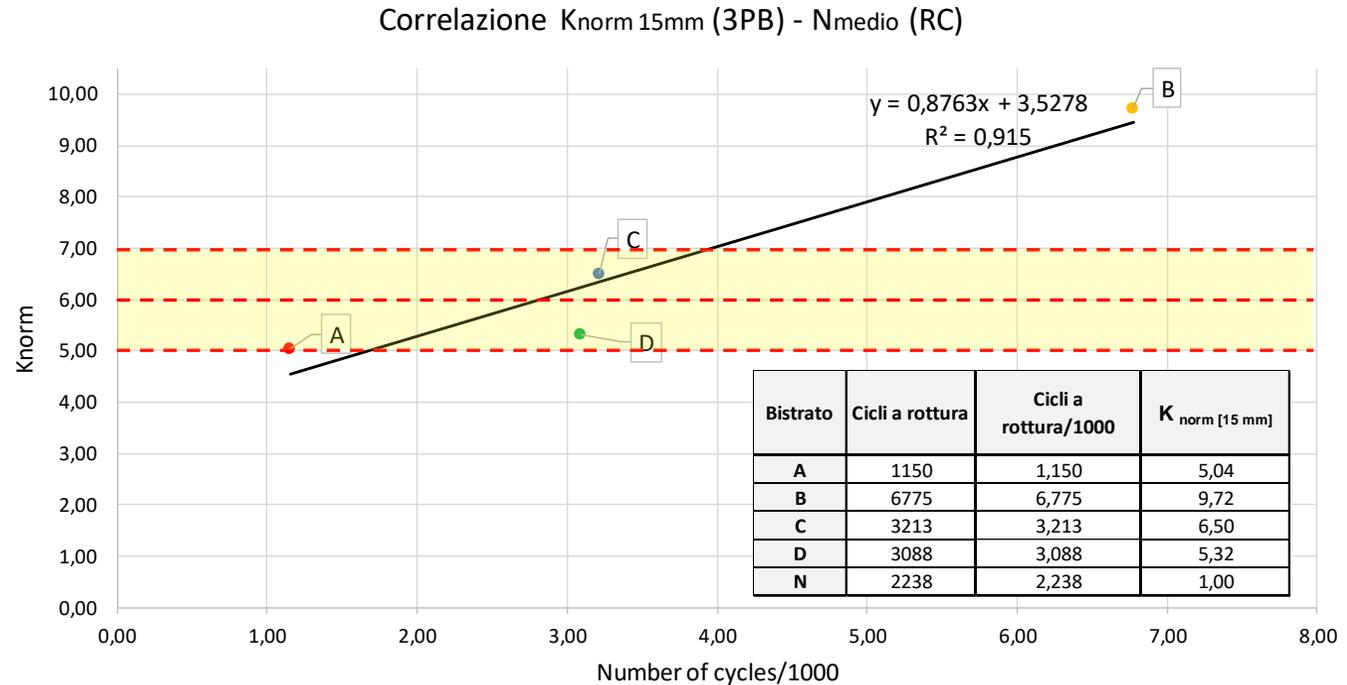
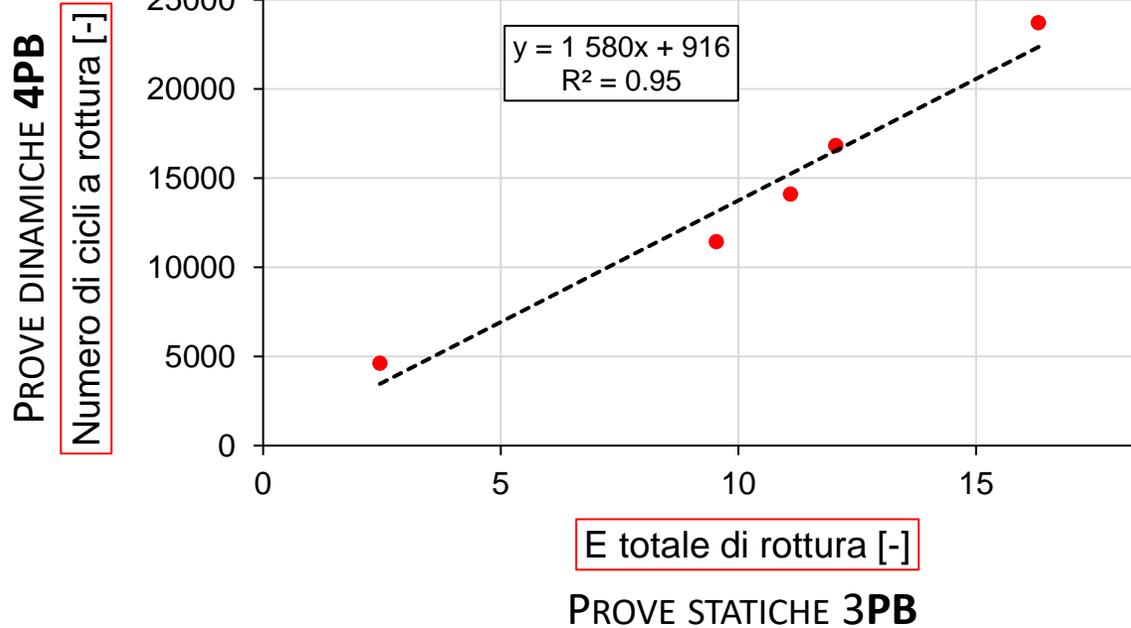
$$E_{2,norm}^R = E_{p,norm}^R - E_{1,norm}^R$$

**Coefficiente di prestazione**

$$k_{norm} = \frac{E_{2,norm}^R}{E_2^{NR}}$$

# Caratterizzazione avanzata a flessione

## Correlazione prove statiche 3PB con prove dinamiche 4PB e Reflective Cracking



- Buona correlazione tra prove 3PB, 4PB e RC a conferma della significatività di  $K_{norm}$

# Caratterizzazione avanzata a flessione

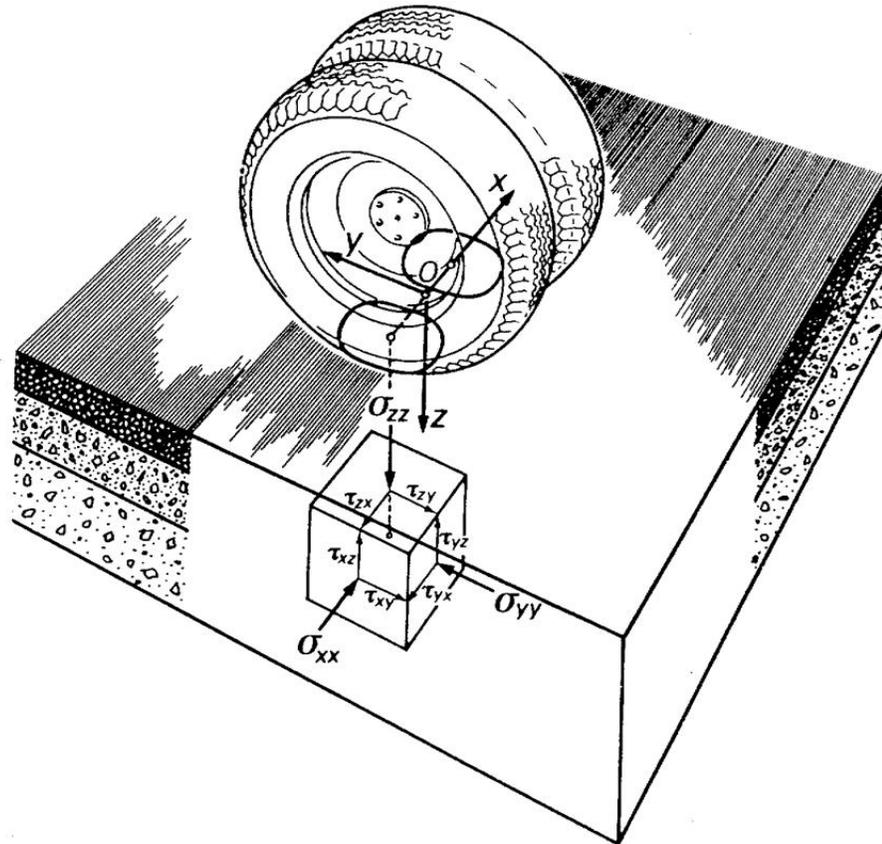
- Conferma validità principi alla base del coefficiente  $k_{norm}$
- Possibilità di adottare nelle NTA prove 3PB di prequalifica per la determinazione del coefficiente di prestazione  $k_{norm}$
- Classi del coefficiente di prestazione:
  - Classe 3:  $k_{norm} \geq 5,00$
  - Classe 2:  $k_{norm} \geq 6,00$
  - Classe 1:  $k_{norm} \geq 7,00$

# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- **Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate**
- Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio
- Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Metodo razionale del multistrato elastico



- ❑ Definizione dei carichi:
  - numero;
  - entità;
  - ....
- ❑ Definizione della struttura:
  - materiali;
  - spessori;
  - proprietà elastiche ( $E, \nu$ );
  - ...

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

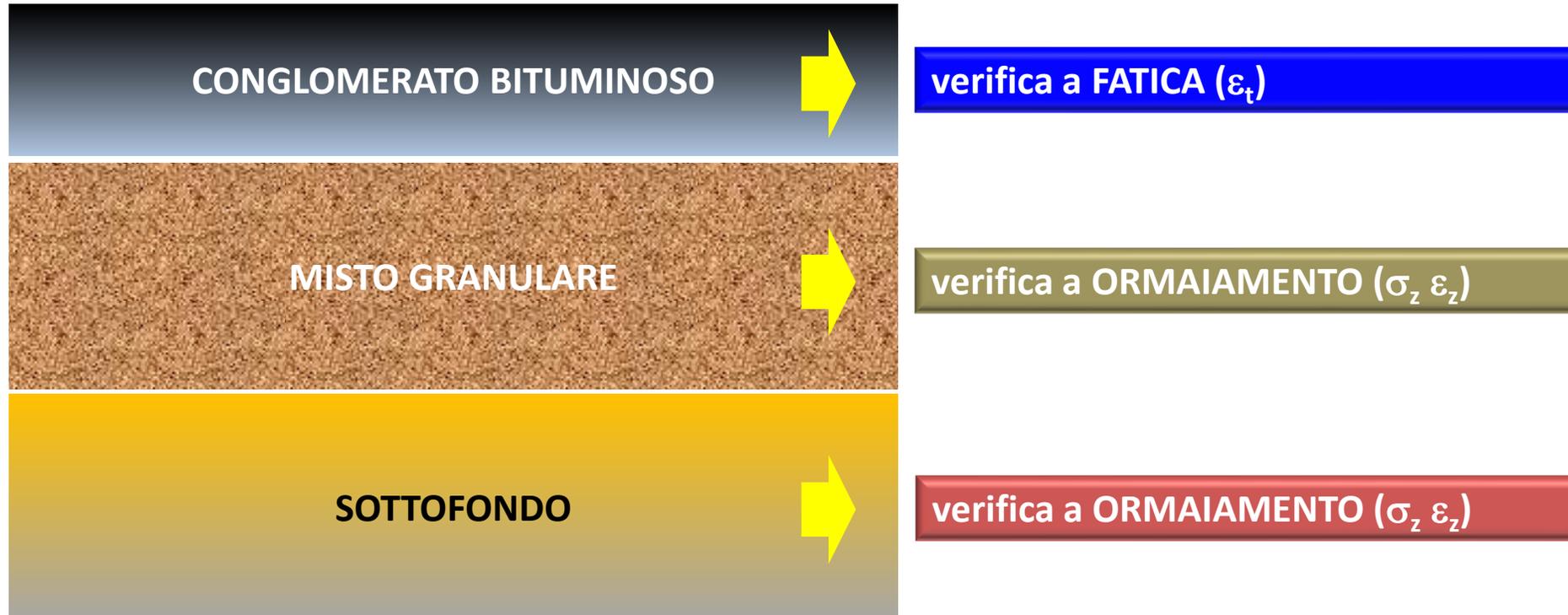
## Metodo razionale del multistrato elastico



Calcolo dello stato tenso-deformativo in specifiche posizioni

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Criteri di rottura dei materiali

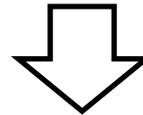


# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

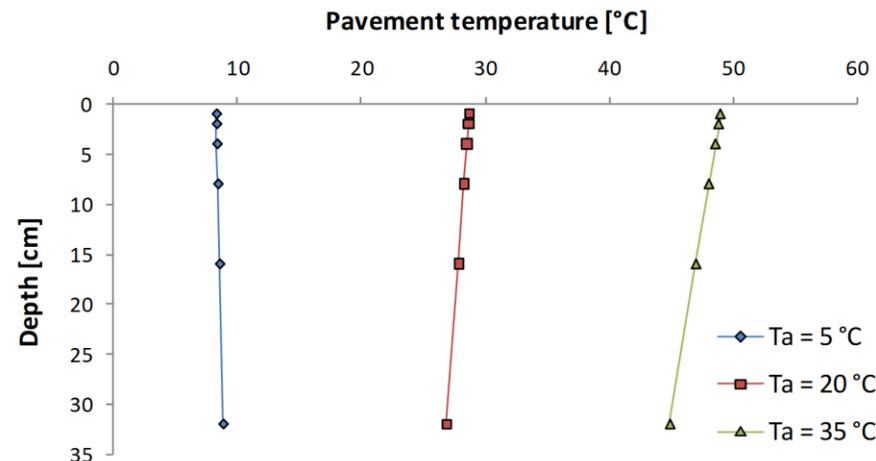
Parametri di calcolo: **Conglomerati Bituminosi**

TERMO-DIPENDENZA  $|E|(modulo\ elastico) = f(T)$

Temperatura media stagionale dell'aria [°C] <i>(dati ARPA – Veneto, Stazione San Pietro in Cariano – 2015)</i>			
INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
0.4	8.5	18.5	8.8



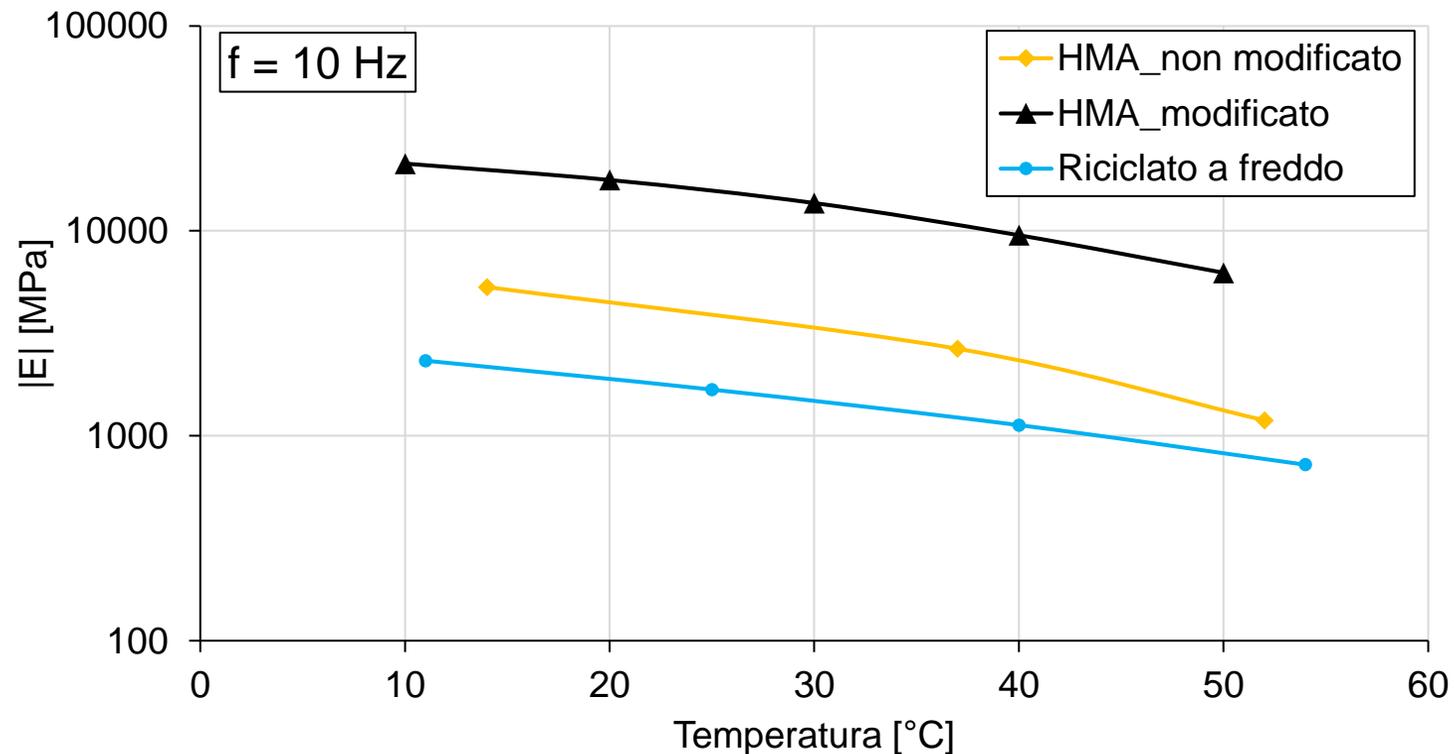
T della pavimentazione calcolata a **1/3 dello spessore degli strati legati**



# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Parametri di calcolo: Conglomerati Bituminosi

Modulo di rigidezza: ISOCRONE a  $f = 10$  Hz (dati di laboratorio)



# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Parametri di calcolo: Materiali non Legati

Condizione media delle caratteristiche portanti

### SOTTOFONDO

$$(E_d)_s = 10 \cdot CBR \quad (E_d)_s = 15 \cdot K \quad (E_d)_s = 0,2 \cdot M_d$$

### FONDAZIONE

$$E_d = 10 \cdot CBR \quad E_d = 0.206 h^{0.45} E_{ds} \quad E_d = k_1 \theta^{k_2}$$

$E_d$	<b>modulo elastico dinamico (MPa)</b>
CBR	indice CBR di progetto (addensamento e umidità effettive)
K	costante di reazione di Westergaard (kg/cm <sup>3</sup> )
$M_d$	modulo di deformazione (kg/cm <sup>2</sup> )
h	spessore dello strato (mm)
$E_{ds}$	modulo elastico del sottofondo (MPa)
$k_1, k_2$	costanti del materiale
$\theta$	somma delle sollecitazioni principali (prova in cella triassiale)

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Conglomerati Bituminosi

$$N_t = N_i + \Delta N_p$$

$N_t$  numero di cicli riferito all'asse standard che causa la fessurazione a fatica

$N_i$  numero di cicli riferito all'asse standard che causa l'innescò della fessurazione

$\Delta N_p$  numero di cicli riferito all'asse standard che determina la risalita in superficie delle fessure innescatesi, interessando il 10 % della pavimentazione

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Conglomerati Bituminosi

Legge di fatica di Verstraeten (**innesco della fessurazione**):

$$\log_{10} N_i = 6 + 4.7619 \cdot \left[ \log_{10} \left( \lambda \cdot \frac{V_b}{V_b + V_v} \right) - \log_{10} \varepsilon_t \right]$$

Legge di **propagazione delle fessure**:

$$\Delta N_p = \left( E^{\alpha'} \cdot \sigma^{\beta'} \cdot 10^{\gamma'} \right) \cdot \left( 1.373 \cdot e^{-1.089 \cdot n} \cdot h^{(-0.152 + 0.476 \cdot n)} \right)$$

spessore dello strato

f = (tipo di legante)

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Conglomerati Bituminosi

**Ref.:** J. Jacobs (1995), «Crack growth in asphaltic mixes», PhD dissertation  
(Advisor: A.A.A. Molenaar), TU Delft (The Netherlands)

$$n = \frac{2}{(a_4 + 2 \cdot a_5 \cdot \log(t)) \cdot CF}$$

$$\ln(CF) = b_0 + b_1 \cdot S_{mas} + b_2 \cdot S_{bit} + b_3 \cdot S_{mas} \cdot \ln S_{bit}$$

- $a_i, b_i$  = coefficienti di regressione (funzione del tipo di bitume)  
 $t$  = tempo di carico = 0.1/frequenza  
 $S_{mas}$  = modulo di rigidezza del **conglomerato** (a una determinata T e frequenza di carico)  
 $S_{bit}$  = modulo di rigidezza del **bitume**;  $f = (T, t, T_{R\&B}, PI)$  - van der Poel, 1954

$n = 5$

**conglomerati NON modificati**

$n = 4.5$

**conglomerati modificati**

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Conglomerati Bituminosi

$$N_t = N_i + k \cdot \Delta N_p$$

$k$  = “coefficiente di prestazione” del rinforzo  
(determinabile sperimentalmente in laboratorio)

$k = 3.5$

*conglomerati NON modificati*



$k = 5.5$

*conglomerati modificati*

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Materiali non Legati: Fondazione

$$\log_{10} N_z = 2.61 \cdot F + 3.71$$

- $N_z$  cicli di carico a rottura (eccessiva deformazione plastica)
- $F$  coefficiente di sicurezza ( $f$  = valori di  $\sigma$  nelle tre direzioni determinati alla profondità intermedia dello strato di fondazione;  $c_{term}$ , tabulato in funzione del tipo di materiale granulare).

$$F = \min \left[ \left( \frac{c_{term}}{1000 \cdot (|\sigma_{zz}| + \sigma_{XX,YY \max})} \right)_{y=0}, \left( \frac{c_{term}}{1000 \cdot (|\sigma_{zz}| + \sigma_{XX,YY \max})} \right)_{y=-0,1575} \right]$$

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Materiali non Legati: Sottofondo

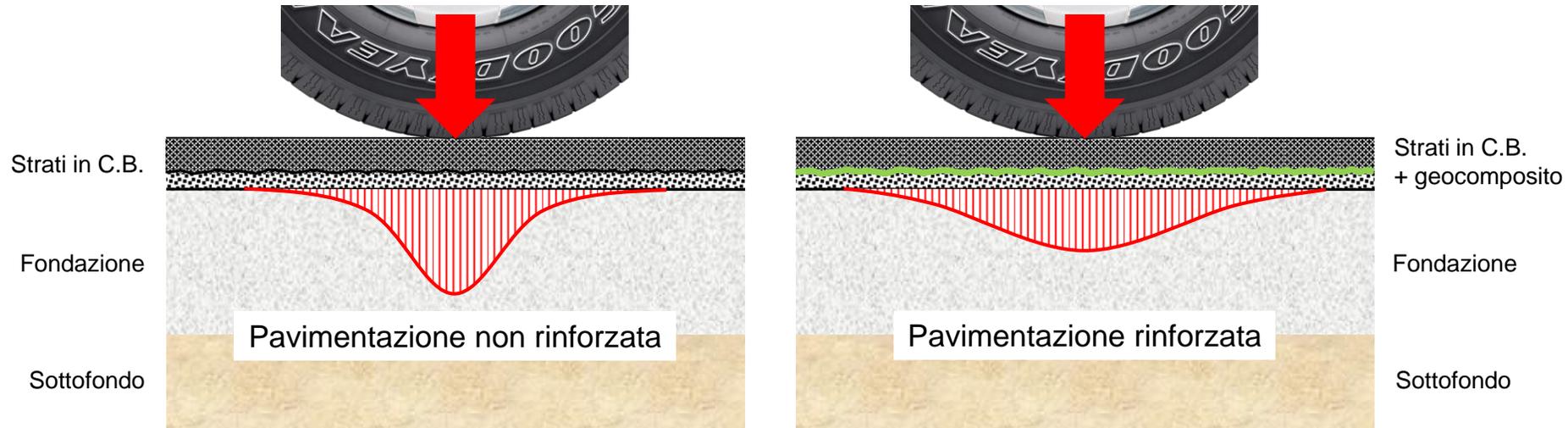
$$N_z = 1.0498 \cdot 10^{-7} \cdot \varepsilon_t^{-4}$$

$N_z$  cicli di carico a rottura (eccessiva deformazione plastica)

$\varepsilon_t$  deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Effetto dei rinforzi sul sottofondo di pavimentazioni flessibili



- A causa del limitato spessore degli strati in c.b. si hanno elevate tensioni verticali concentrate a causa della limitata ripartizione
- L'inserimento del rinforzo aiuta a diffondere meglio i carichi riducendo i valori delle tensioni verticali massime

# Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate

## Verifica dei Materiali non Legati: Sottofondo in presenza di rinforzo

$$N_z = 1.0498 \cdot 10^{-7} \cdot (\alpha \cdot \varepsilon_t)^{-4}$$

- $N_z$  cicli di carico a rottura (eccessiva deformazione plastica)
- $\varepsilon_t$  deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo determinata in assenza di rinforzo
- $\alpha$  **coefficiente di attenuazione** dello stato deformativo (minore nel caso di pavimentazioni "deboli")

$$\alpha = 0,90 \div 0,98 < 1,00$$

# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- **Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio**
- Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

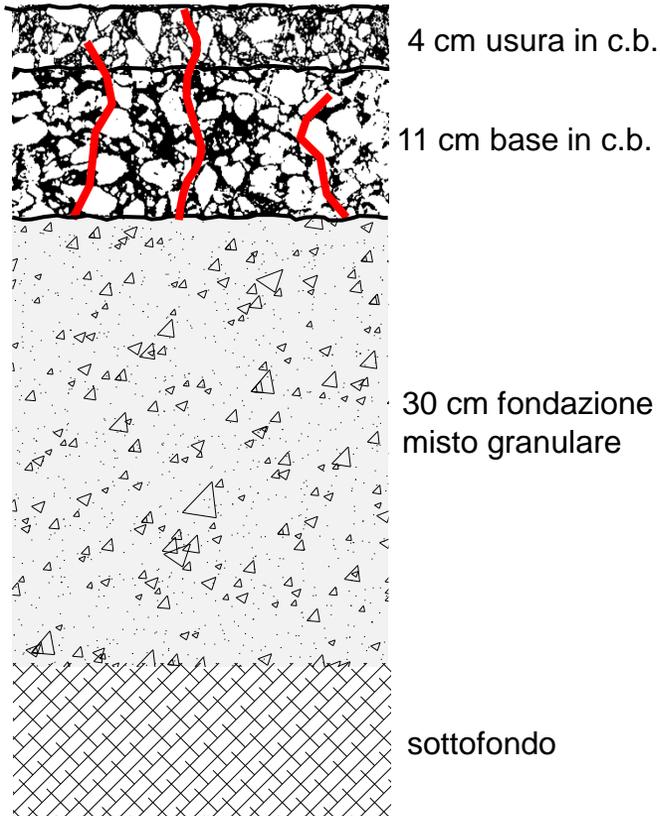
# Sommario

- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- **Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio**
  - Via Unità d'Italia (VR)
  - Via Sommacampagna – Quadrante Europa (VR)
  - Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)

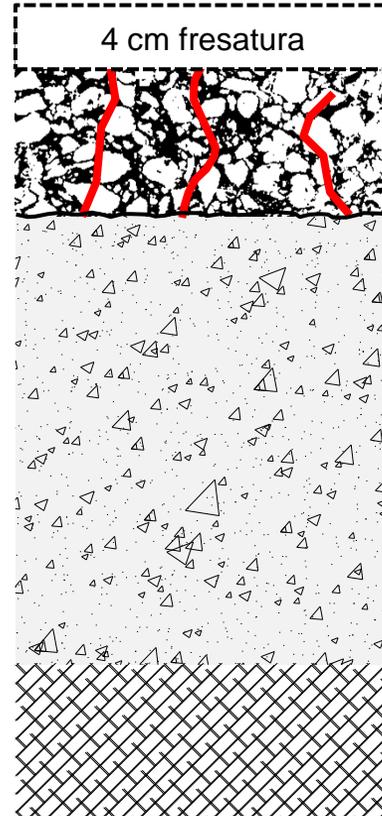
# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Via Unità d'Italia (Verona)

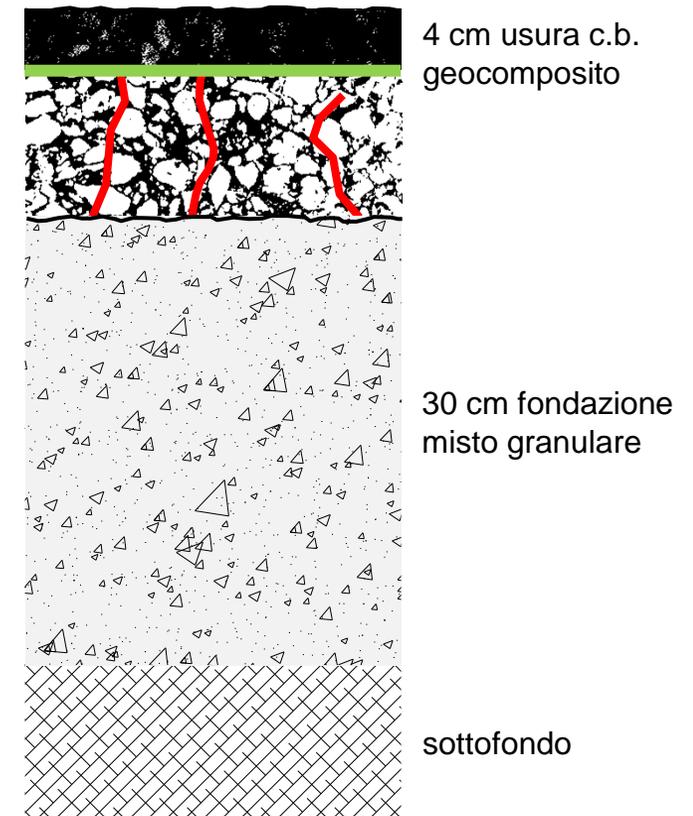
Stato Attuale



Stato Modificato N



Stato Modificato R



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

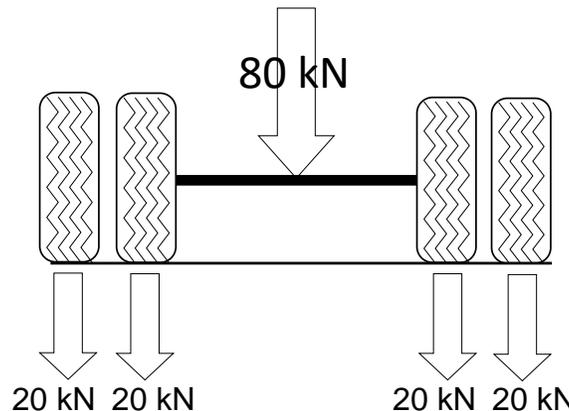
## Via Unità d'Italia (Verona)

STRATO	E [MPa]				ν [-]
	INVERNO T = 0.4°C	PRIMAVERA T = 8.5°C	ESTATE T = 18.5°C	AUTUNNO T = 8.8°C	
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>TRADIZIONALE</b>	11552	6941	2966	6779	0.35
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>FESSURATO</b>			<b>900*</b>		0.30
FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE			500		0.35
SOTTOFONDO			150		0.40

\*  $E_{cb, fess}$  incrementato (750 MPa): spessore elevato (11 cm) → migliore distribuzione degli sforzi

### Traffico

- Dati Comune di Verona + rilievi diretti
- TGM totale = 8370
- $ESAL_{80} = 0,33$  milioni/anno



### Carichi

- asse singolo da 80 kN a ruote gemellate
- $p_{gonfiaggio} = 700$  kPa

**N.B.**

**Traffico molto LIMITATO!!**

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Via Unità d'Italia (Verona)



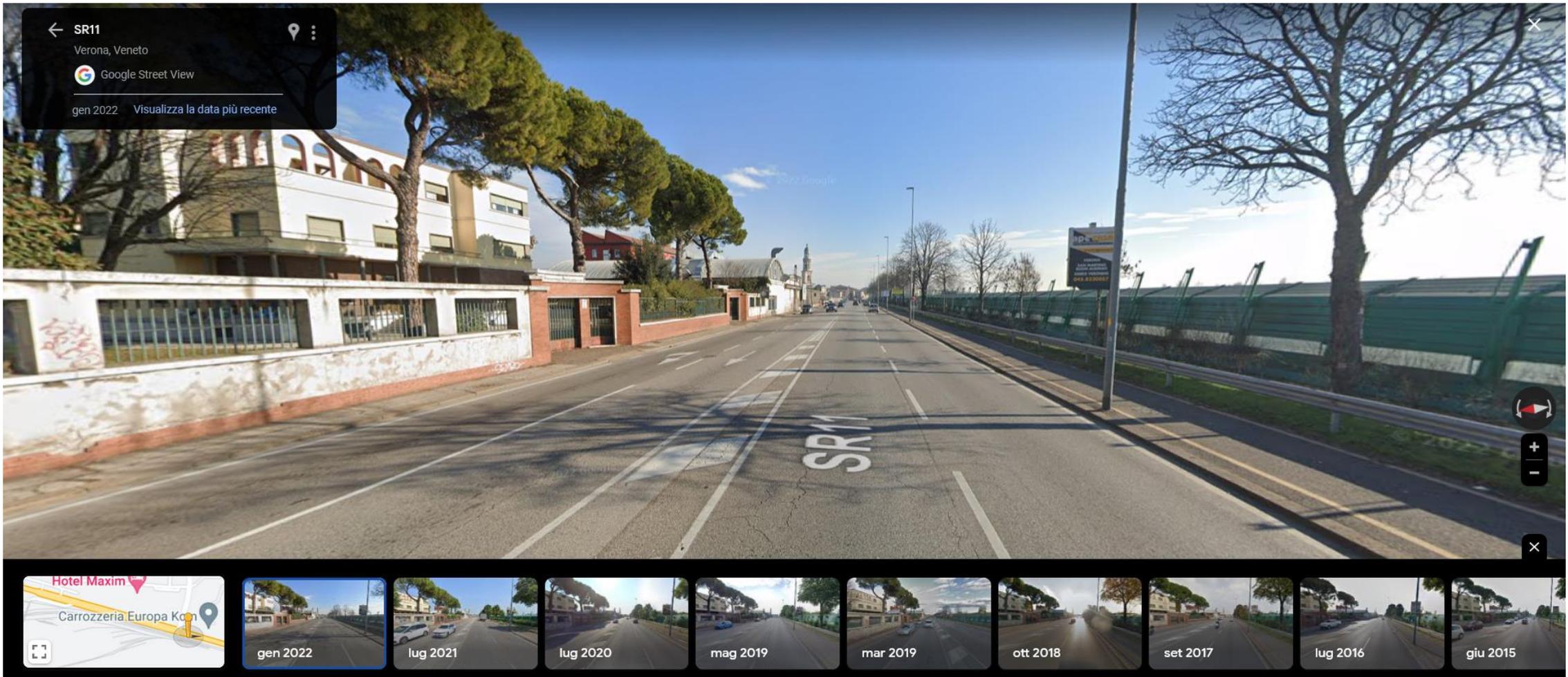
Situazione preesistente



Lavori eseguiti nel 2012

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Via Unità d'Italia (Verona)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

Via Unità d'Italia (Verona)

Tensioni e deformazioni sotto la ruota gemellata (punto più gravoso per pavimentazioni sottili)

**Durata abituale** tratto via Unità d'Italia

≈ 4 anni

Durata soluzione NON rinf.  
 $E_{\text{fond}} = 500 \text{ MPa} + E_{\text{cb, fess}} = 900 \text{ MPa}$

→ da calcolo →

$$\frac{1,45}{0,33} \approx 4.4 \text{ anni (crisi CB)}$$

Durata soluzione RINF.  
 $E_{\text{fond}} = 500 \text{ MPa} + E_{\text{cb, fess}} = 900 \text{ MPa}$

→ da calcolo →

$$\frac{4,0}{0,33} \approx 12 \text{ anni (crisi CB)}$$

$k = 5$   
 $\alpha = 0.9$

- Soluzione di calcolo perfettamente in linea con il comportamento in sito (in opera da 11 anni)
- Bontà dei parametri assunti (i.e.  $E_{\text{fond}}$ ,  $E_{\text{cb, fess}}$ )

**Incremento del 170%** della Vita Utile

+ beneficio effetto impermeabilizzante antipumping + benefici ambientali

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)

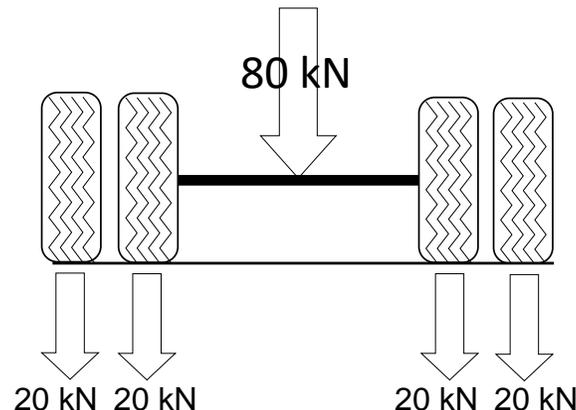
### Materiali

STRATO	E [MPa]				ν [-]
	INVERNO T = 0.4°C	PRIMAVERA T = 8.5°C	ESTATE T = 18.5°C	AUTUNNO T = 8.8°C	
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>TRADIZIONALE</b>	11552	6941	2966	6779	0.35
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>FESSURATO</b>			750		0.30
FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE			500		0.35
SOTTOFONDO			<b>200*</b>		0.40

\*  $E_{sott}$  incrementato (150 MPa), in funzione della natura del suolo e del comportamento in esercizio

### Traffico

- Dati Comune di Verona + rilievi diretti
- TGM Veicoli leggeri = 3100
- TGM Veicoli pesanti = 2340
- Autoarticolati a 5 assi (> 50%)
- $ESAL_{80} = 1,8$  milioni/anno



### Carichi

- asse singolo da 80 kN a ruote gemellate
- $p_{gonfiaggio} = 700$  kPa

**N.B.**

**Traffico MOLTO elevato!!**

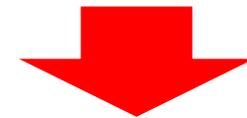
# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



Tratto d'intervento

**TRAFFICO PESANTE**



sovracompattazione  
degli strati non legati

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



Condizioni prima dei  
Lavori di manutenzione

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)

Manutenzione: **Aprile 2013**

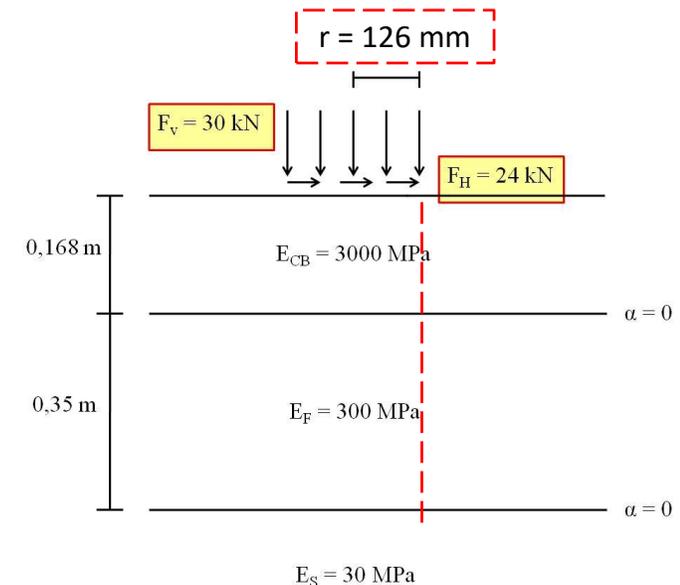
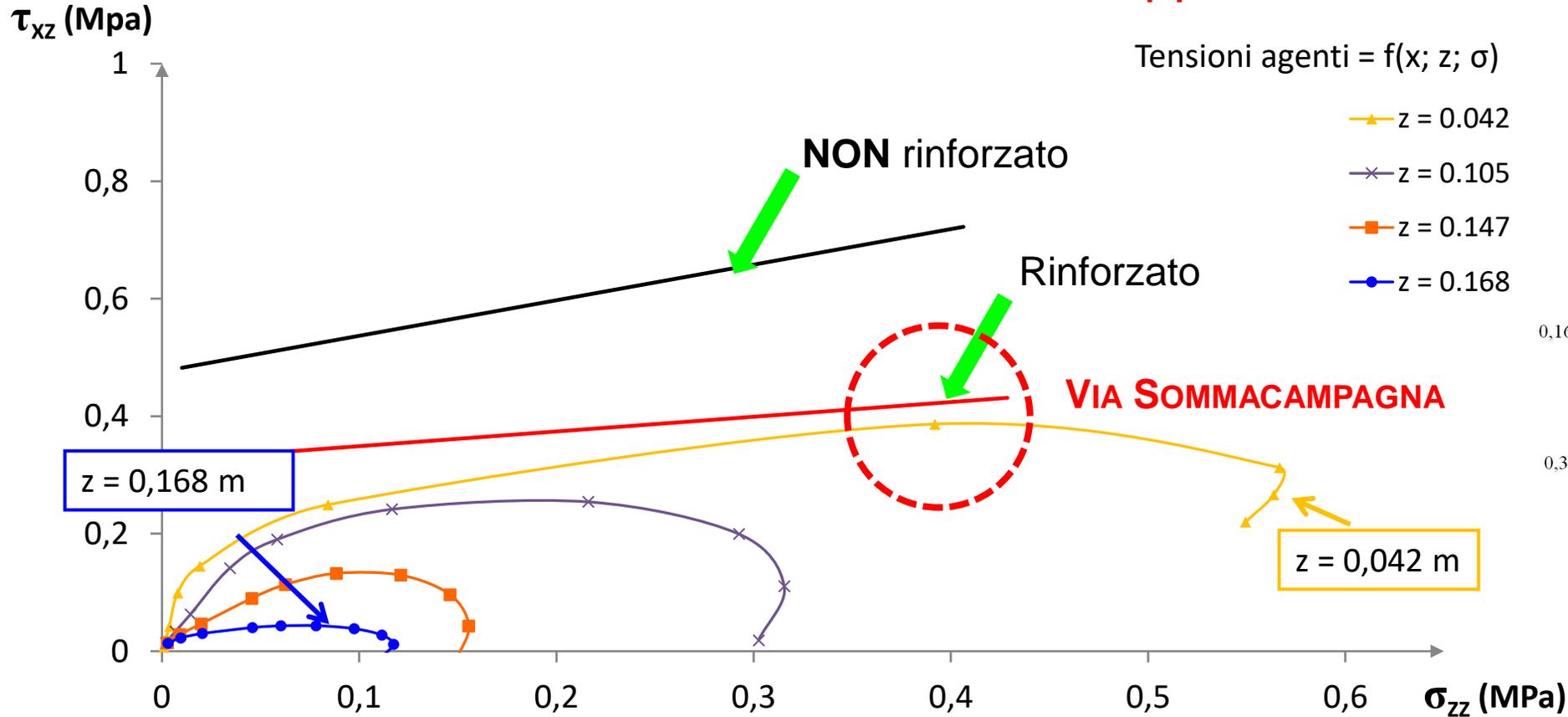
Fresatura: **4 cm**

Geocomposito + 4 cm C.B.



# Caratterizzazione avanzata a taglio

## Stato tensionale e involuppi di resistenza



1. **Discontinuità** tra gli strati (resistenza a taglio funzione di T)
2. Evitare **installazioni superficiali** del geocomposito
3. Valutare il comportamento a taglio **in presenza di SFORZO NORMALE**

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

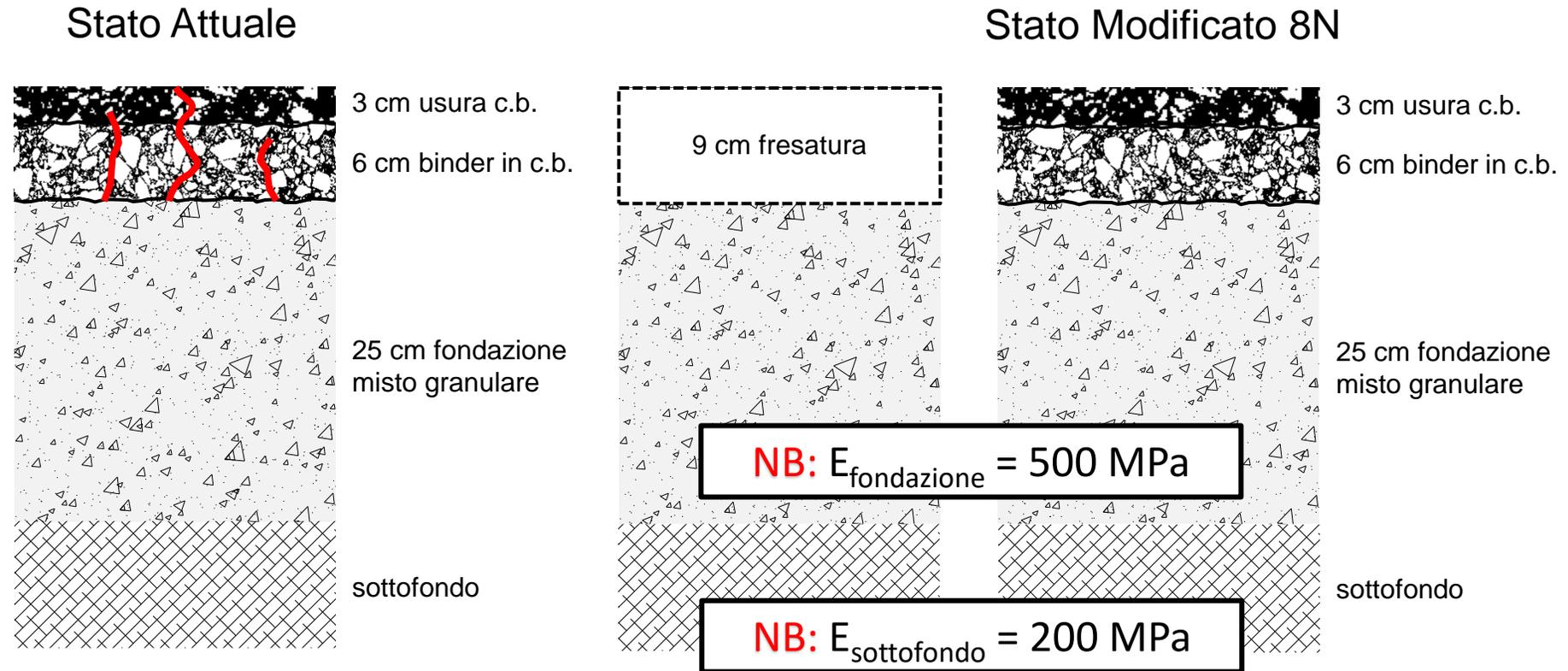
## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



**Applicazione del geocomposito troppo superficiale  
in presenza di elevati carichi di traffico**

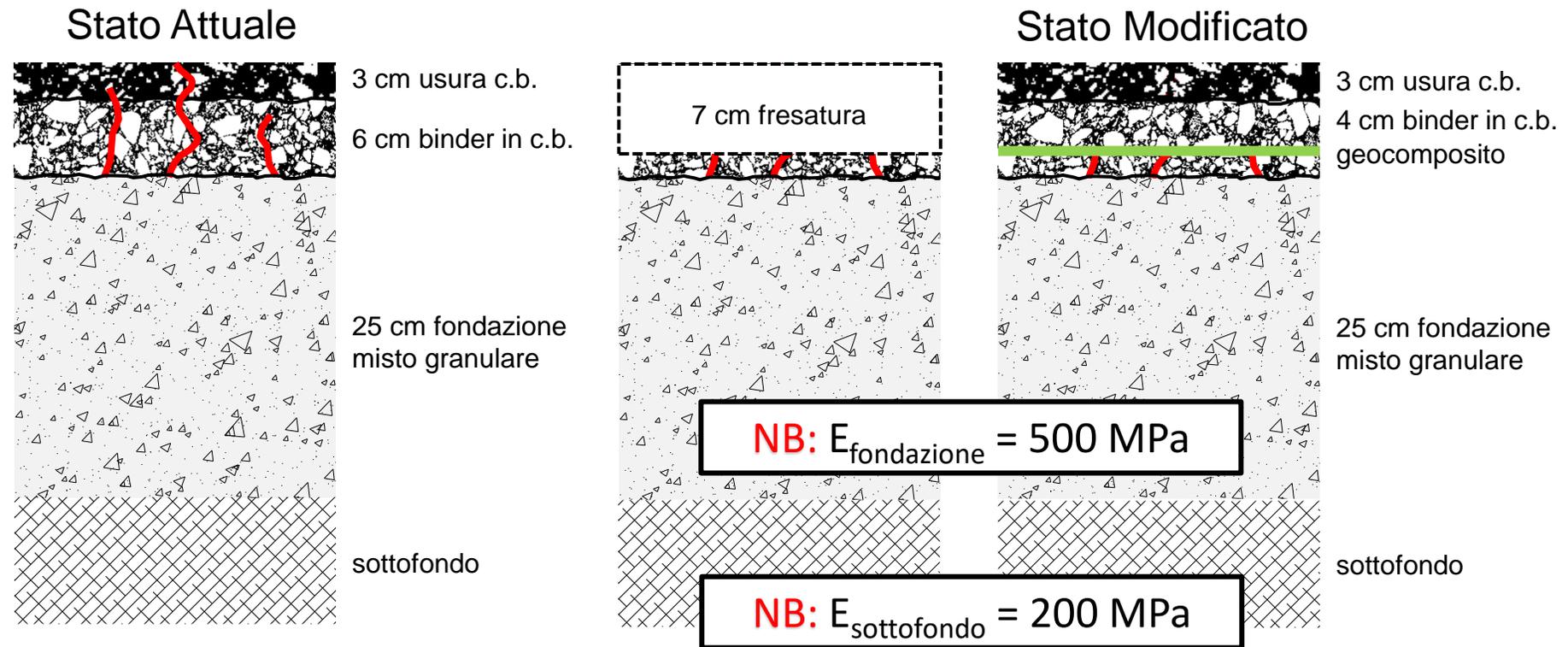
# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)

Manutenzione: **Luglio 2013**  
fresatura: **7 cm**  
Geocomposito + 7 cm C.B.



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Interporto di Verona – Via Sommacampagna (Quadrante Europa)

Tensioni e deformazioni nel punto baricentrico tra le ruote gemellate (traffic wander)

Durata abituale tratto via Sommacampagna  $\approx 2$  anni

Durata soluzione 8N  
 $E_{fond} = 500 \text{ MPa} + E_{sott} = 200 \text{ MPa}$

→ da calcolo →  $\frac{3.5}{1.8} \approx 2$  anni (crisi CB)

Durata soluzione 8R  
 $E_{fond} = 500 \text{ MPa} + E_{sott} = 200 \text{ MPa}$

→ da calcolo →  $\frac{14.5}{1.8} \approx 8$  anni (crisi CB)

$k = 5$   
 $\alpha = 0.9$

- Soluzione di calcolo lievemente conservativa (in opera da 10 anni, ma con 2 anni di COVID)
- Bontà dei parametri assunti (i.e.  $E_{fond}$ ,  $E_{sott}$ )

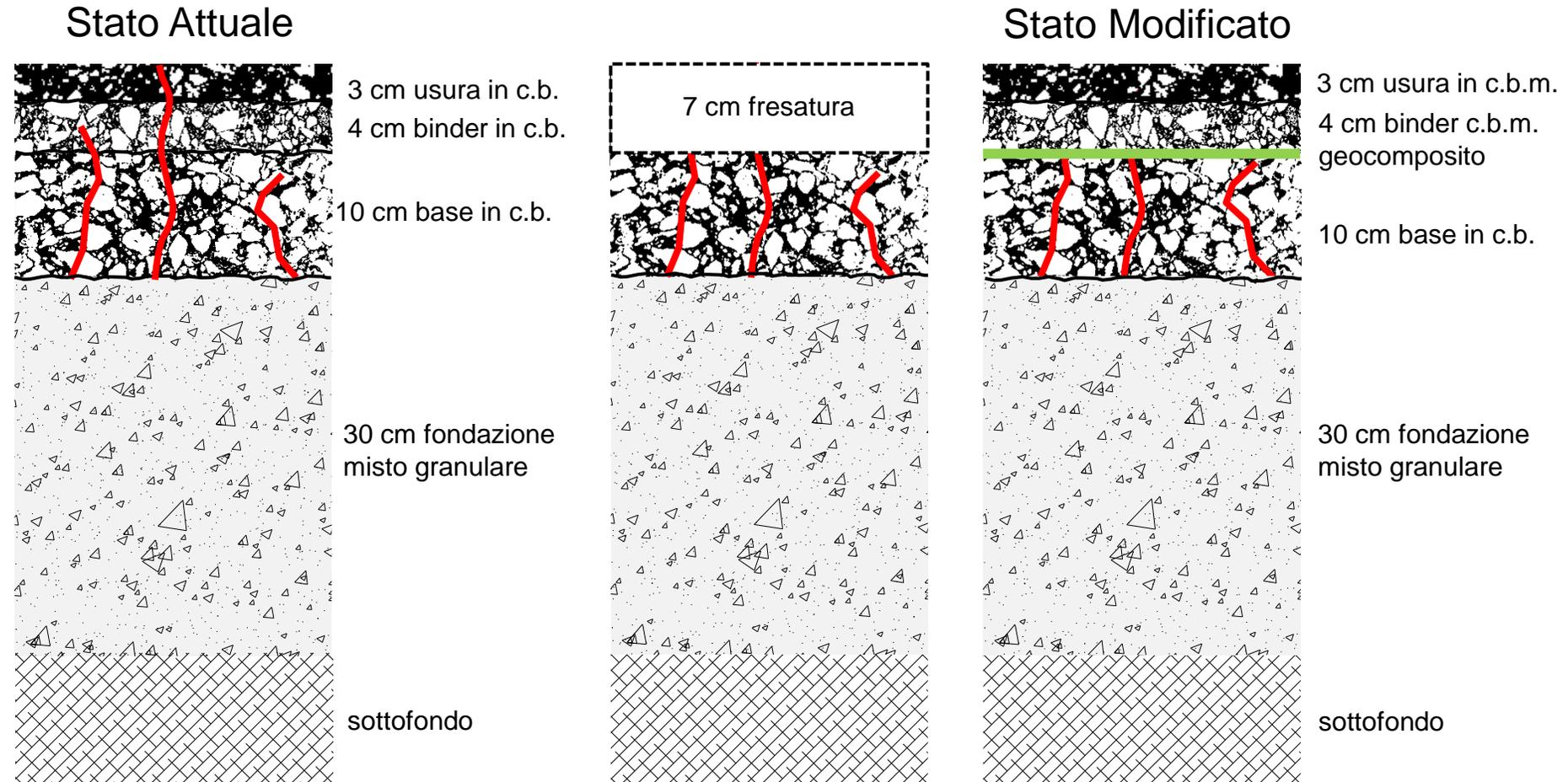
**2 cm in meno (su 9)** di fresatura e conglomerato bituminoso tradizionale

**Incremento del 300%** della Vita Utile

+ beneficio effetto impermeabilizzante antipumping + benefici ambientali

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)

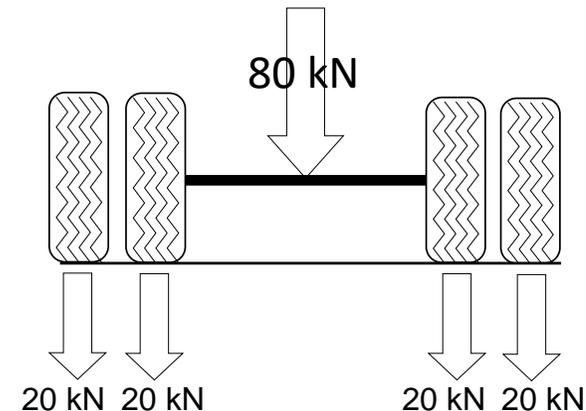
### Materiali

STRATO	E [MPa]				ν [-]
	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	
	T = 0.4°C	T = 8.5°C	T = 18.5°C	T = 8.8°C	
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>MODIFICATO</b>	12806	10531	6678	10415	0.35
CONGLOMERATO BITUMINOSO <b>FESSURATO</b>			<b>900*</b>		0.30
FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE			300		0.35
SOTTOFONDO			150		0.40

\*  $E_{cb, fess}$  incrementato (750 MPa): spessore elevato (10 cm) → migliore distribuzione degli sforzi

### Carichi

- asse singolo da 80 kN a ruote gemellate
- $p_{gonfiaggio} = 700$  kPa



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

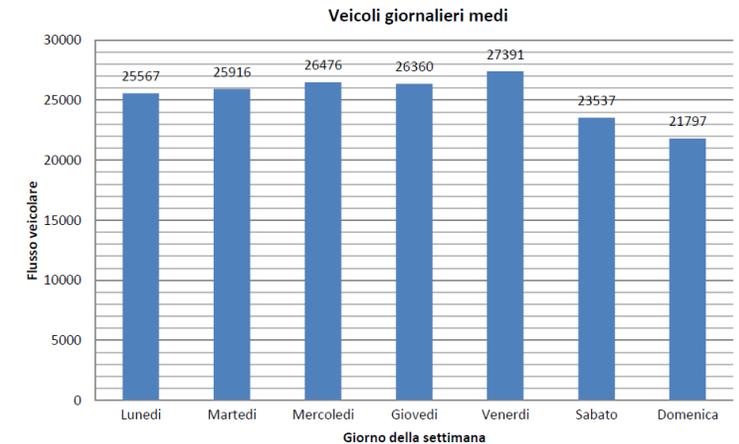
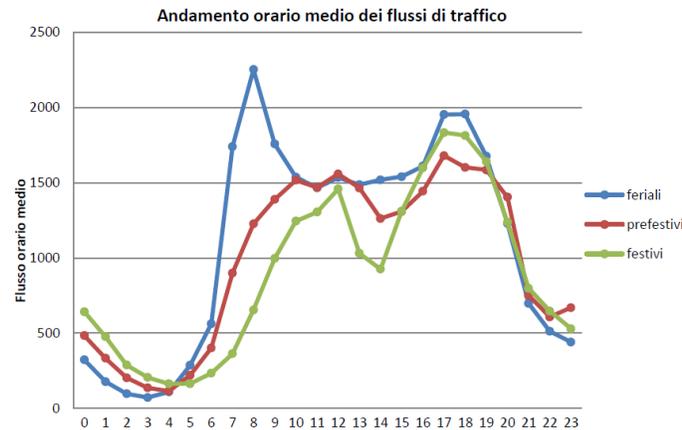
## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)

Tratta n. 10022: RA11, Km 8.515, Maltignano(AP)

Direzione del Flusso	Consistenza Dati Pervenuti/Attesi	Veicoli Leggeri Volumi medi negli intervalli			Veicoli Pesanti Volumi medi negli intervalli			Velocità medie nei periodi tutte le classi		
		06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00
flusso ascendente	100,00%	9941	994	996	403	17	32	111	111	109
flusso discendente	100,00%	10241	946	1228	421	21	59	110	110	109

### Traffico

- Dati ANAS + rilievi diretti
- TGM Veicoli leggeri = 11931
- TGM Veicoli pesanti = 452
- Autoarticolati a 5 assi (> 50%)
- % traffico pesante marcia lenta: 85%
- $ESAL_{80} = 0,9$  milioni/anno



Giorno di punta del periodo: **venerdì 22 luglio 2016**  
Volume giornaliero di punta: **32641** [veicoli/giorno]

Ora di punta: **lunedì 28 marzo 2016 ore 18:00-19:00**  
Flusso dell'ora di punta: **2702** [veicoli/ora]

Giornate con rilevamenti completi: **365**

**N.B.**  
**Traffico MODERATO!!**

# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)

Realizzazione Intervento: Luglio 2013



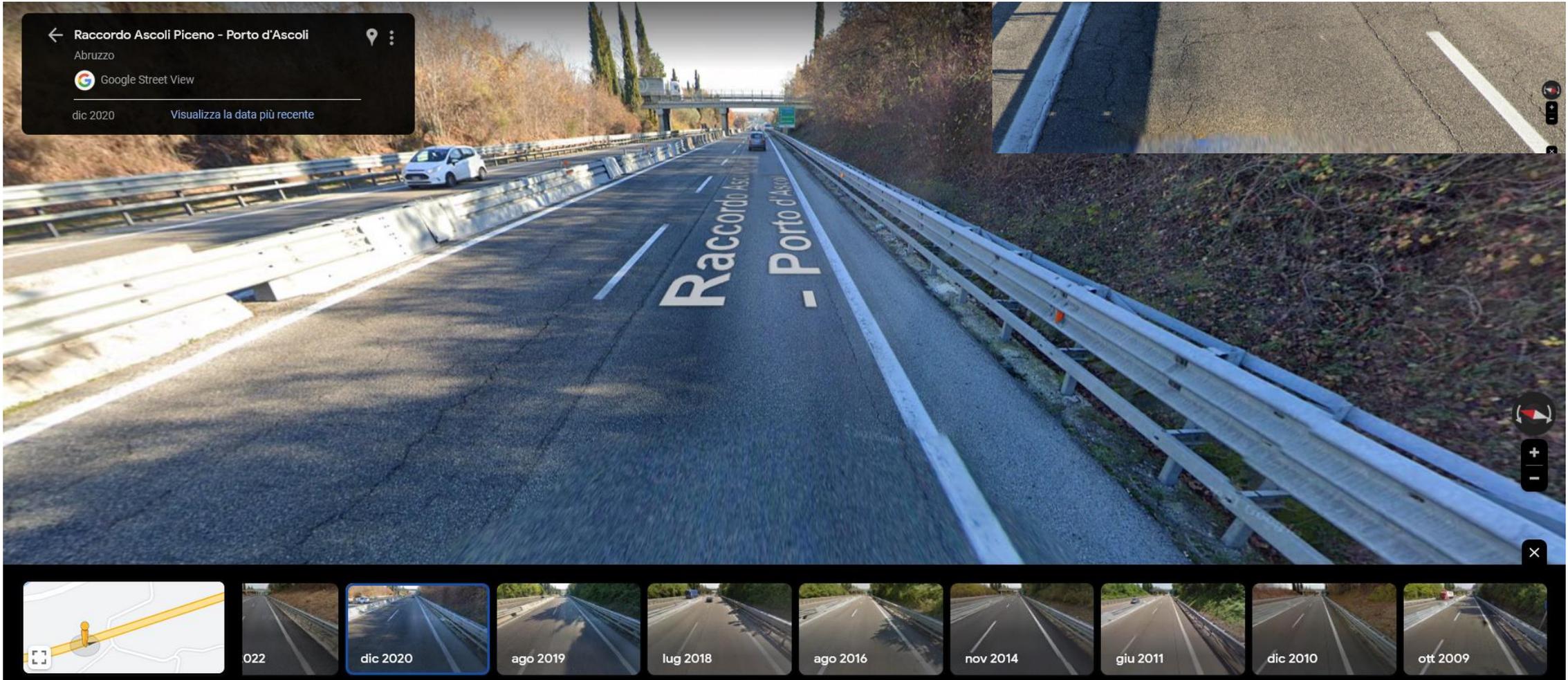
# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)



# Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio

## Raccordo Autostradale ANAS RA11 (AP)

Tensioni e deformazioni nel punto baricentrico tra le ruote gemellate (traffic wander)

Durata soluzione NON rinf.  
 $E_{cb, fess} = 900 \text{ MPa}$

da calcolo  $\rightarrow \frac{1,6}{0,9} \approx 1,8 \text{ anni (crisi CB)}$

Durata soluzione RINF.  
 $E_{cb, fess} = 900 \text{ MPa}$

da calcolo  $\rightarrow \frac{6,0}{0,9} \approx 6,7 \text{ anni (crisi CB)}$

$k = 6$

- Soluzione di calcolo lievemente conservativa (in opera per 7÷8 anni)
- Bontà dei parametri assunti (i.e.  $E_{fond}$ ,  $E_{cb, fess}$ )

**Incremento del +270%** della Vita Utile  
 + beneficio derivante dall'effetto impermeabilizzante antipumping  
 + benefici ambientali

# Sommario

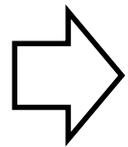
- Funzioni dei rinforzi nella manutenzione stradale
- Caratterizzazione meccanica avanzata di geocompositi
- Calcolo semplificato di pavimentazioni rinforzate
- Calibrazione mediante «reverse engineering» di casi studio
- **Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate**

# Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

- I Casi Studio confermano l'attendibilità del metodo semplificato per il calcolo delle pavimentazioni rinforzate con geocompositi
- Si conferma il notevole incremento di Vita Utile
- Sono attualmente monitorati Tronchi Pilota in ambito autostradale sottoposti a volumi di traffico MOLTO elevati

# Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

"L'uso di geocompositi per il risanamento strutturale **ecosostenibile** di lunga durata delle pavimentazioni "



**Voci di risparmio:**

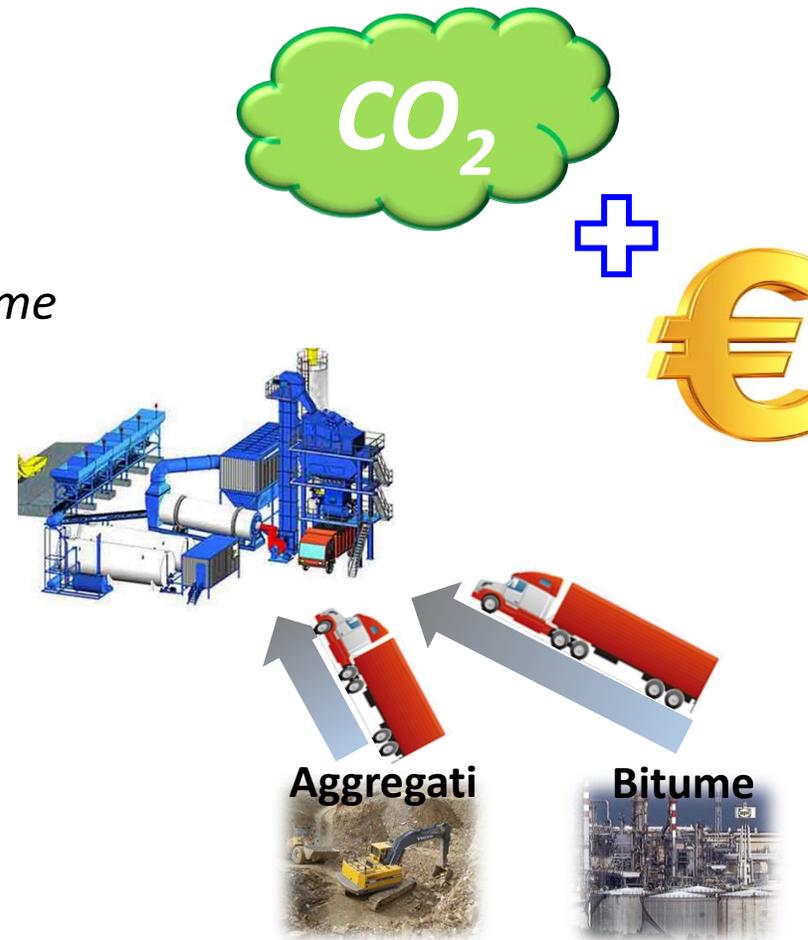
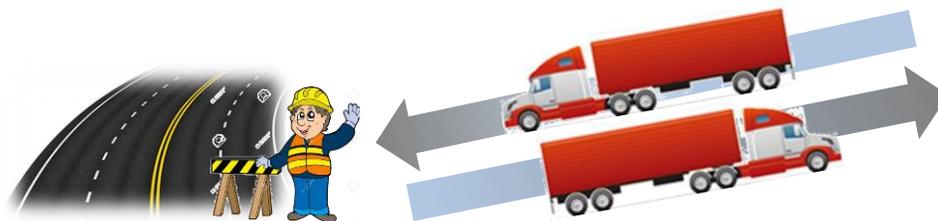
↓ fresatura

↓ conglomerato prodotto

↓ estrazione e lavorazione materie prime

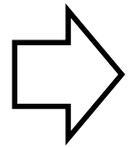
↓ trasporto materie prime e fresato

↓ danni alla viabilità secondaria



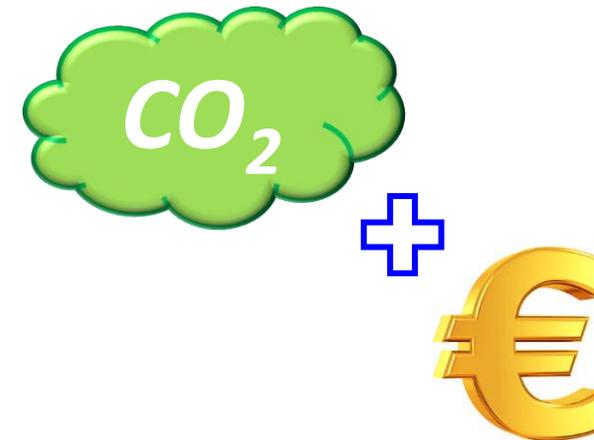
# Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

"L'uso di geocompositi per il risanamento strutturale **ecosostenibile** di lunga durata delle pavimentazioni "



## **Voci di risparmio:**

- ↓ fresatura
- ↓ conglomerato prodotto
- ↓ estrazione e lavorazione materie prime
- ↓ trasporto materie prime e fresato
- ↓ danni alla viabilità secondaria
- ↓ energia per stesa e compattazione
- ↓ interventi di manutenzione nel tempo
- etc ...



# Conclusioni: Ecosostenibilità delle pavimentazioni rinforzate

## Impatto ambientale: variabili in gioco

### – RIDUZIONE DEGLI SPESSORI DI CONGLOMERATO DEGLI STRATI SOVRASTANTI IL RINFORZO

→ riduzione dei **VOLUMI DI CONGLOMERATO** prodotti



- minor sfruttamento di materie prime (bitume e aggregati)
  - riduzione dei mezzi per il trasporto verso l'impianto



- riduzione dei **MEZZI DI TRASPORTO DA E VERSO IL CANTIERE**
  - riduzione del DISTURBO e DANNO alla viabilità secondaria
- riduzione dell'**ENERGIA PER IL FUNZIONAMENTO** dell'impianto
- riduzione dell'**ENERGIA PER LA POSA IN OPERA E LA COMPATTAZIONE**

### – RIDUZIONE DEGLI SPESSORI DI FRESATURA



- riduzione delle **AREE DI SMALTIMENTO**
- riduzione dei **MEZZI DI TRASPORTO DA E VERSO IL CANTIERE**
  - riduzione del DISTURBO e DANNO alla viabilità secondaria





Grazie per l'attenzione