

STRUTTURE IN TERRE RINFORZATE, STABILIZZAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI E OPERE DI DIFESA DALLE FRANE IN ROCCIA, DI VERSANTE E COLATE DETRITICHE

Giovedì 29 Marzo 2018 - Cosmopolitan Business Hotel, Civitanova Marche (MC)



Principi di
stabilizzazione delle
pavimentazioni stradali
con **TriAx™**

Ing. Dario Carnevali
S.A.T.
Viganò Pavitex S.p.A.

PRINCIPALI PROBLEMI LEGATI AI SOTTOFONDI CEDEVOLI

Collasso da **ACCUMULO DI DEFORMAZIONI PLASTICHE** (ORMAIAMENTO)



Collasso **CARICO** concentrato **ECCEDENTE** la **CAPACITÀ PORTANTE** della fondazione

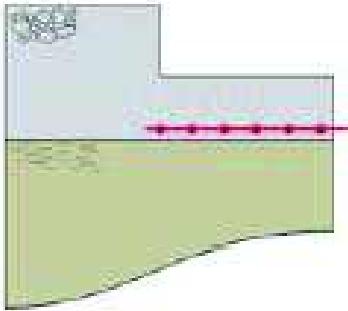


PRINCIPALI CAUSE:

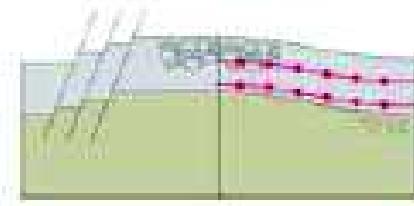
- Terreno di sottofondo con scarse caratteristiche geotecniche (basso CBR)
- Scarso drenaggio
- Contaminazione del misto granulare di fondazione
- Materiali stradali scadenti
- Progettazione a breve termine
- Incremento nel tempo dell' intensità di traffico
- Incremento del carico per asse

PRINCIPALI PROBLEMI LEGATI AI SOTTOFONDI CEDEVOLI

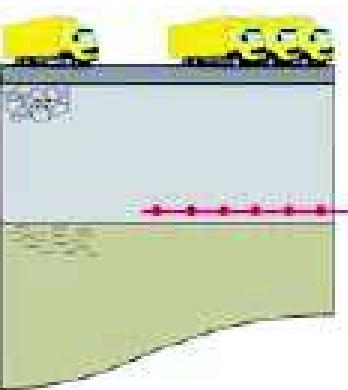
I' inserimento dei Geosintetici nella stratigrafia consente di:



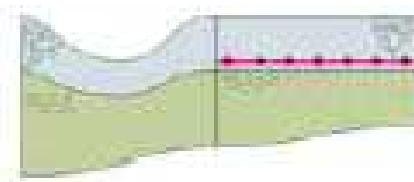
RIDURRE LO SPESSORE h a parità di c, φ, γ e di numero cicli (minori costi in termini di inerti, scavo e smaltimento e ridotti tempi di realizzazione)



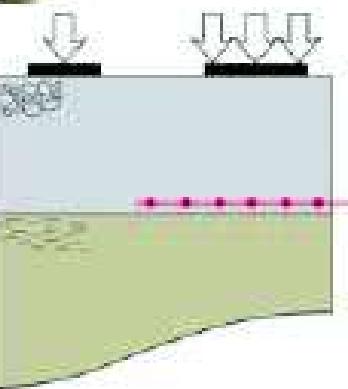
CONTROLLO DEI CEDIMENTI DIFFERENZIATI



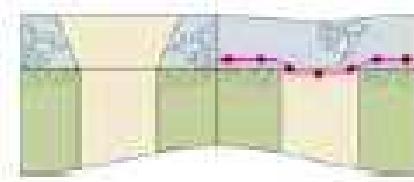
AUMENTARE IL NUMERO DI CICLI (aumento della vita utile dell' opera) a parità di spessore h e di c, φ, γ



COPERTURA DI DEPOSITI COMPRIMIBILI



AUMENTARE LA CAPACITÀ PORTANTE a parità di spessore h e di c, φ, γ



COPERTURE TEMPORANEE

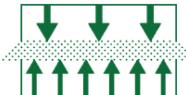
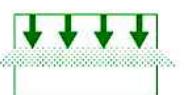
FUNZIONE	SCOPO	TIPOLOGIA IDONEA
SEPARAZIONE 	mantenere divisi due strati di terreno di composizione granulometrica diversa o due strati di materiale diverso, senza impedire la circolazione di acqua	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geotessili tessuti ▪ Geotessili nontessuti
FILTRAZIONE 	impedire la migrazione delle particelle fini del terreno permettendo nel contempo il passaggio dei fluidi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geotessili tessuti ▪ Geotessili nontessuti
DRENAGGIO 	captare e trasportare un liquido o un gas lungo il proprio piano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geocompositi drenanti ▪ Georeti drenanti
RINFORZO 	migliora le caratteristiche meccaniche dei terreni	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geogriglie ▪ Geotessili tessuti
PROTEZIONE 	proteggere da danneggiamento locale le geomembrane che hanno la funzione di impermeabilizzare	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geotessili nontessuti ▪ Geocompositi drenanti
CONTROLLO EROSIONE 	evitare movimenti di strati superficiali di terreni su pendii	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stuoie sintetiche ▪ Stuoie naturali

Tabella riassuntiva APPLICAZIONI / FUNZIONI

3 LETTERE

=

3 LIVELLI DI
OBBLIGATORIETÀ

H: obbligatorie per
mandato

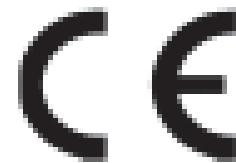
A: obbligatorio solo se
richiesto dal capitolato

S: obbligatorio solo se
richiesto particolari
condizioni d'uso.

CARATTERISTICHE MECCANICHE			CARATTERISTICHE IDRAULICHE			CARATTERISTICHE DI DURABILITÀ		
Strade			Ferrovie					
UNI EN ISO 13249			UNI EN ISO 13250					
R	S	F	R	S	F			
H	H	H	H	H	H			
H	A	A	H	A	A			
				S	S	S		
H	H	S	H	H	S			
H	A	H	H	A	H			
A	A	A	A	A	A			
A	S	S	A	S	S			
A	-	-	A	-	-			
-	-	-	-	-	-			
CARATTERISTICHE IDRAULICHE								
Apertura caratteristica			UNI EN ISO 12956					
Permeabilità all'acqua perpendicolare all'acqua			UNI EN ISO 11058					
Capacità drenante del piano			UNI EN ISO 12958					
CARATTERISTICHE DI DURABILITÀ								
Resistenza agli agenti atmosferici			UNI EN 12224					
Resistenza alla degradazione microbiologica			UNI EN 12225					
Resistenza all'invecchiamento chimico			UNI EN ISO 12960 UNI EN ISO 13438 UNI EN 12447					



EN 13249
Geosynthetics for
Roads and Trafficked
Areas

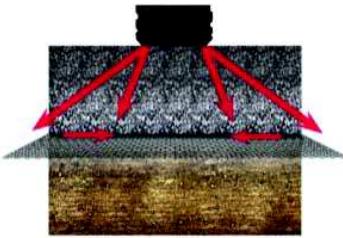


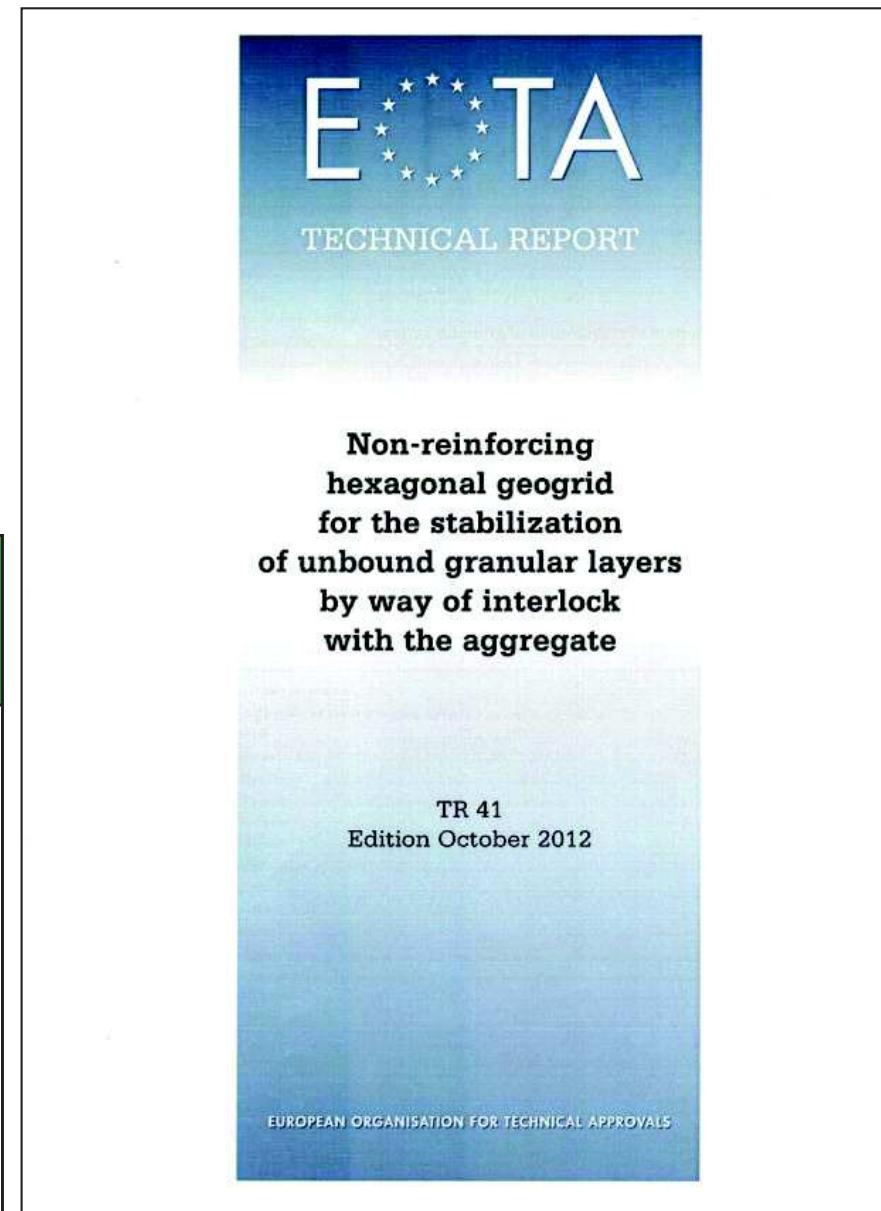
No.	Essential Geogrid Characteristics	Requirement Clauses in this European Standard	Units
1	Tensile Strength	4.1, Table 1(1) and 5.1	kN/m
2	Elongation	4.1, Table 1 (2) and 5.1	%

introdotto un nuovo concetto dal 2012

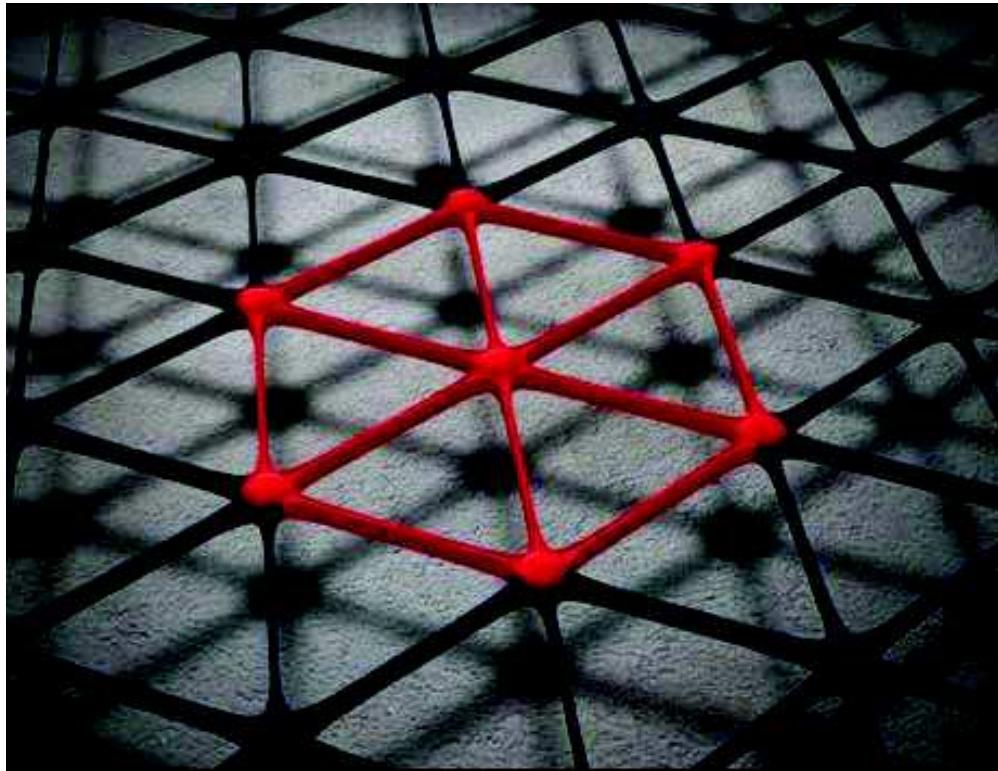
**“GEOGRIGLIA ESAGONALE (TriAx) DI
NON-RINFORZO PER LA
STABILIZZAZIONE**

**DI STRATI GRANULARI NON LEGATI
ATTRaverso l'**INGRANAMENTO** CON
GLI AGGREGATI.”**

FUNZIONE	SCOPO	TIPOLOGIA PRODOTTO IDONEO
STABILIZZAZIONE 	MARCATURA CE di prodotto che migliora la capacità portante di uno strato di fondazione non legato limitando il movimento delle particelle sotto un carico applicato	Geosintetici rispondenti alle specifiche EOTA TR41 TriAx™



TriAx™



INGRANAMENTO

Ingranamento è definito come **il meccanismo** attraverso il quale la **geogriglia e l'aggregato interagiscono** sotto il carico applicato. (Durante il posizionamento e la compattazione di uno strato granulare su una geogriglia, le particelle aggregate penetrano parzialmente nelle aperture e battono contro le nervature della geogriglia).

CONFINAMENTO

Il confinamento è definito come **l'effetto del meccanismo di ingranamento** attraverso il quale struttura della geogriglia trattiene le particelle dell'aggregato.

STABILIZZAZIONE

stabilizzazione è definita come **la conseguenza** benefica sull'esercizio di uno strato granulare non legato attraverso **l'inibizione del movimento delle particelle** di quello strato sotto l'applicazione del carico.

questo è il risultato dell'effetto meccanico di confinamento degli aggregati di uno strato granulare, derivanti dal meccanismo di ingranamento fornito da una geogriglia con struttura rigida.

EFFETTO della STABILIZZAZIONE dello strato granulare sono:

L'AUMENTO DEL MODULO ELASTICO, la sua MAGGIORE RESILIENZA, PORTANZA DEL SOTTOFONDO e PRESTAZIONI DI ESERCIZIO.

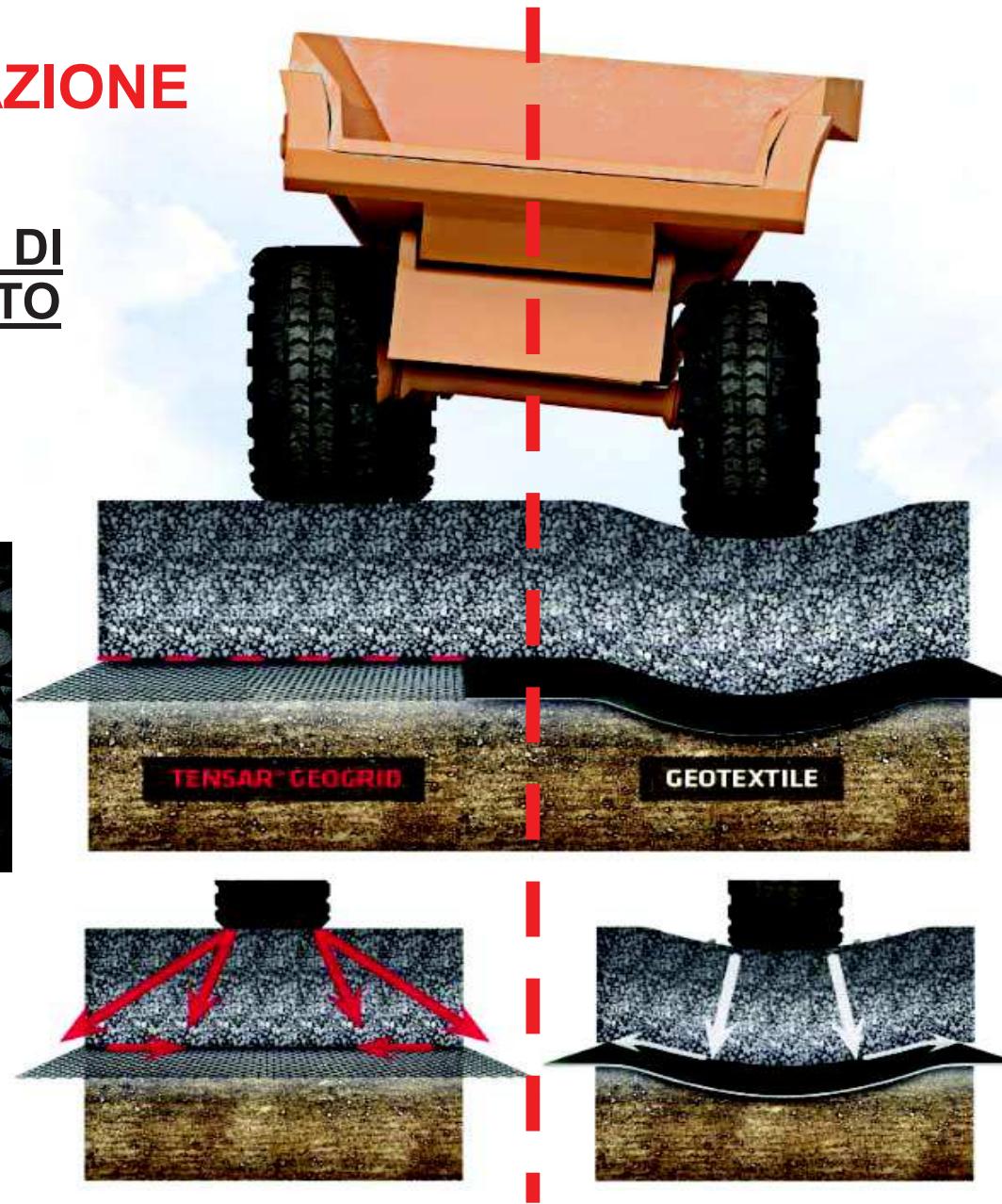
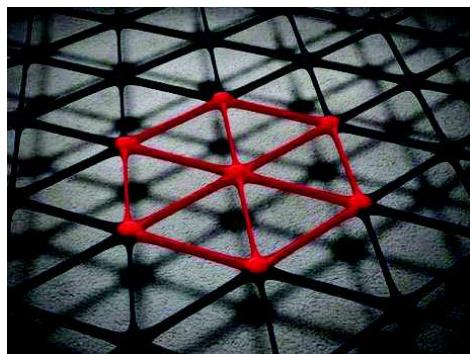
STABILIZZAZIONE

≠

RINFORZO

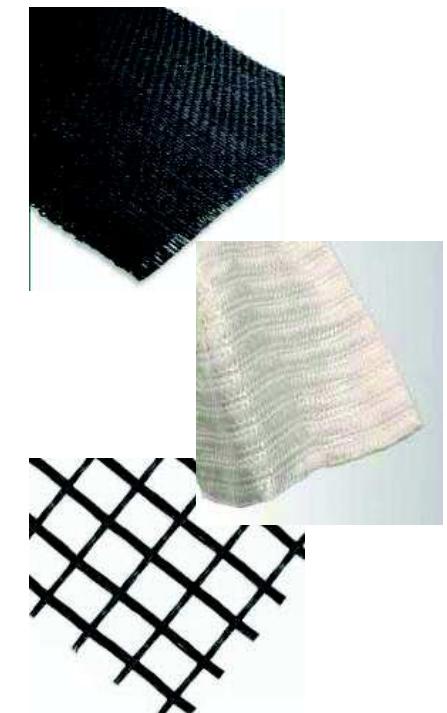
STABILIZZAZIONE

MECCANISMO DI CONFINAMENTO



RINFORZO

EFFETTO MEMBRANA





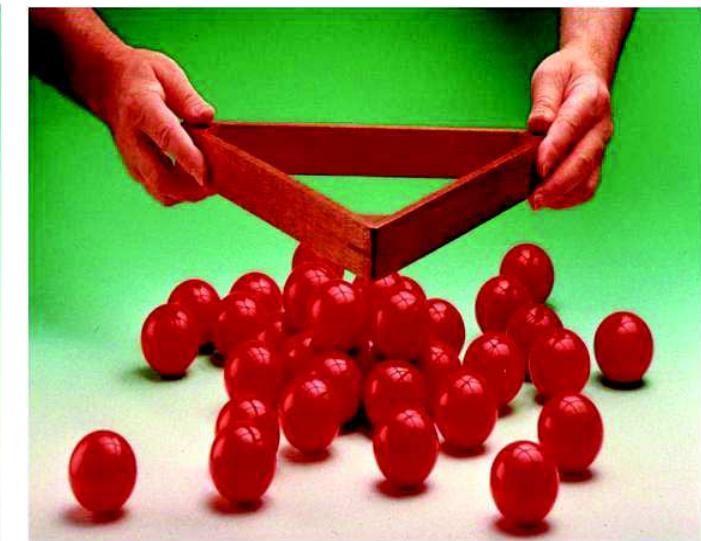
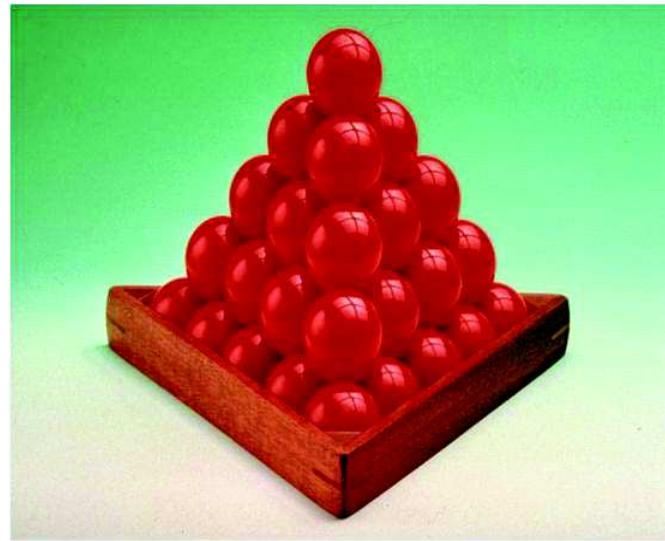
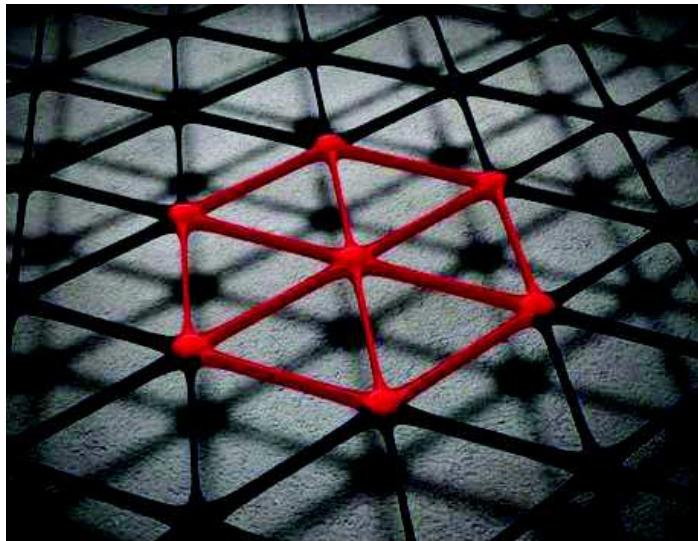
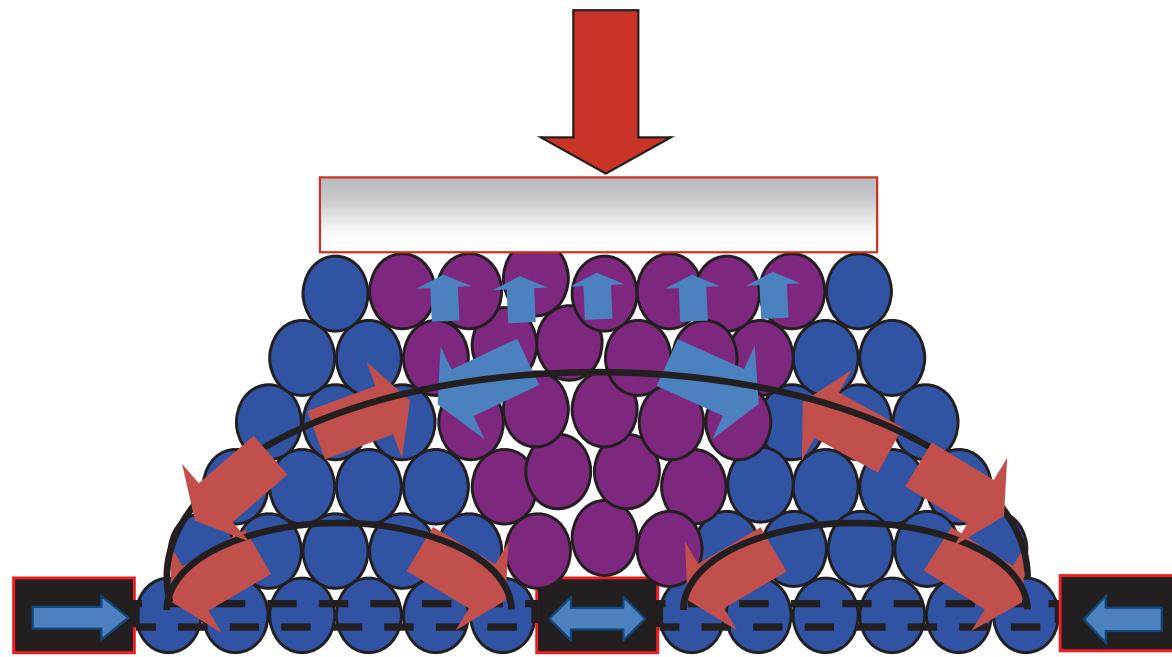
Elevate deformazioni del sottofondo

- **Il geosintetico deve deformarsi prima di cominciare a lavorare**
- **Sono richieste alte resistenze**
- **Necessario ancoraggio →** materiali e spazi aggiuntivi

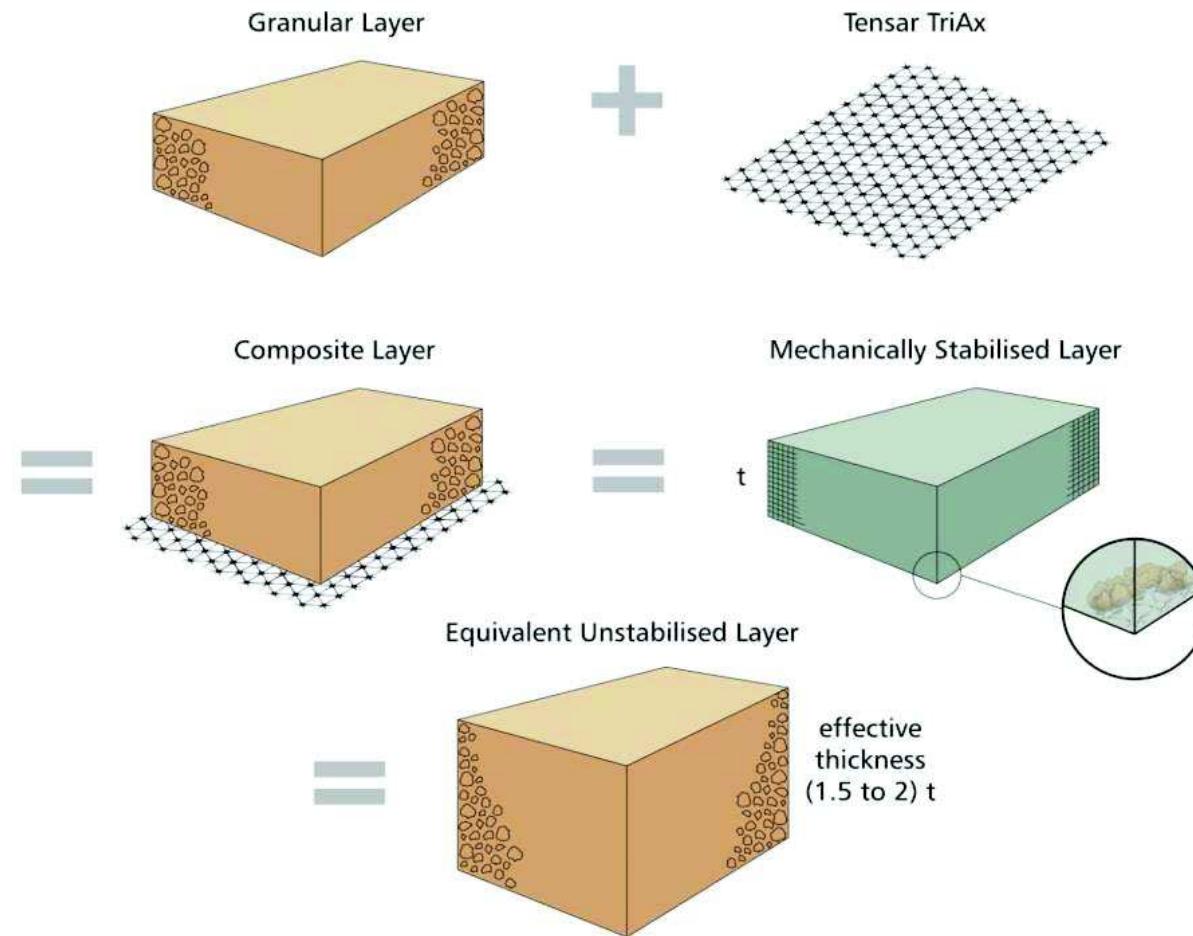


STABILIZZAZIONE - CONCETTO DI CONFINAMETO

Tensar.



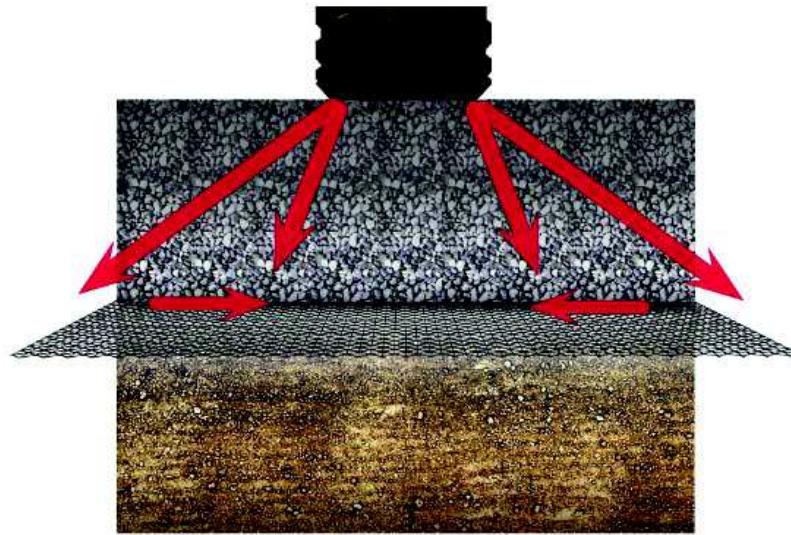
Abbiamo ottenuto uno **strato di terreno granulare MECCANICAMENTE STABILIZZATO (MSL = TriAx + misto granulare)**
con proprietà meccaniche superiori rispetto ad una stratigrafia **NON** stabilizzata



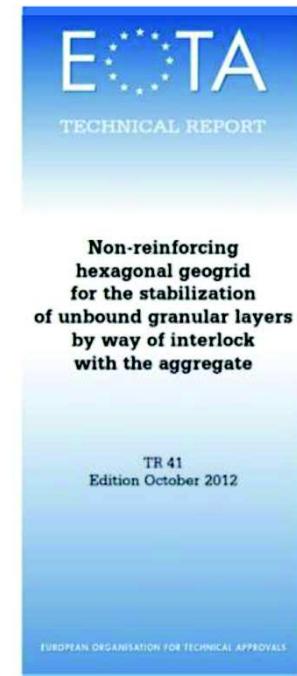
Webster , S.L. US Corp of Engineers, 1992 ha effettuato STUDI SUI PRINCIPI DI STABILIZZAZIONE dei suoli CON GEOGRIGLIE definendone i **FATTORI FONDAMENTALI:**

Nastri	Spessore	> Spessore = > Efficienza
	Rigidezza	> Rigidezza = > Efficienza
	Sezione trasversale	rettangolare
Maglia	Dimensioni	Secondo granulometria
	Rigidezza	> Rigidezza = > Efficienza
Giunzioni	Indice di resistenza (%)	> Rigidezza = > Efficienza
Stabilità	Rigidezza torsionale	> Rigidezza = > Efficienza

**la RESISTENZA A TRAZIONE non è
menzionata!!!**



ETA
for Geogrid
Stabilisation of
Unbound Layers

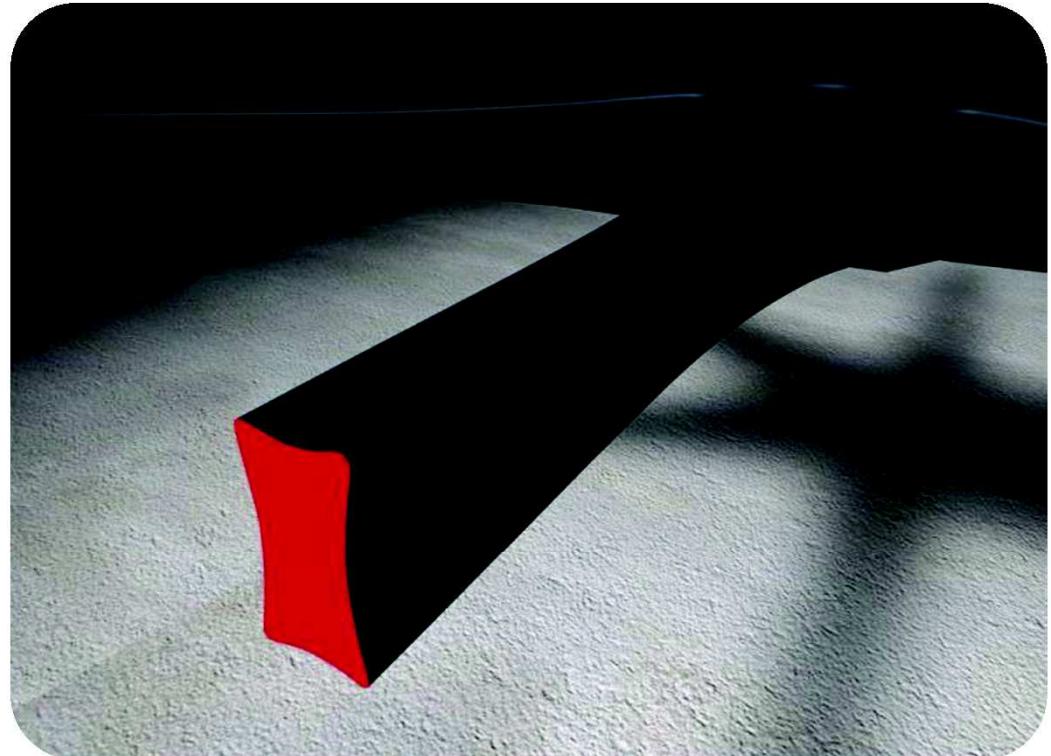


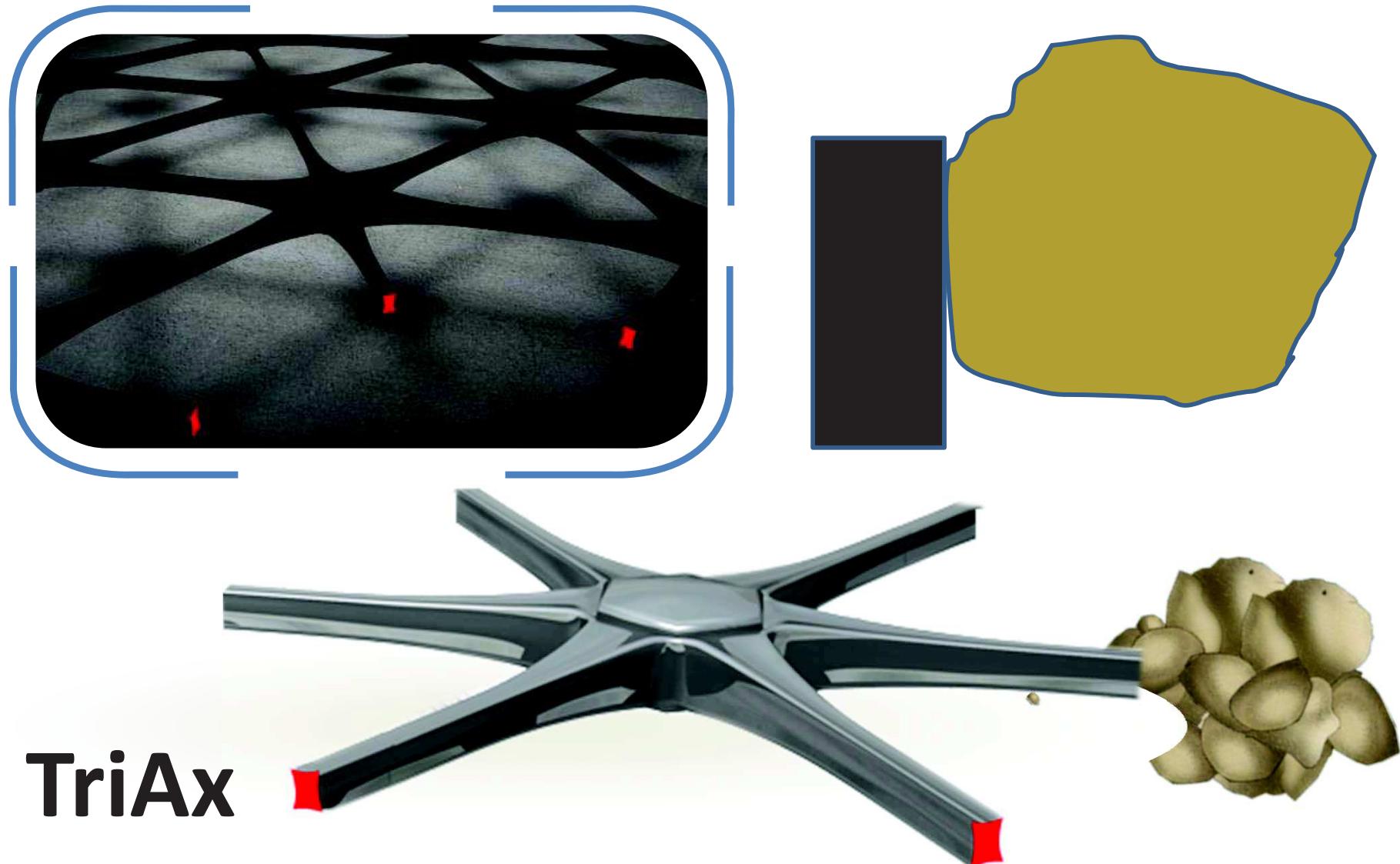
No.	Product Characteristic	Method of Testing	Unit or Characteristic
1	Radial Secant Stiffness at 0.5% strain	TR 041 B.1	kN/m
2	Radial Secant Stiffness Ratio	TR 041 B.1	-
3	Junction Efficiency	TR 041 B.2	%
4	Hexagonal Pitch	TR 041 B.4	mm

90-100% di efficienza nelle giunzioni



sezione alta dei nastri



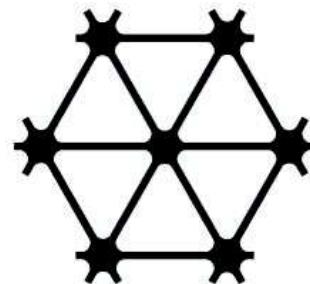


TriAx

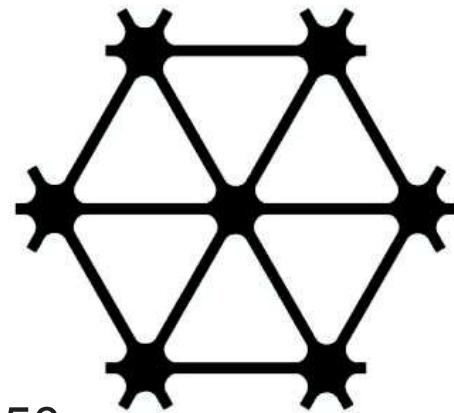
nervature a SEZIONE ALTA

APERTURA DELLE MAGLIE

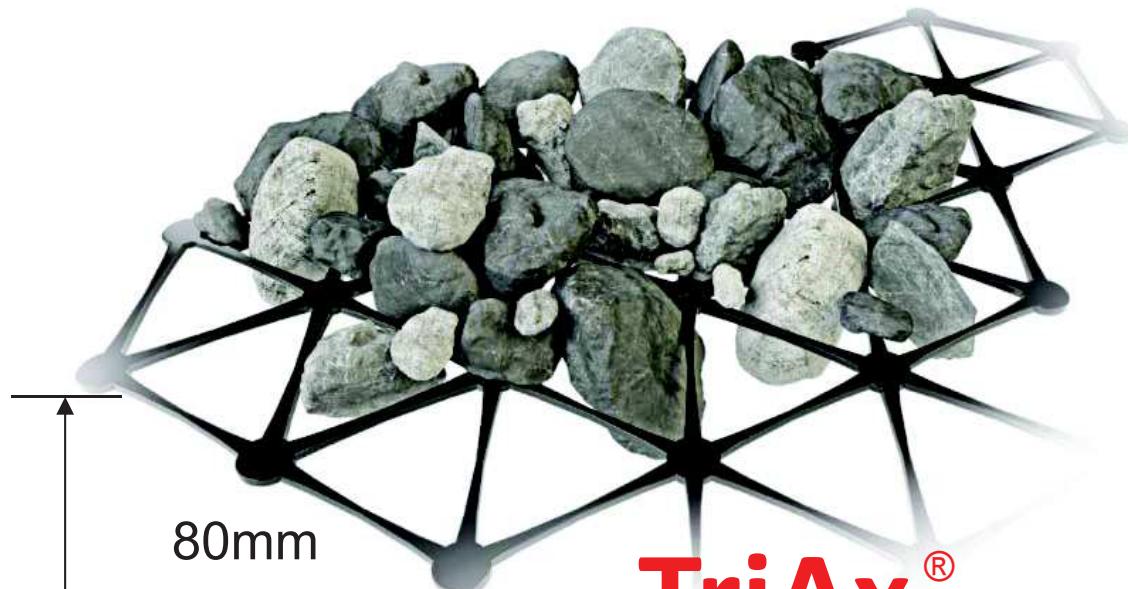
Tensar.



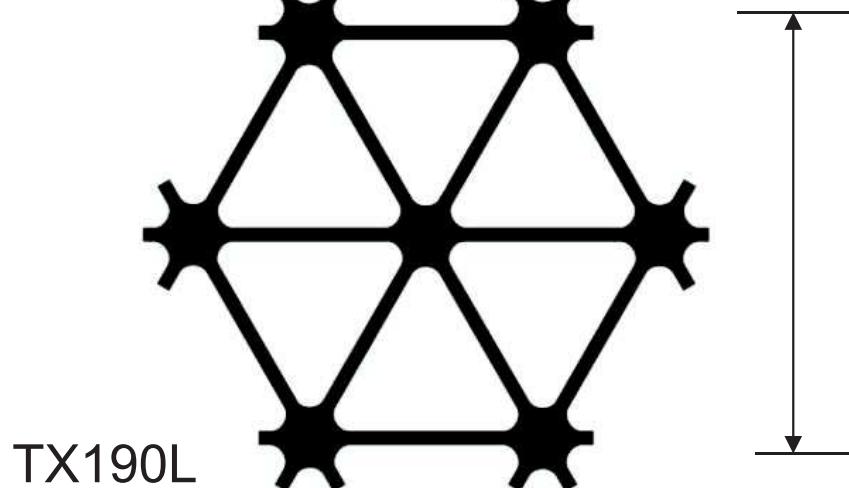
TX130S



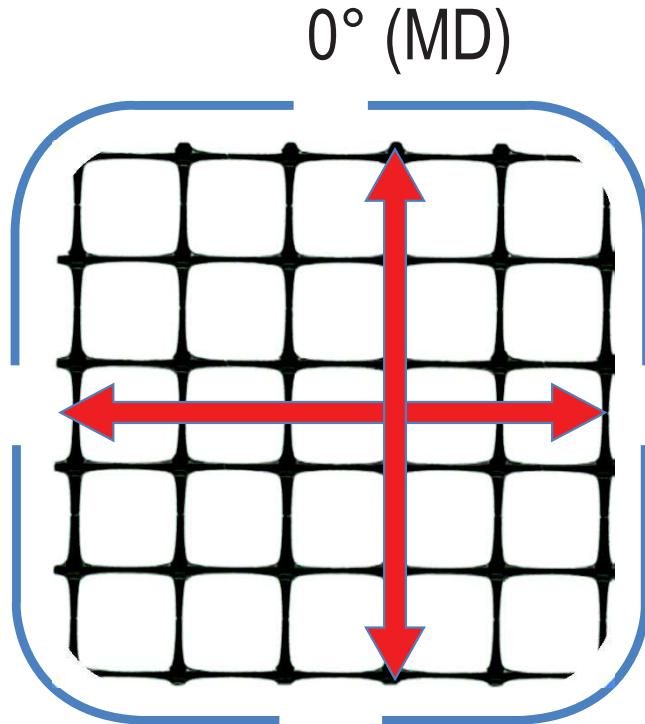
TX150,
TX160 etc..



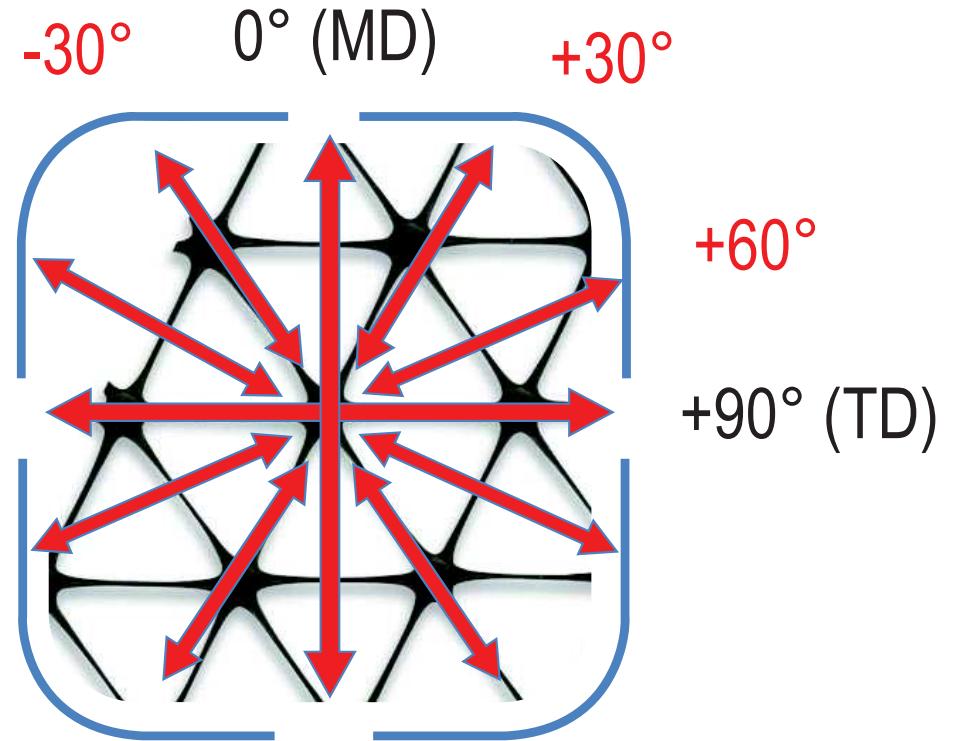
- maglia esagonale
- possibilità di utilizzare differenti granulometrie di inerte



TX190L



altre Geogriglie a
nastri biorientati
(maglia
quadrata)



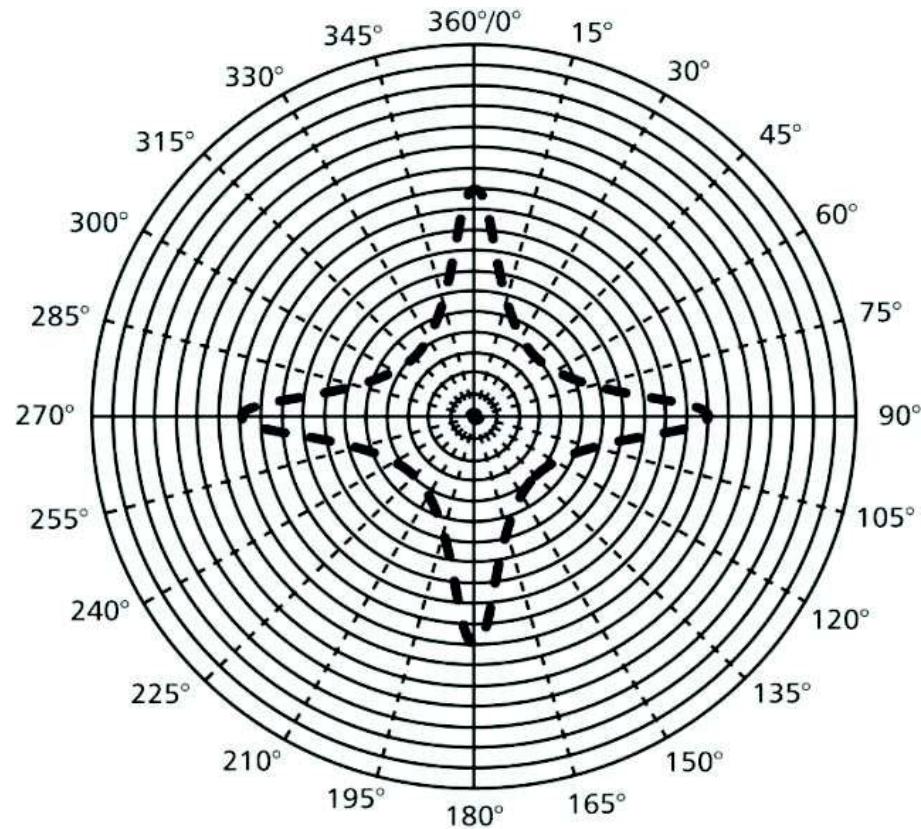
TriAx
(maglia esagonale)

DIAGRAMMA DI RIGIDEZZA RADIALE SULLA MAGLIA BIDIREZIONALE

Tensar



Test a trazione in laboratorio

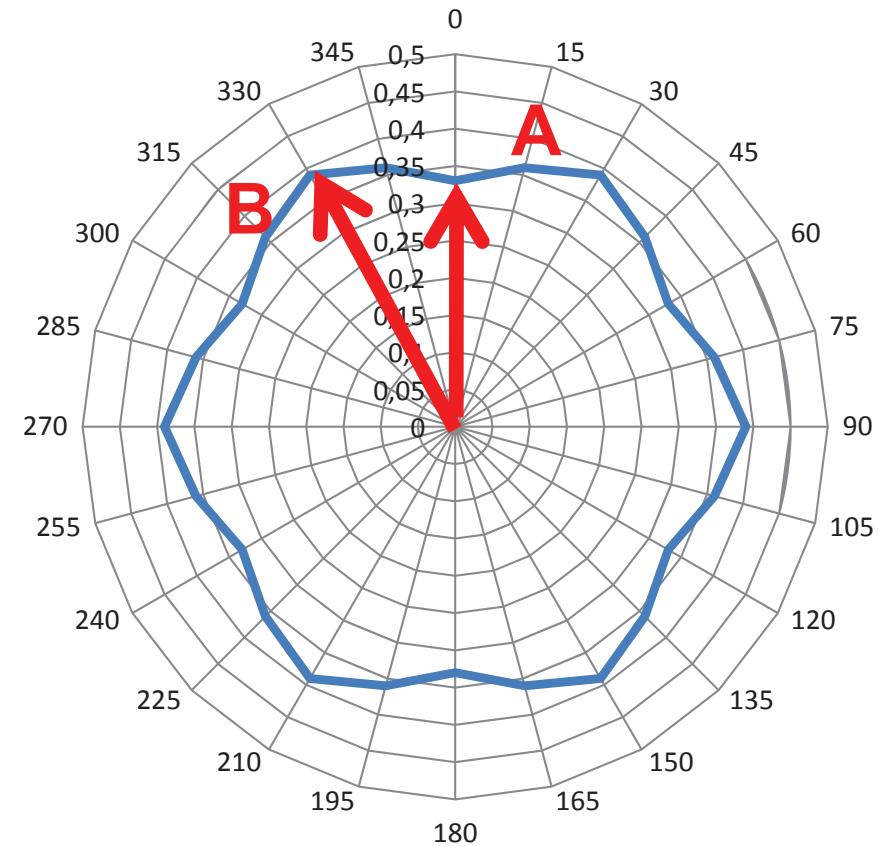


STIFFNESS

.....altre Geogriglie a nastri biorientati (maglia quadrata)

DIAGRAMMA DI RIGIDEZZA RADIALE SULLA MAGLIA ESAGONALE

Tensar



Test a trazione in laboratorio

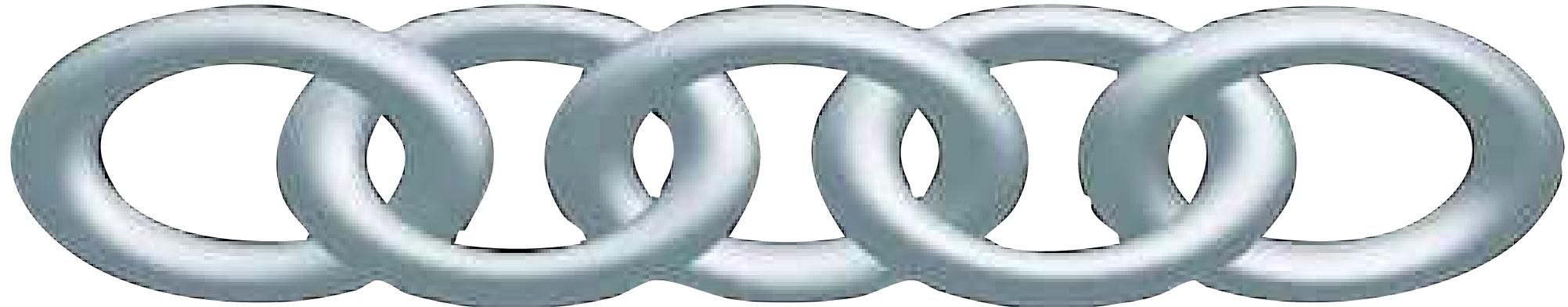
..... Geogriglie **TriAx** [®] (maglia esagonale)

PROPRIETÀ FONDAMENTALI di una geogriglia per la stabilizzazio **Tensar.**

**Apertura delle
maglie**

**Resistenza delle
giunzioni**

**Rigidezza
torsionale**



Sezione dei nastri

**rigidezza radiale &
rapporto isotropo**

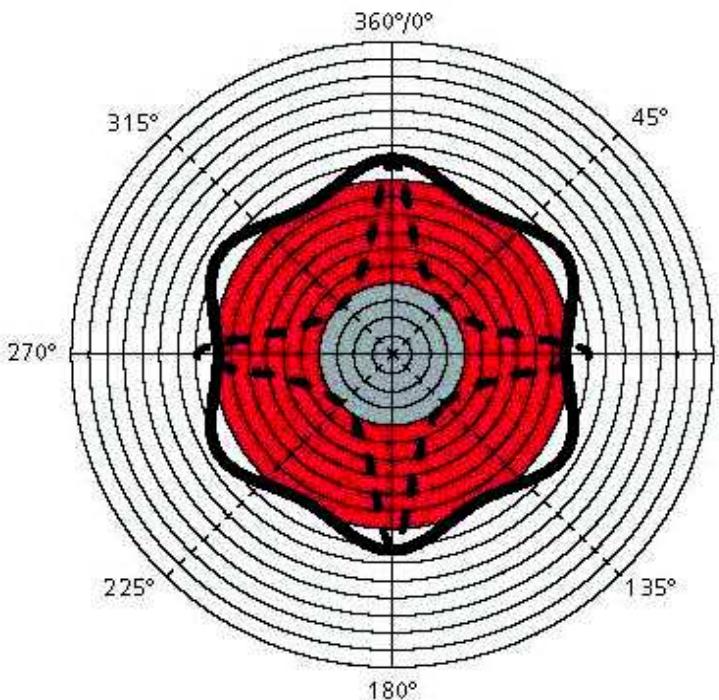
Le proprietà fondamentali di una geogriglia creano una CATENA in cui un solo "ANELLO DEBOLE" compromette le prestazioni dell'intera catena.

CONFRONTO DIAGRAMMI DI RIGIDEZZA

Tensar.

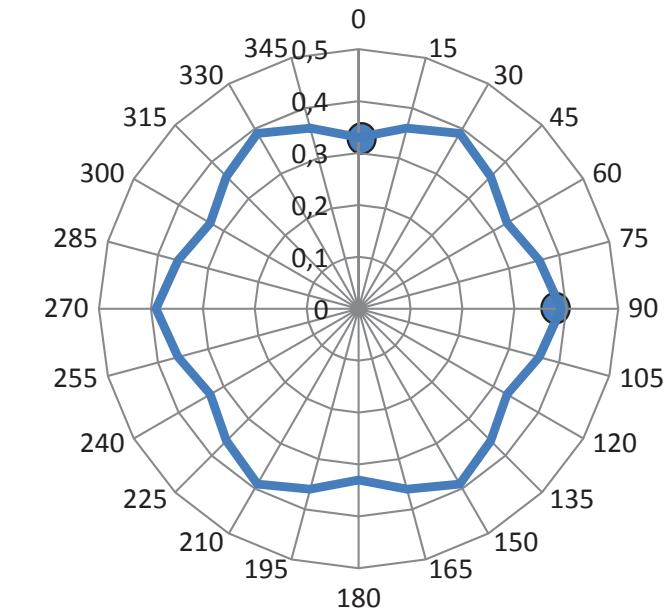
Le geogriglie a maglia esagonale **TriAx™** hanno una **migliore performance radiale** rispetto alle geogriglie a maglia quadrata

Geogriglia bidirezionale
 $A/B \sim 0.3$



- Rigidezza radiale minima Geogriglia bidirezionale tipo
- Rigidezza radiale minima Geogriglia TriAx
- Rigidezza radiale Geogriglia bidirezionale tipo
- Rigidezza radiale Geogriglia TriAx

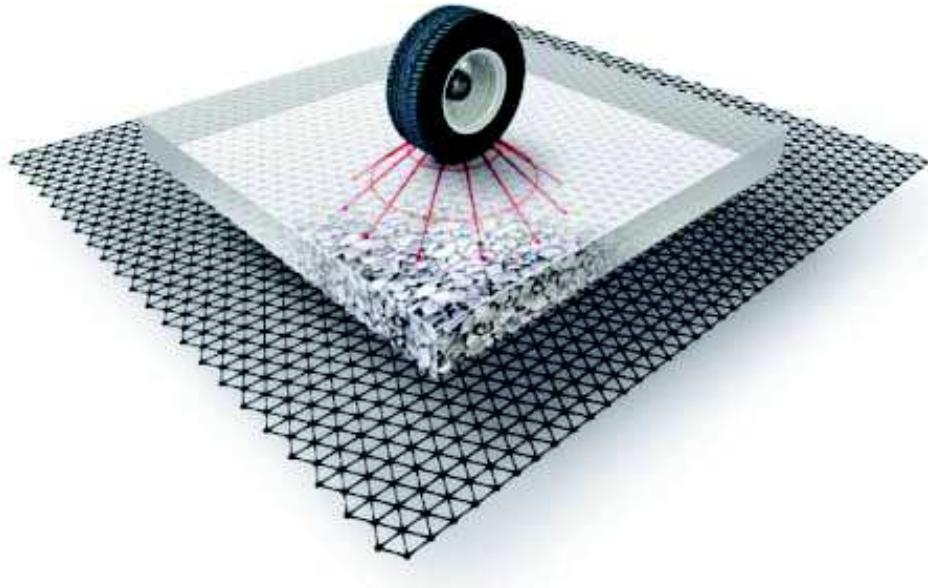
Geogriglia TriAx
 $A/B \sim 0.8$



La condizione ottimale di perfetta isotropia è $A/B=1.0$

PERFORMANCE RADIALE – Geogriglia TriAx maglia esagonale

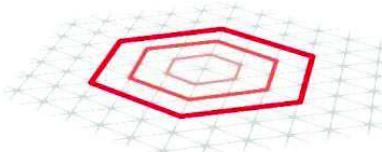
Tensar.



In genere il carico di un pneumatico si distribuisce in tutte le direzioni e quindi **LA PRESTAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE SARÀ REGOLATA DALLA RISPOSTA NELLA DIREZIONE PIÙ DEBOLE**, ma se la risposta della geogriglia è isotropa allora le prestazioni della pavimentazione saranno maggiori ed uniformi.



- Carico radiale attraverso lo strato granulare



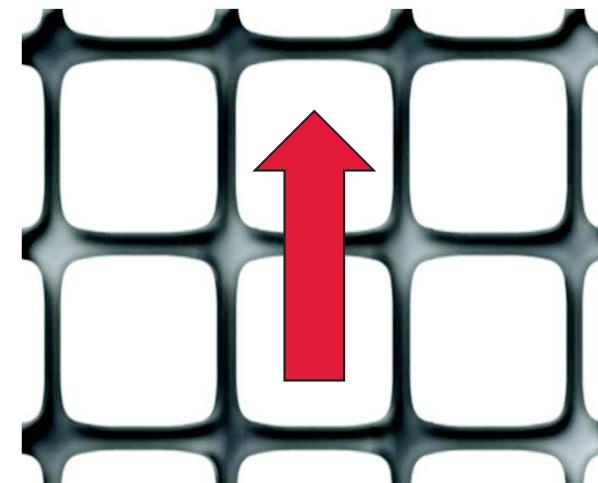
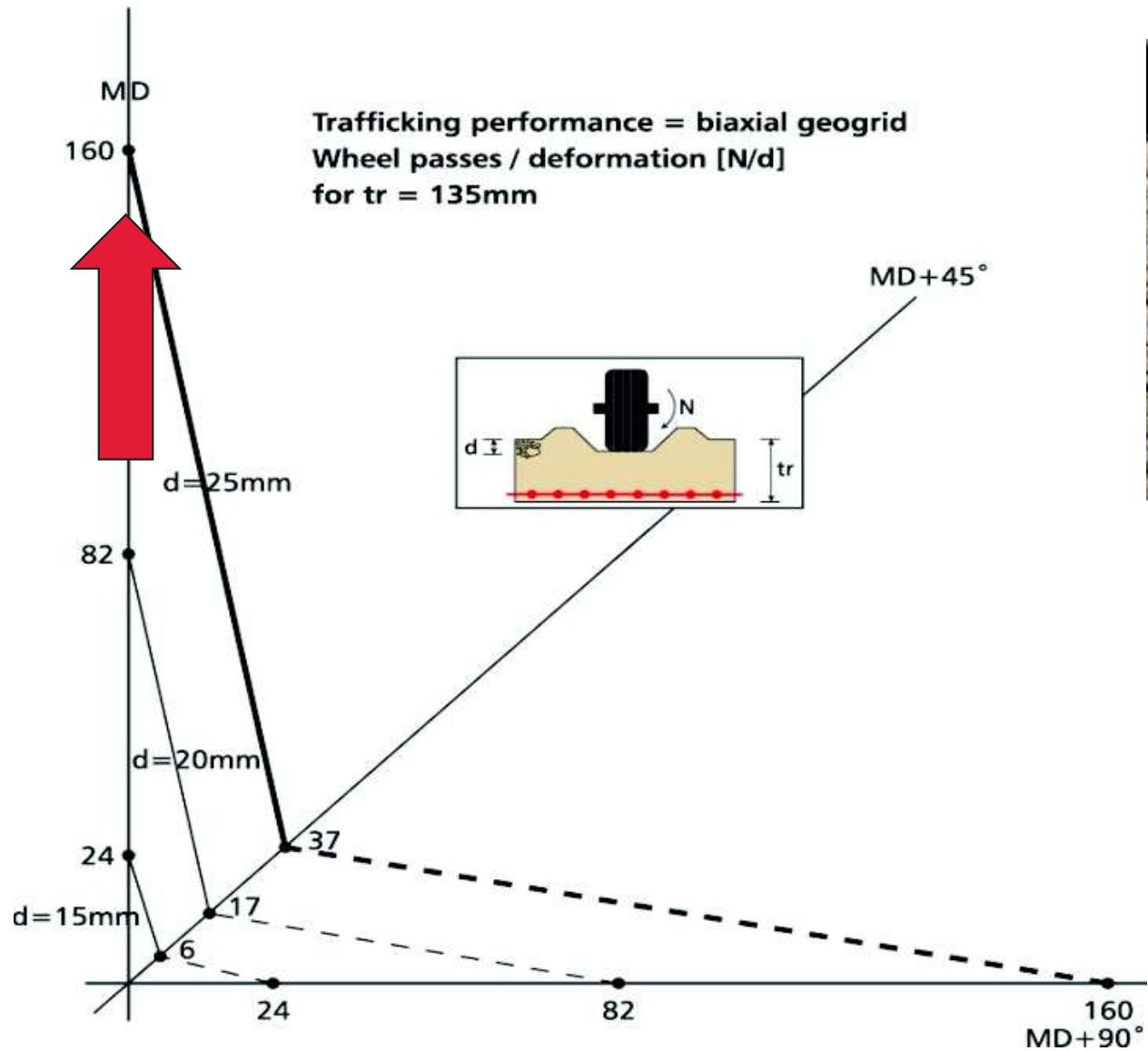
- Risposta radiale geogriglie **TriAx**

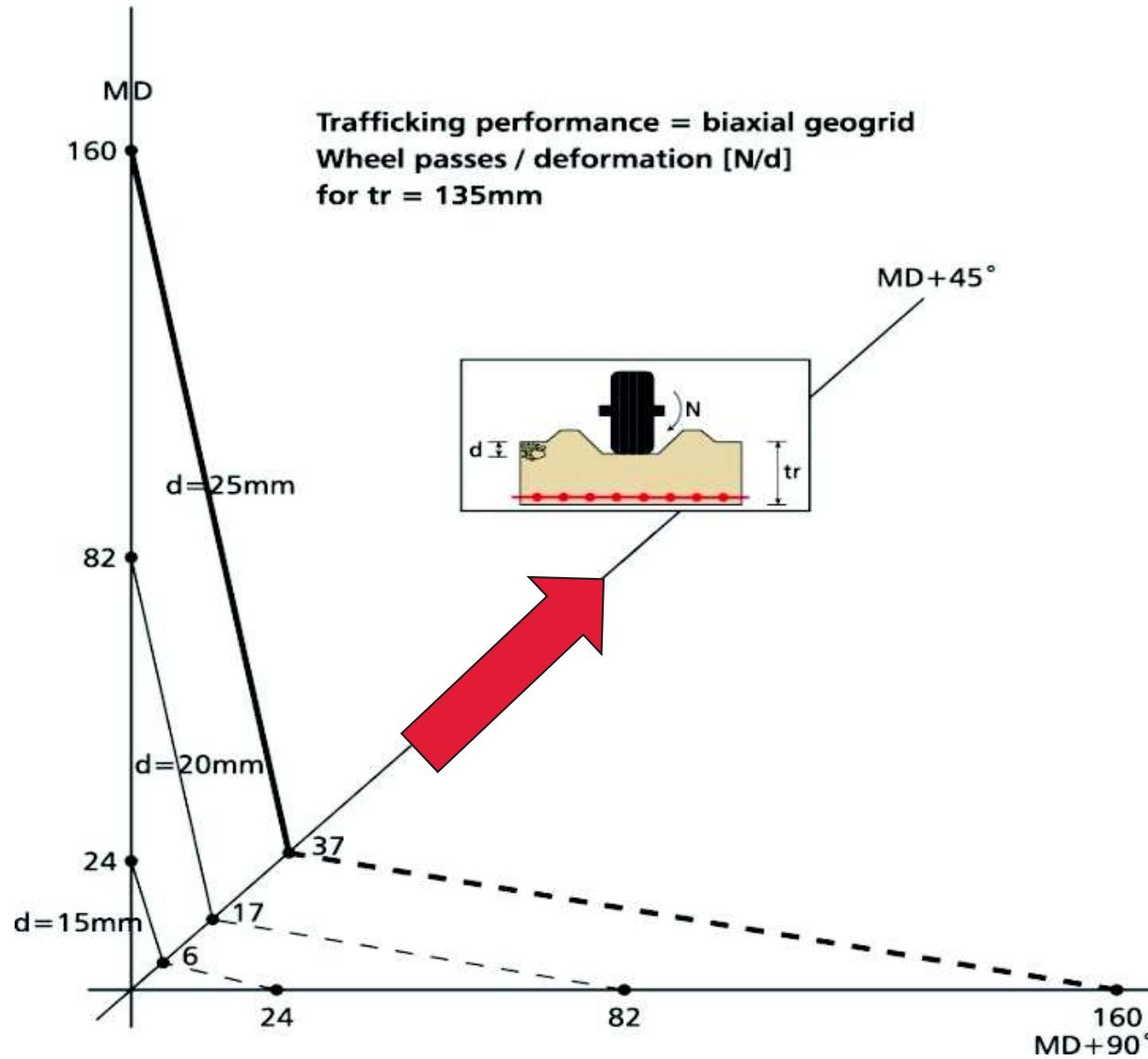


- Rapporto di rigidezza radiale prossimo a 1.0 (performance isotropiche)



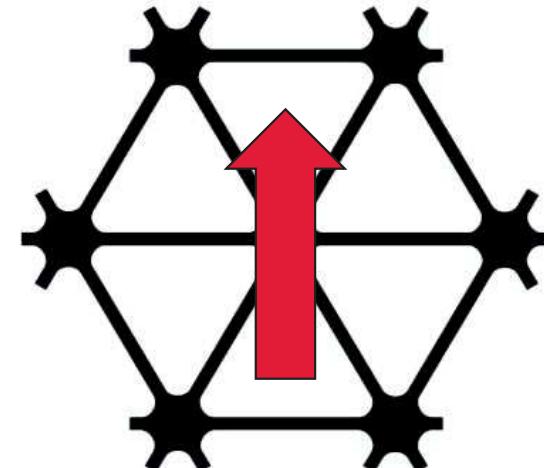
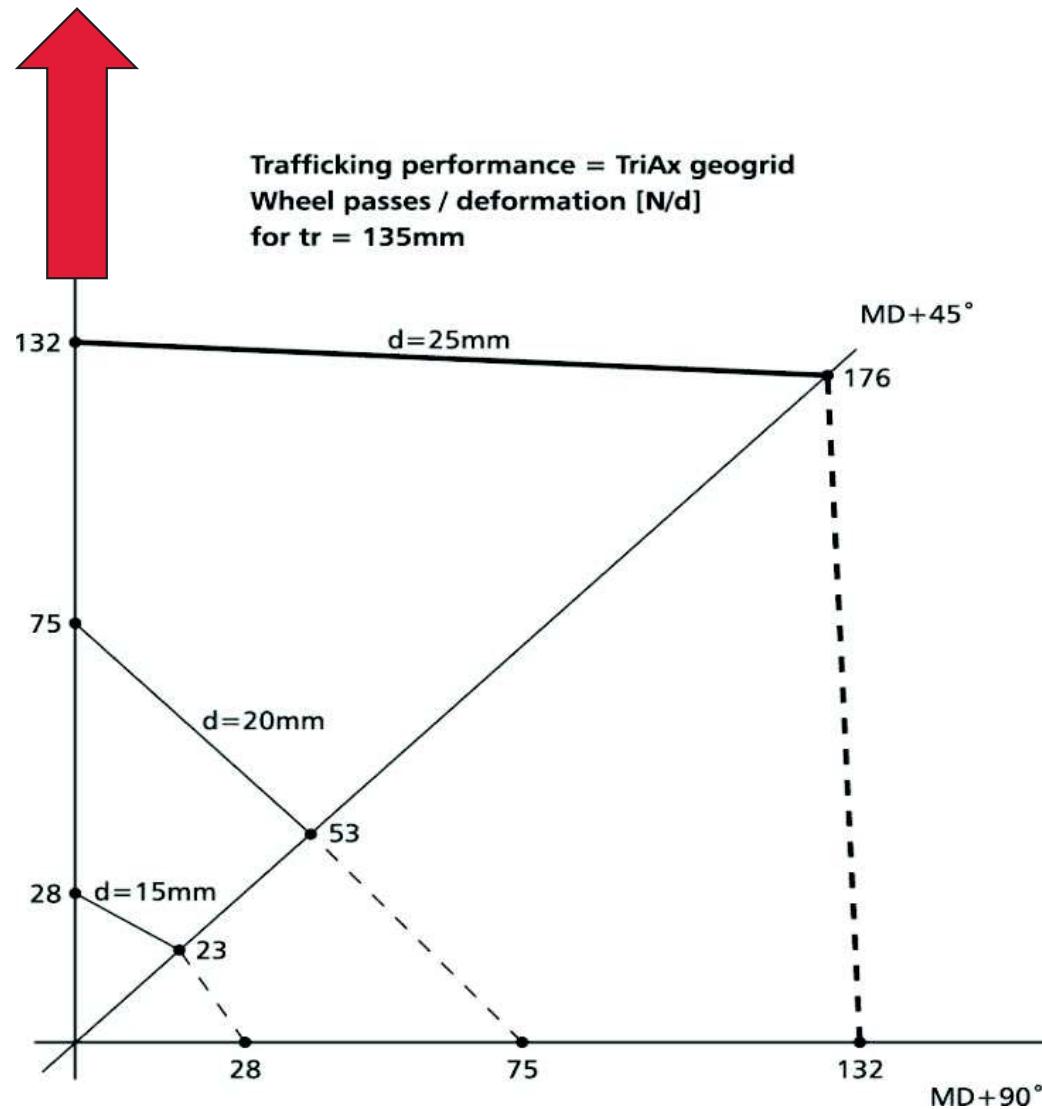
Test da traffico –TRL Università di Nottingham





PERFORMANCE RADIALE – Geogriglia TriAx maglia esagonale

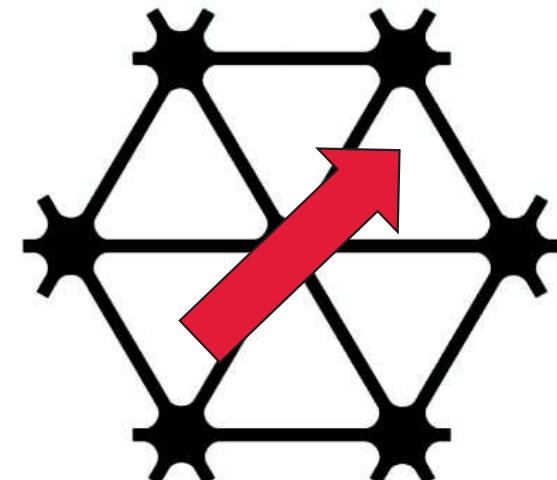
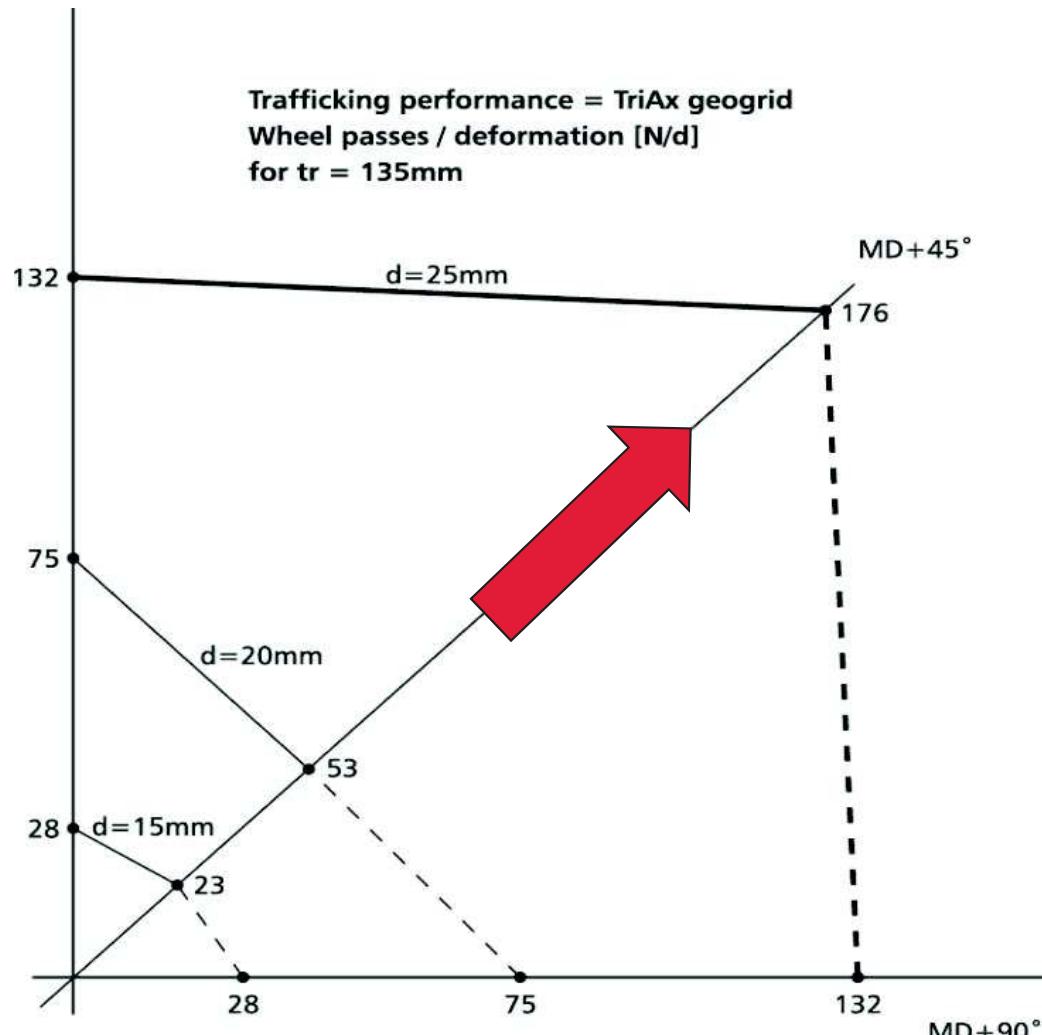
Tensar.



..... Geogriglie **TriAx** [®] (maglia esagonale)

PERFORMANCE RADIALE – Geogriglia TriAx maglia esagonale

Tensar.

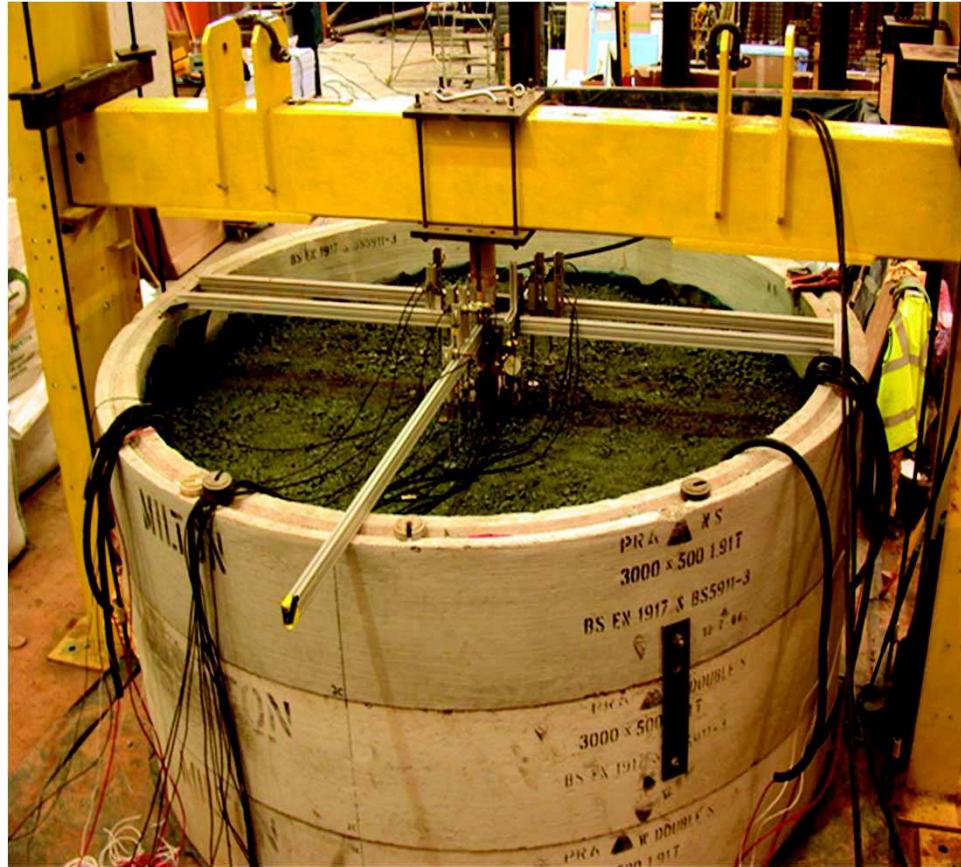


..... Geogriglie **TriAx** [®] (maglia esagonale)

TEST DI LABORATORIO

prova di efficienza TriAx sotto carico STATICO

Tensar.

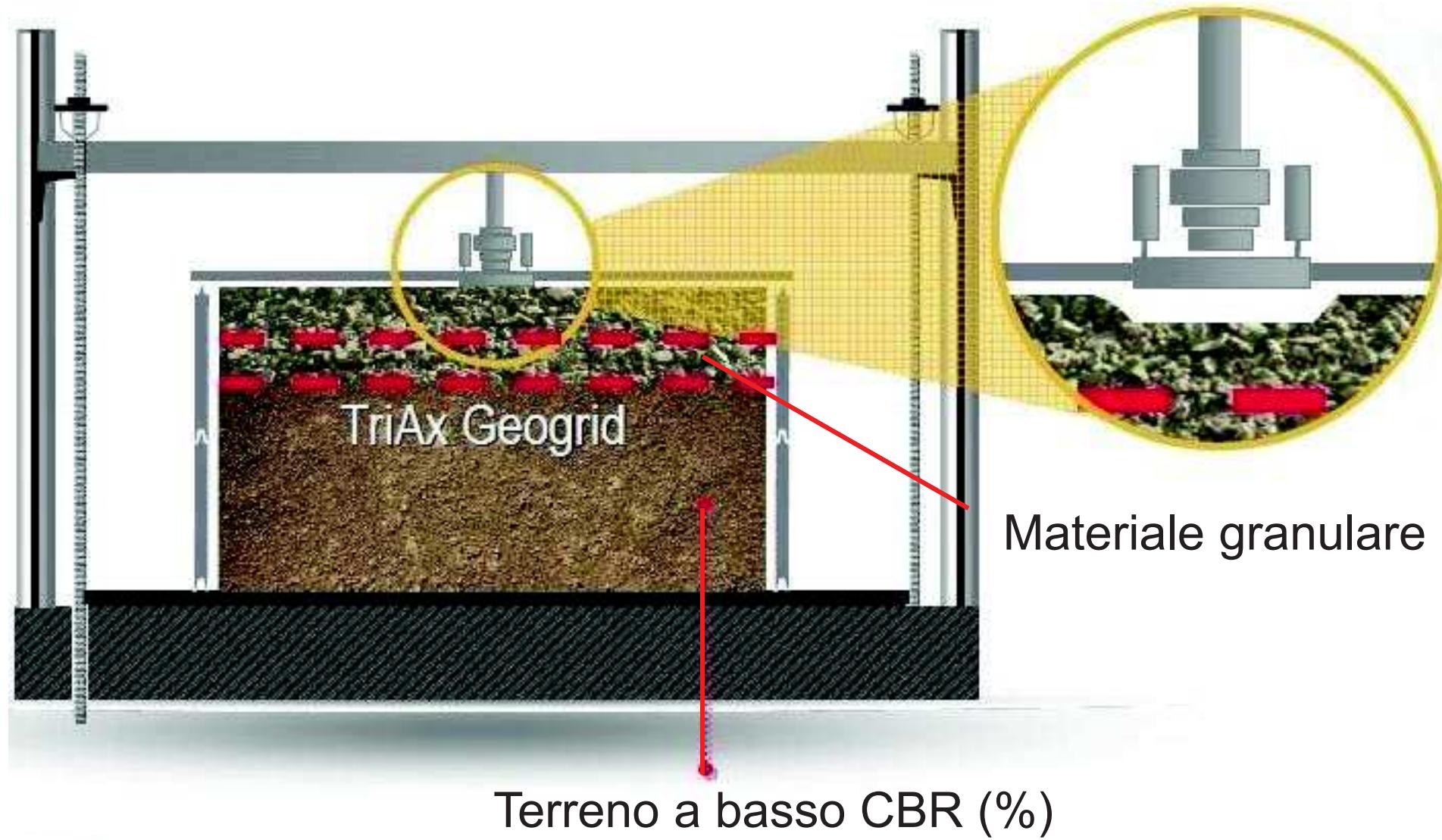


- 3 m diametro degli anelli
- 300 mm diametro della piastra
- 450 mm materiale granulare 0-45 mm
- Sottofondo in argilla molle con CBR 2 %
- Doppio strato di geogriglie **TriAx®**



.....ricerca continua dal 1980 presso laboratori interni, laboratori indipendenti, test in situ, esperienze di cantiere

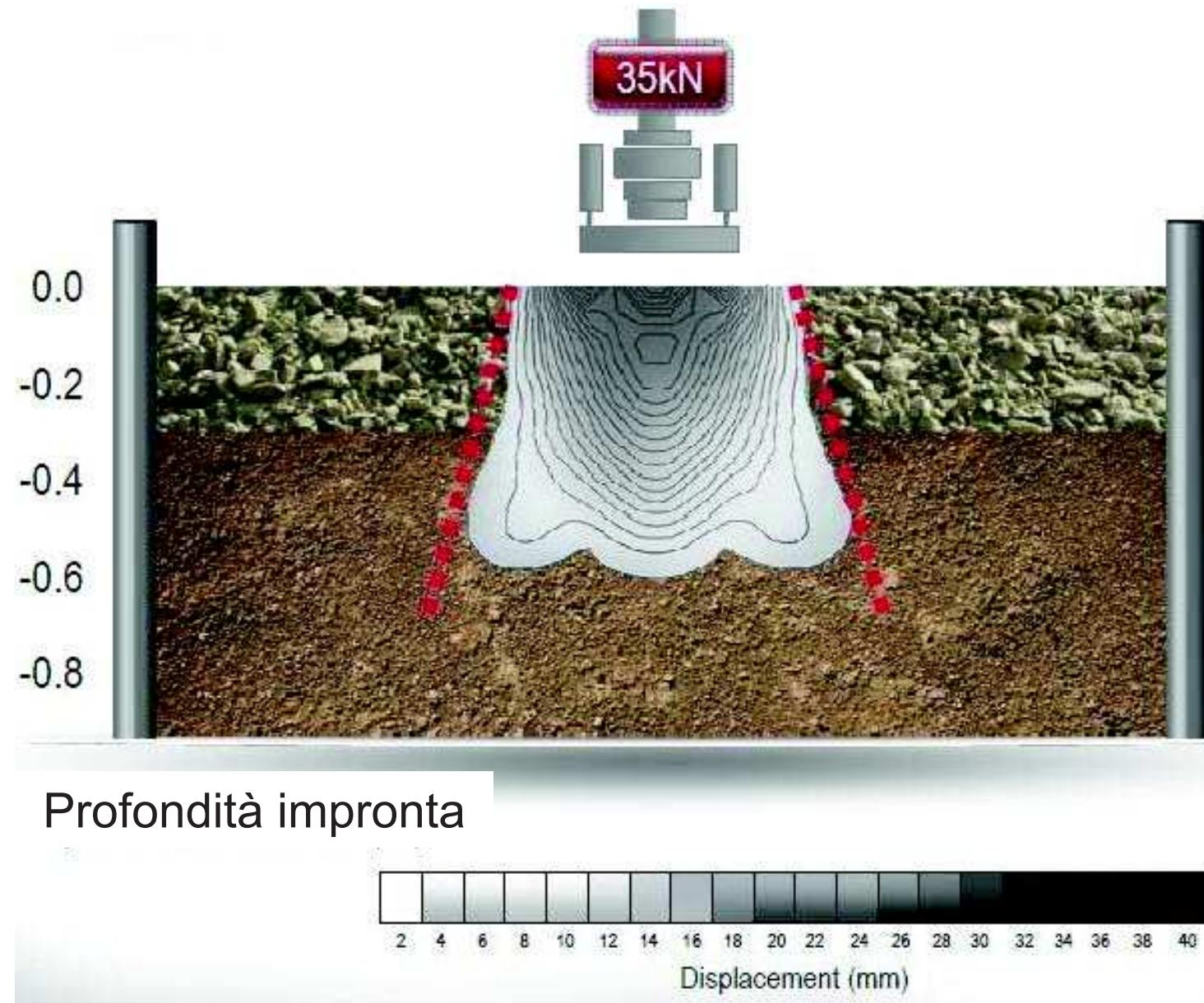
Schema di prova



TEST DI LABORATORIO

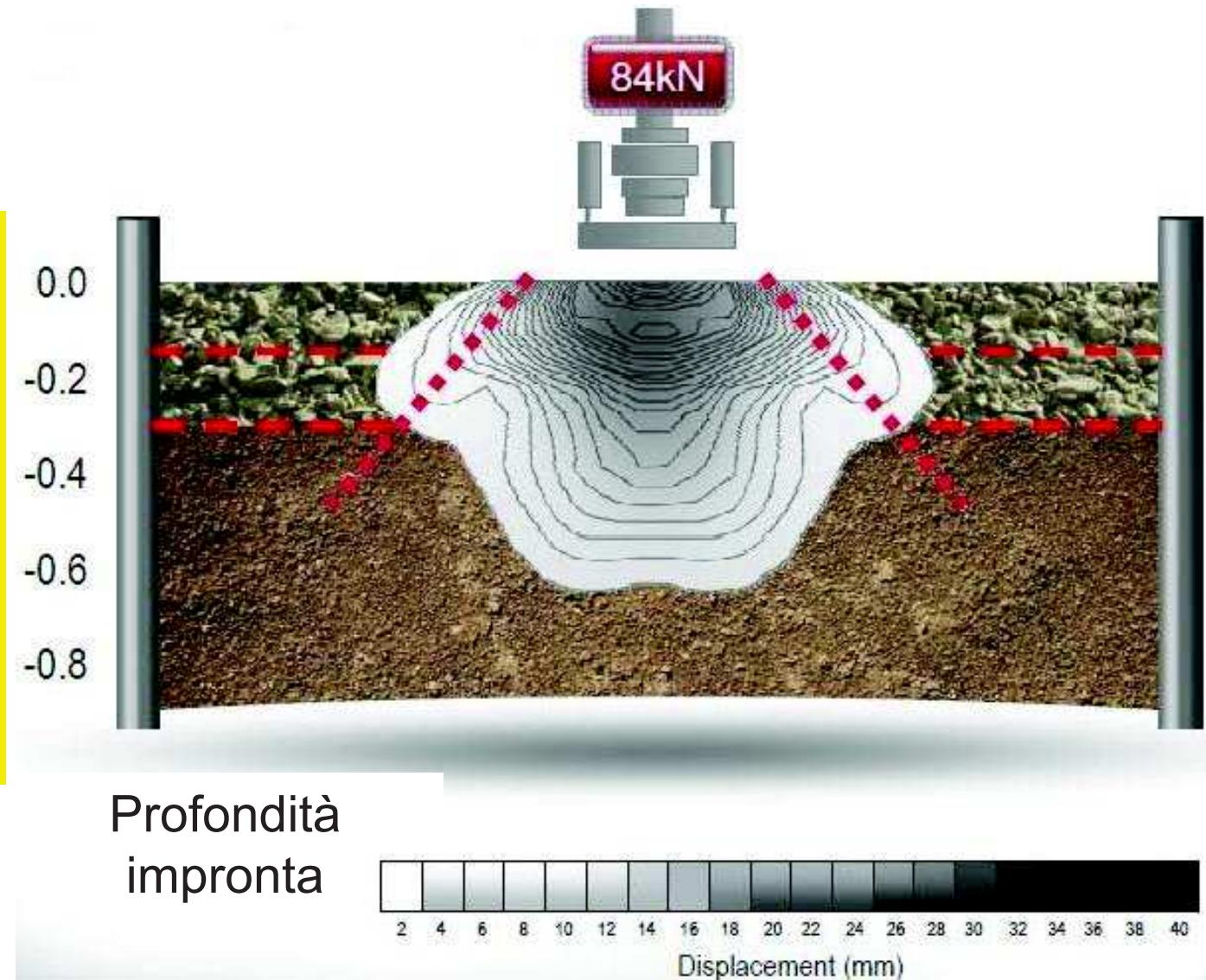
prova di efficienza TriAx sotto carico STATICO

Tensar.



A parità di deformazioni superficiali si ottiene

INCREMENTO di capacità portante +140%





ESEMPI APPLICATIVI

Riduzione dei cedimenti differenziali

Tensar





ESEMPI APPLICATIVI

Pavimentazioni industriali

Tensar.



ESEMPI APPLICATIVI

Fondazioni in generale

Tensar.



TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

Tensar.



.....ricerca continua dal 1980 presso laboratori interni, laboratori indipendenti, test in sito, esperienze di cantiere

TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

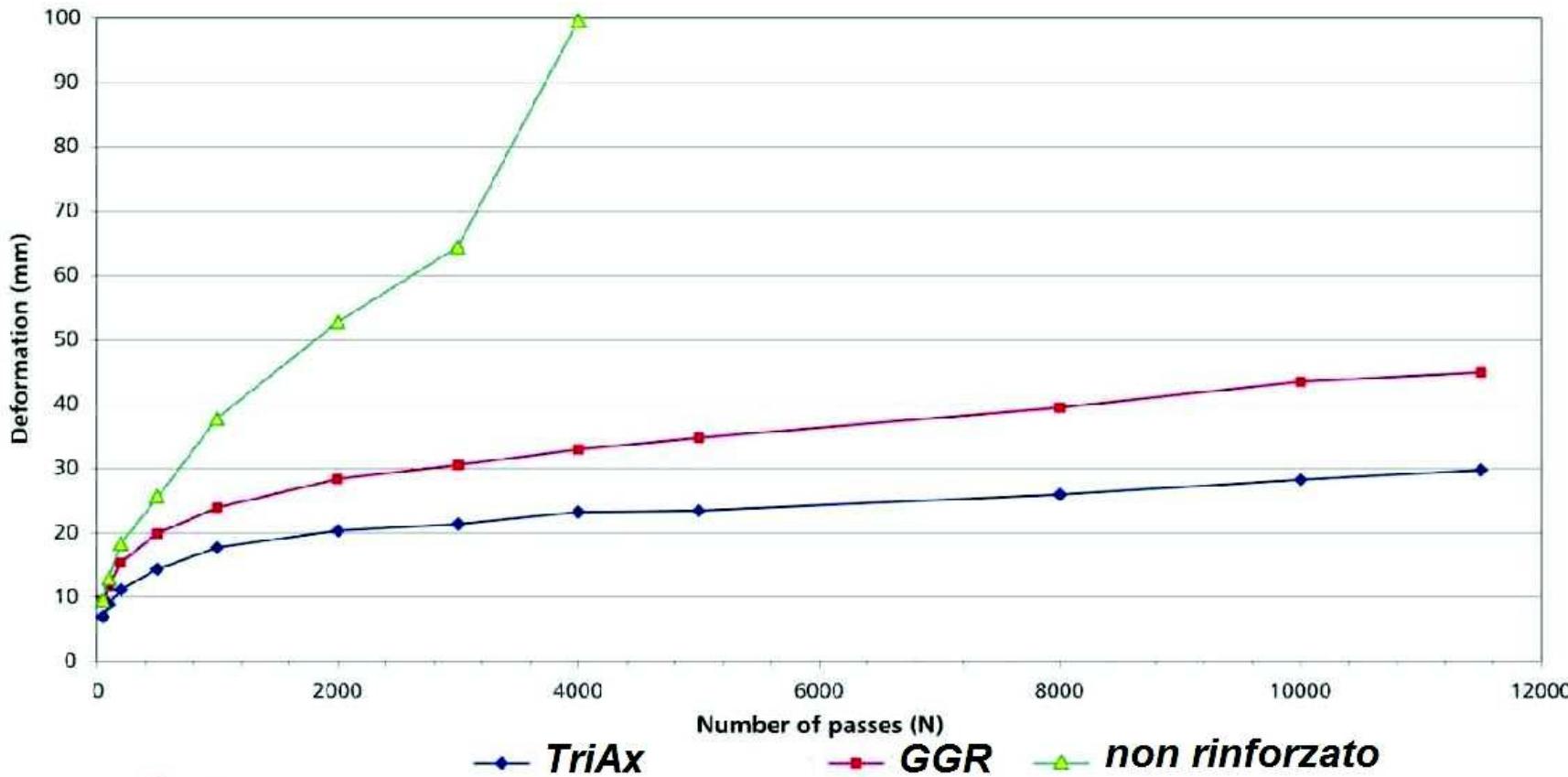
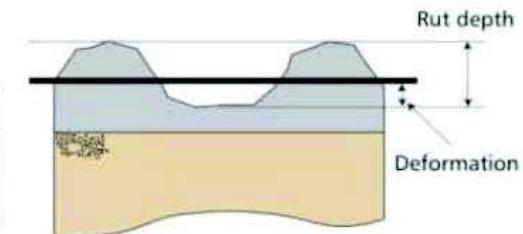
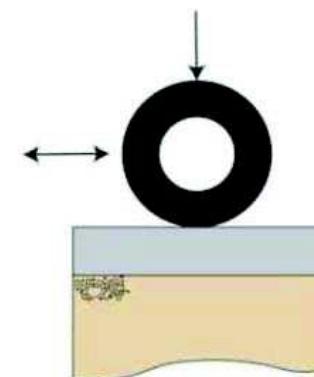
Tensar.



TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

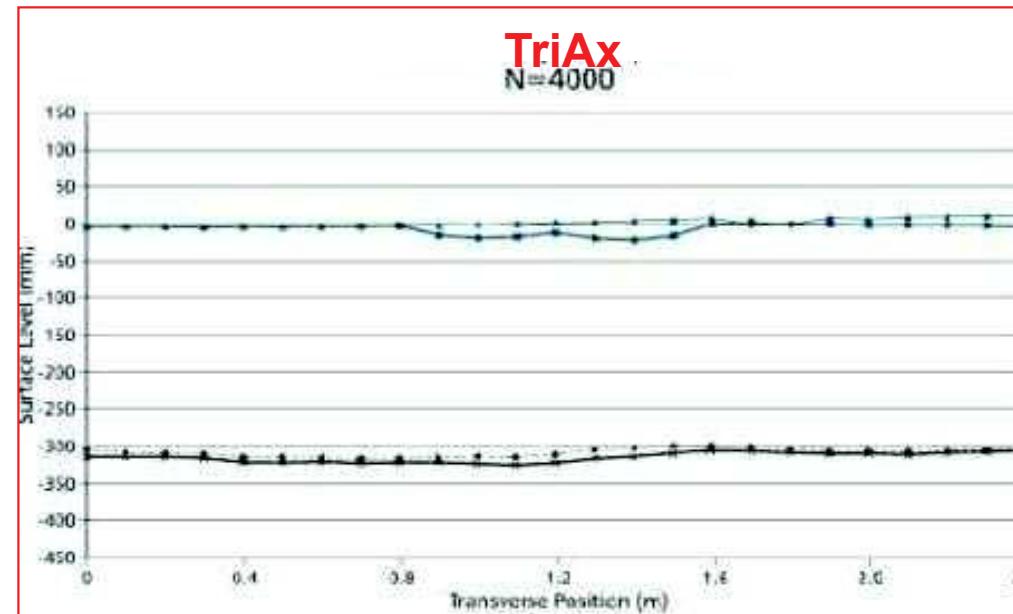
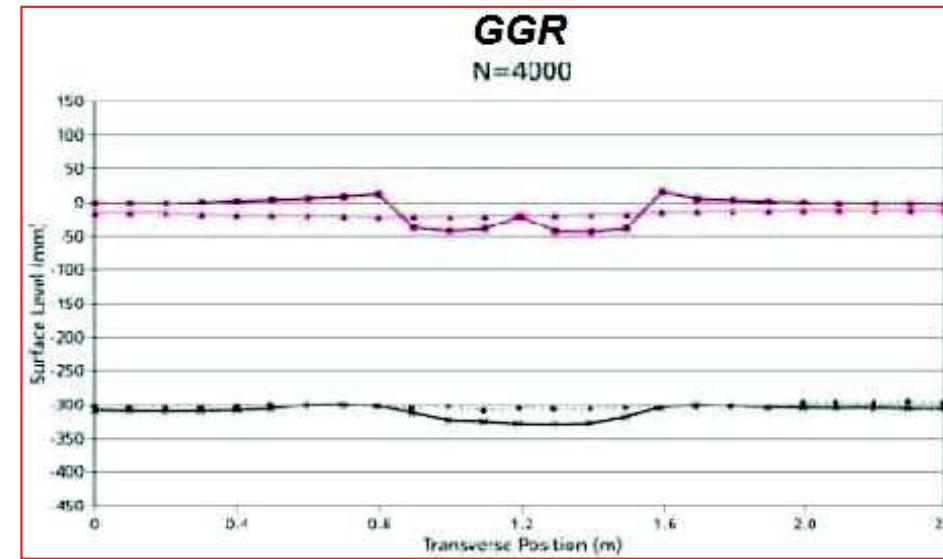
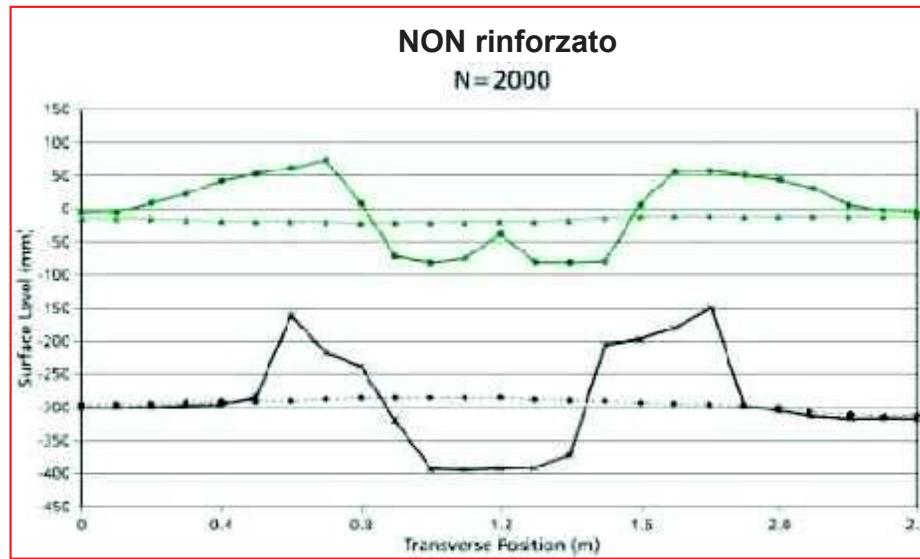
Tensar.



TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

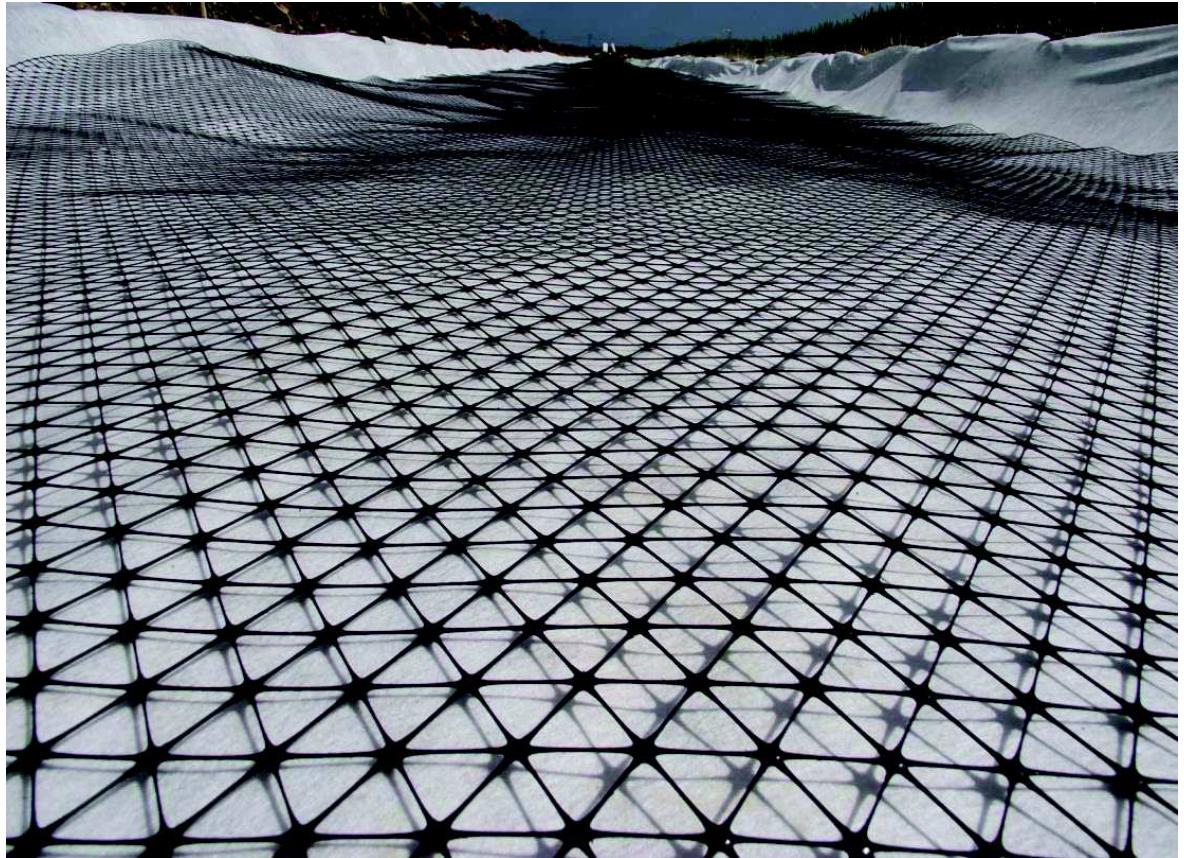
Tensar.



ESEMPI APPLICATIVI

Applicazioni stradali

Tensar



ESEMPI APPLICATIVI

Applicazioni stradali

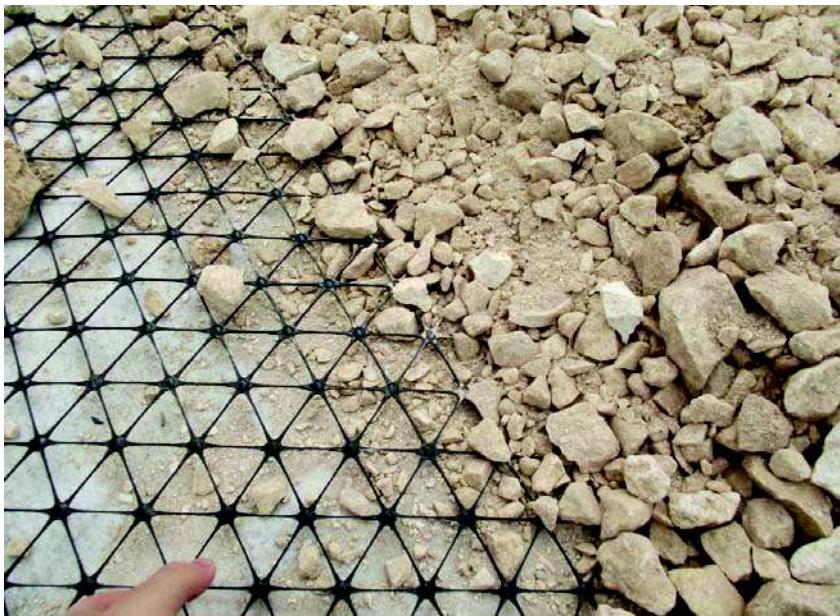
Tensar.



ESEMPI APPLICATIVI

Applicazioni stradali

Tensar





ESEMPI APPLICATIVI

Applicazioni stradali

Tensar.



ESEMPI APPLICATIVI

Applicazioni stradali

Tensar.

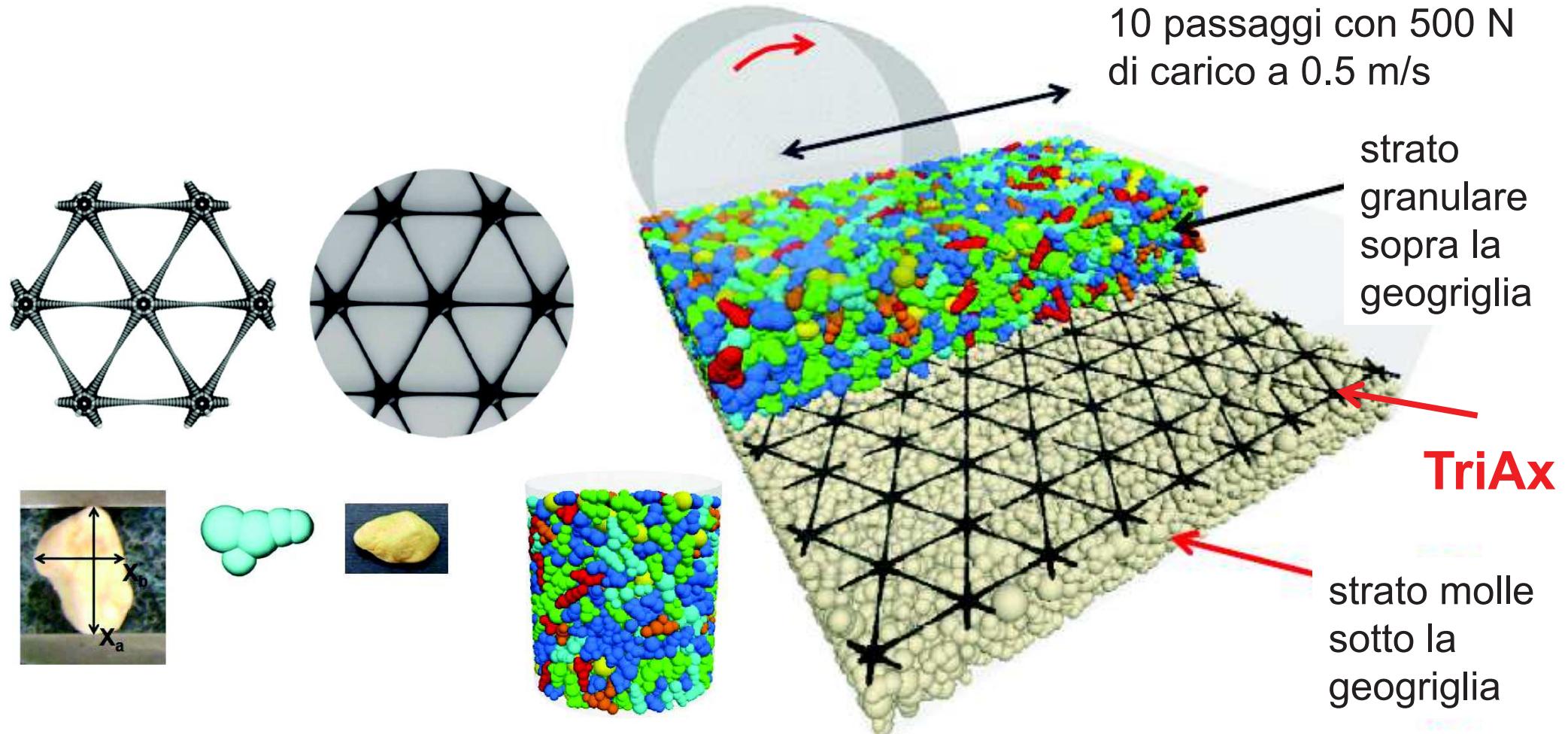




TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

Tensar.

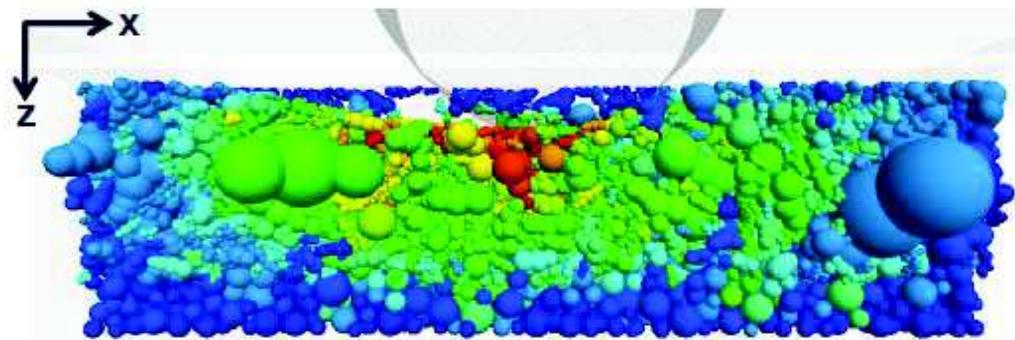


TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

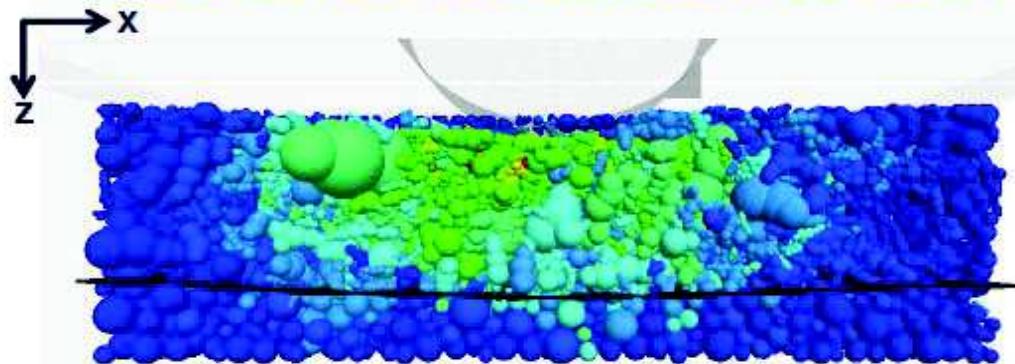
prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

Tensar.

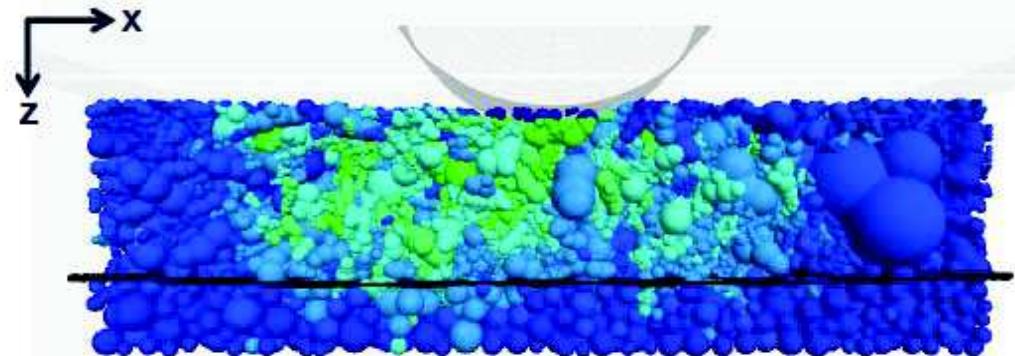
Spostamento degli inerti - vista longitudinale



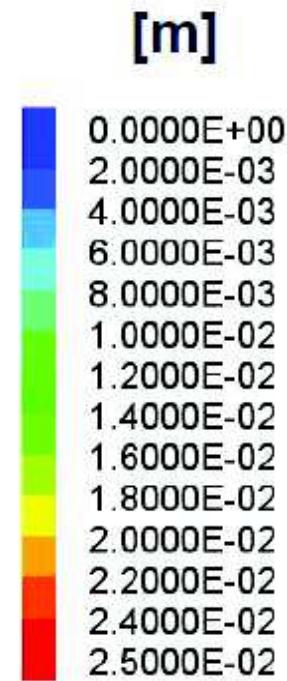
No grid - 9th run



SS20 - 9th run



TX160 - 9th run



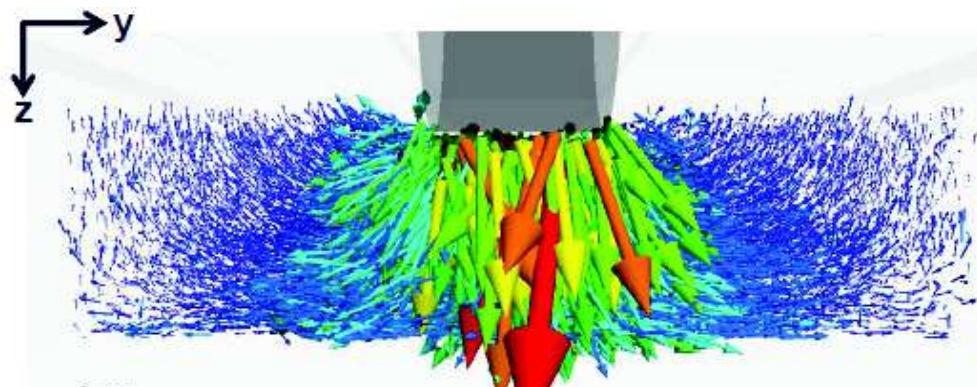
 **ITASCA**
Consulting Group, Inc.

TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

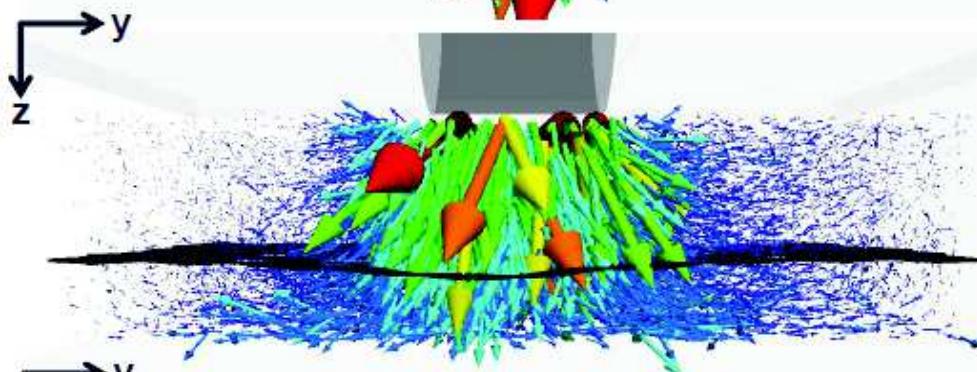
Tensar.

Spostamento degli inerti - vista trasversale

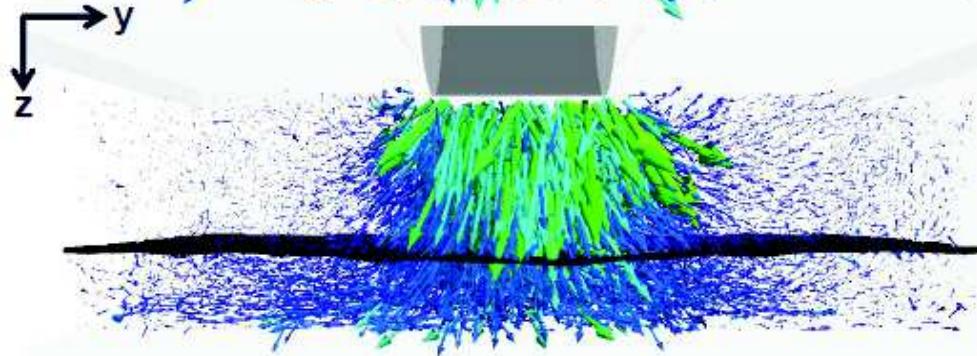


No grid - 9th run

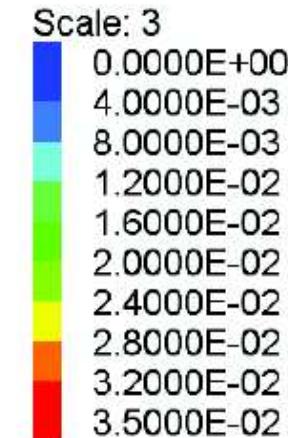
[m]



SS20 - 9th run



TX160 - 9th run



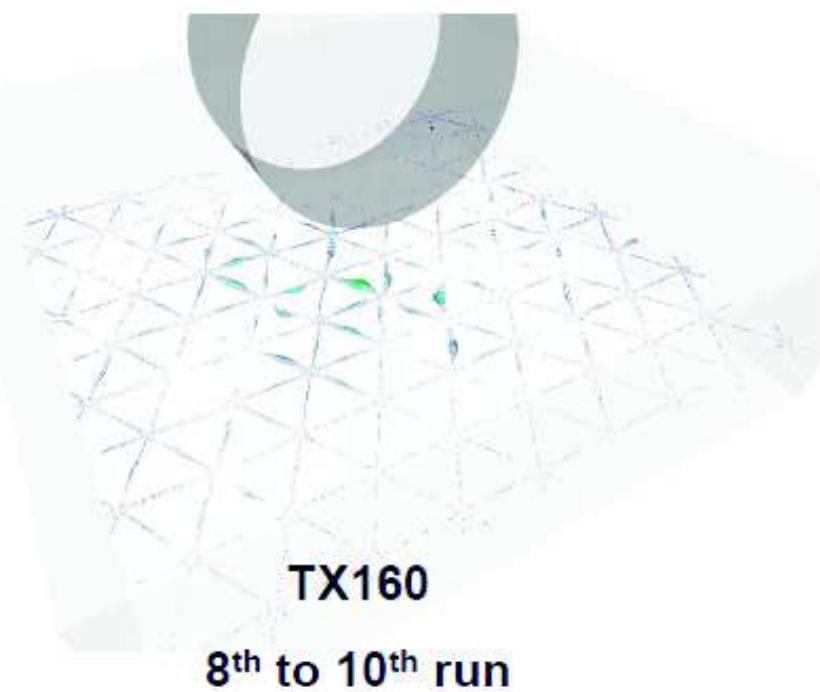
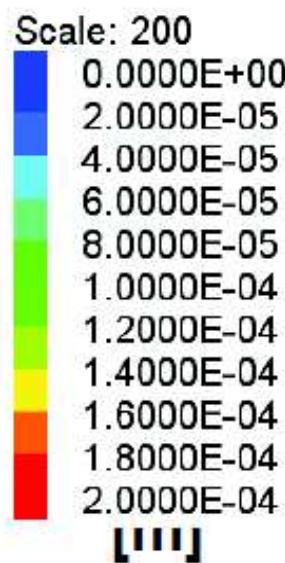
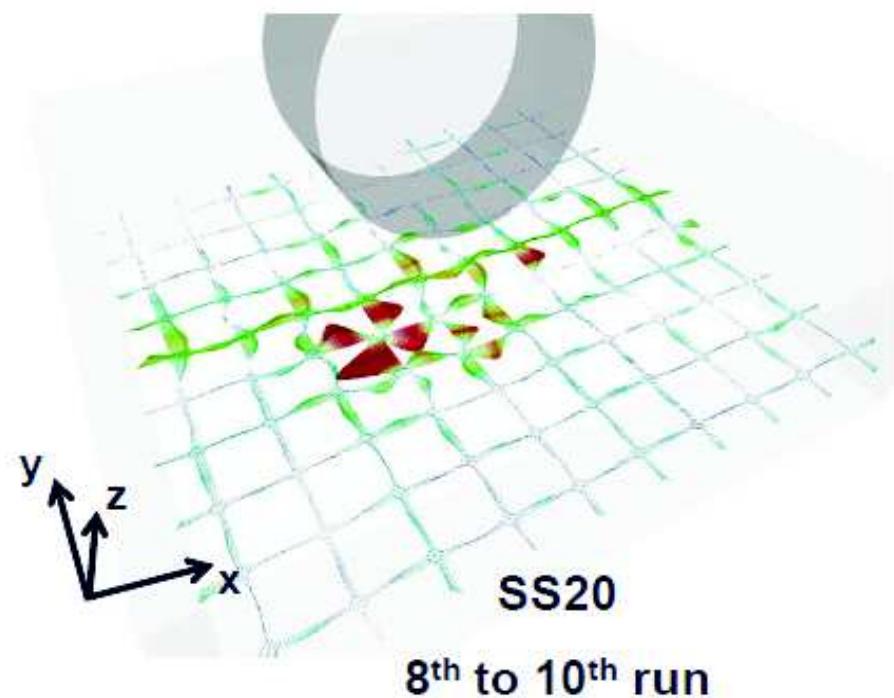
 **ITASCA**
Consulting Group, Inc.

TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

Tensar.

Spostamenti delle maglie

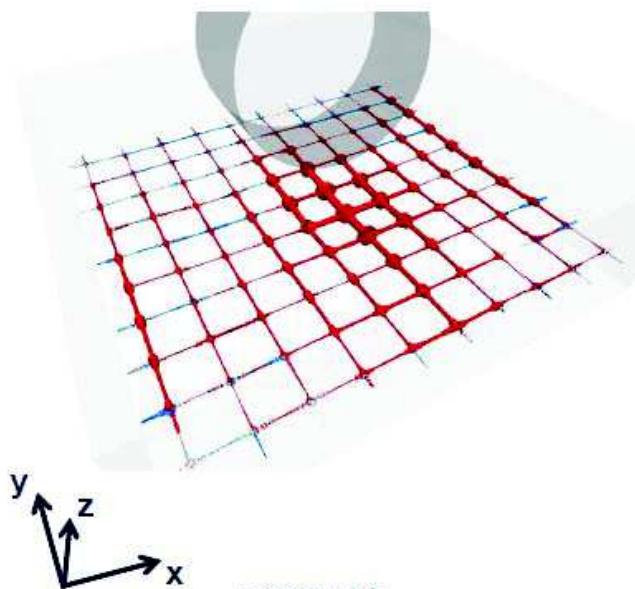


TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

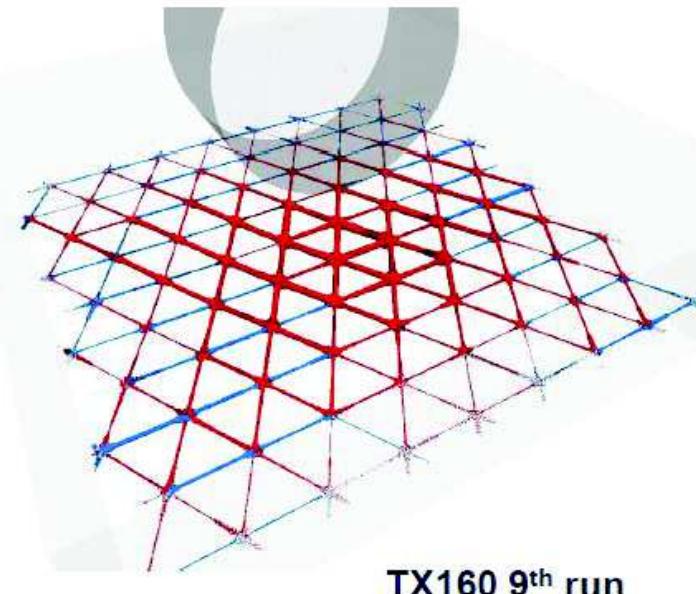
prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

Tensar.

Stato tensionale sulle maglie



$F_{max} = 0,49 \text{ kN/m}$

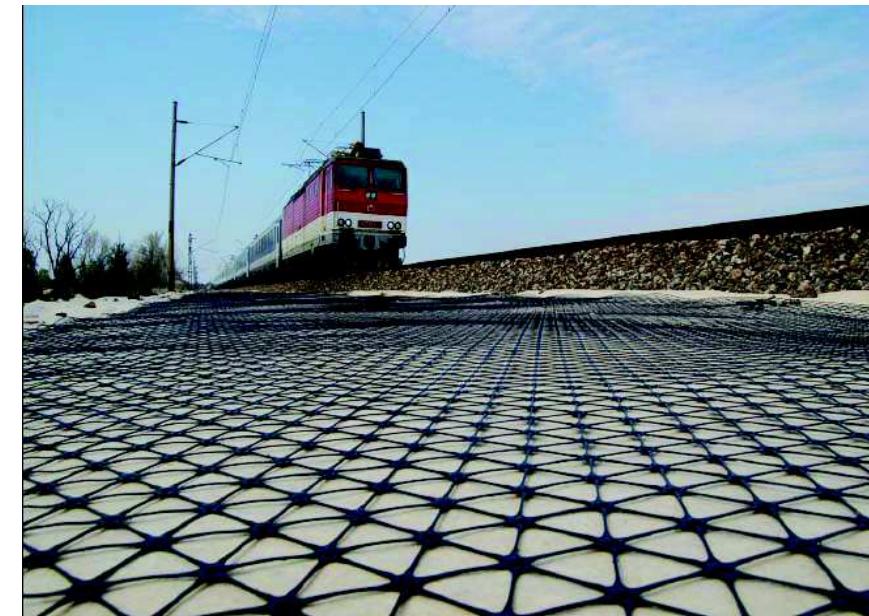


$F_{max} = 0,27 \text{ kN/m}$



In generale il Ballast:

- è costituito da frantumato di cava vagliato e lavato con granulometria tipicamente compresa fra 30 e 60 mm, un contenuto ridotto di particelle fini (polveri) ed una forma spigolosa (al fine di favorire l'ingranamento ed evitare cedimenti, facilitare il drenaggio).
- L'intasamento degli elementi granulari da particelle fini è una delle principali cause di manutenzione della ferrovia. L'intasamento degli elementi granulari si verifica a causa dell'usura meccanica degli spigoli vivi attraverso il carico ripetuto.

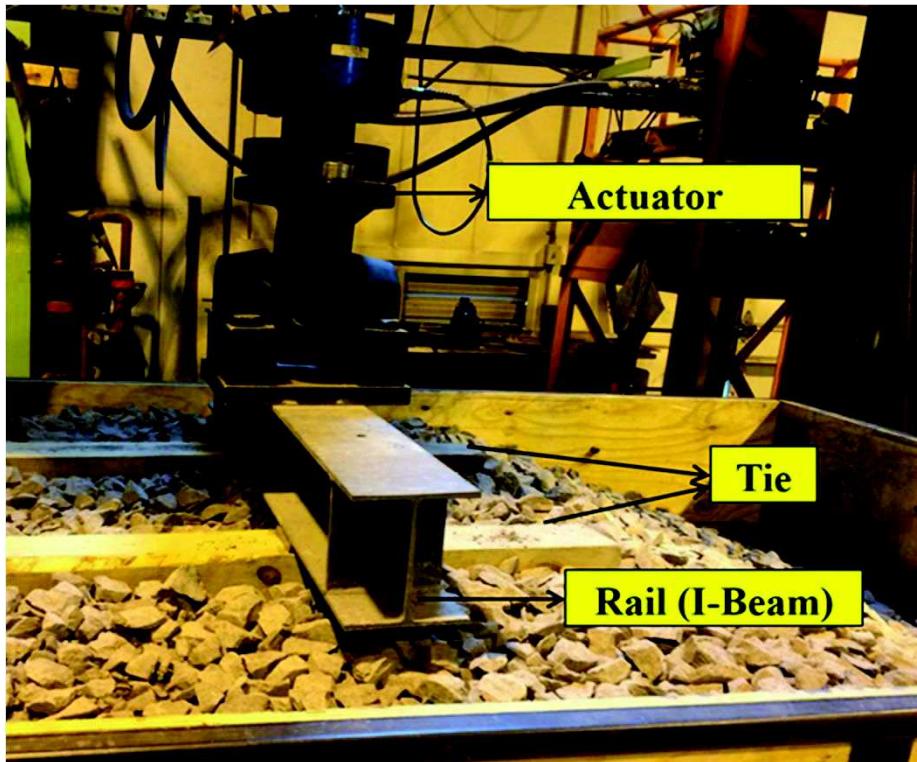


Obiettivo della ricerca:

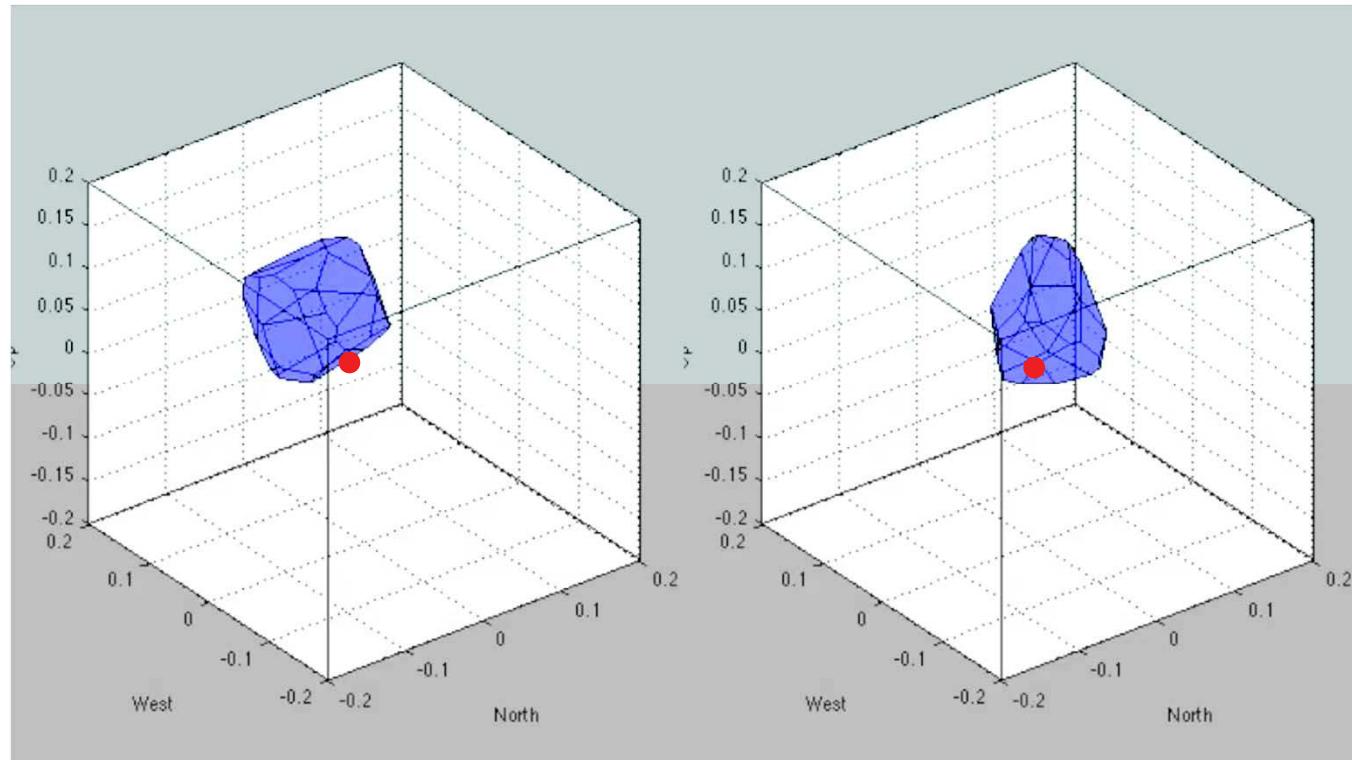
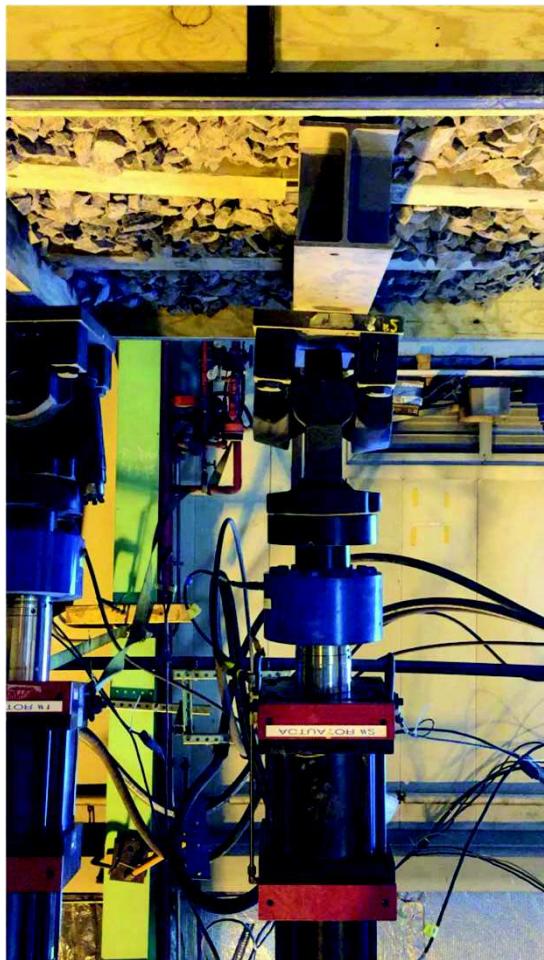
verificare l'effetto della geogriglia sul movimento delle particelle all'interno del Ballast ferroviario sotto carico ciclico.



- È stata riprodotta una sezione tipica di struttura ferroviaria;
- La geogriglia TriAx TX190L è stata installata a 25 cm sotto la il piano superiore del Ballast;
- Il sistema **SmartRock** è installato sopra la geogriglia e registra il movimento delle particelle in tempo reale, compresa la traslazione e la rotazione



Visualizzazione del movimento **SmartRock** nel Ballast.

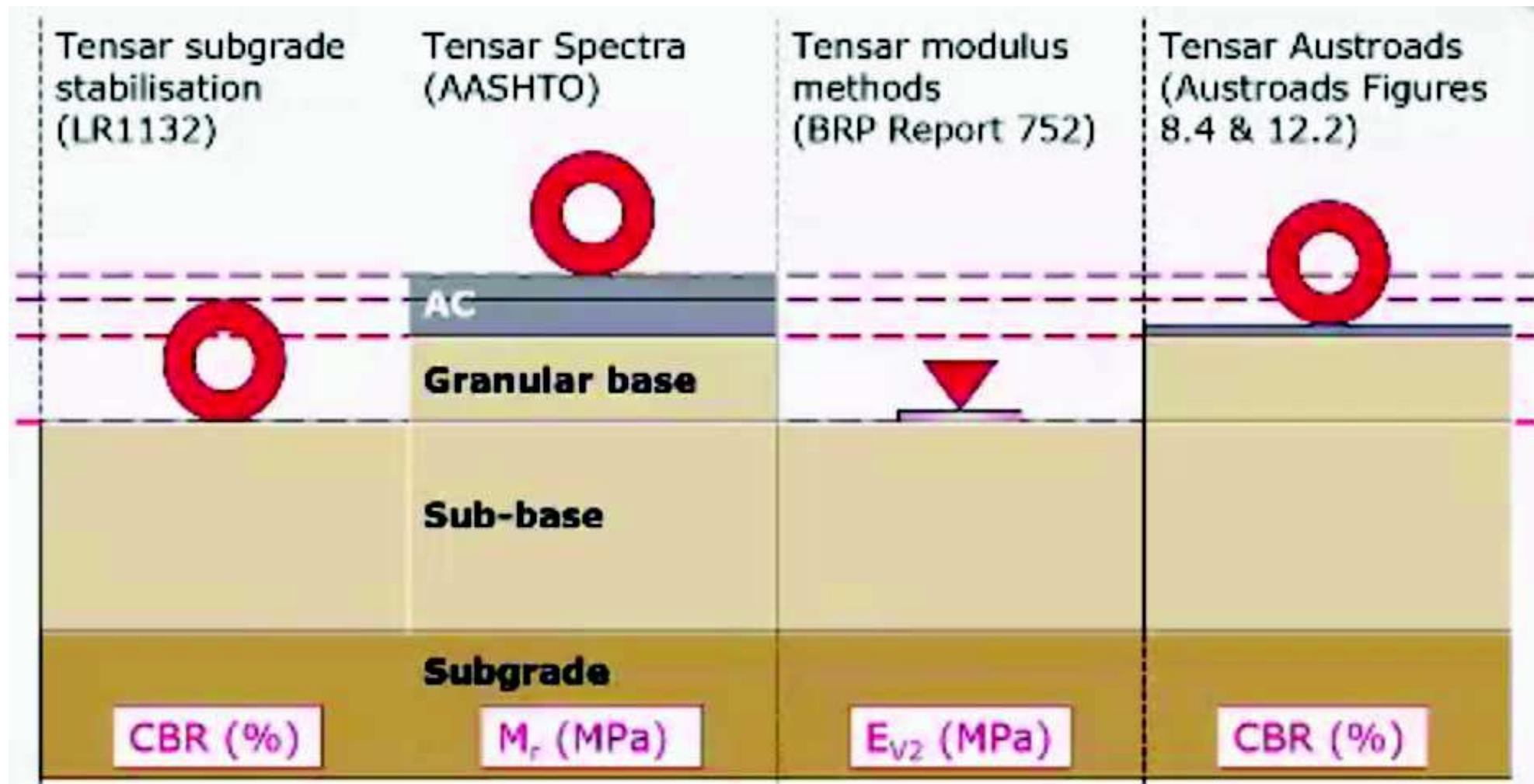


Presented at TRB2016 conference,
“Effect of Geogrid on Railroad Ballast Studied by SMART ROCK”



- La geogriglia Triax TX190L limita i movimento di traslazione e rotazione degli elementi del Ballast sotto carico ciclico;
- Il cedimento strutturale è stato significativamente ridotto a seguito del confinamento;
- Questa ricerca ha dimostrato che la geogriglia TriAx può estendere il ciclo di manutenzione riducendo la velocità di assestamento e degradazione del Ballast offrendo vantaggi a lungo termine.

Metodologie di approccio:

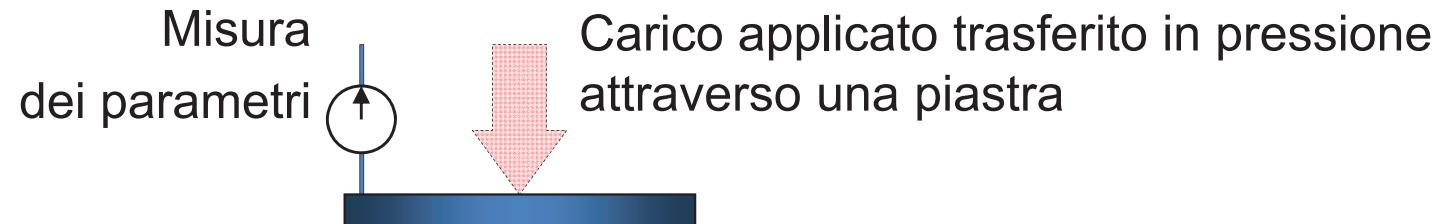




Metodologia di approccio semiempirico che si basa sulla misurazione della portanza in situ in termini di Modulo Elastico E_V con prova di carico su piastra (**ZTVT-StB 86**).

In generale:

- Si applica un carico P (pressione $p = \frac{P}{\pi D^2/4}$)
- Attraverso una piastra di diametro $D \infty$ - rigida)
- Si misura l'abbassamento δ della piastra



- Test effettuato sulla superficie
- Carico applicato mediante piastra di acciaio
con diametro di 300mm (rigida)

Misura
dei parametri



Carico applicato trasferito in pressione
attraverso una piastra

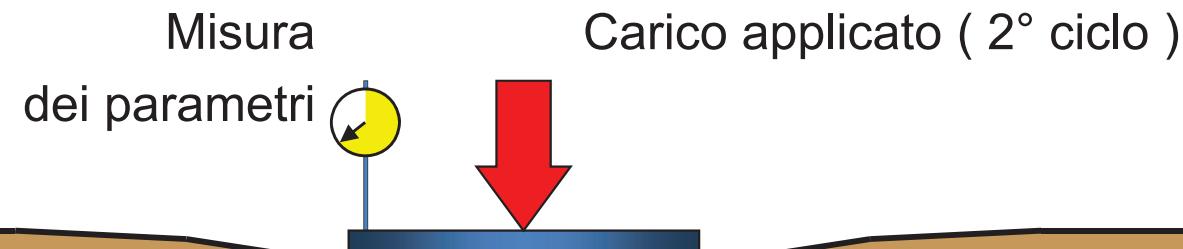
- Test effettuato sulla superficie
- Carico applicato mediante piastra di acciaio
con diametro di 300mm (rigida)

Misura
dei parametri

Scarico (riduzione del carico applicato)



- Test effettuato sulla superficie
- Carico applicato mediante piastra di acciaio con diametro di 300mm (rigida)



- Test effettuato sulla superficie
- Carico applicato mediante piastra di acciaio con diametro di 300mm (rigida)

- Dai risultati della prova su piastra si ricava il Modulo Elastico E (Boussinesq):

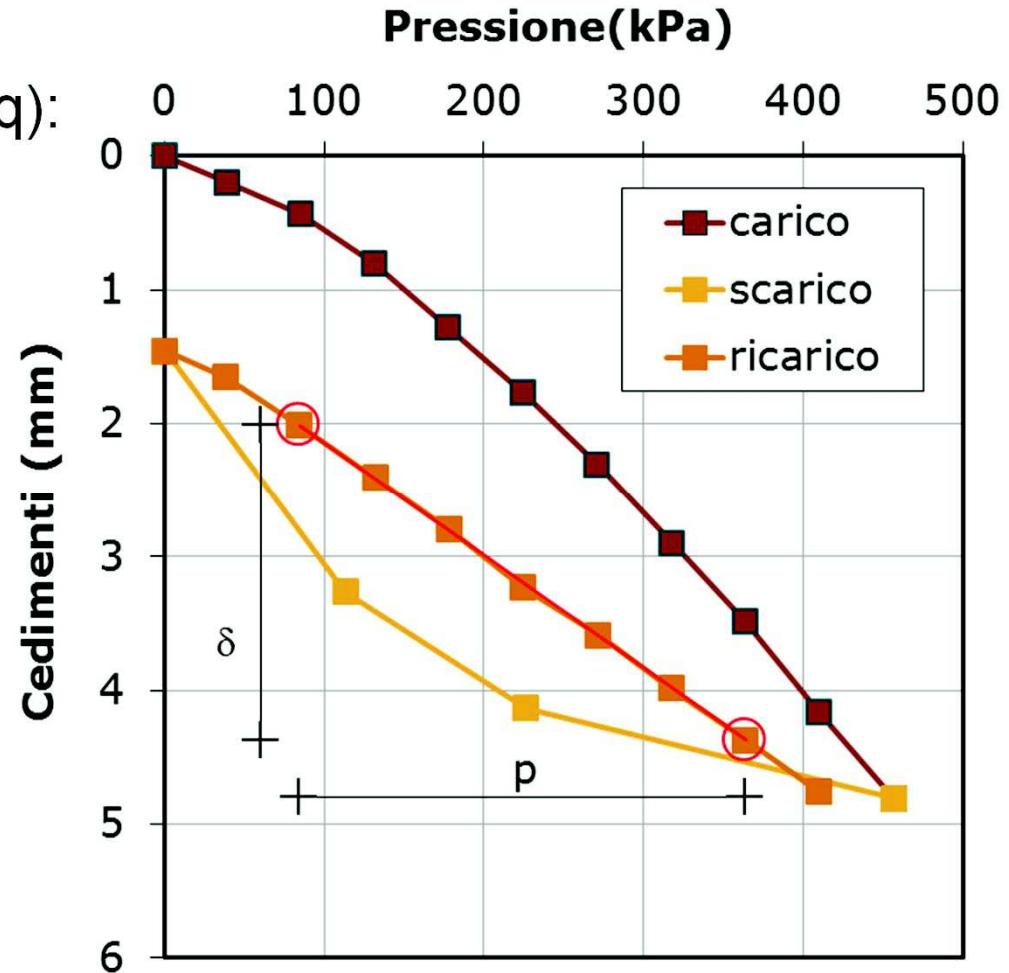
$$E = \frac{\pi}{2} \frac{(1-\nu^2)ap}{\delta}$$

dove:

a = raggio della piastra

ν = coeff.di Poisson

- Può essere calcolato sul primo ciclo (E_{V1}) o sul secondo ciclo (E_{V2})



- Semplificando otteniamo (ZTVT-StB 86):

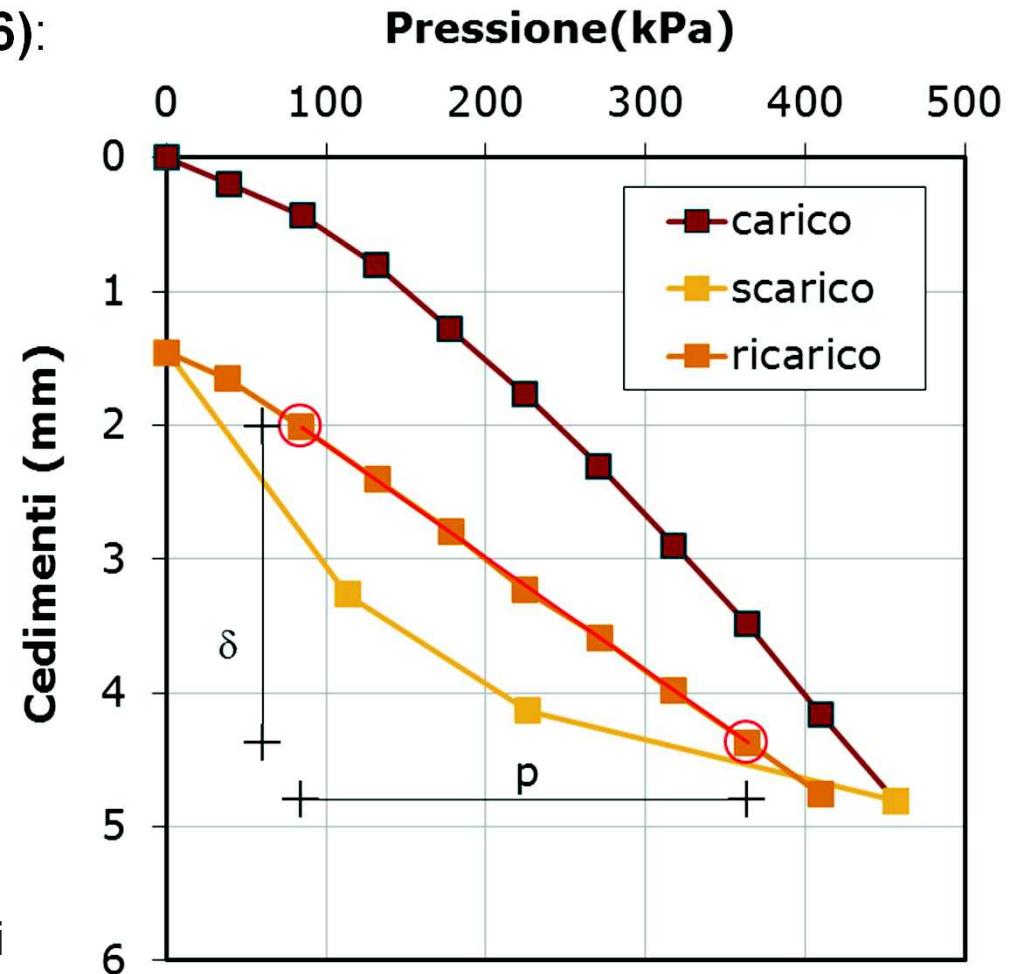
$$E_{v1} = 0.75 \quad \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad D \quad (\text{primo ciclo})$$

$$E_{v2} = 0.75 \quad \frac{\Delta p'}{\Delta s'} \quad D \quad (\text{secondo ciclo})$$

- deriva dall' interpretazione di Boussinesq

$$\frac{\pi(1-\nu^2)}{4} = 0.75 \Rightarrow \nu = 0,21$$

- $D = 300 \text{ mm}$
- si procede ad incrementi di carico regolari
- si calcola E_v in corrispondenza di fissati livelli di carico



- In Italia la portanza in sìo viene valutata in termini di Modulo di Deformazione M_d (**Bollettino Ufficiale del CNR 146/92**):

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} D \quad (\text{primo ciclo})$$

$$M'_d = \frac{\Delta p'}{\Delta s'} D \quad (\text{secondo ciclo})$$

- deriva dall' interpretazione di Boussinesq

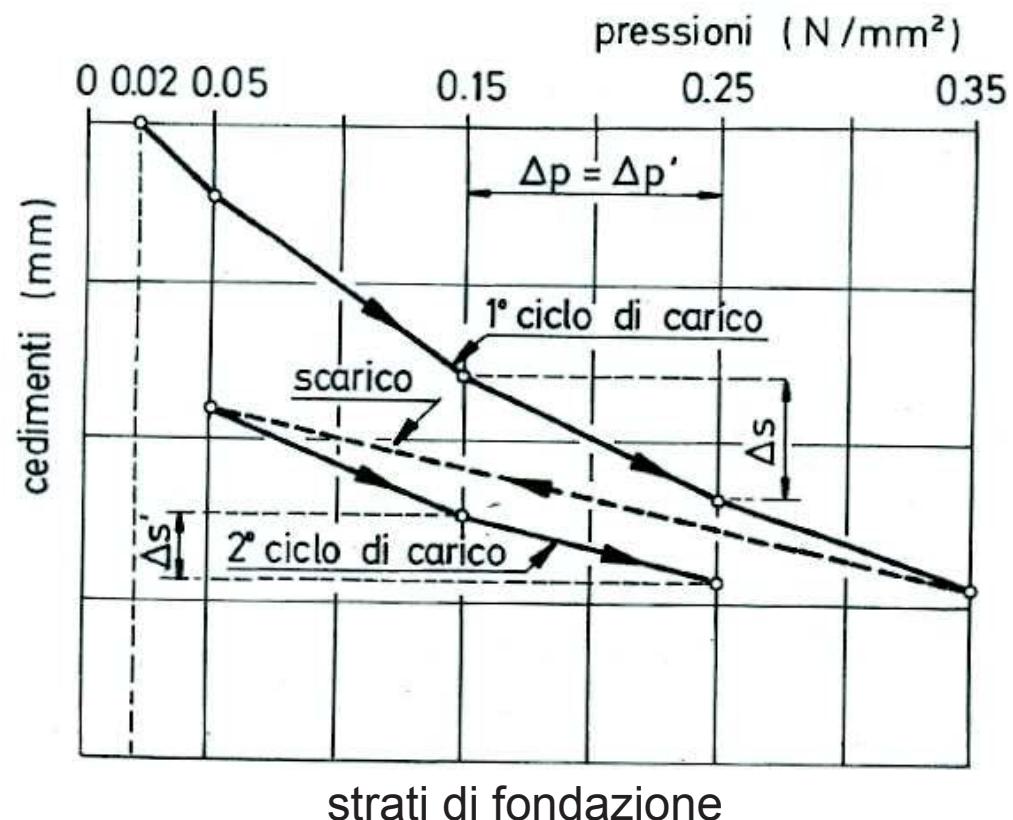
$$M_d, M'_d \simeq E;$$

$$\Delta s, \Delta s' \simeq \delta;$$

$$\frac{\pi(1-\nu^2)}{4} = 1 \Rightarrow \nu^2 < 0$$

- $D = 300 \text{ mm}$
- si procede ad incrementi di carico regolari
- si calcola M_d in corrispondenza di fissati livelli di carico (in funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato)

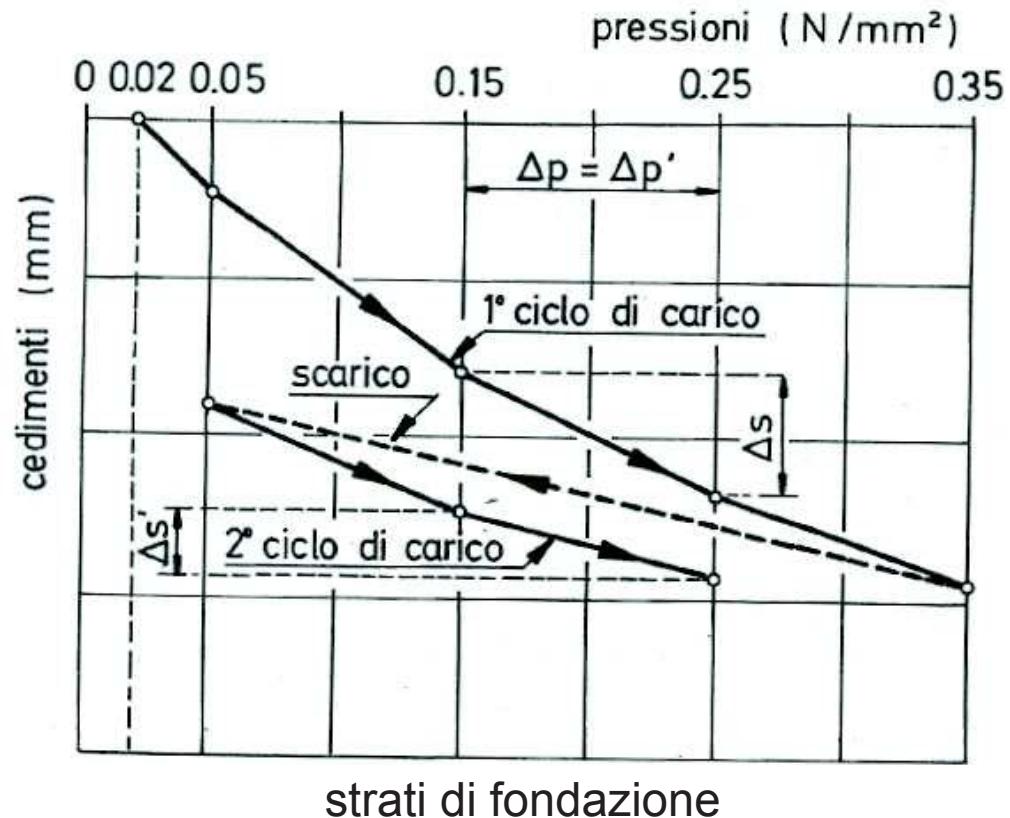
$M_d/M'_d \leq 1$
(qualità del costipamento)



- Dal confronto tra Normative ne deriva:

$E_{V1} = 0.75 \text{ Md}$ (primo ciclo)

$E_{V2} = 0.75 \text{ M'd}$ (secondo ciclo)



ANAS

Di norma il Modulo di Deformazione **Md**, salvo diverse prescrizioni di progetto, dovrà risultare non inferiore a :

- **50 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm² per il piano di posa della sovrastruttura;
- **30 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 0.5m e 1.00m;
- **20 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 1.00m e 2.00m;
- **15 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è > 2.00m.

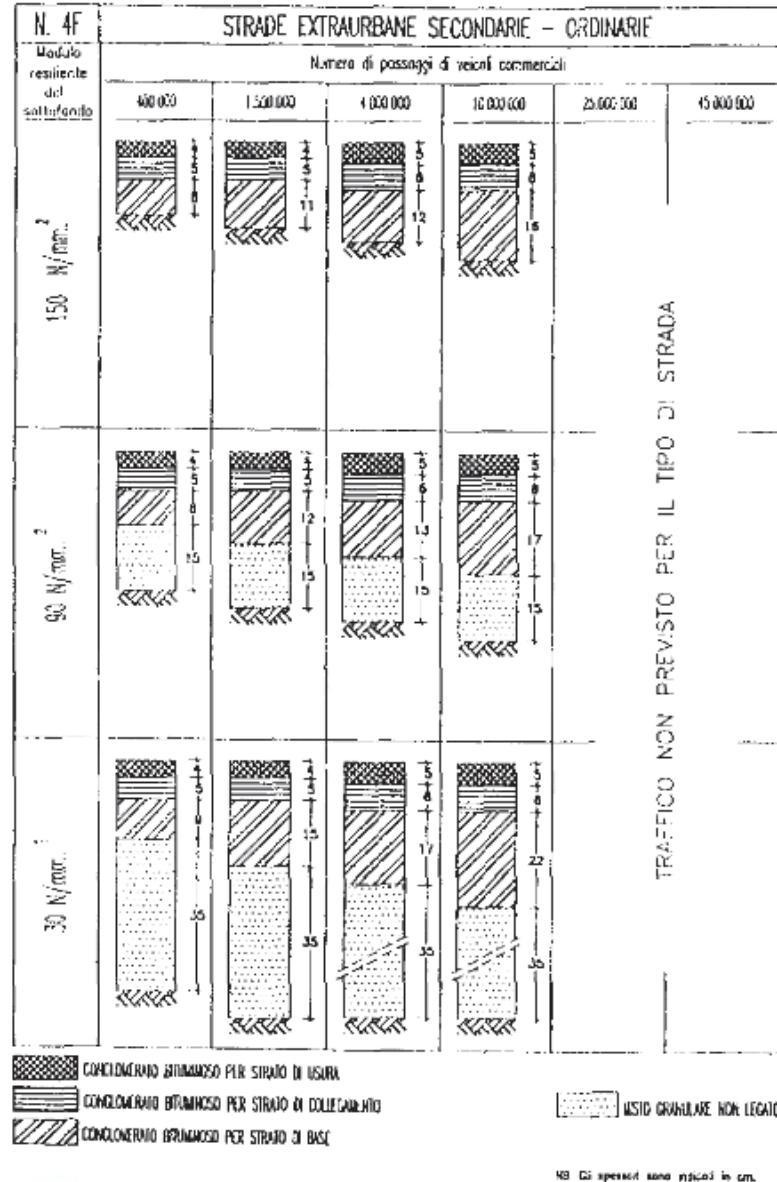


PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (E_{V2}) – CNR B.U. n.178

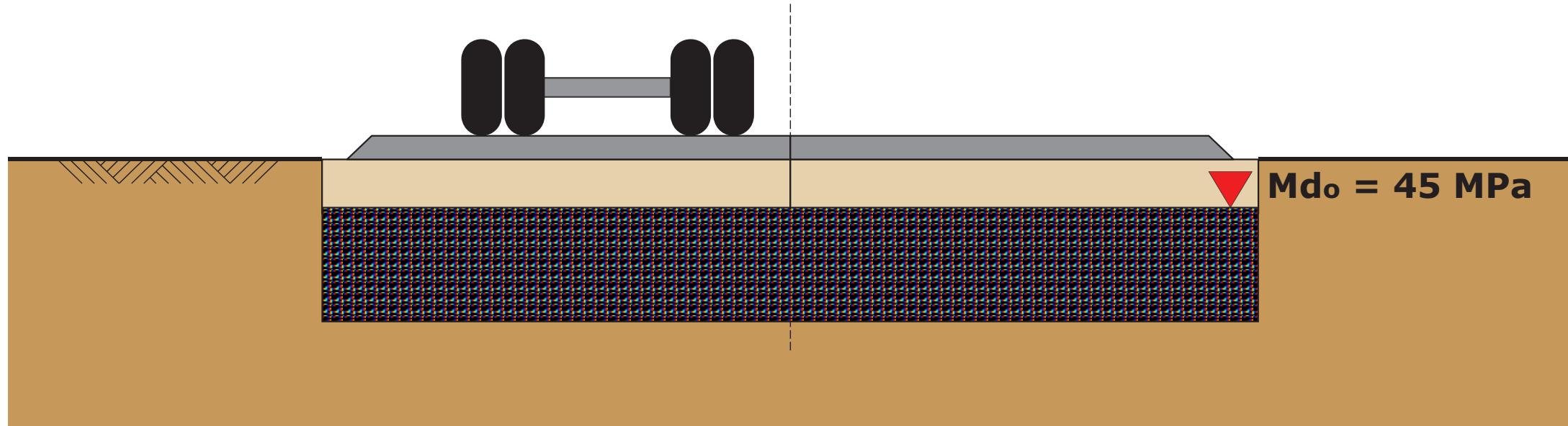


CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - A. XXIX - N. 178



PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (E_{V2}) – Esempio



In base alla infrastruttura da dimensionare viene stabilita una classe di portanza in sottofondo in grado di supportare adeguatamente gli strati superiori

Nel caso specifico si richiede alla fondazione un *Modulo Resiliente* **Mr=150 N/mm² (CBR 15%)** corrispondente a un *Modulo di Deformazione* **Md_o=45 MPa**
(Bollettino Ufficiale del CNR 178/95)

da CBR % 15 si ottiene un **Ev2 = 80 Mpa = Eo** (secondo ciclo)

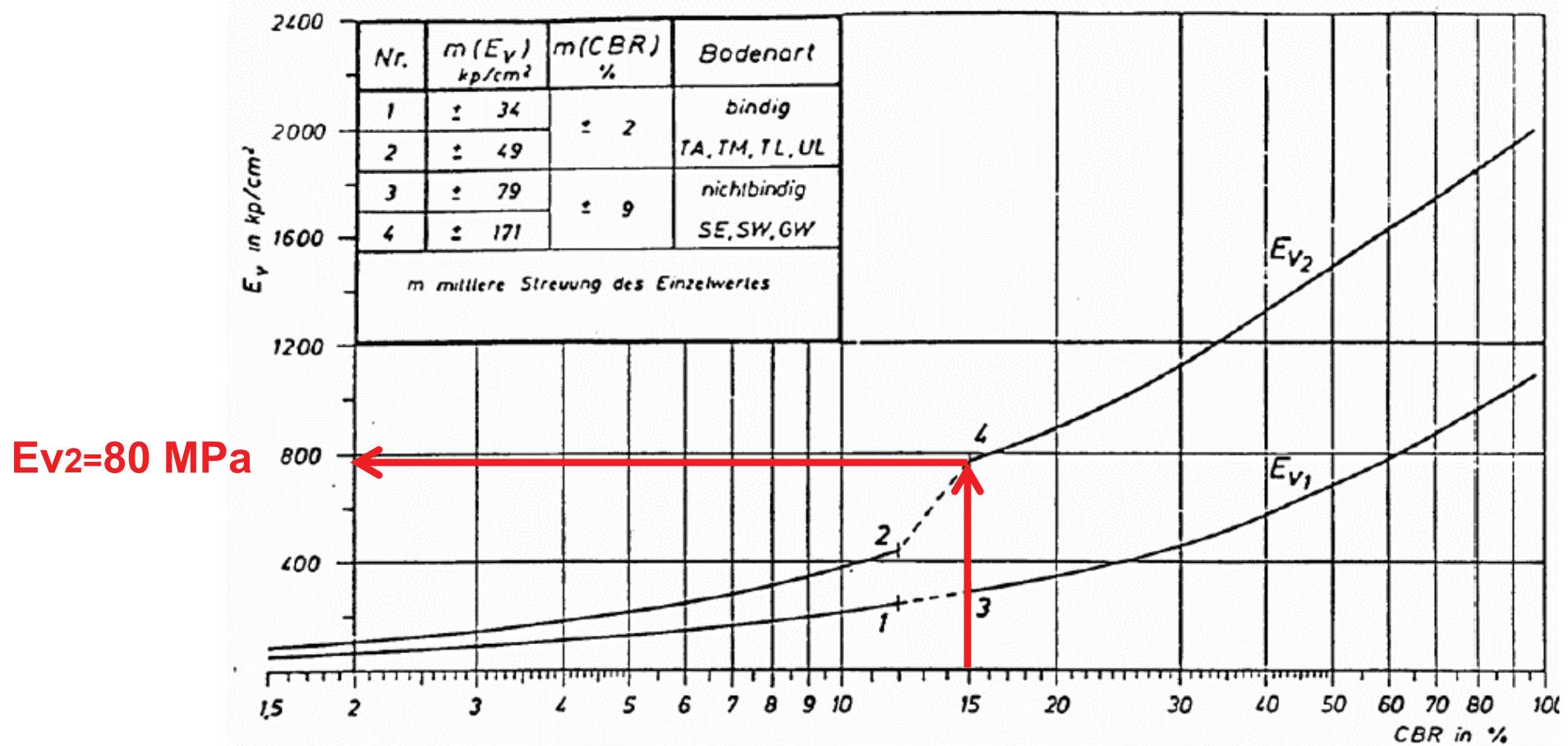
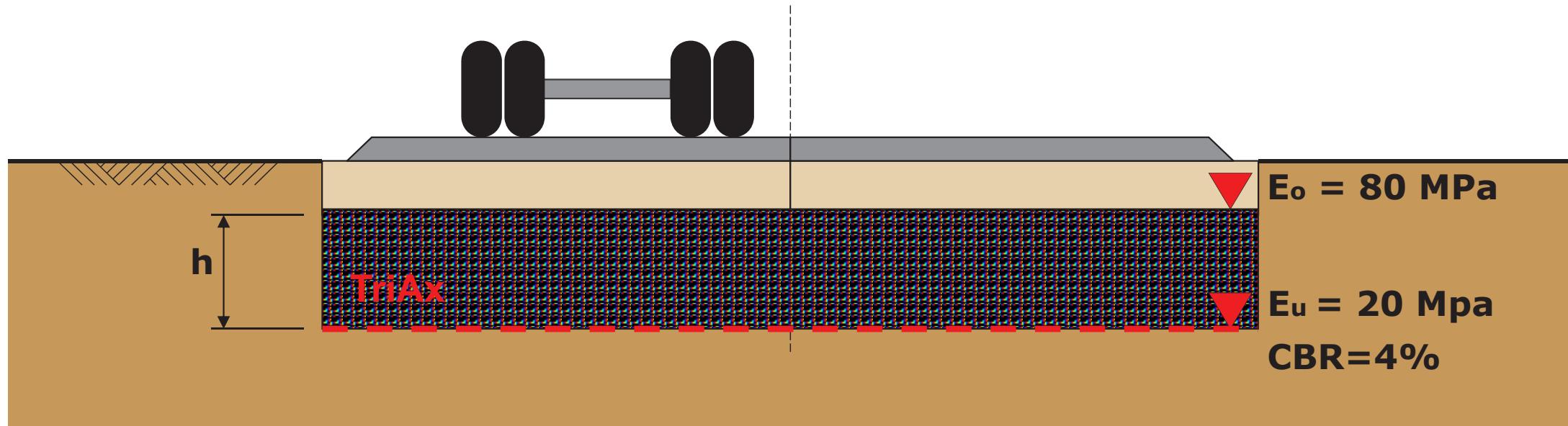


Abb. 1: Beziehung zwischen Verformungsmodul E_v und CBR-Wert.

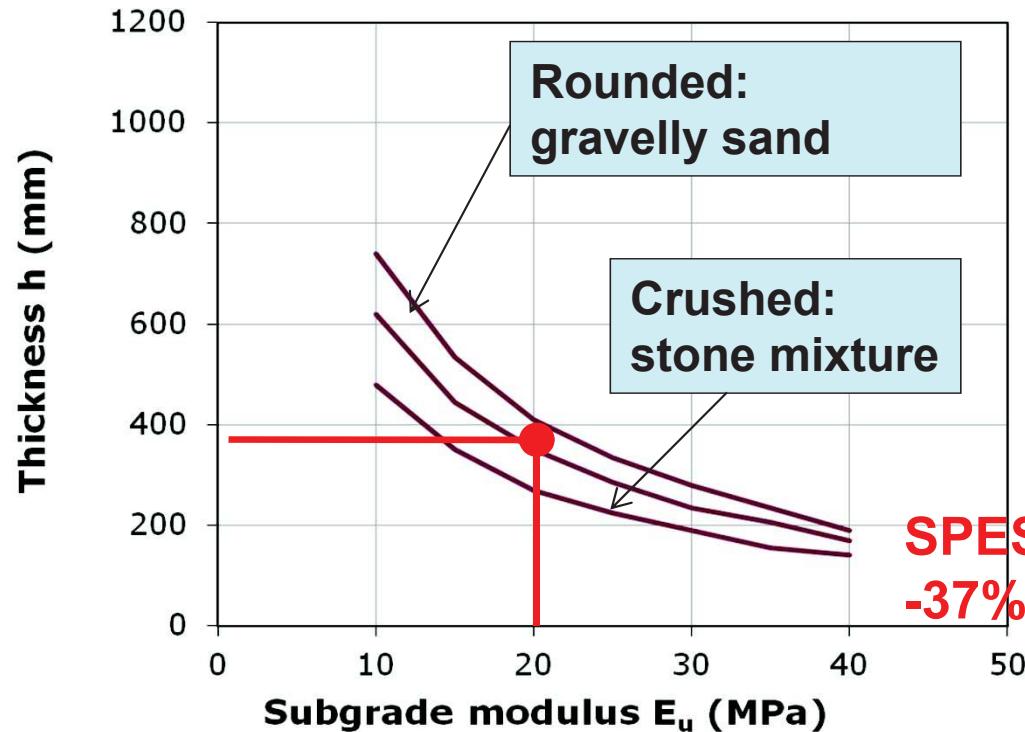
prova di carico su piastra



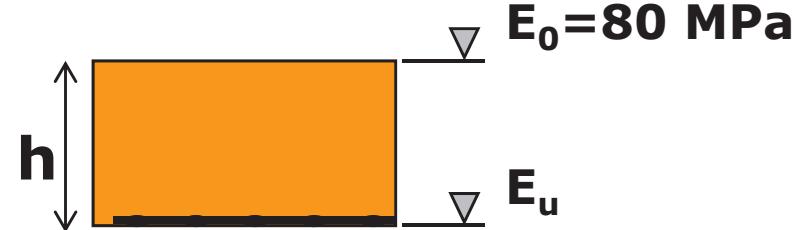
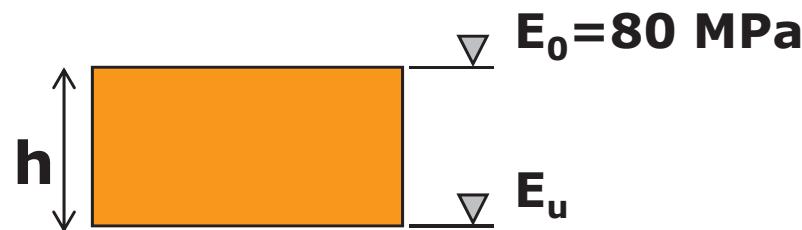
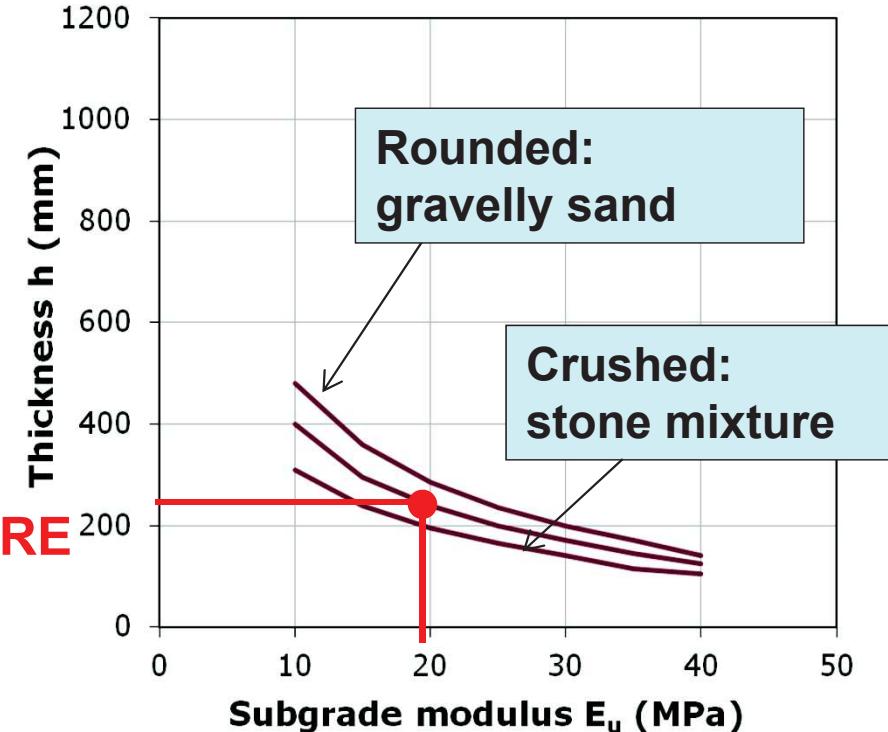
Definito E_o che si vuole ottenere sopra lo strato di fondazione ed identificato E_u di sottofondo si determina lo spessore h , il tipo di Geogriglia TriAx e la tipologia di materiale granulare da utilizzare.
(ZVT-StB 86)

The E_{V2} design method - BRP curves (1994)

Thickness without reinforcement

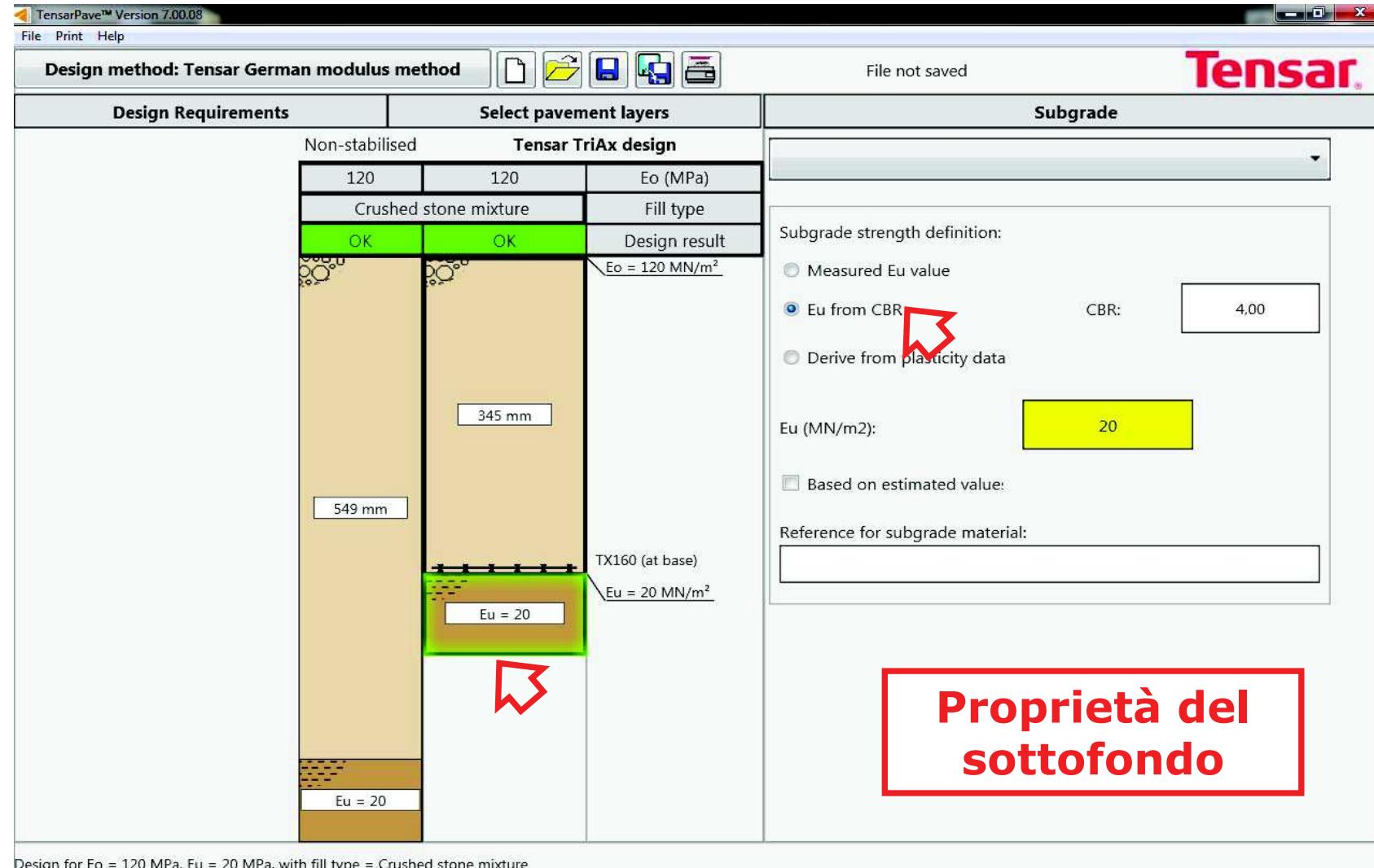


Thickness with reinforcement



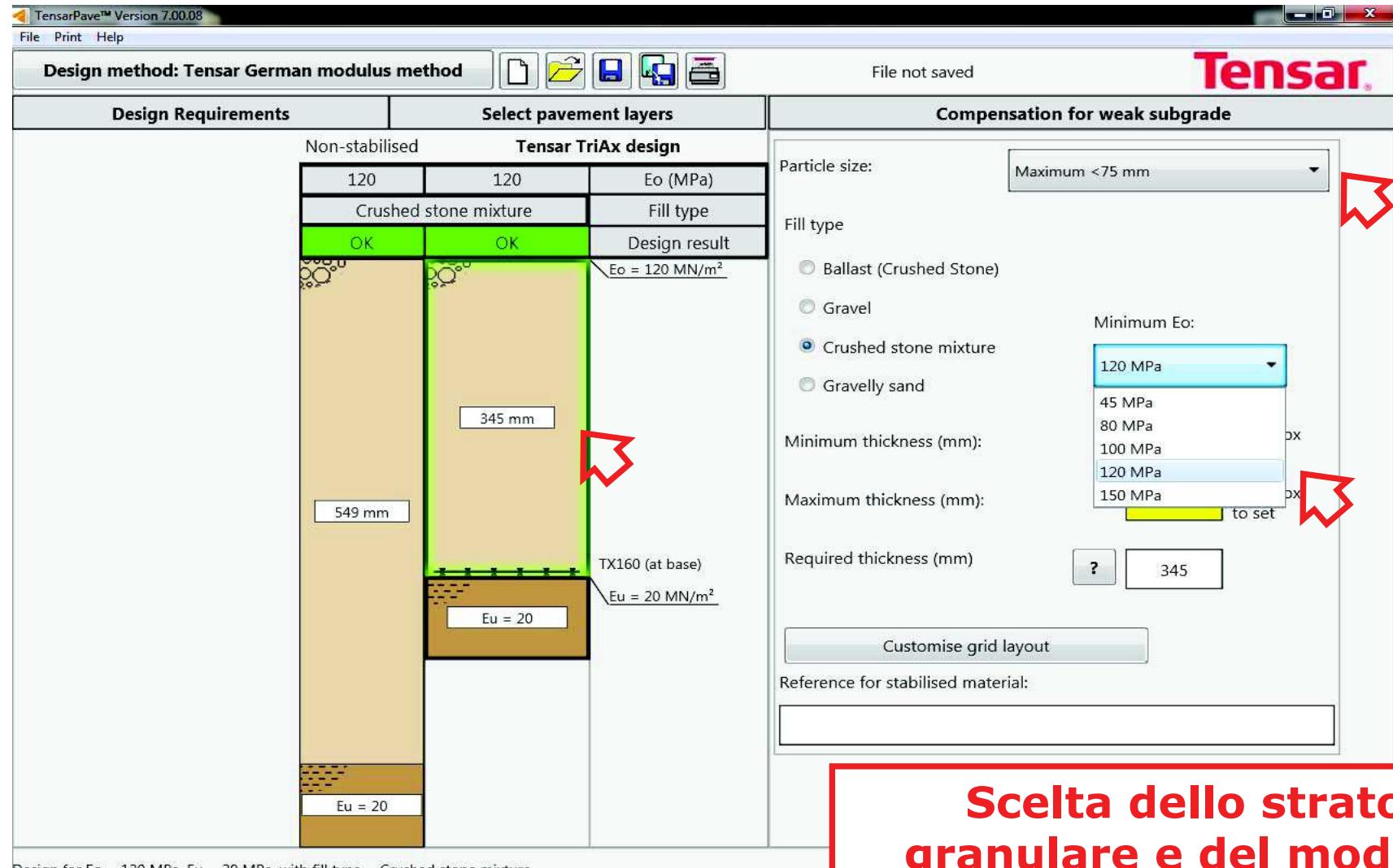
PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (EV2)



PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (EV2)



**Scelta dello strato
granulare e del modulo
richiesto**

PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (EV2)



Tensar

TensarPave™ Version 7.00.08
File Print Help

Design method: Tensar German modulus method

Design Requirements Select pavement layers Compensation for weak subgrade

Non-stabilised Tensar TriAx design

120	120	Eo (MPa)
Crushed stone mixture	Fill type	
OK	OK	Design result

Eo = 120 MN/m²

345 mm

549 mm

TX160 (at base)

Eu = 20 MN/m²

Eu = 20

mm above base of layer

Grid 3

Grid 2

Grid 1

TX160

TX160

TX170

TX180

TX190L

TX160-G

TX170-G

TX180-G

TX190L-G

Default grid layout

OK

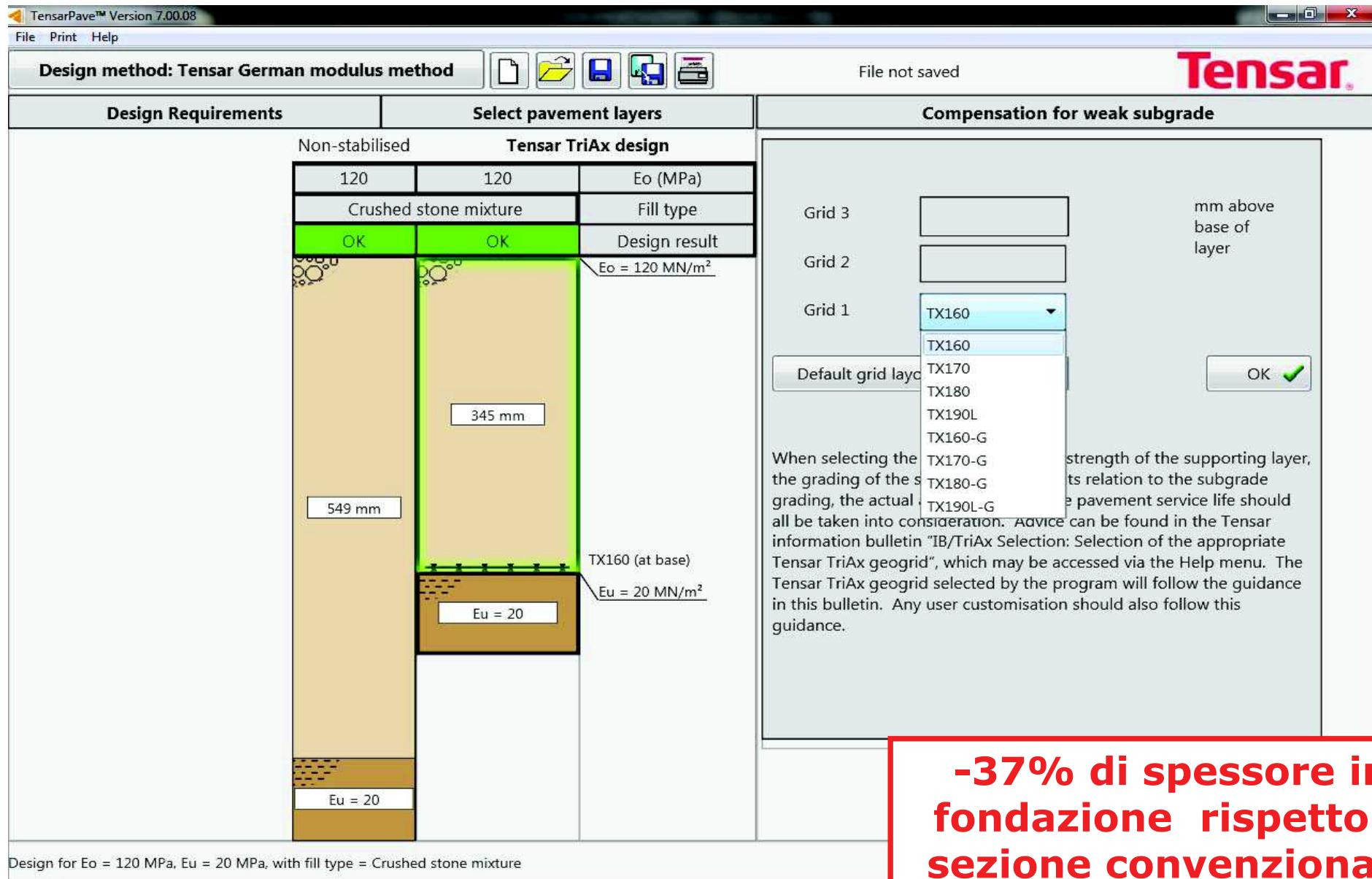
When selecting the strength of the supporting layer, the grading of the subgrade, the actual strength of the supporting layer, its relation to the subgrade and the pavement service life should all be taken into consideration. Advice can be found in the Tensar information bulletin "IB/TriAx Selection: Selection of the appropriate Tensar TriAx geogrid", which may be accessed via the Help menu. The Tensar TriAx geogrid selected by the program will follow the guidance in this bulletin. Any user customisation should also follow this guidance.

Scelta della TriAx

Design for Eo = 120 MPa, Eu = 20 MPa, with fill type = Crushed stone mixture

PROGETTAZIONE

Tensar Modulus Method (EV2)



-37% di spessore in fondazione rispetto a sezione convenzionale

Metodo empirico-statistico valido per progettare pavimentazioni **FLESSIBILI** e **RIGIDE**.

Il metodo considera i seguenti fattori:

- Indice prestazionale FINALE della pavimentazione PSI_f ;
- Traffico;
- Caratteristica del sottofondo;
- Caratteristiche dei materiali utilizzati nella costruzione;
- Condizioni ambientali;
- Condizioni di drenaggio;
- Affidabilità.



Il metodo **AASHTO** per pavimentazioni **FLESSIBILI** fornisce la relazione tra:

PSI_f grado di
funzionalità della
pavimentazione

N_{8.2} = W₁₈ è il numero sopportabile di passaggi di
assi standard della pavimentazione prima di
raggiungere un fissato ammaloramento **PSI_f**

SN indice strutturale [cm]
della pavimentazione

M_R Modulo
resiliente del
sottofondo [Mpa]

R Affidabilità legata ai parametri **Z_r** e **S₀**

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

affidabilità **R** tiene conto dell'Errore sul traffico e sulle prestazioni della pavimentazione per la VITA UTILE;

- **S₀**= deviazione standard della variabile aleatoria δ (usualmente $0,40 \leq \delta \leq 0,50$ per pav. Flessibili) tiene conto dell'errore sul traffico e sulla prestazione prevista della pavimentazione;
- **Z_R** = valore della variabile δ standardizzata, legata all'affidabilità, che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico **N** che portano al valore **PSI** = **PSI_f** sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni **N_T** realmente applicati;

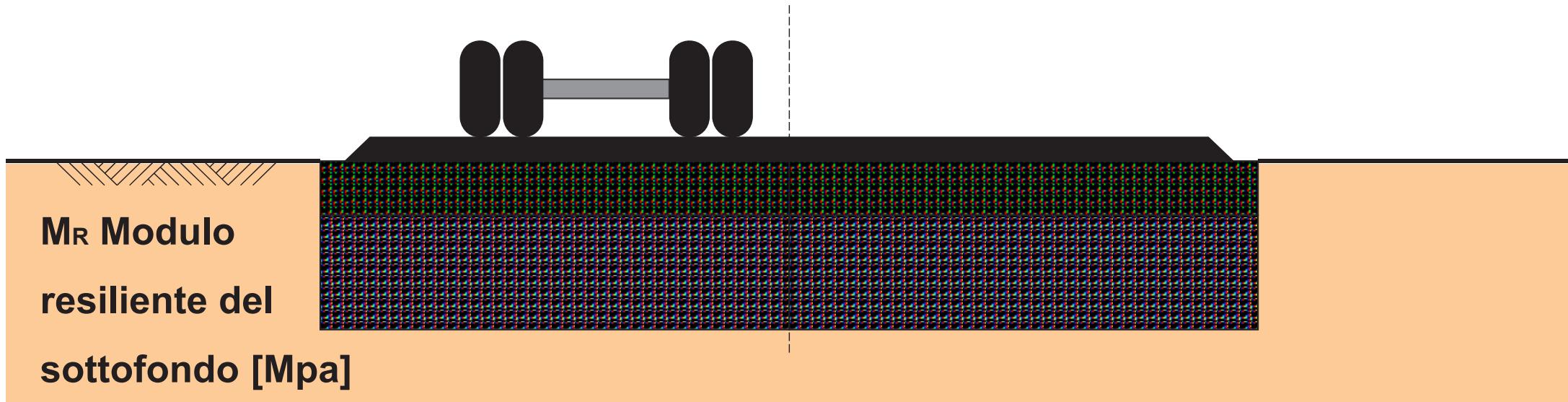
Nota: **N_{80kN}** cresce con **SN** e **M_R** e decresce con **R** e **PSI_f**

R affidabilità legata ai parametri **Z_r** e **S₀**

$$\log_{10} W_{18} = \boxed{Z_R S_0} + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

M_R : esprime la capacità del sottofondo di assorbire energia quando è deformato elasticamente e di restituirla quando viene scaricato.

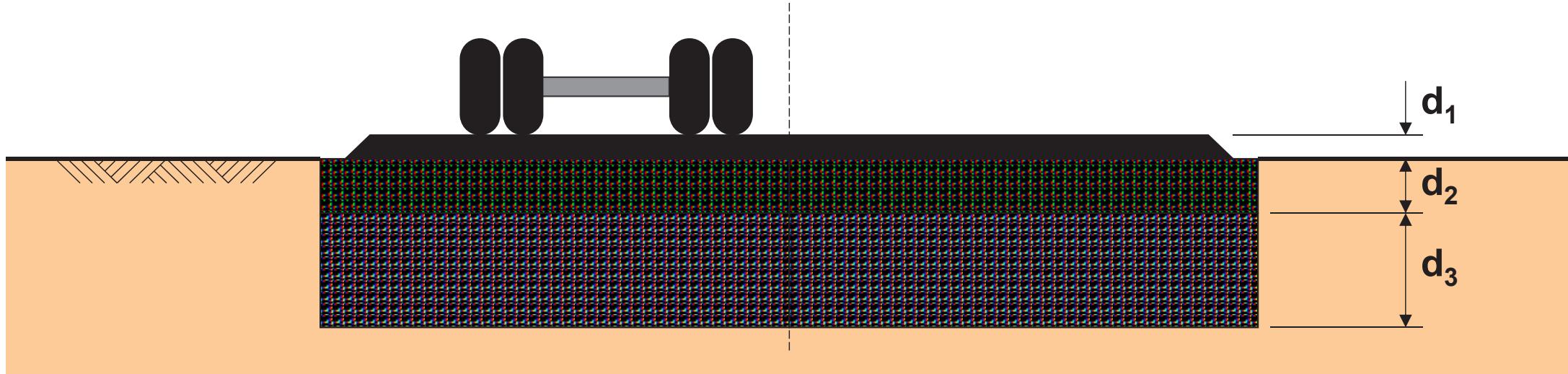
$$M_R \text{ (MPa)} \approx 10.34 \times CBR$$



$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

PROGETTAZIONE IN ASSENZA DI FALDA

SN: Structural Number [cm] tiene conto resistenza strutturale della pavimentazione



$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3$$

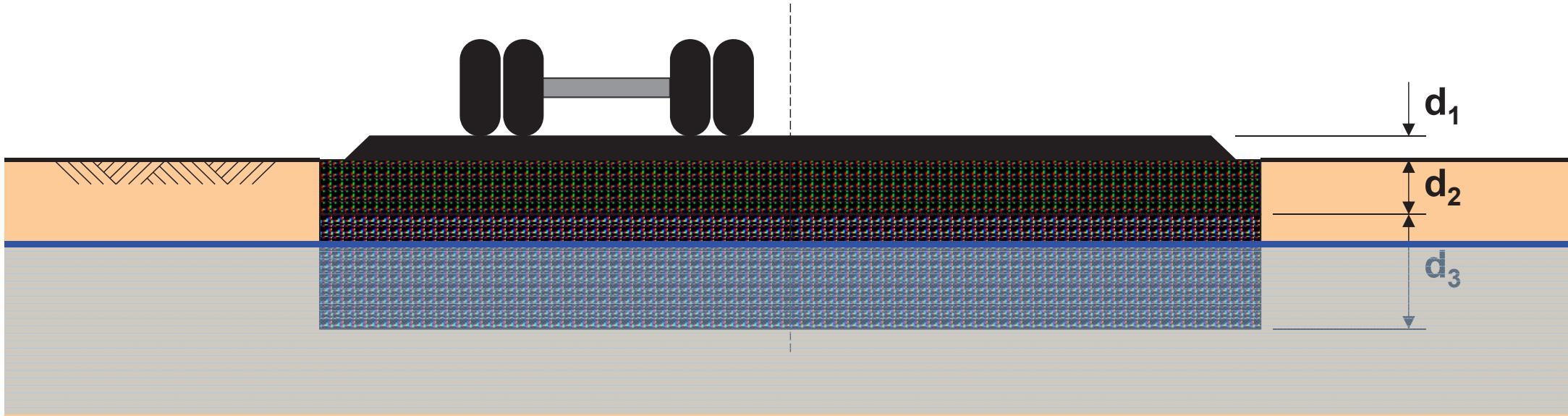
dove:

- a_1 , a_2 , e a_3 sono i coefficienti strutturali funzione delle caratteristiche dei materiali utilizzati (valori tabellati)
- d_1 , d_2 e d_3 sono gli spessori degli strati (cm)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

PROGETTAZIONE IN PRESENZA DI FALDA

SN: Structural Number [cm] tiene conto resistenza strutturale della pavimentazione

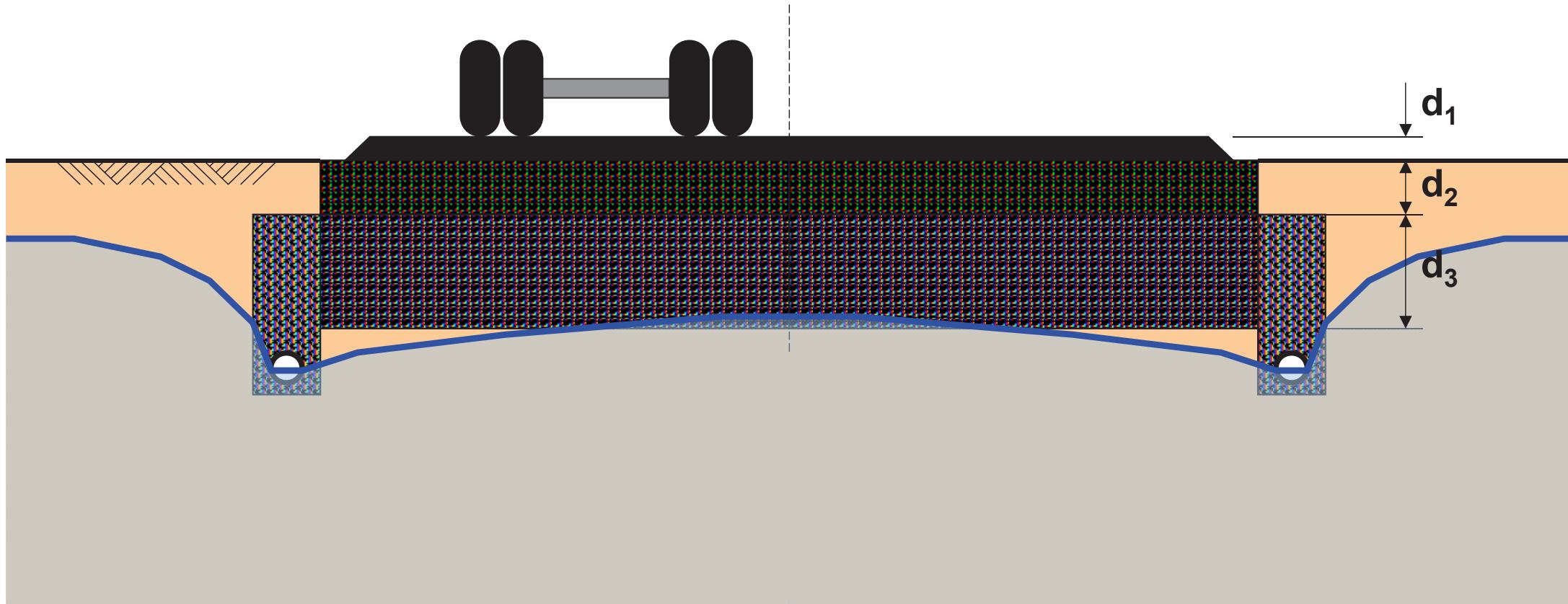


$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3$$

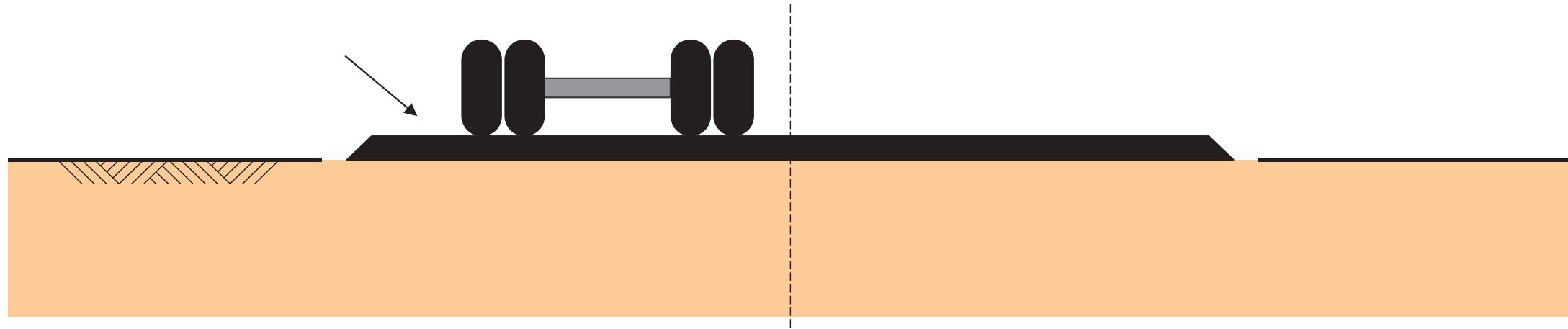
dove: m_2 e m_3 sono i coefficienti di drenaggio per i materiali non legati che tengono conto della qualità del drenaggio e durata delle condizioni prossime alla saturazione (valori tabellati)

PROGETTAZIONE CON DRENAGGI DI SOTTOFONDO

Progettare con drenaggi di sottofondo vuol dire ridurre gli effetti dell'acqua con conseguente aumento delle prestazioni della pavimentazione stessa.



PSI è un indice di servizio rappresenta il grado di ammaloramento della sovrastruttura in termini di sicurezza e comfort;



- è un numero che varia tra **5** (ottime condizioni) e **0** (pessime);
- all'inizio della vita utile si assume **PSI_i = 4,2**;
- **PSI_f** è scelto in funzione della strada, **3** per strade di maggiore importanza e **2.5** per strade di minore importanza .

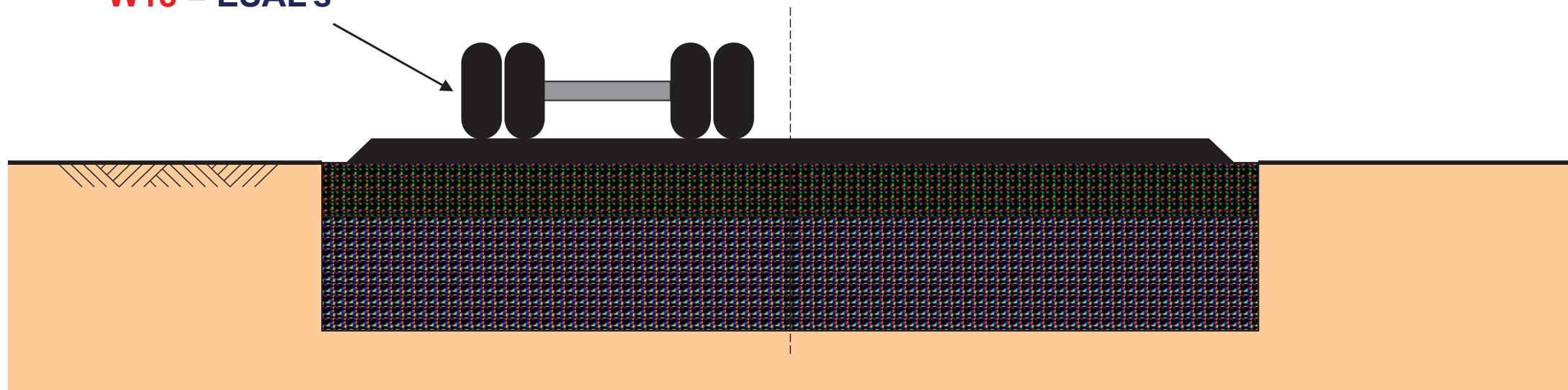
$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

PROGETTAZIONE Tensar Spectra (AASHTO 1993)



Ai fini progettuali il traffico viene espresso in **N8.2 = W18 = ESAL's**

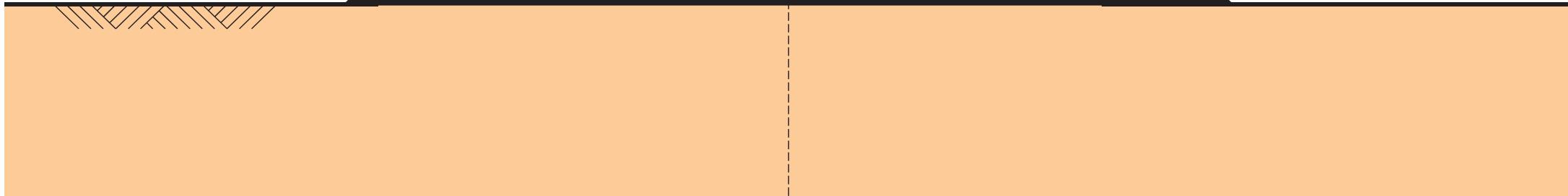
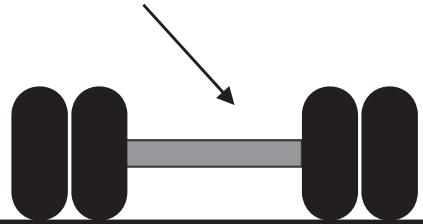
N8.2 = W18 = ESAL's sono espressi in termini di numero di assi standard equivalenti ovvero il numero di assi singoli con ruote gemellate da 80 kN (8,2 ton)



N8.2 = W18 è il numero sopportabile di passaggi, in assi standard equivalenti, dalla pavimentazione prima di raggiungere un fissato ammaloramento **PSIf** e si ricava dall'espressione :

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (\text{SN} + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Ai fini progettuali il traffico viene espresso in **N8.2 = W18 = ESAL's**

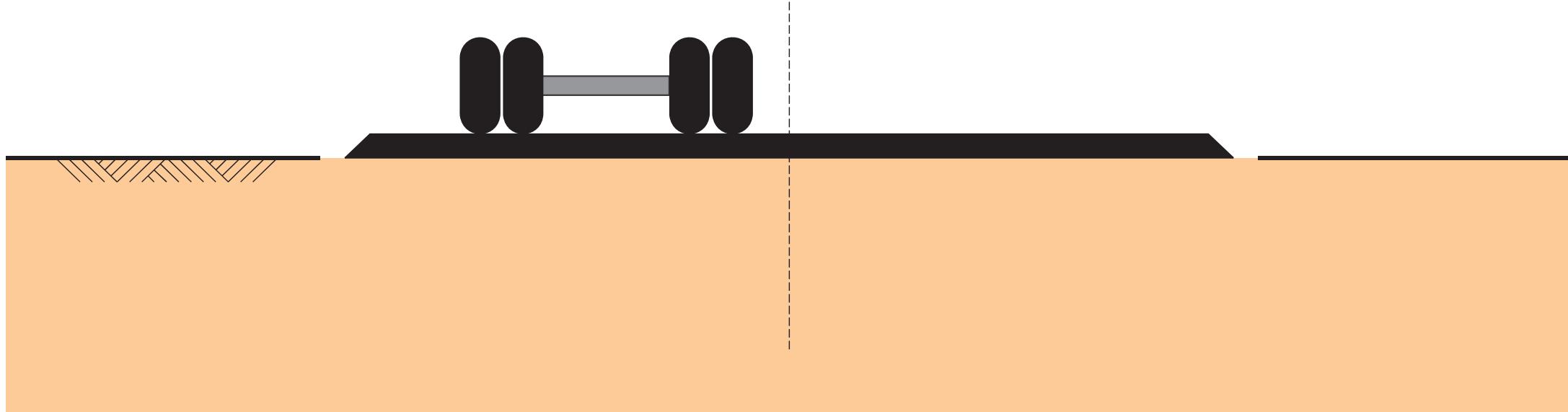


ESAL's è il numero di passaggi , in assi standard equivalenti, previsti nell'arco della vita utile della pavimentazione e si ricava da:

$$\text{ESAL's} = T^N * C_{SN}$$

dove:

T^N = n° di veicoli commerciali transitanti, nell' arco della vita utile di N anni, sulla pavimentazione;
 C_{SN} = è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da peso e tipologia, e l'asse singolo standard da 8,2ton.



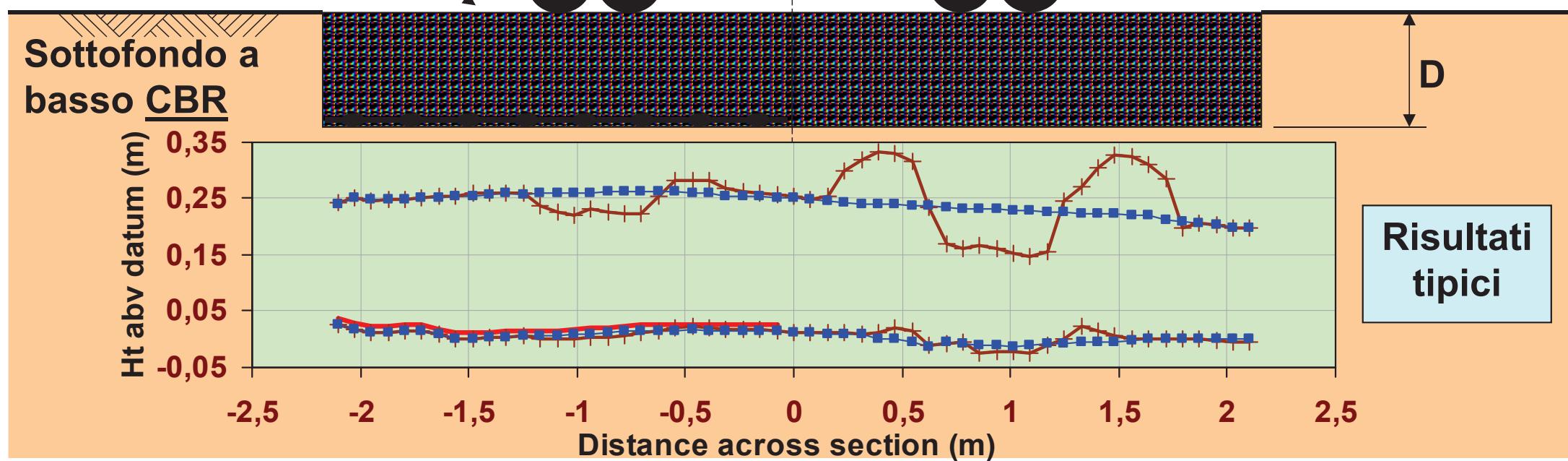
La pavimentazione è verificata quanto :

$N_{8.2} = W_{18} > ESAL's$

Condizioni della fondazione valutate con la profondità dell'ormaiamento

Traffico simulato con ruote gemellate da 40 kN

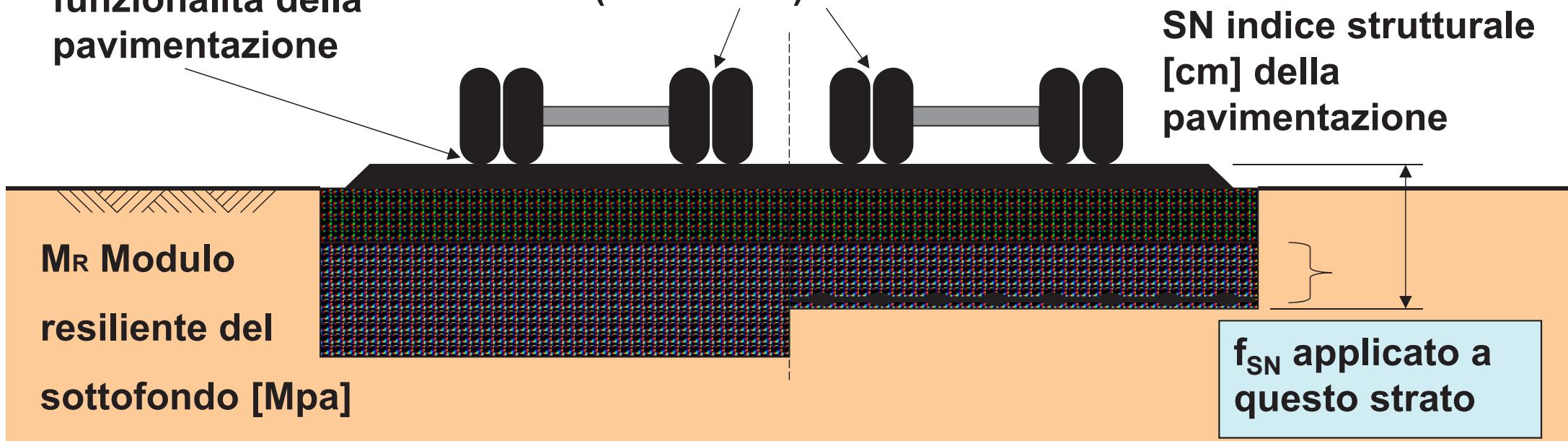
Fondazione in materiale granulare di spessore D



PSI_f grado di funzionalità della pavimentazione

Traffico simulato in assi standard equivalenti da 80 kN ($N_{8.2} = W_{18}$)

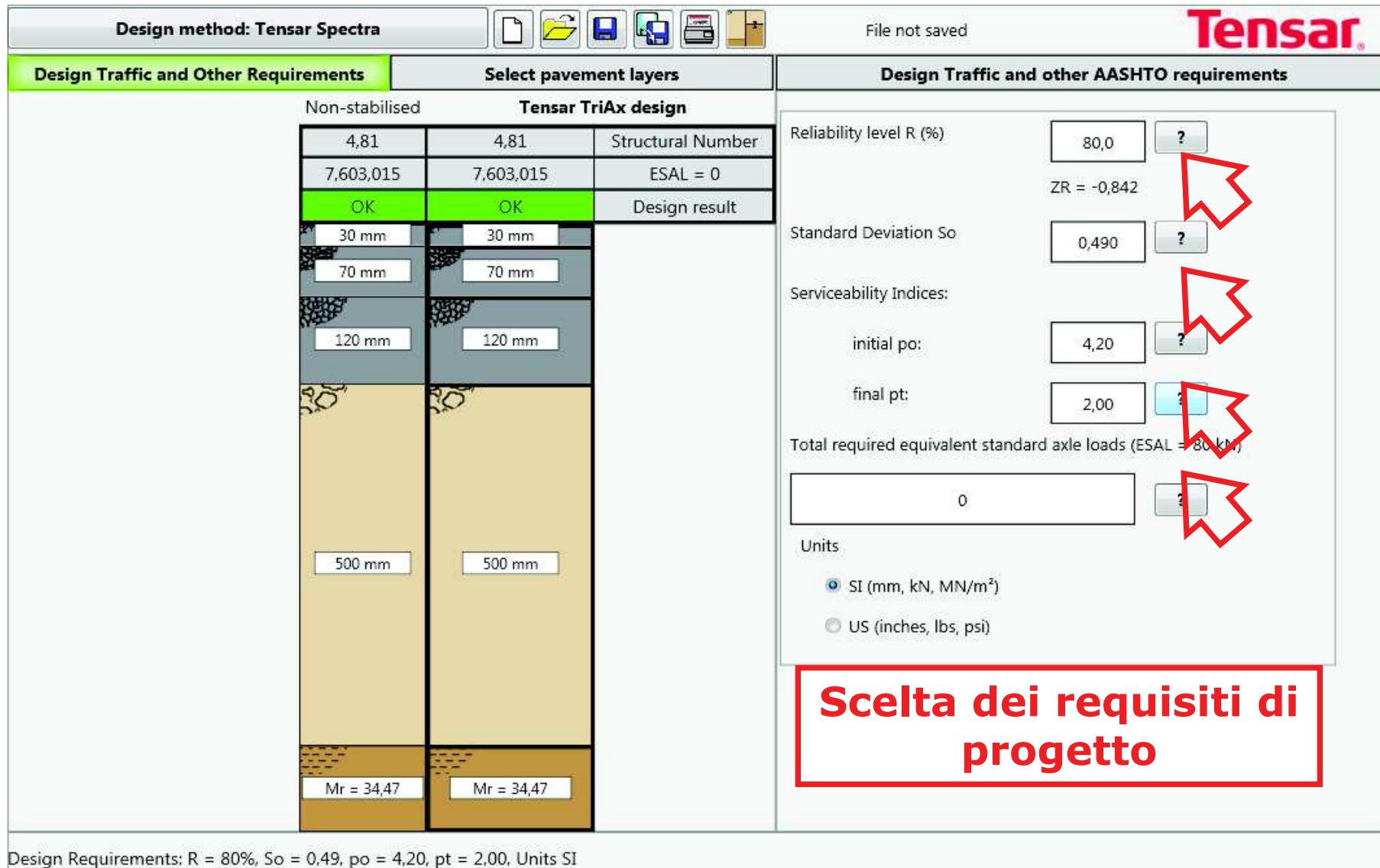
SN indice strutturale [cm] della pavimentazione



$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (SN * f_{SN} + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

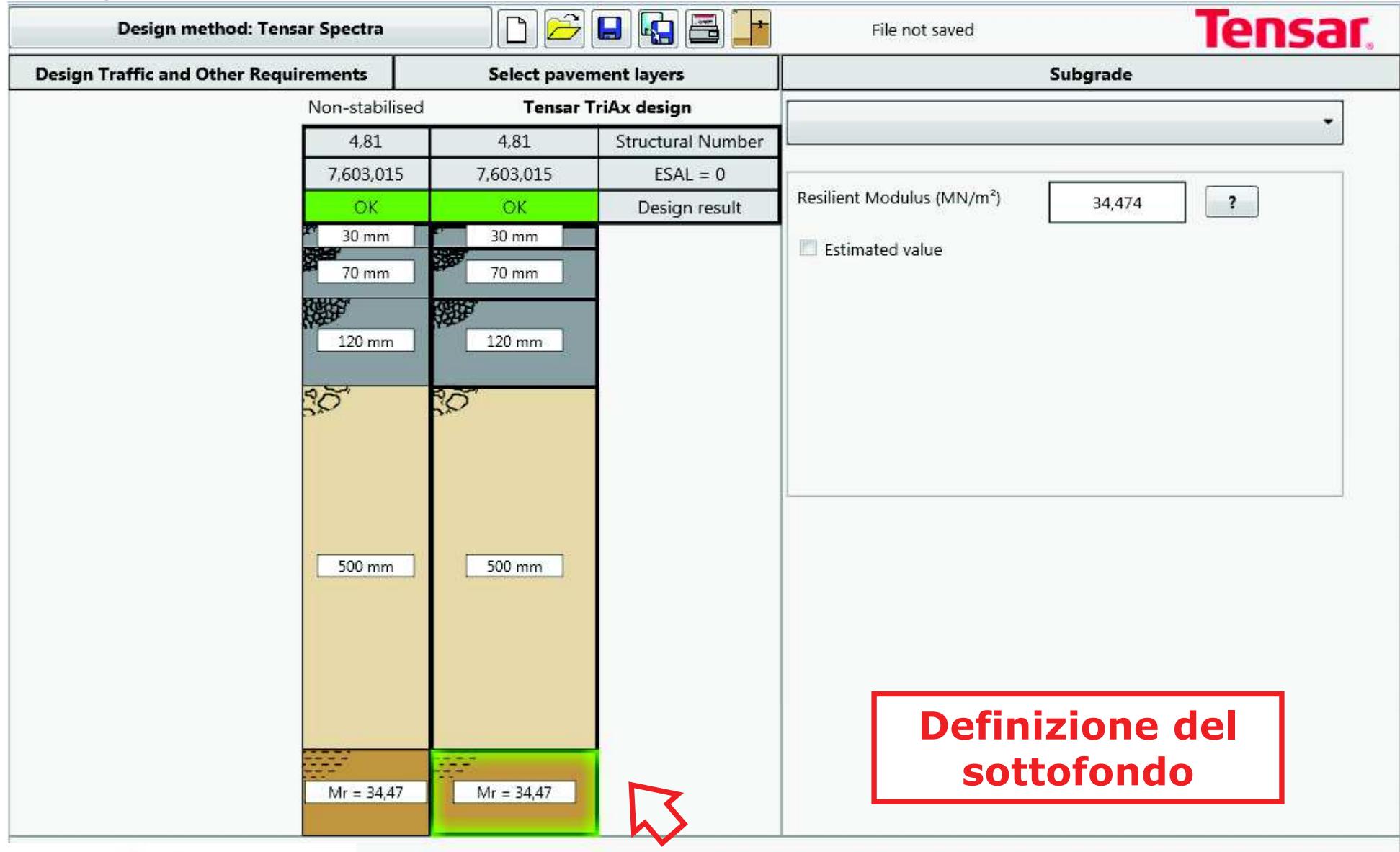
$$0.4 + \frac{(SN * f_{SN} + 1)^{5.19}}{(SN * f_{SN} + 1)^{5.19}}$$

Statigrafia convenzionale

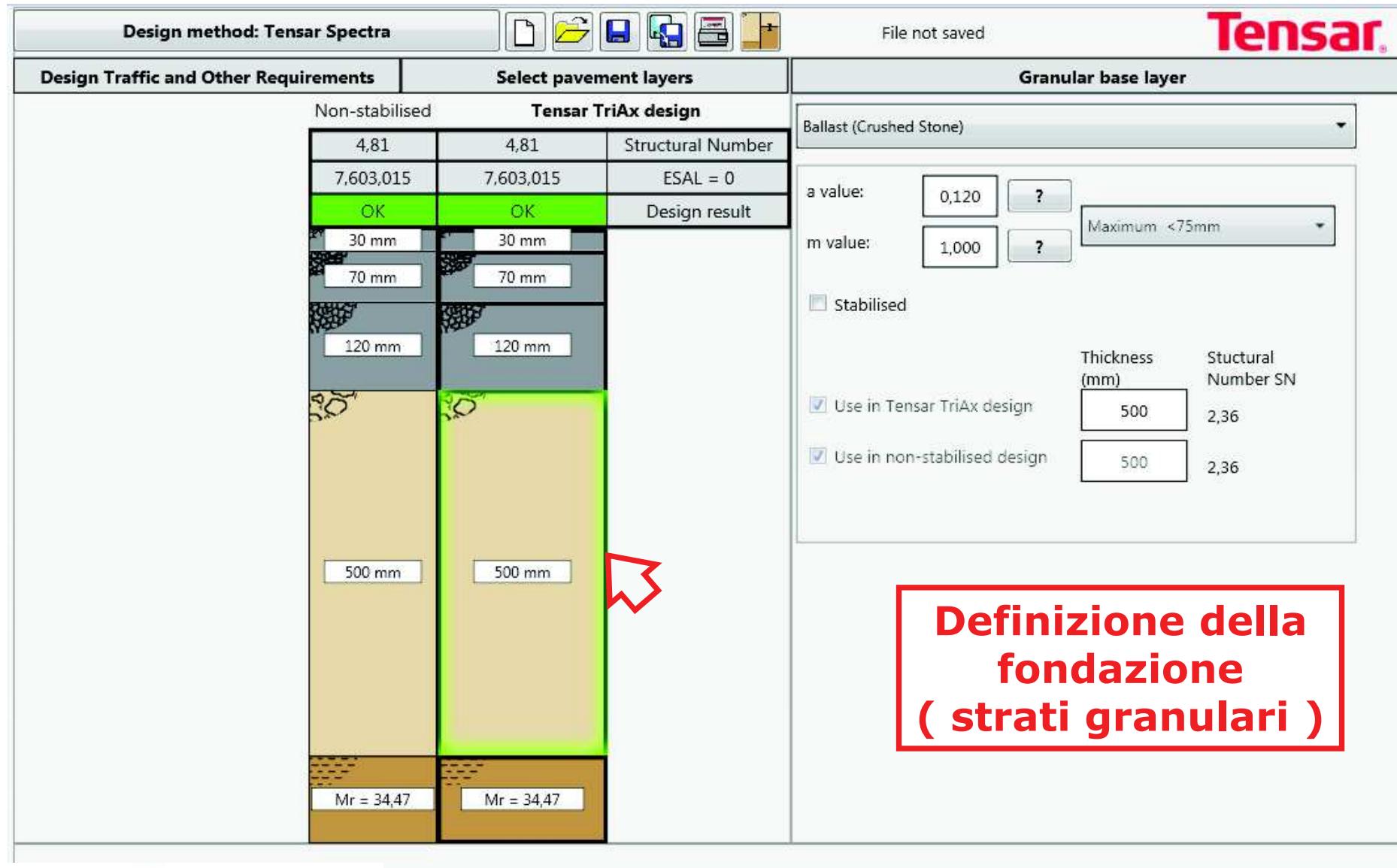


**Scelta dei requisiti di
progetto**

Statigrafia convenzionale



Statigrafia convenzionale



Statigrafia convenzionale

Design method: Tensar Spectra

File not saved

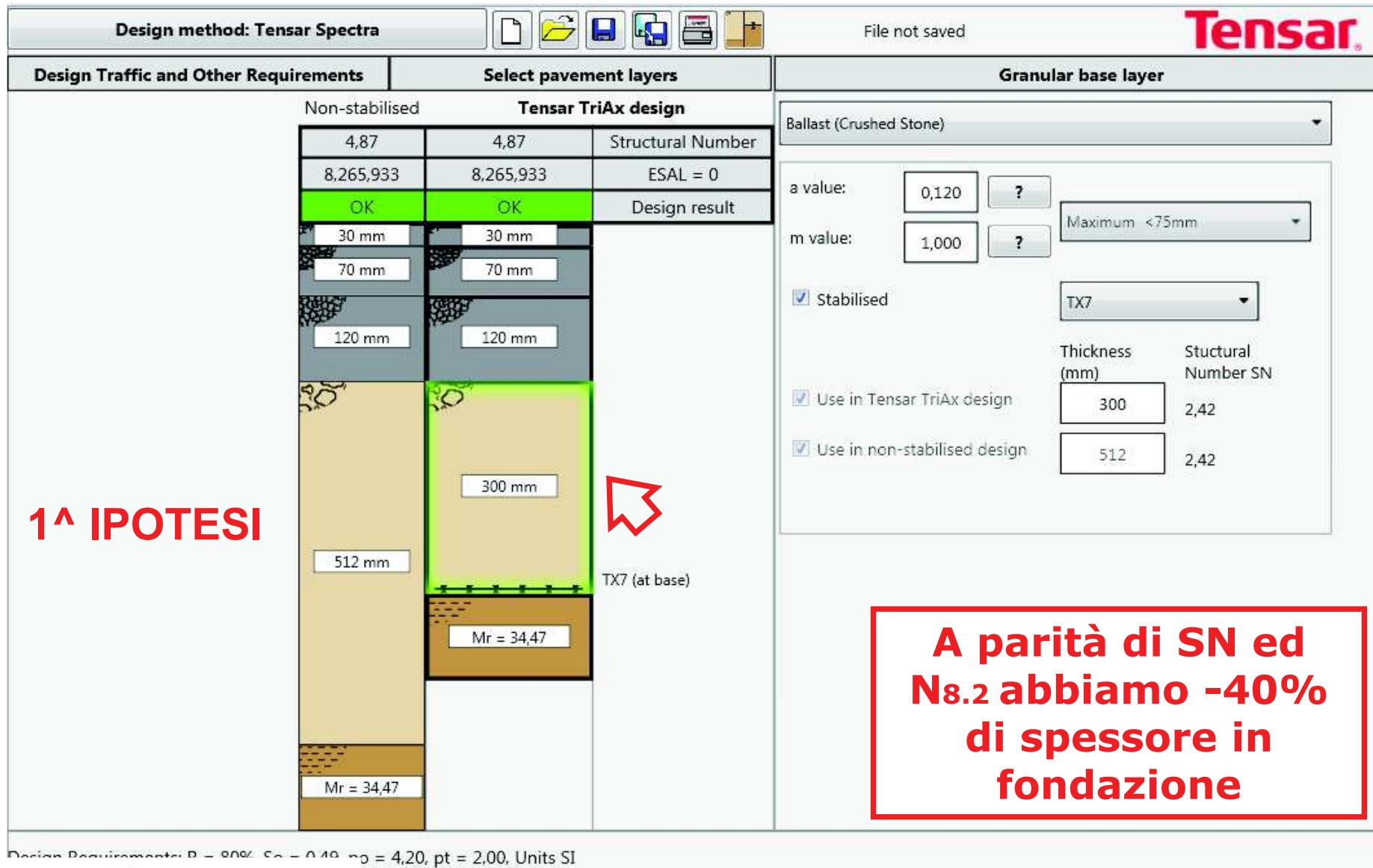
Tensar

Design Traffic and Other Requirements		Select pavement layers		Bound layers					
Non-stabilised		Tensar TriAx design							
4,81	4,81	Structural Number							
7,603,015	7,603,015	ESAL = 0							
OK	OK	Design result							
30 mm	30 mm		Layer 1	Asphalt surface course					
70 mm	70 mm		a value:	0,420	?	Thickness (mm)	30	Structural Number SN	0,50
120 mm	120 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Use in Tensar TriAx design						
500 mm	500 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Use in non-stabilised design						
Mr = 34,47	Mr = 34,47		Layer 2	Asphalt binder course					
			a value:	0,400	?	Thickness (mm)	70	Structural Number SN	1,10
			<input checked="" type="checkbox"/> Use in Tensar TriAx design						
			<input checked="" type="checkbox"/> Use in non-stabilised design						
			Layer 3	Asphalt treated base					
			a value:	0,180	?	Thickness (mm)	120	Structural Number SN	0,85
			<input checked="" type="checkbox"/> Use in Tensar TriAx design						
			<input checked="" type="checkbox"/> Use in non-stabilised design						

Definizione degli strati bitumati (strati legati)

Design Requirements: R = 80%, So = 0,49, po = 4,20, pt = 2,00, Units SI

Statigrafia stabilizzata



Statigrafia stabilizzata

Design method: Tensar Spectra

File not saved

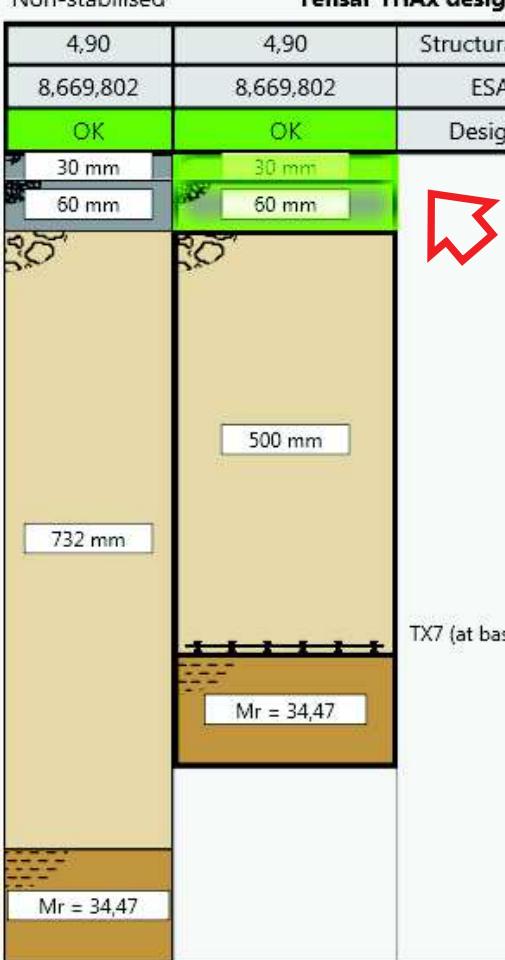
Design Traffic and Other Requirements

Select pavement layers

Tensar TriAx design

4,90	4,90	Structural Number
8,669,802	8,669,802	ESAL = 0
OK	OK	Design result
30 mm	30 mm	
60 mm	60 mm	

2[^] IPOTESI



Layer 1: Asphalt surface course, a value: 0,420, Thickness (mm): 30, Structural Number SN: 0,50. Use in Tensar TriAx design, Use in non-stabilised design.

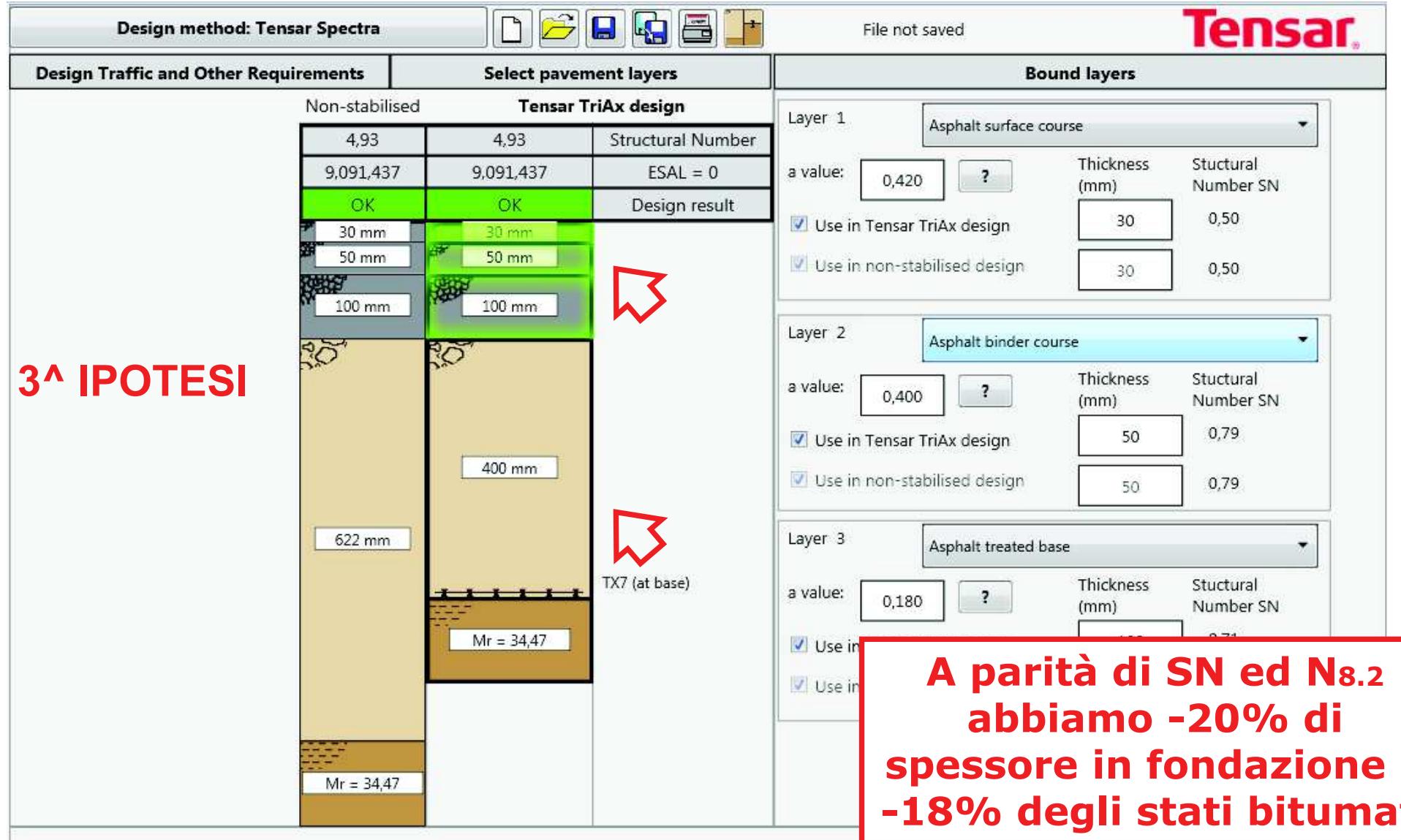
Layer 2: Asphalt binder course, a value: 0,400, Thickness (mm): 60, Structural Number SN: 0,94. Use in Tensar TriAx design, Use in non-stabilised design.

Layer 3: TX7 (at base), a value: 34,47, Thickness (mm): 34,47, Structural Number SN: 0,94. Use in Tensar TriAx design, Use in non-stabilised design.

Design Requirements: R = 80%, So = 0,49, po = 4,20, pt = 2,00, Units SI

A parità di SN ed N_{8,2} abbiamo -59% di spessore degli strati bitumati

Statigrafia stabilizzata



Grazie per l'attenzione

WWW.PAVITEX.COM

**Ing. Dario Carnevali
S.A.T. Viganò Pavitex S.p.A.**