

# 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)



## PRINCIPALI CAUSE:

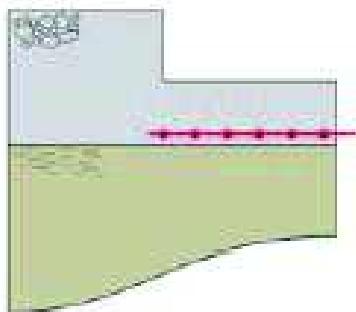
- Terreno di sottofondo con scarse caratteristiche geotecniche (basso CBR)
- Scarso drenaggio
- Contaminazione del misto granulare di fondazione
- Materiali stradali scadenti
- Progettazione a breve termine
- Incremento nel tempo dell' intensità di traffico
- Incremento del carico per asse

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

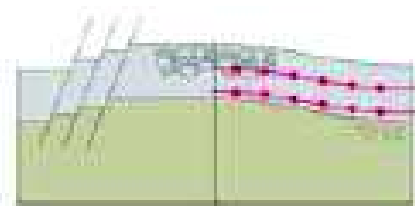


# PRINCIPALI PROBLEMI LEGATI AI SOTTOFONDI CEDEVOLI

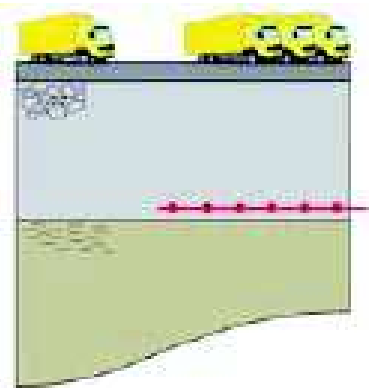
l' inserimento dei Geosintetici nella stratigrafia consente di:



**RIDURRE LO SPESSORE  $h$**  a parità di  $c, \phi, \gamma$  e di numero cicli (minori costi in termini di inerti, scavo e smaltimento e ridotti tempi di realizzazione)



**CONTROLLO DEI CEDIMENTI DIFFERENZIATI**

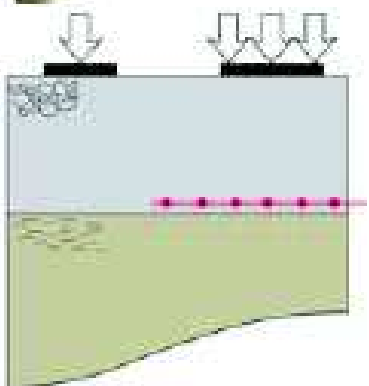


**AUMENTARE IL NUMERO DI CICLI** (aumento della vita utile dell' opera) a parità di spessore  $h$  e di  $c, \phi, \gamma$

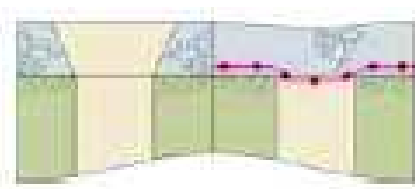
**RIDURRE LA QUALITÀ DEI MATERIALI** ( $c, \phi, \gamma$ ) a parità di cicli e spessore  $h$



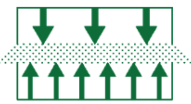


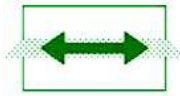
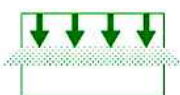
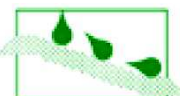
**COPERTURA DI DEPOSITI COMPRIMIBILI**



**AUMENTARE LA CAPACITÀ PORTANTE** a parità di spessore  $h$  e di  $c, \phi, \gamma$



**COPERTURE TEMPORANEE**

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

## 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.

		Strade			Ferrovie		
		UNI EN ISO 13249			UNI EN ISO 13250		
		R	S	F	R	S	F
<b>CARATTERISTICHE MECCANICHE</b>							
Resistenza a trazione (MD e CD)	EN ISO 10319	H	H	H	H	H	H
Allungamento a trazione (MD e CD)	EN ISO 10319	H	A	A	H	A	A
Resistenza a trazione di giunzioni e cuciture	EN ISO 10321				S	S	S
Punzonamento statico	EN ISO 12236	H	H	S	H	H	S
Punzonamento dinamico	EN 918	H	A	H	H	A	H
Danneggiamento durante la messa in opera	EN ISO 10722-1	A	A	A	A	A	A
Caratteristiche di attrito	prEN ISO 12957-1 prEN ISO 12957-2	A	S	S	A	S	S
Comportamento viscoso a trazione	EN ISO 13431	A	-	-	A	-	-
Efficienza della protezione	prEN 13719	-	-	-	-	-	-
<b>CARATTERISTICHE IDRAULICHE</b>							
Apertura caratteristica	EN ISO 12956	-	A	H	-	A	H
Permeabilità all'acqua perpendicolare all'acqua	EN ISO 11058	A	A	H	A	A	H
Capacità drenante del piano	EN ISO 12958						
<b>CARATTERISTICHE DI DURABILITA'</b>							
Resistenza agli agenti atmosferici	EN 12224	H	H	H	H	H	H
Resistenza alla degradazione microbiologica	EN 12225						
Resistenza all'invecchiamento chimico	ENV ISO 12960 ENV ISO 13438 ENV 12447	H	H	H	H	H	H



**EN 13249**  
**Geosynthetics for**  
**Roads and Trafficked**  
**Areas**

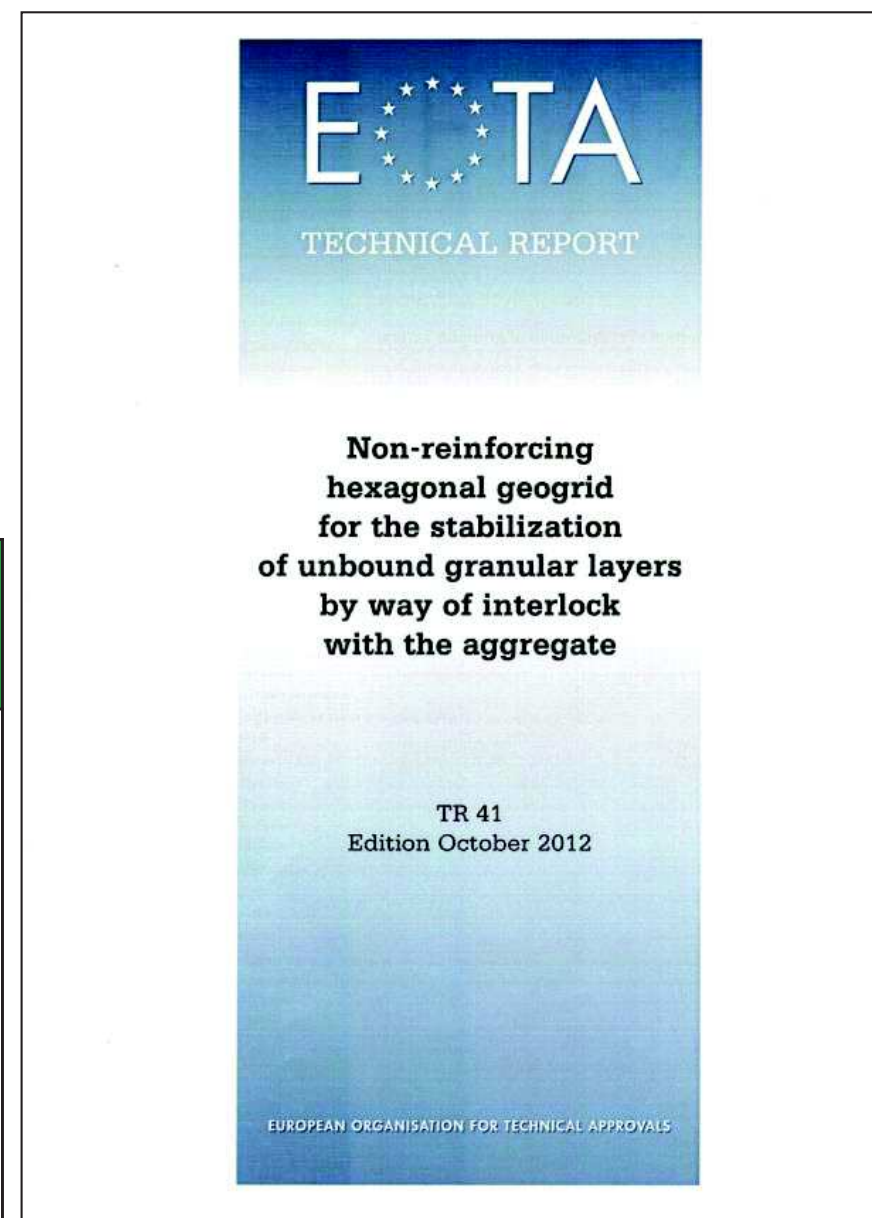


No.	Essential Geogrid Characteristics	Requirement Clauses in this European Standard	Units
1	Tensile Strength	4.1, Table 1(1) and 5.1	kN/m
2	Elongation	4.1, Table 1 (2) and 5.1	%

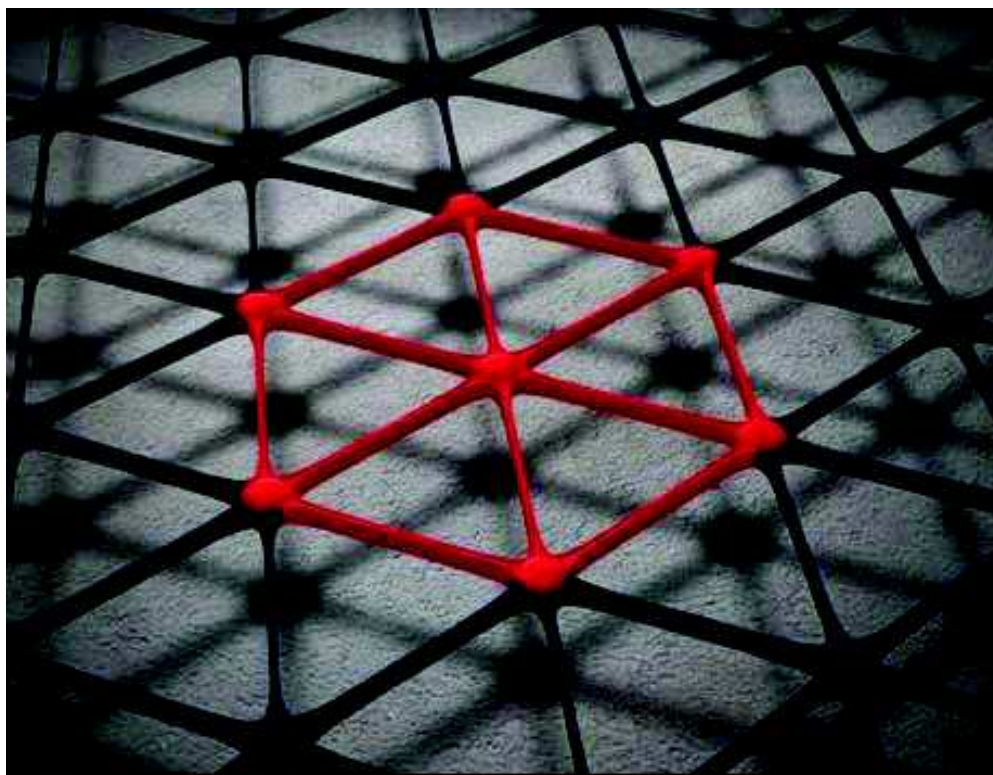
introdotto un nuovo concetto dal 2012

**“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
<b>STABILIZZAZIONE</b> 	<b>MARCATURA CE</b> 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 <b>EOTA TR41</b>  <b>TriAx™</b>



# 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.**

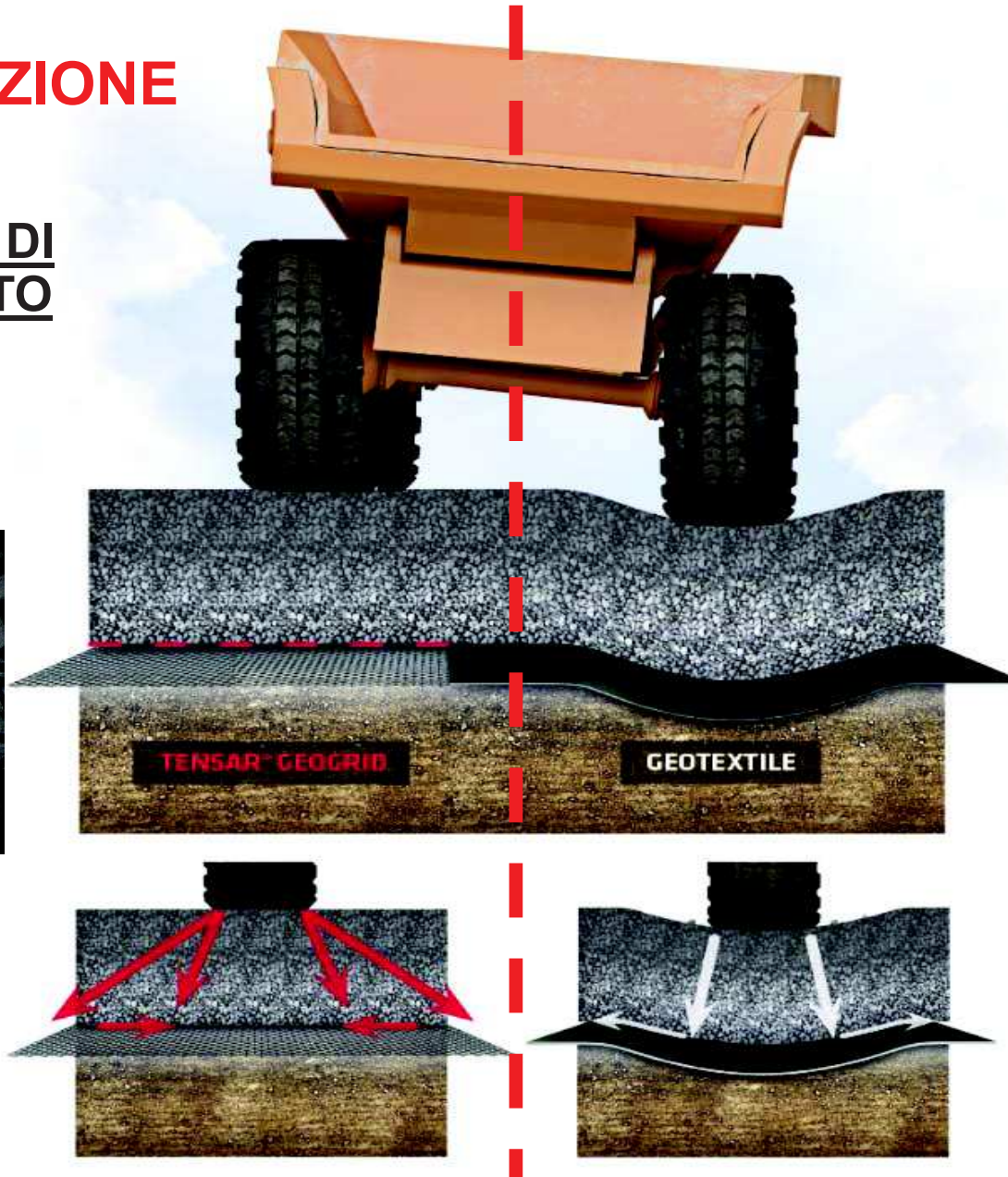
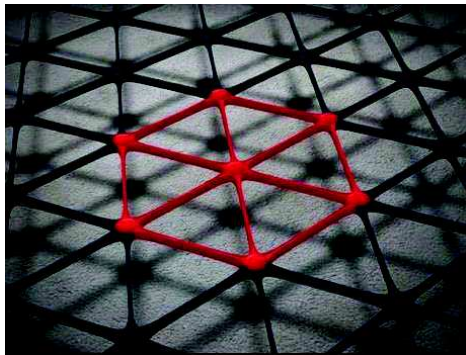
**STABILIZZAZIONE**

**≠**

**RINFORZO**

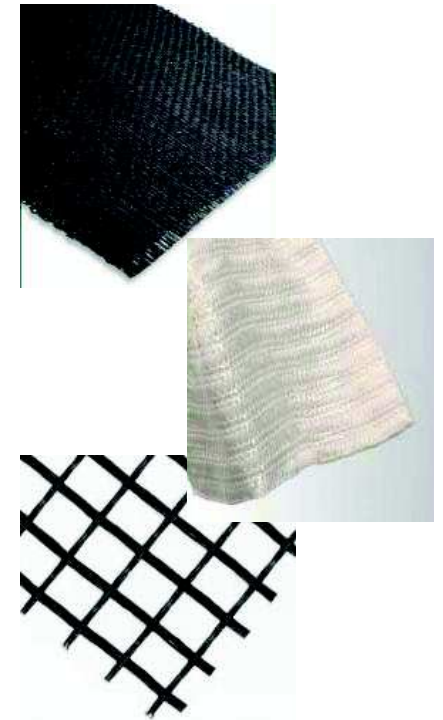
## STABILIZZAZIONE

### MECCANISMO DI CONFINAMENTO



## RINFORZO

### EFFETTO MEMBRANA

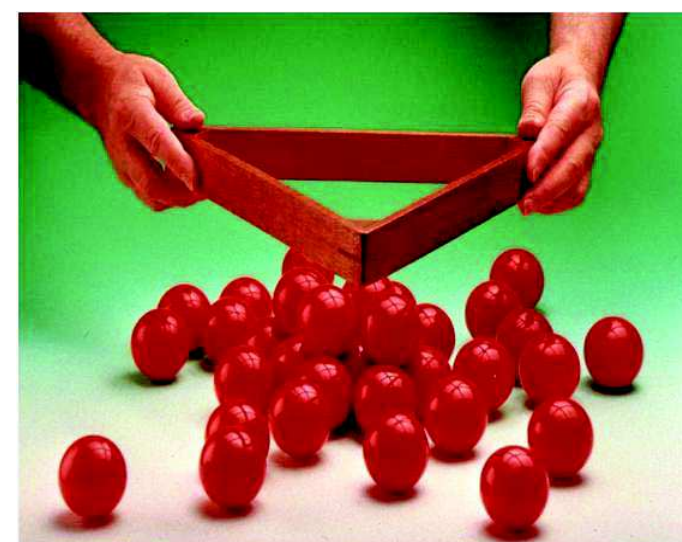
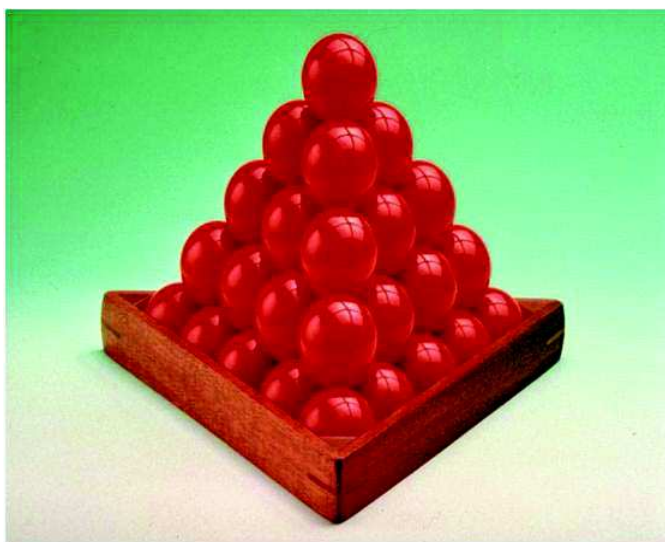
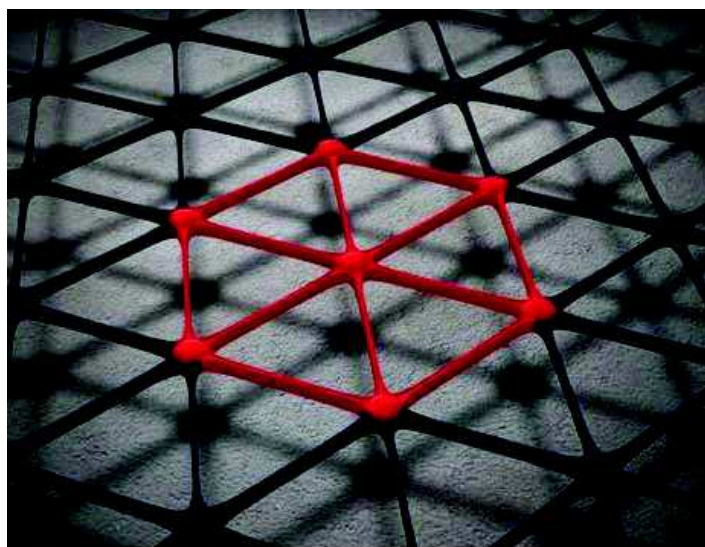
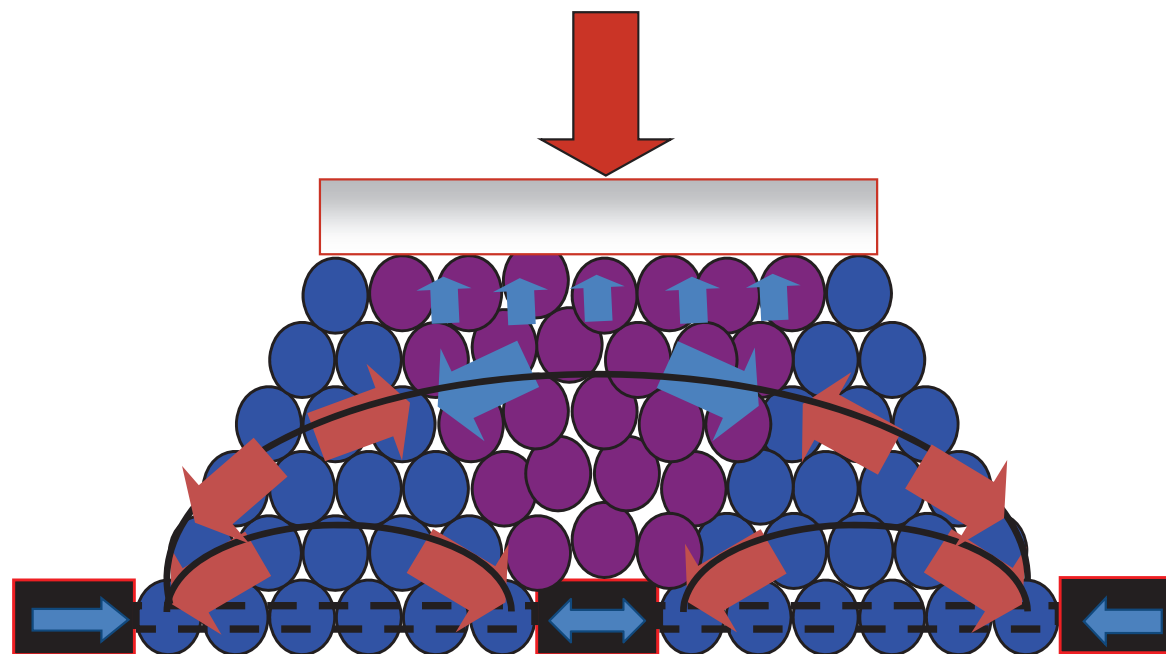




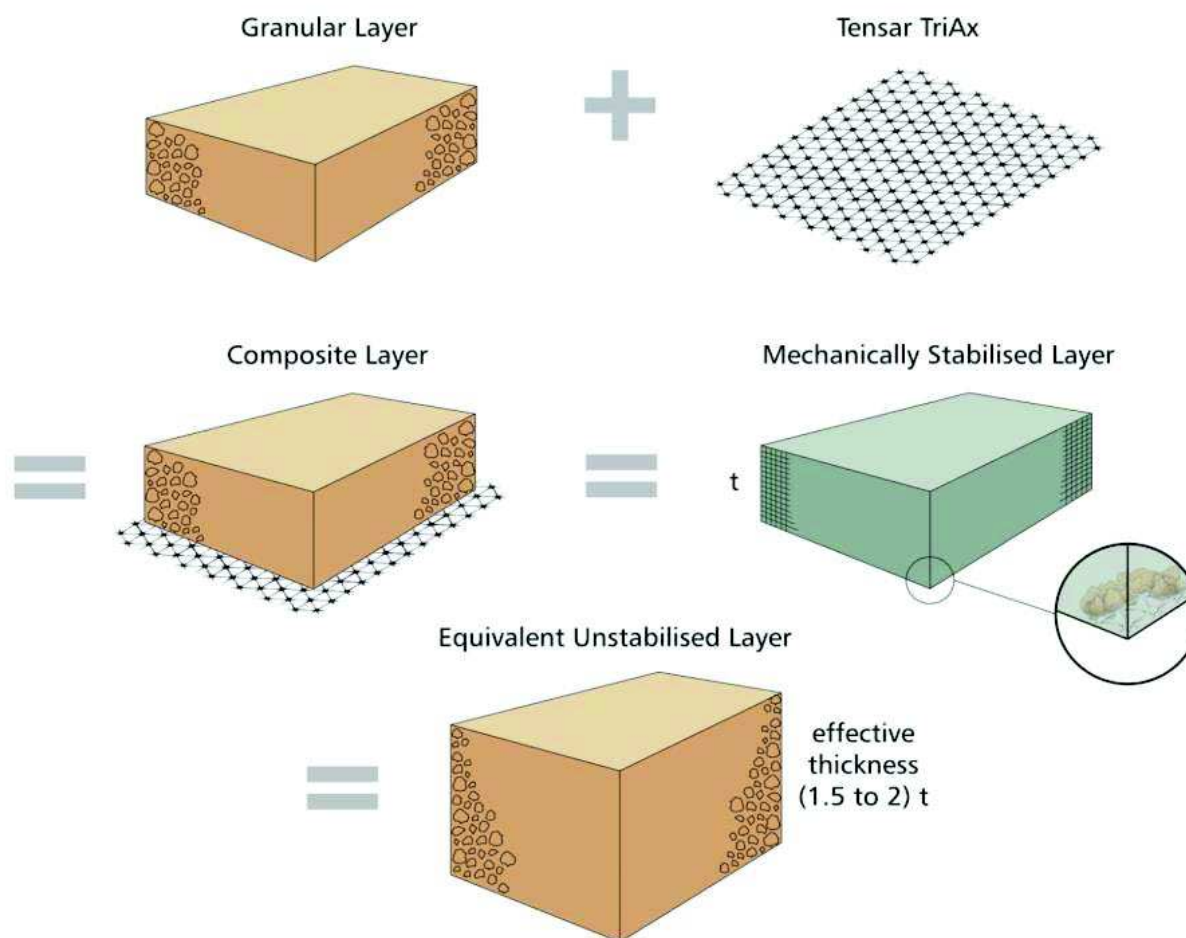
- Il geosintetico deve deformarsi prima di cominciare a lavorare
- Sono richieste alte resistenze
- **Necessario ancoraggio** → materiali e spazi aggiuntivi

**Elevate deformazioni del  
sottofondo**





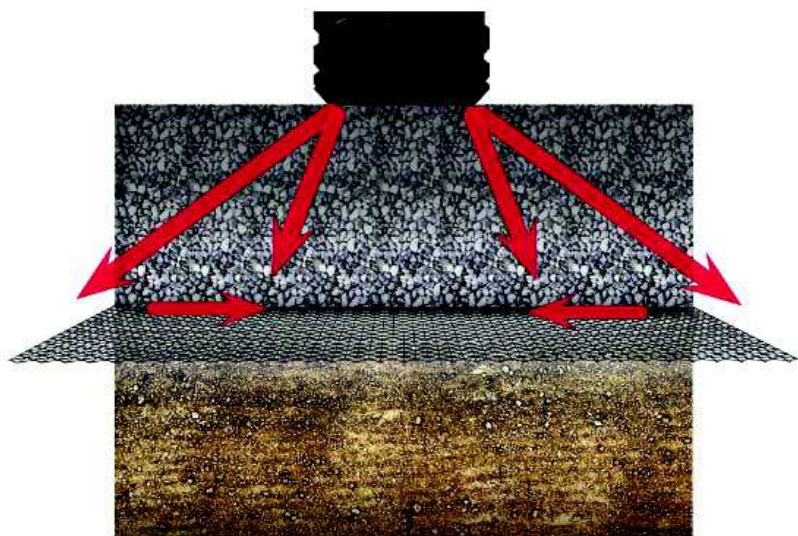
Abbiamo ottenuto uno **strato di terreno granulare MECCANICAMENTE STABILIZZATO (MSL = TriAx + misto granulare)** con proprietà meccaniche superiori rispetto ad una stratigrafia NON stabilizzata



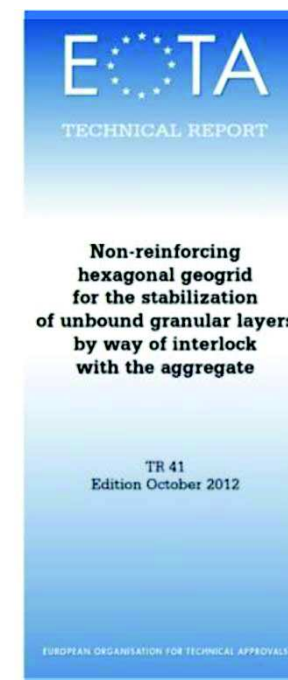
**Webster , S.L. US Corp of Engineers, 1992** ha effettuato STUDI SUI PRINCIPI DI STABILIZZAZIONE dei suoli CON GEOGRIGLIE definendone i **FATTORI FONDAMENTALI:**

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!!!**

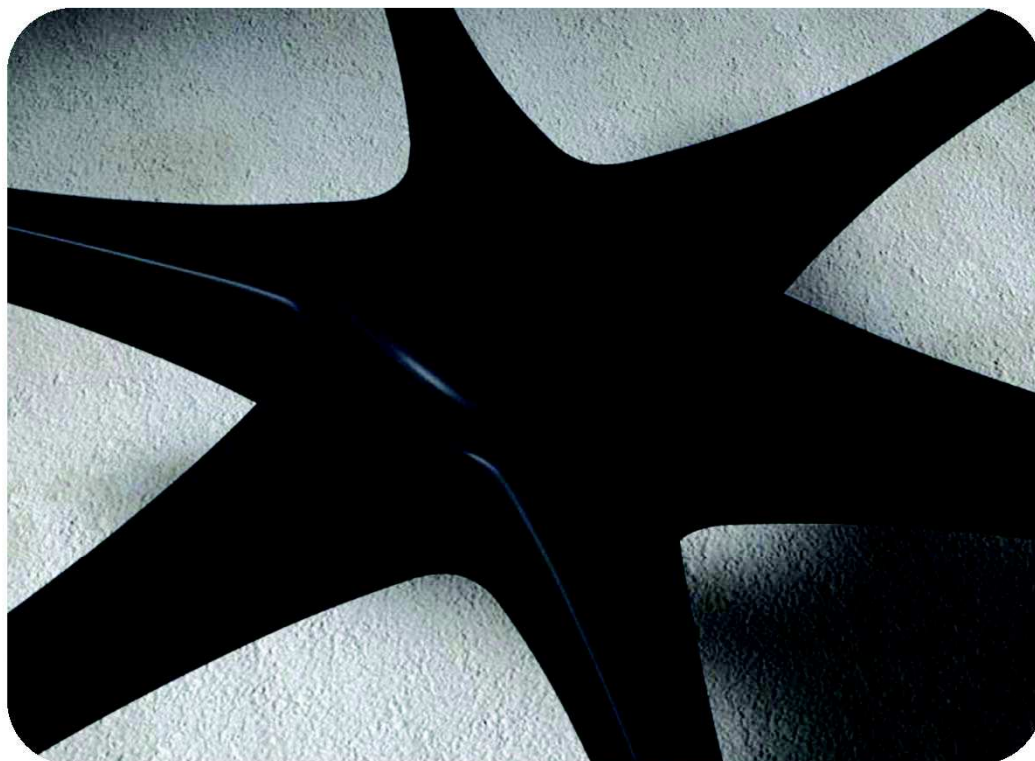


**ETA**  
**for Geogrid**  
**Stabilisation of**  
**Unbound Layers**

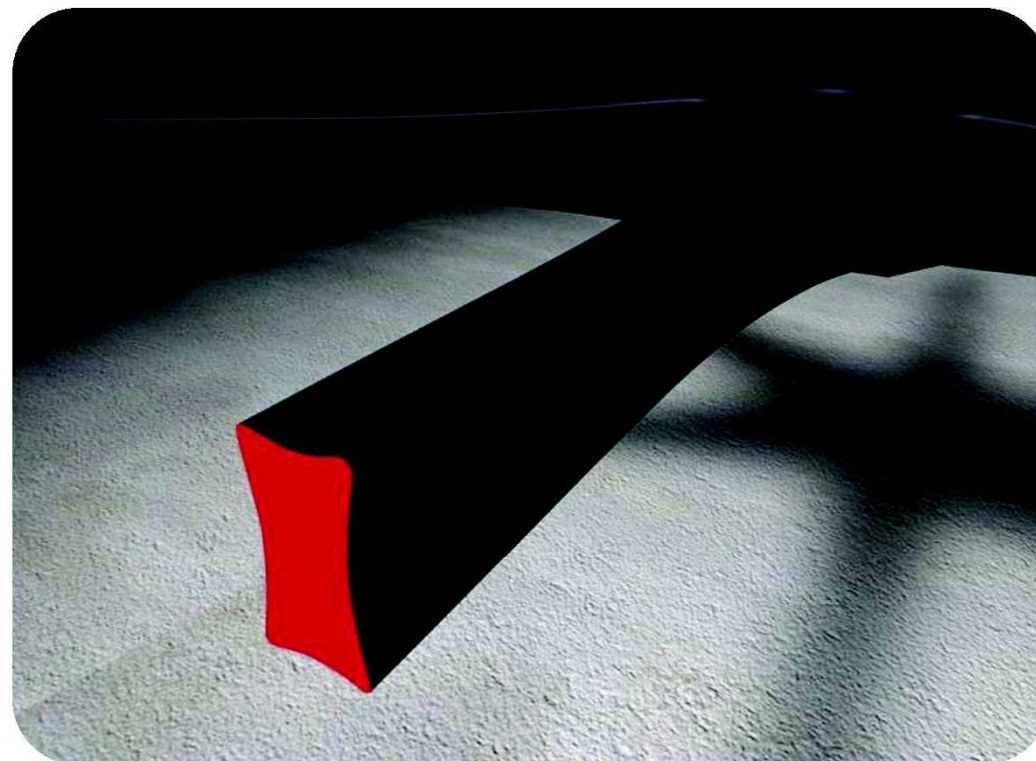


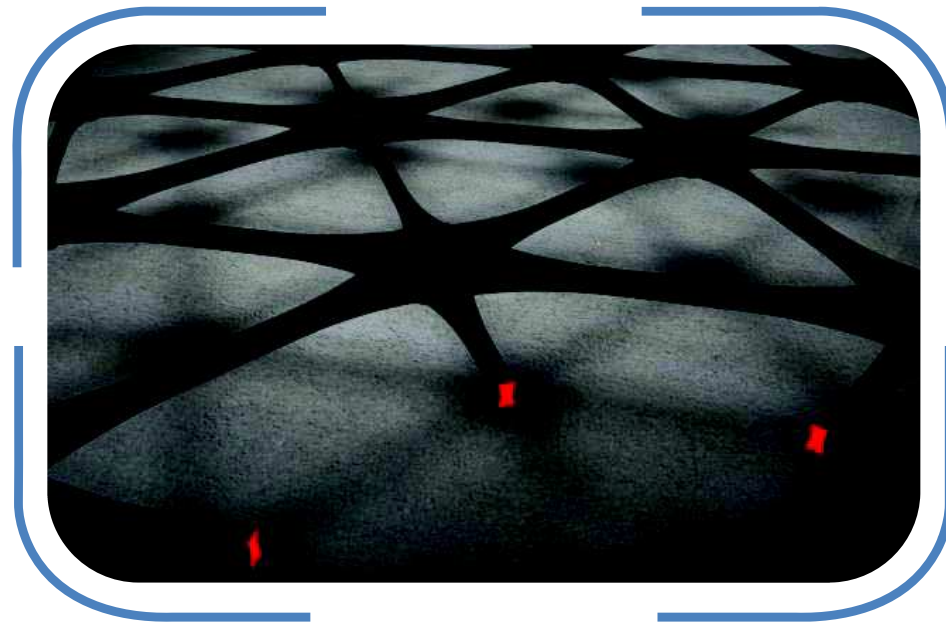
No.	Product Characteristic	Method of Testing	Unit or Characteristic
1	Radial Secant Stiffness at 0.5% strain	TR 041 B.1	kN/m
2	Radial Secant Stiffness Ratio	TR 041 B.1	-
3	Junction Efficiency	TR 041 B.2	%
4	Hexagonal Pitch	TR 041 B.4	mm

90-100% di efficienza nelle giunzioni



sezione alta dei nastri

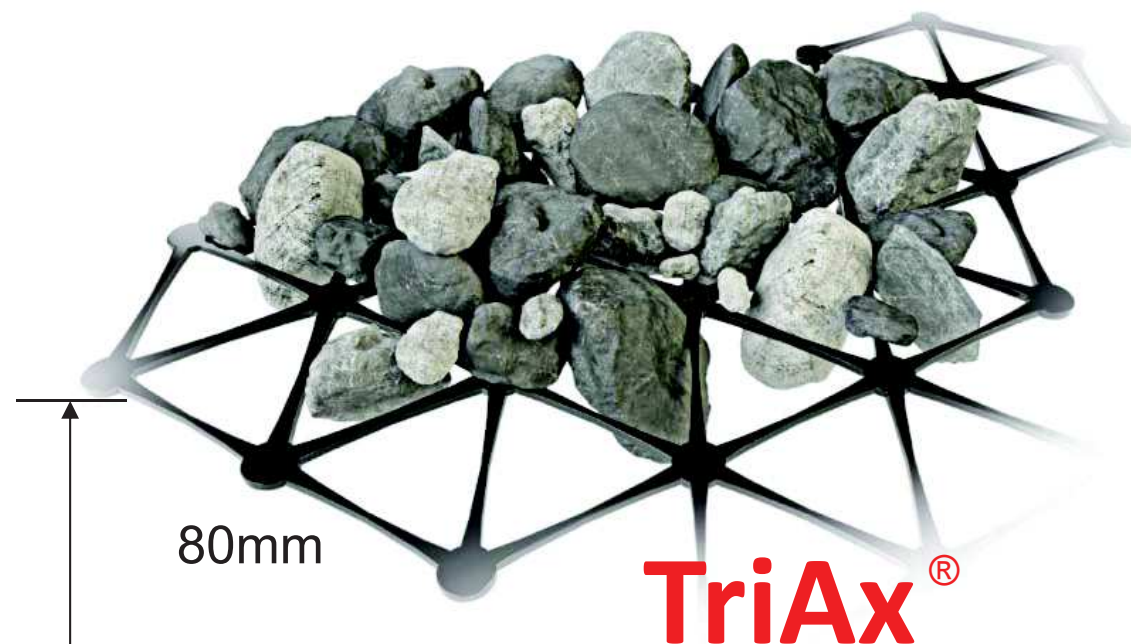
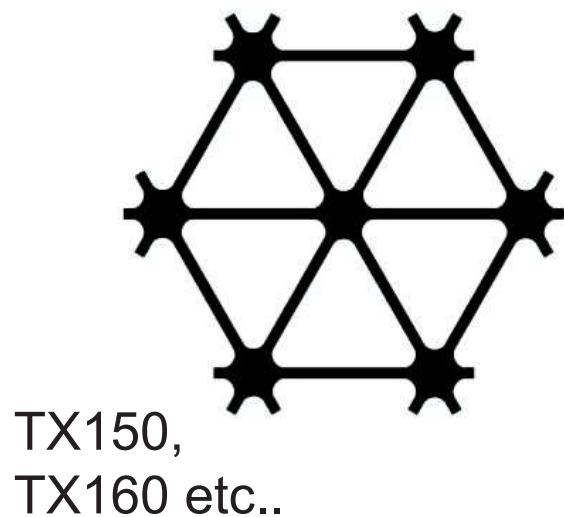
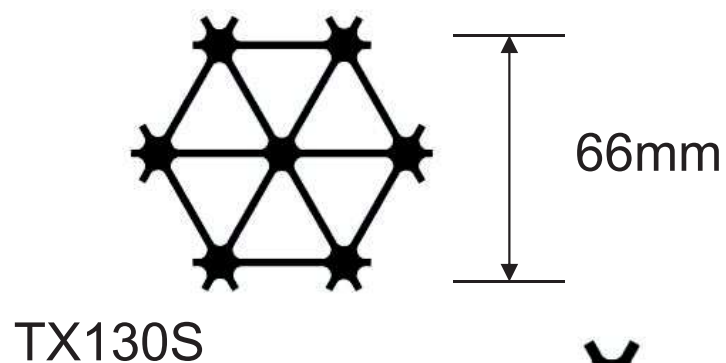




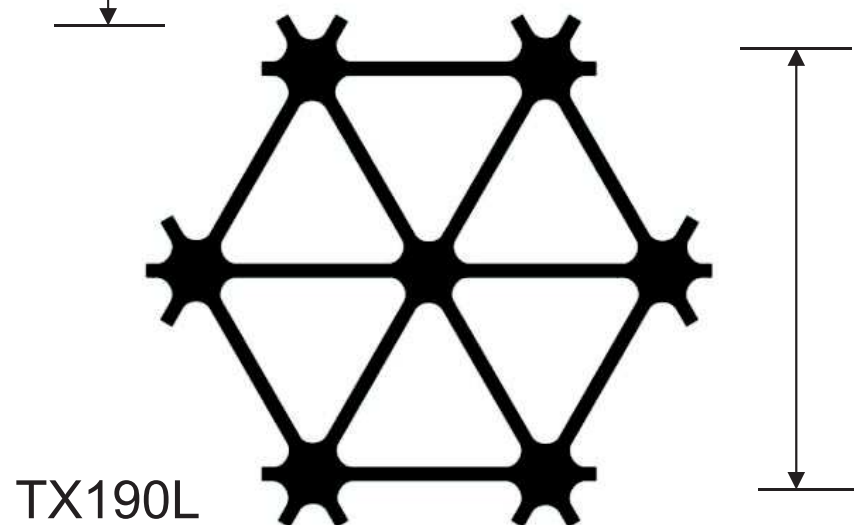
**TriAx**

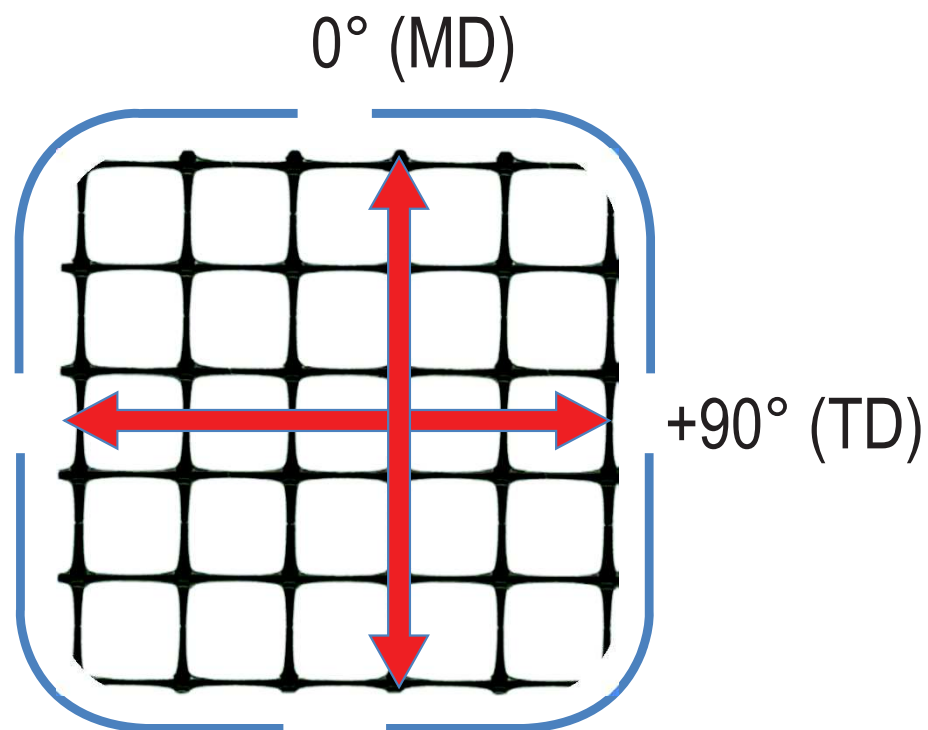


nervature a SEZIONE ALTA

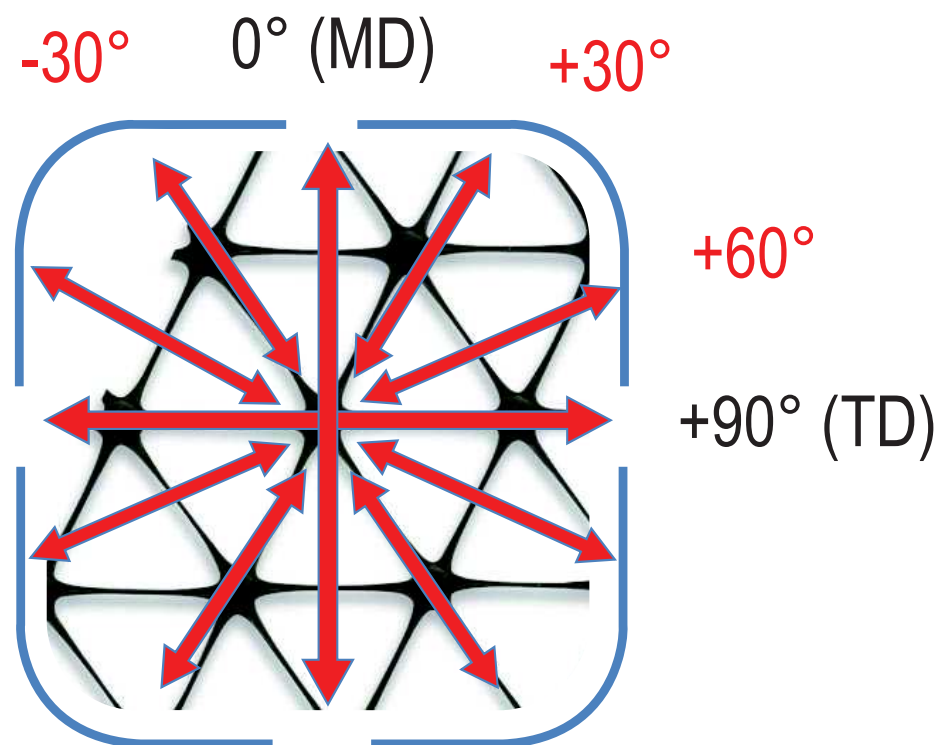


- maglia esagonale
- possibilità di utilizzare differenti granulometrie di inerte





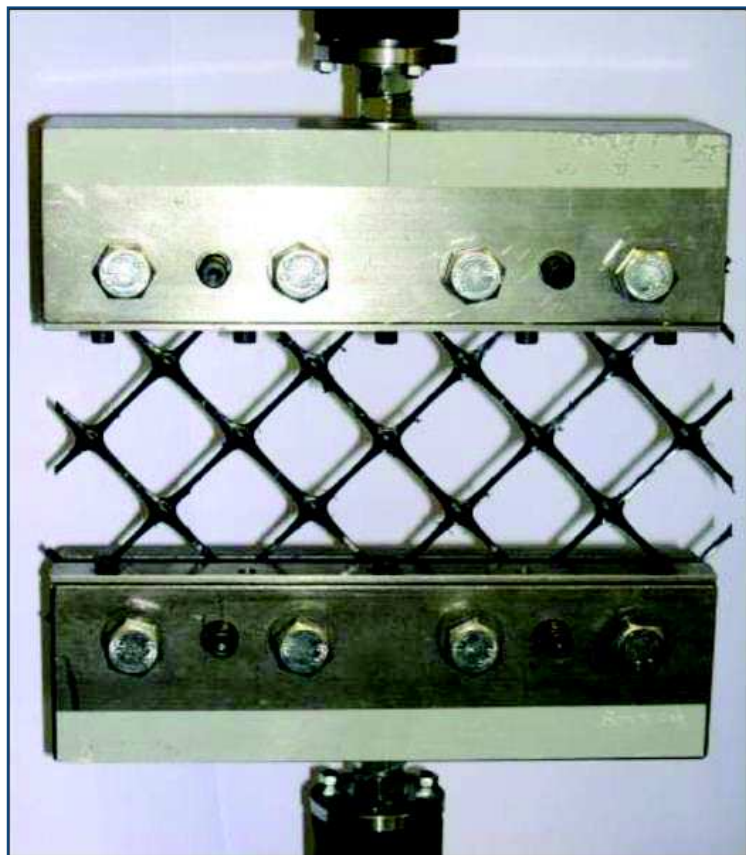
altre Geogriglie a  
nastri biorientati  
(maglia  
quadrata)



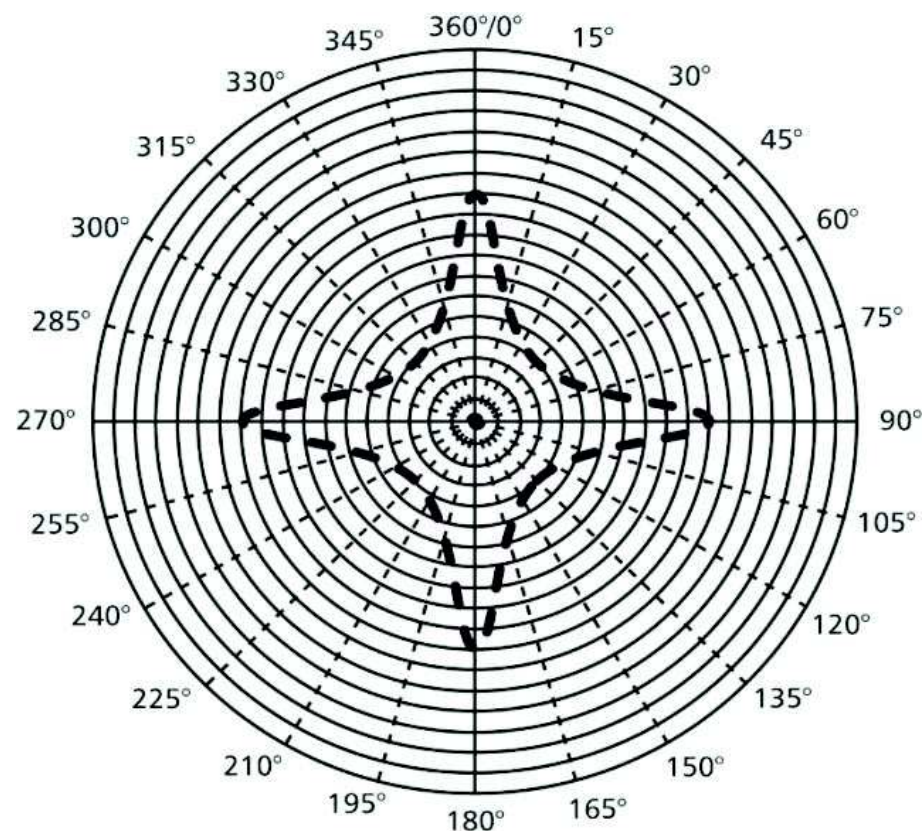
**TriAx**  
(maglia esagonale)

# DIAGRAMMA DI RIGIDEZZA RADIALE SULLA MAGLIA BIDIREZIONALE

**Tensar**



Test a trazione in laboratorio

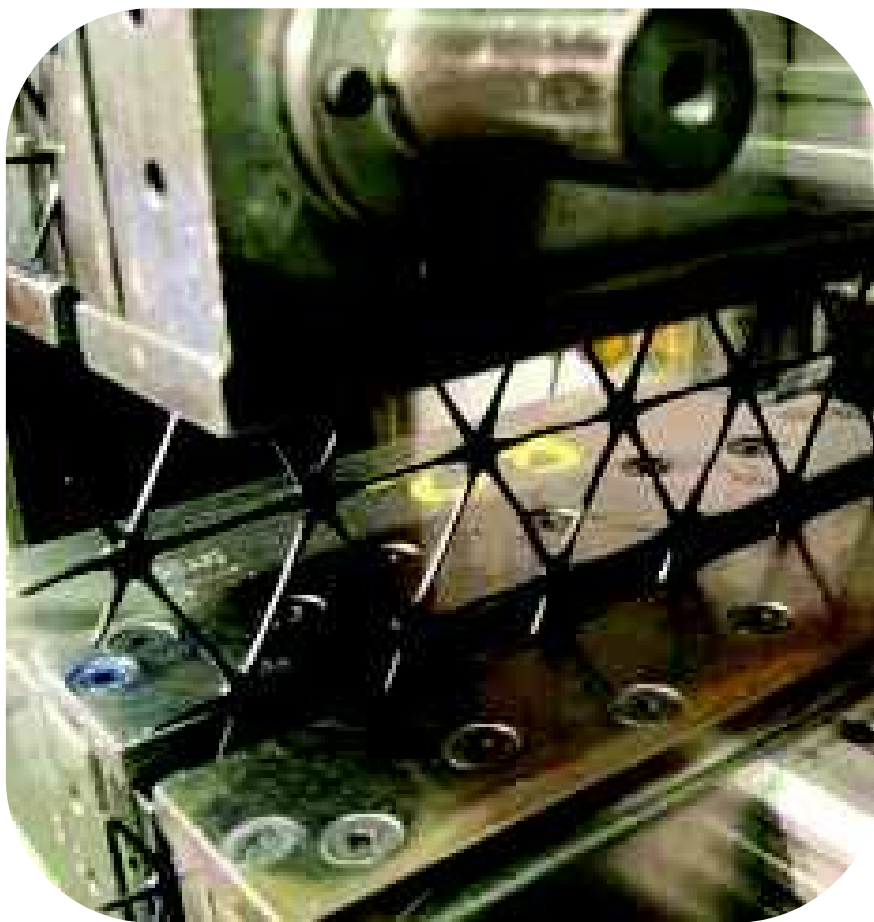


**STIFFNESS**

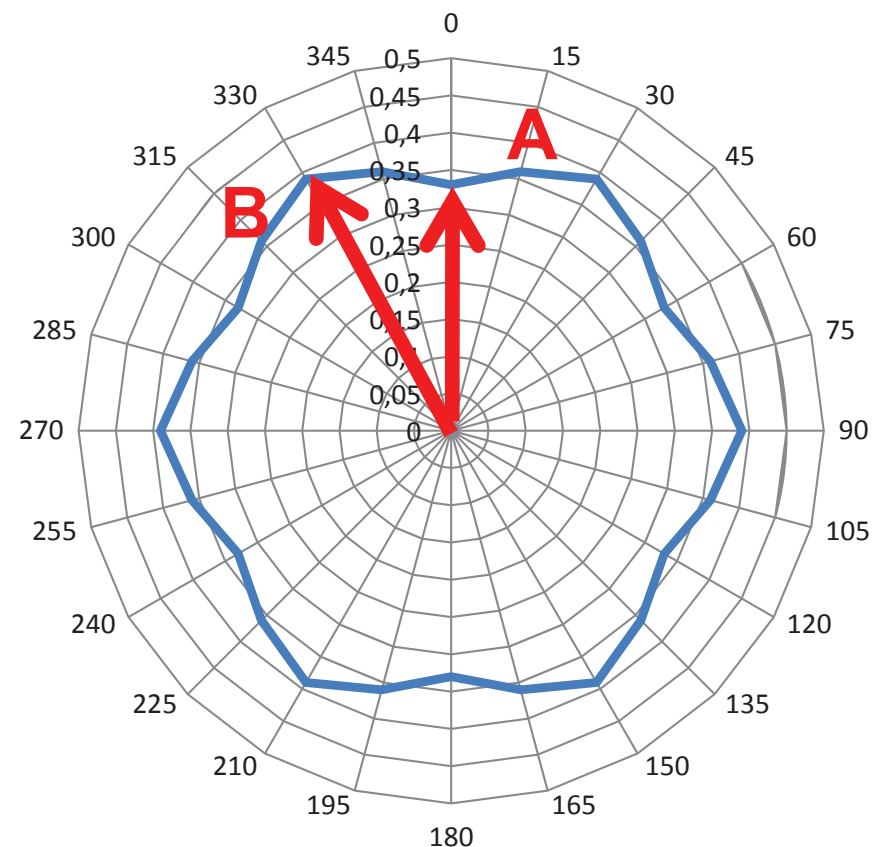
.....altre Geogriglie a nastri biorientati (maglia quadrata)

# DIAGRAMMA DI RIGIDEZZA RADIALE SULLA MAGLIA ESAGONALE

**Tensar**



Test a trazione in laboratorio



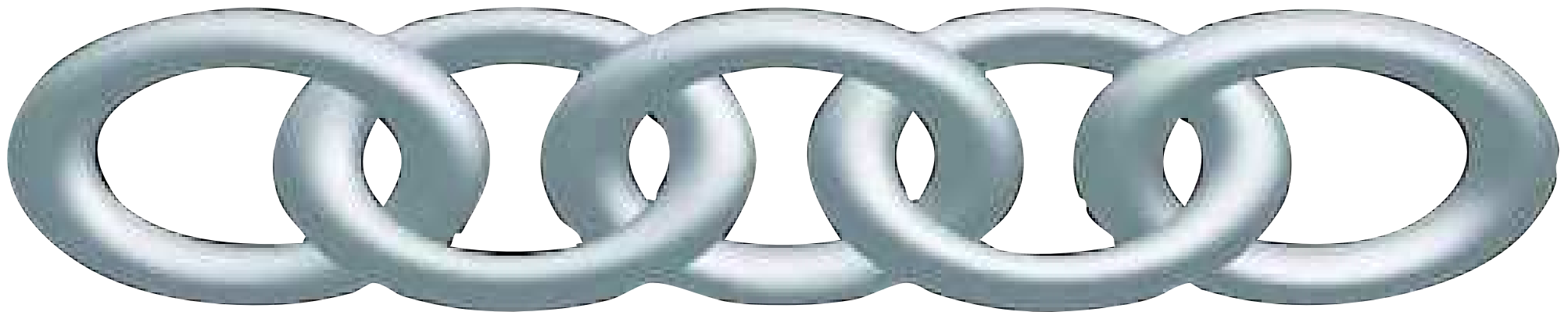
..... Geogriglie **TriAx**<sup>®</sup> (maglia esagonale)

# PROPRIETÀ FONDAMENTALI di una geogriglia per la stabilizzazione **Tensar**

**Apertura delle  
maglie**

**Resistenza delle  
giunzioni**

**Rigidezza  
torsionale**



**Sezione dei nastri**

**rigidezza radiale &  
rapporto isotropo**

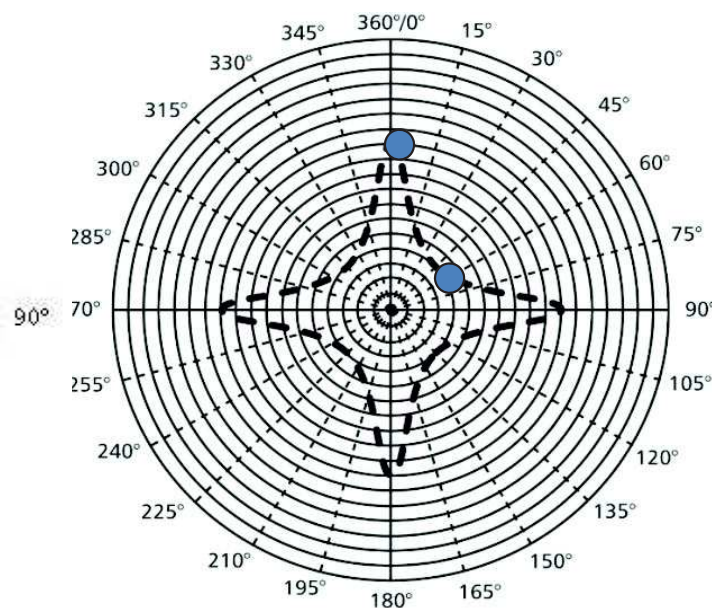
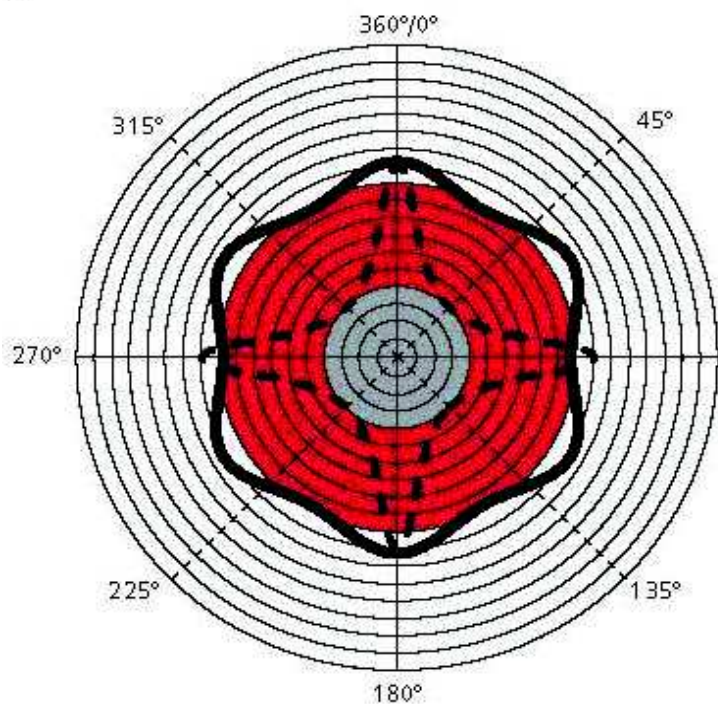
**Le proprietà fondamentali di una geogriglia creano una CATENA in cui un solo "ANELLO DEBOLE" compromette le prestazioni dell'intera catena.**

# CONFRONTO DIAGRAMMI DI RIGIDEZZA

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

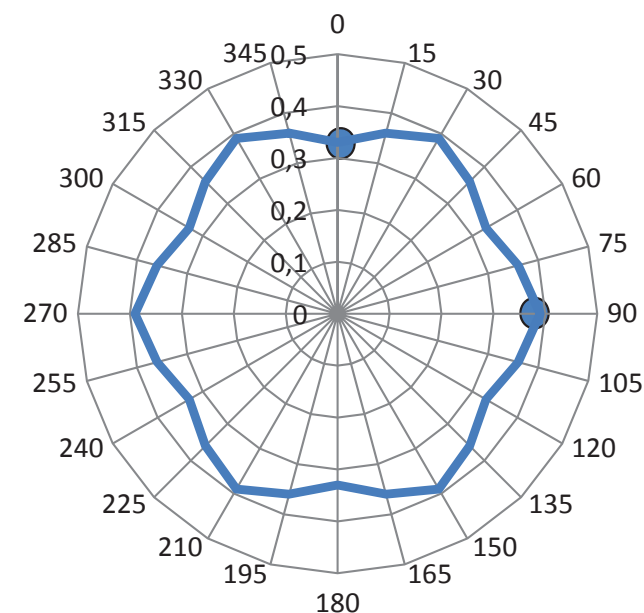
**Geogriglia bidirezionale**

**A/B ~ 0.3**







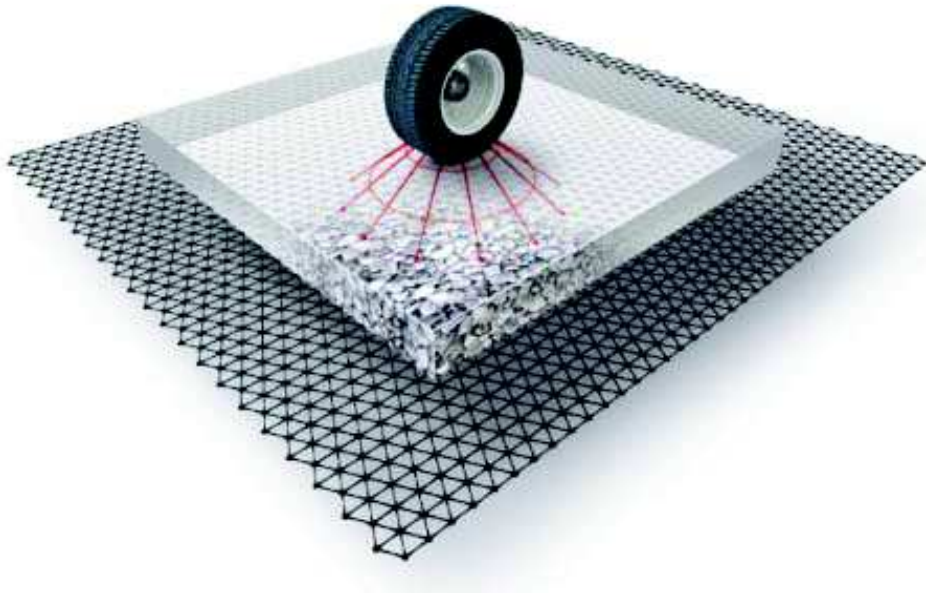
**Geogriglia TriAx**

**A/B ~ 0.8**

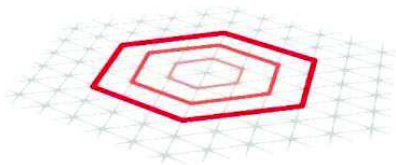


**La condizione ottimale di  
perfetta isotropia è  
**A/B=1.0****

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



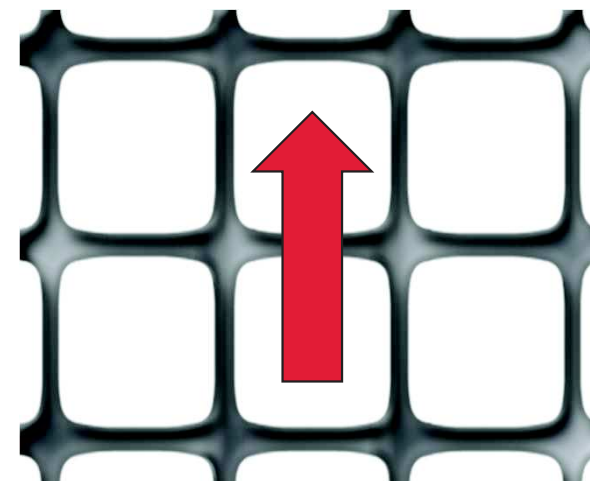
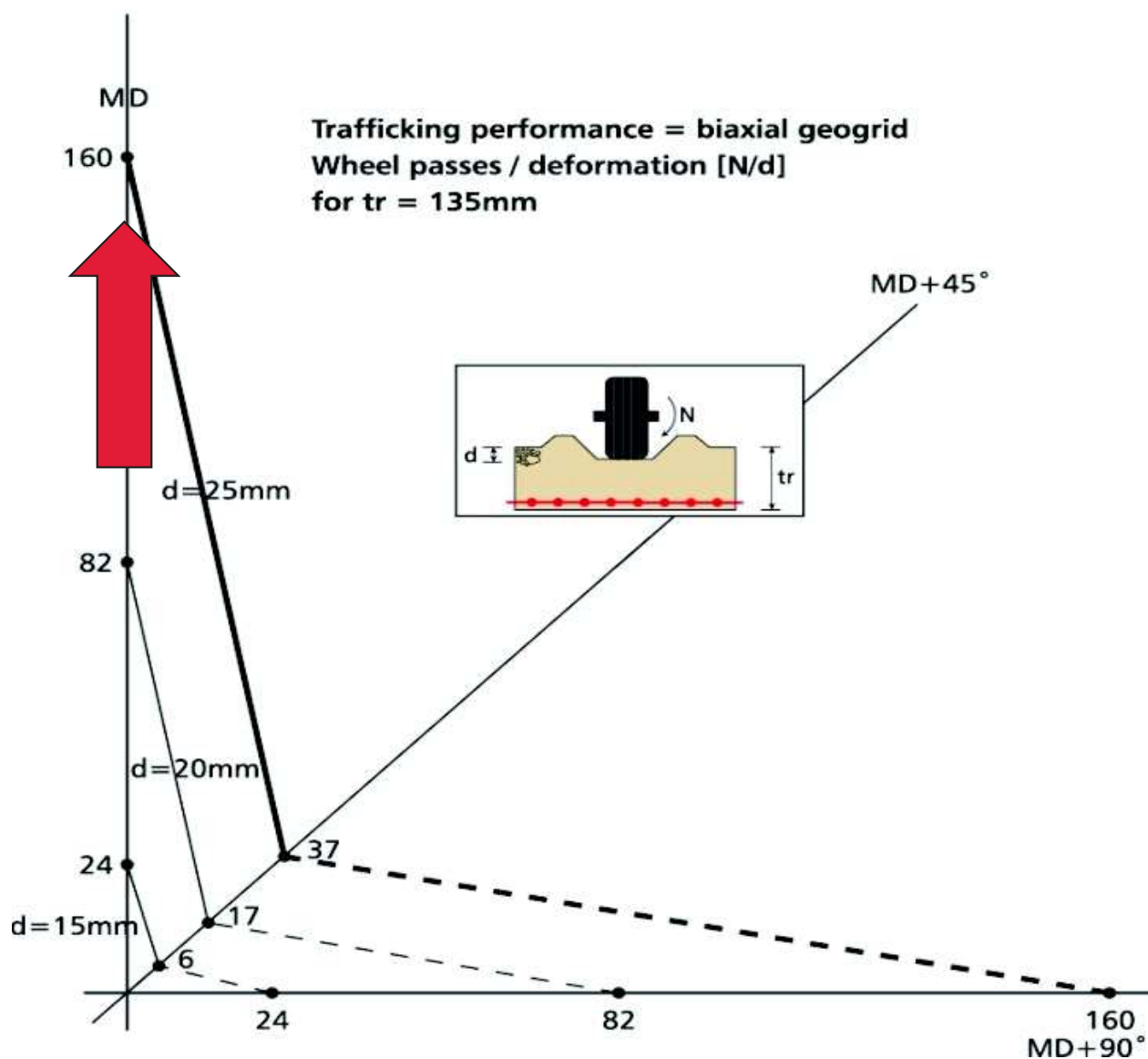
In genere il carico di un pneumatico si distribuisce in tutte le direzioni e quindi **LA PRESTAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE SARÀ REGOLATA DALLA RISPOSTA NELLA DIREZIONE PIÙ DEBOLE**, ma se la risposta della geogriglia è isotropa allora le prestazioni della pavimentazione saranno maggiori ed uniformi.

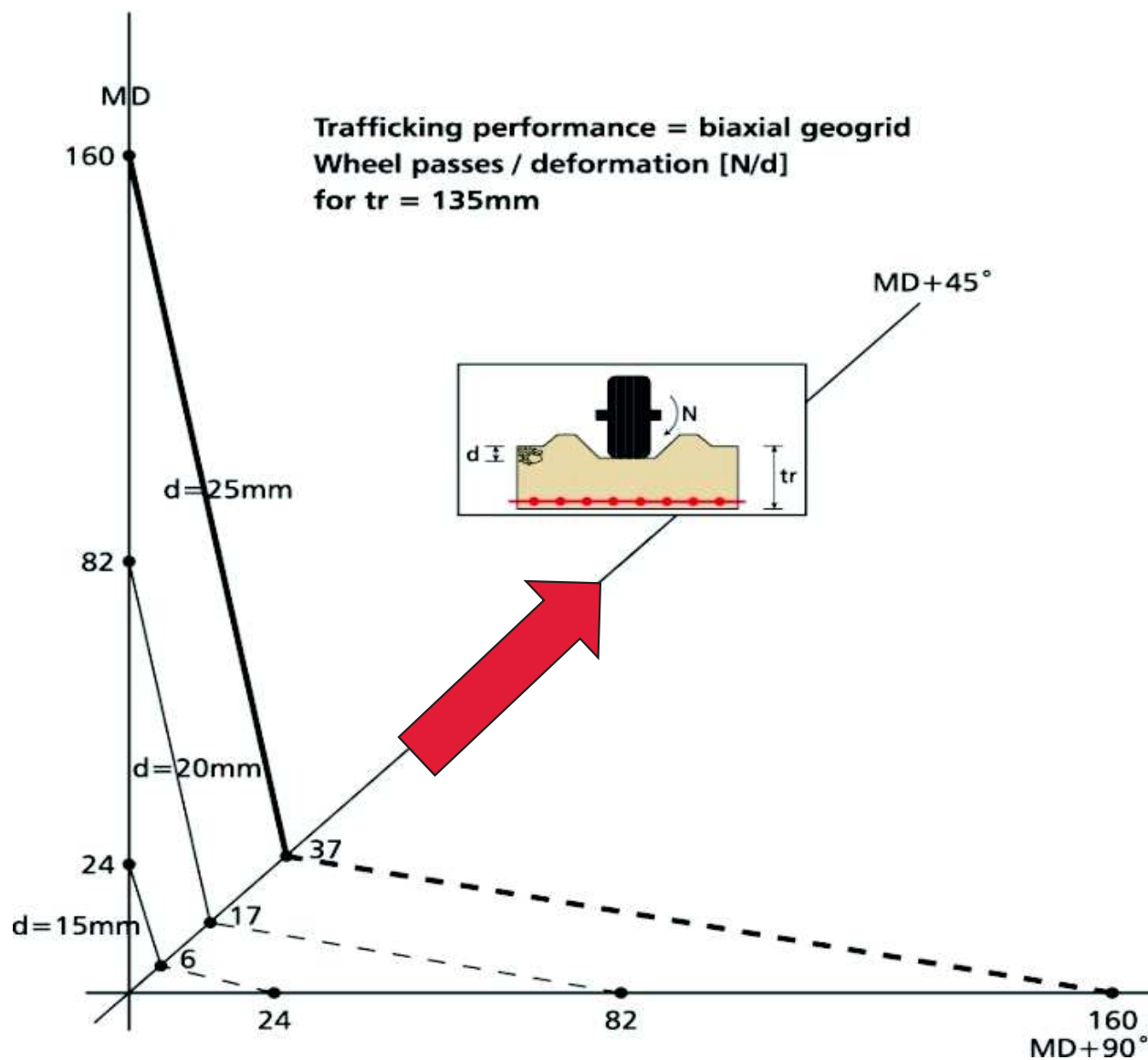


- Carico radiale attraverso lo strato granulare
- Risposta radiale geogriglie **TriAx**
- Rapporto di rigidezza radiale prossimo a 1.0 (performance isotropiche)

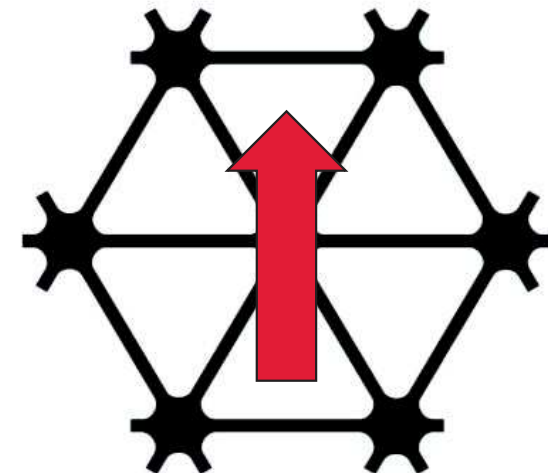
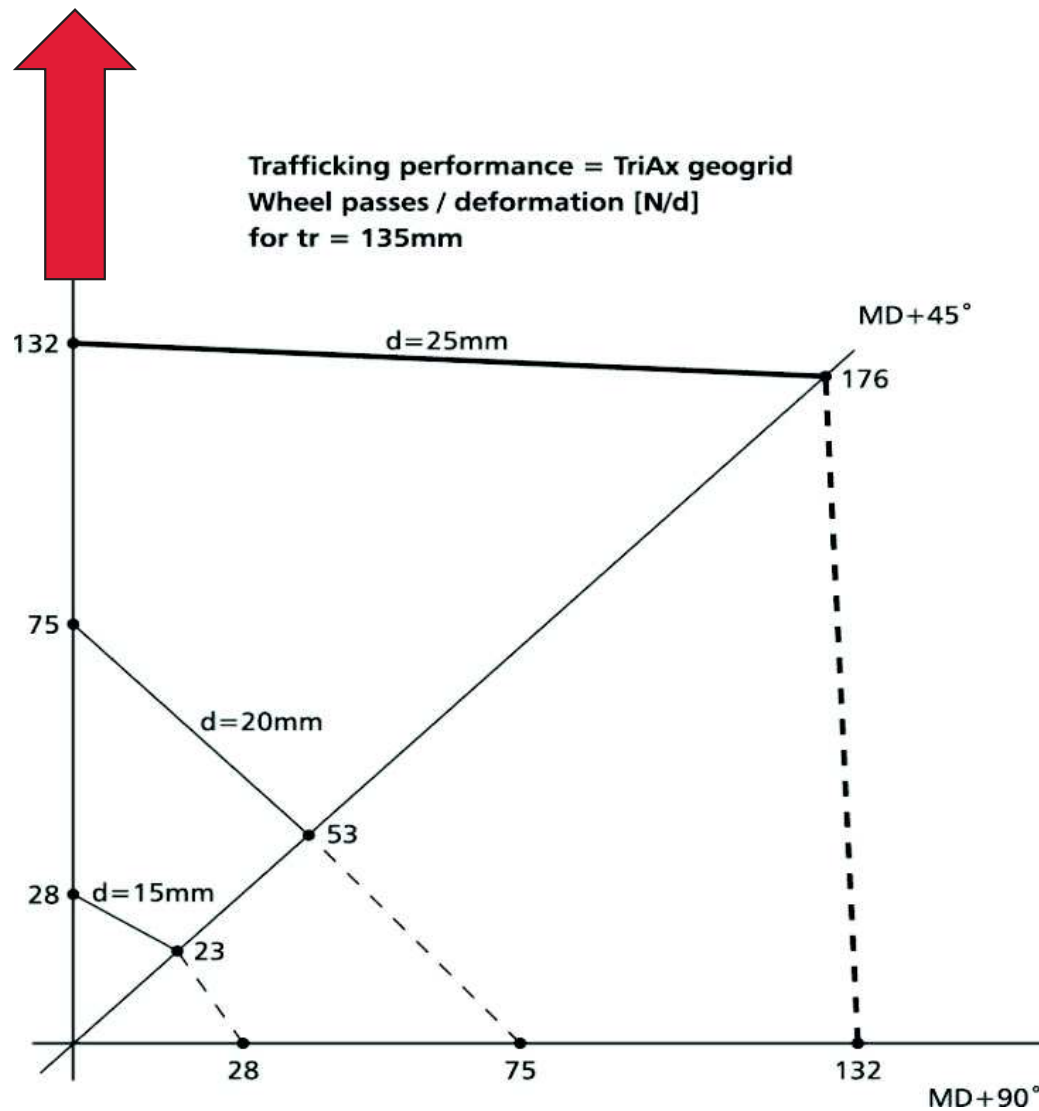


Test da traffico –TRL Università di Nottingham



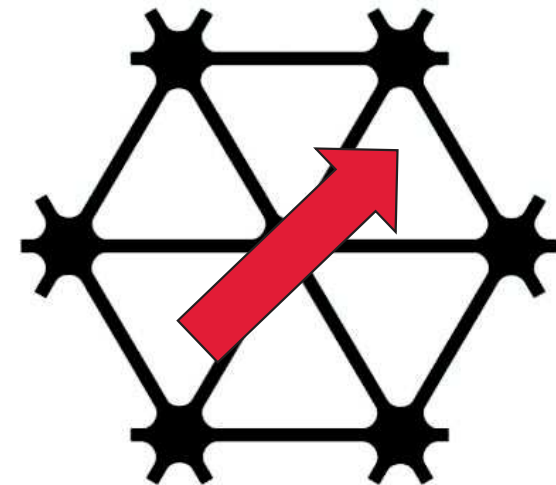
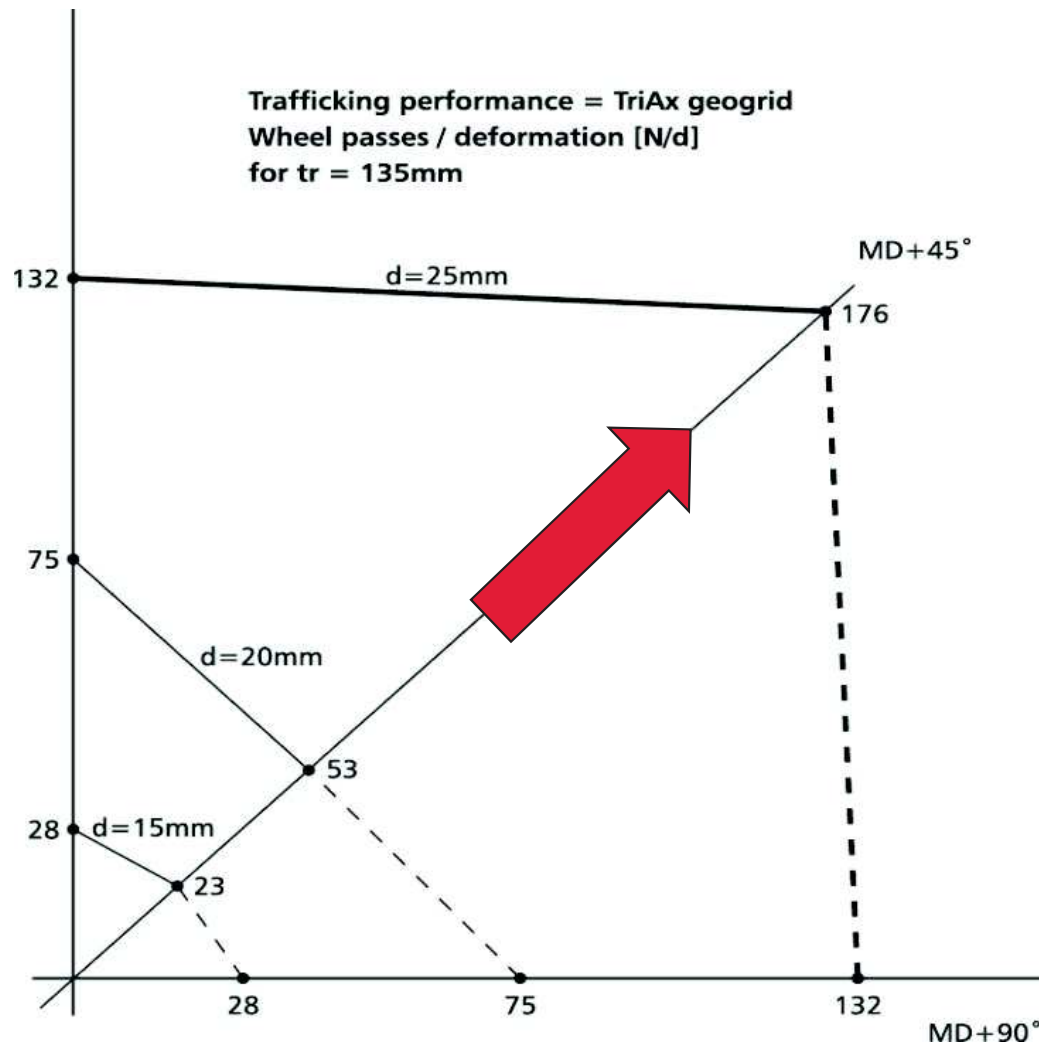


# PERFORMANCE RADIALE – Geogriglia TriAx maglia esagonale **Tensar**



..... Geogriglie **TriAx**<sup>®</sup> (maglia esagonale)

# PERFORMANCE RADIALE – Geogriglia TriAx maglia esagonale **Tensar**

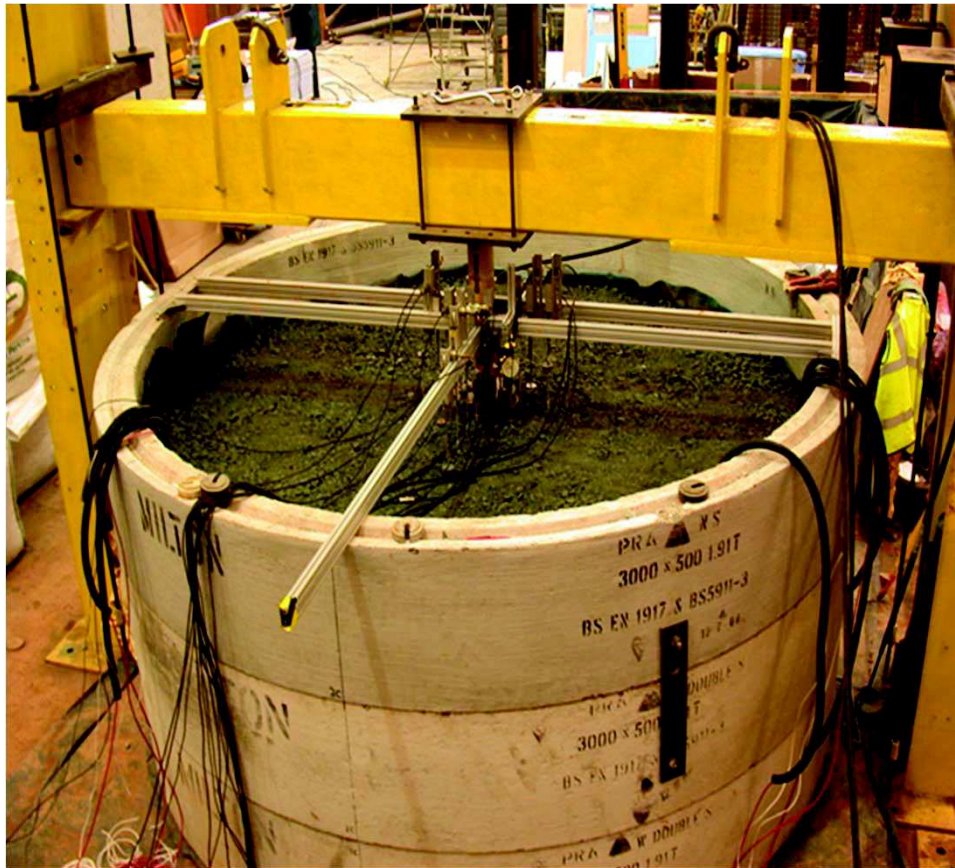


..... Geogriglie **TriAx**<sup>®</sup> (maglia esagonale)

# 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**<sup>®</sup>



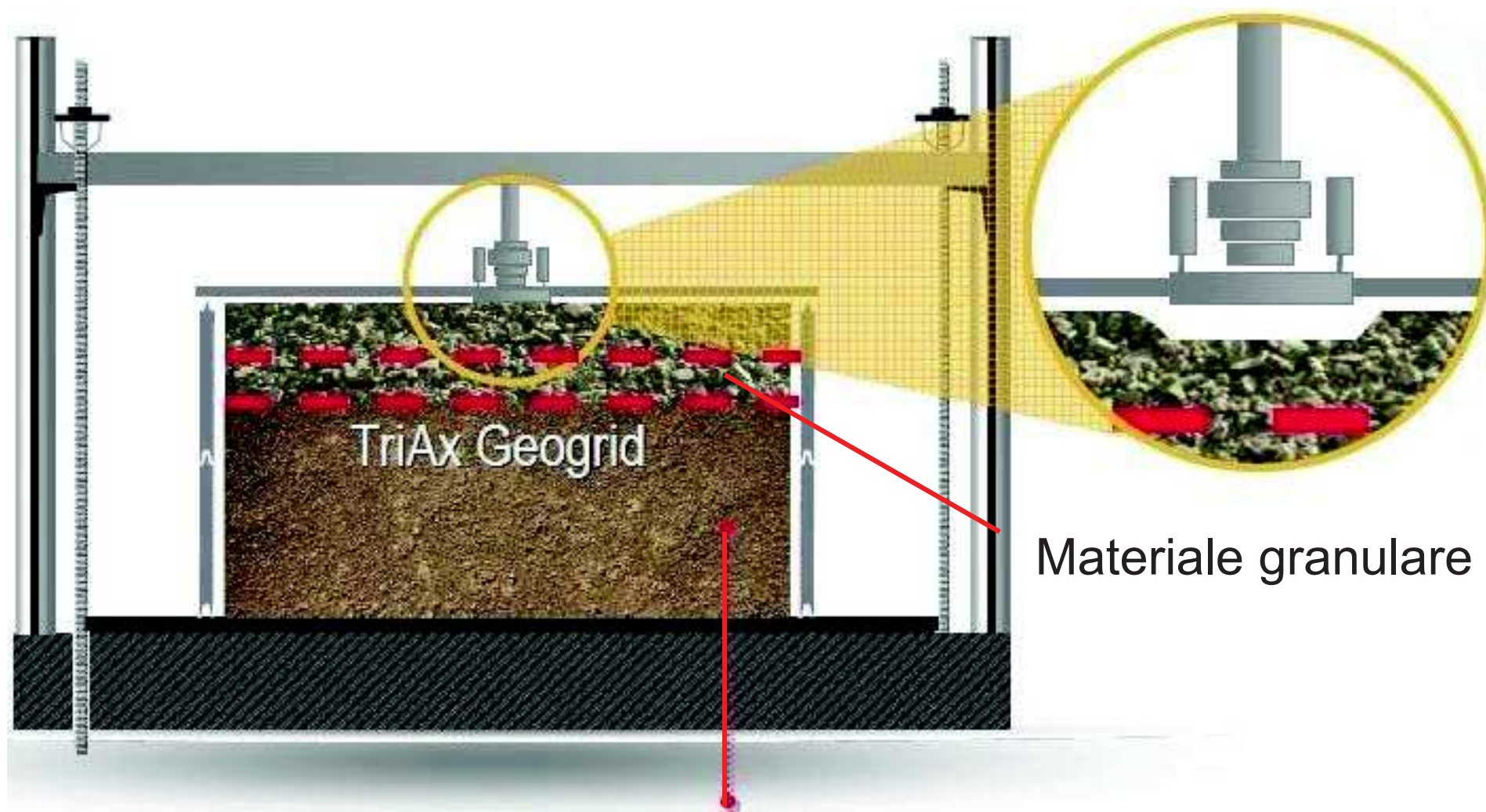
.....ricerca continua dal 1980 presso laboratori interni, laboratori indipendenti, test in sito, esperienze di cantiere

# TEST DI LABORATORIO

prova di efficienza TriAx sotto carico STATICO

**Tensar**

Schema di prova

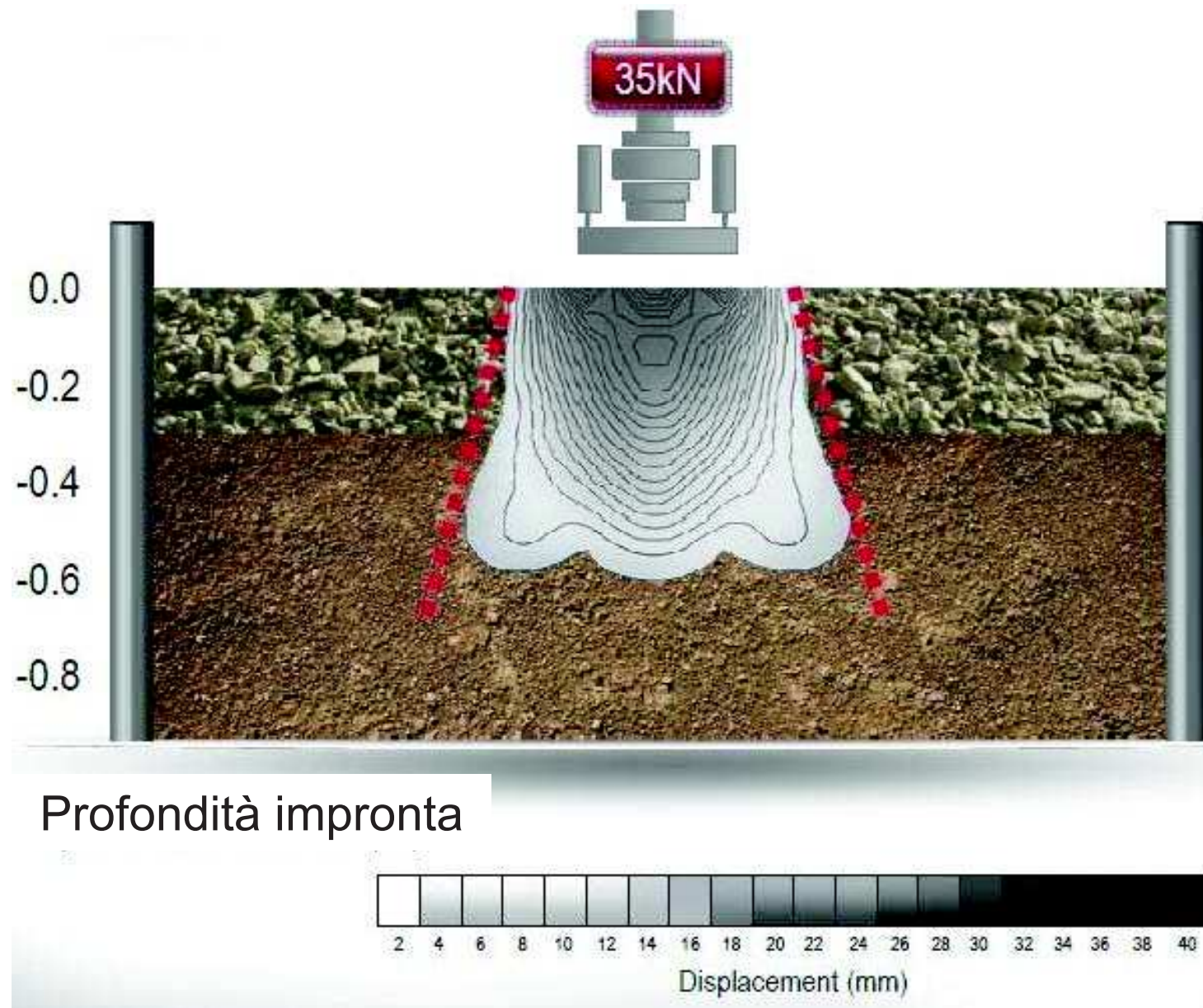


Terreno a basso CBR (%)

# TEST DI LABORATORIO

prova di efficienza TriAx sotto carico STATICO

**Tensar**



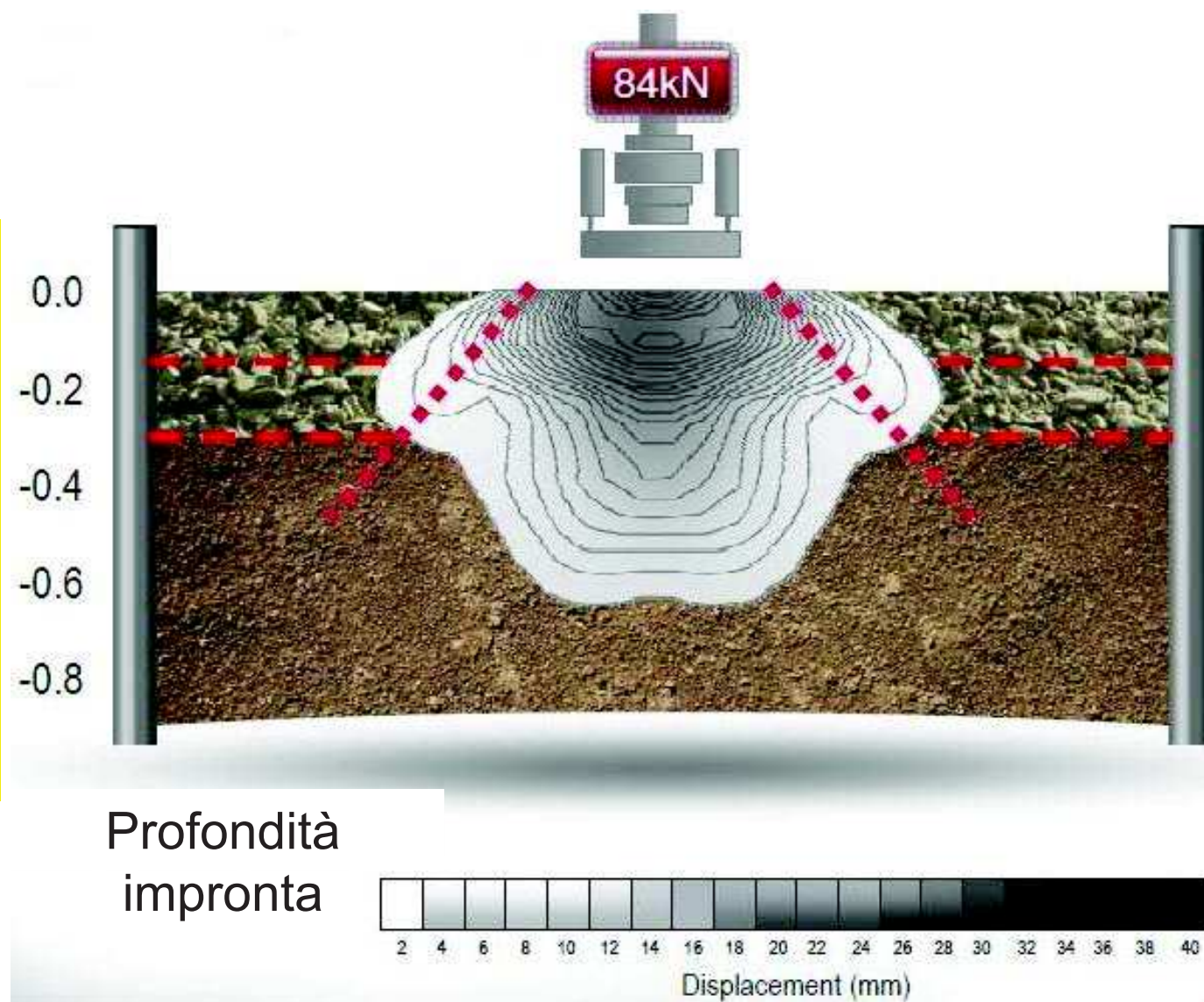
# TEST DI LABORATORIO

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**





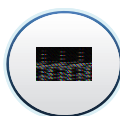




# TEST IN SCALA

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

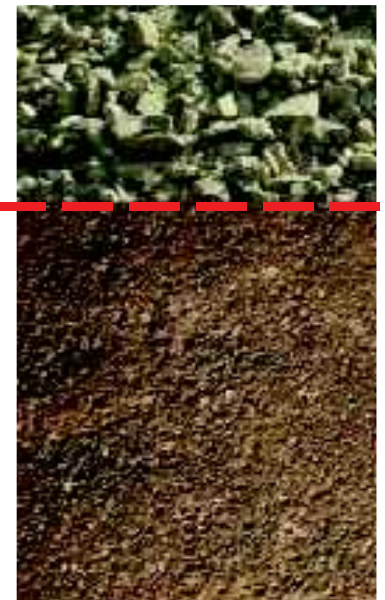
prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

**Tensar**



misto h=30 cm

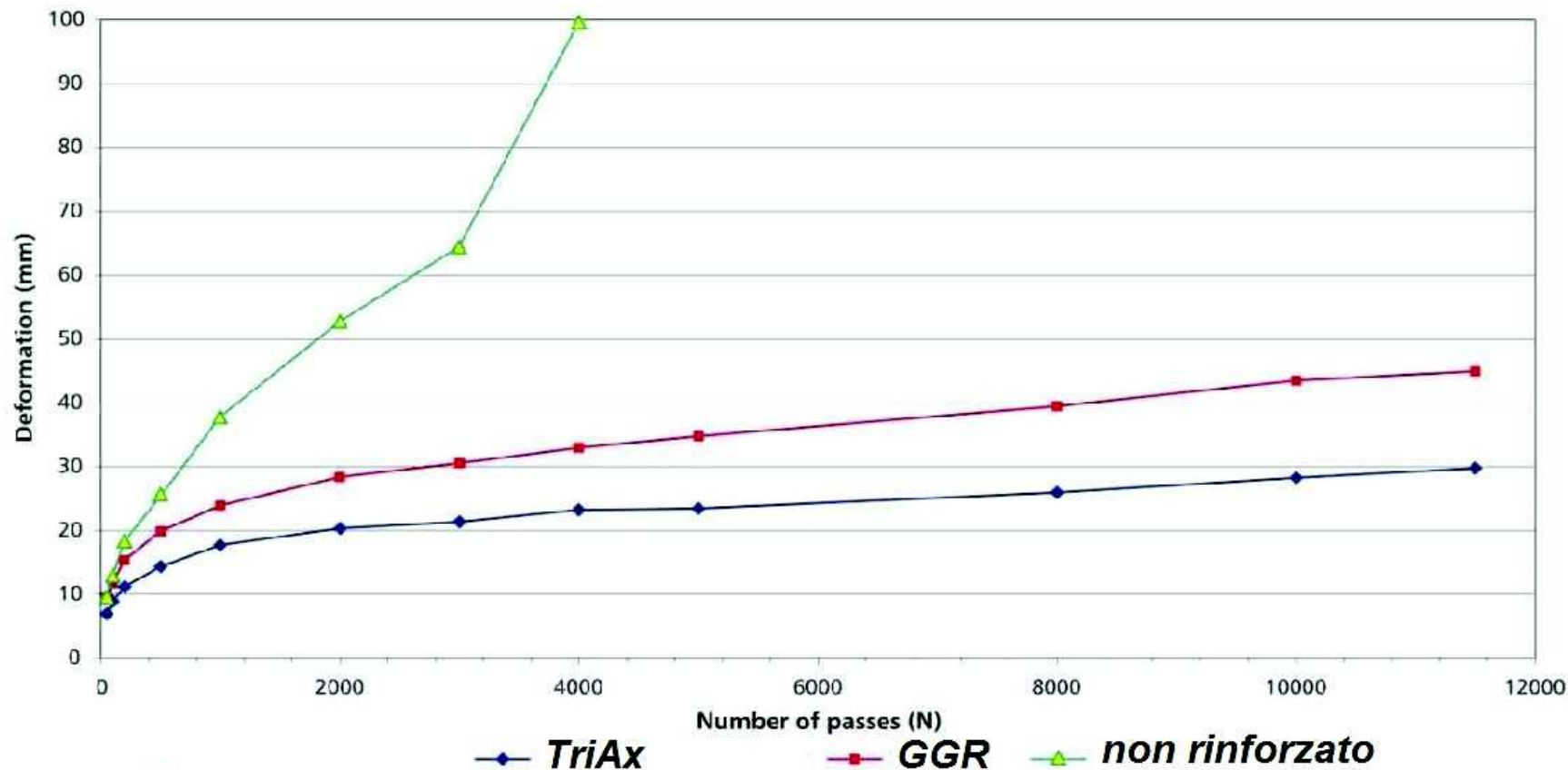
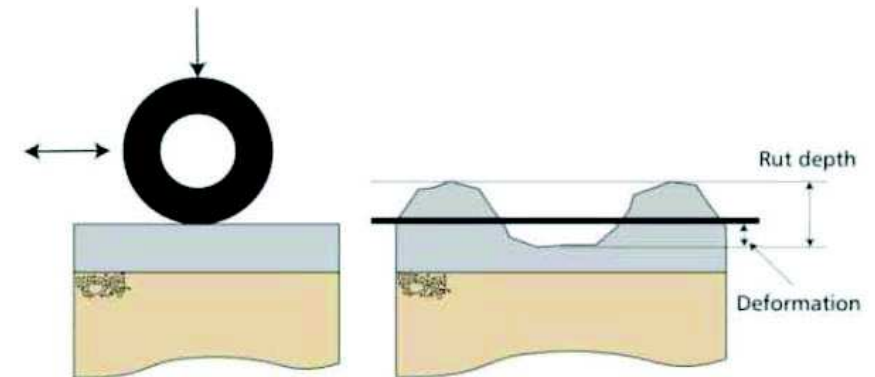
sottofondo a  
basso CBR %



# TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

**Tensar**

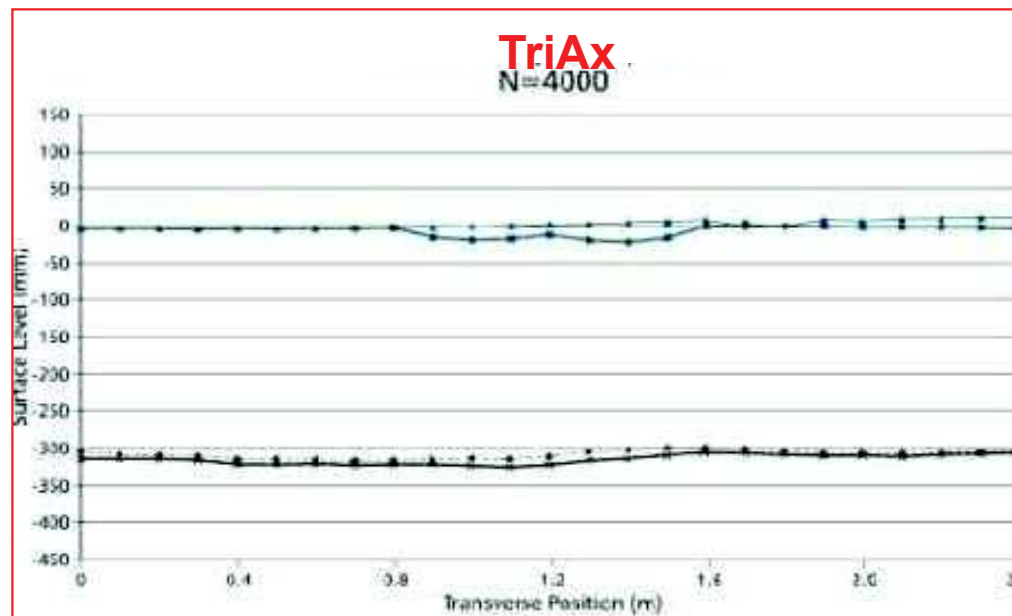
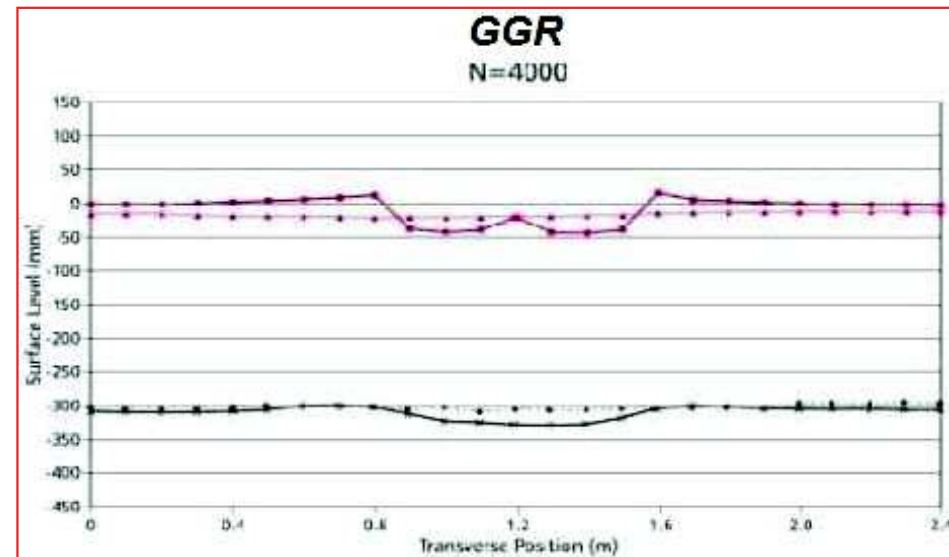
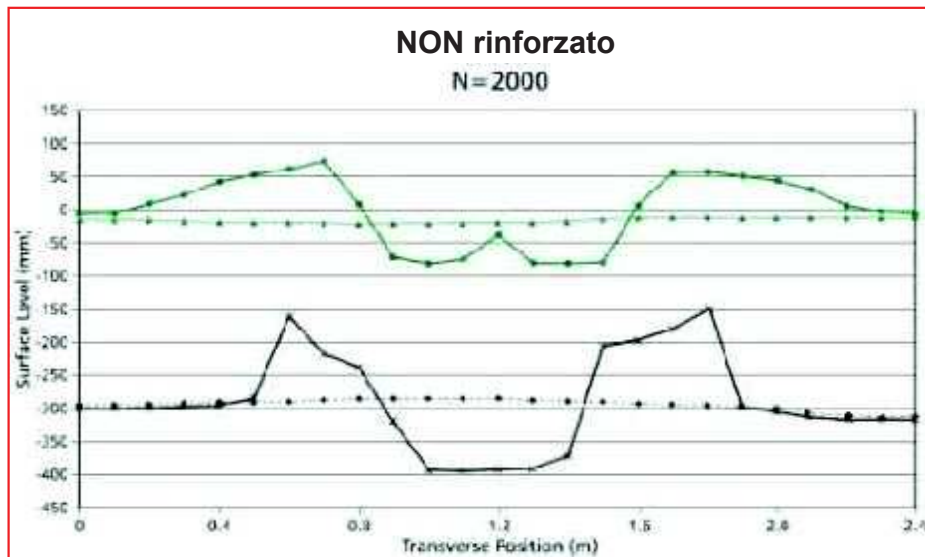


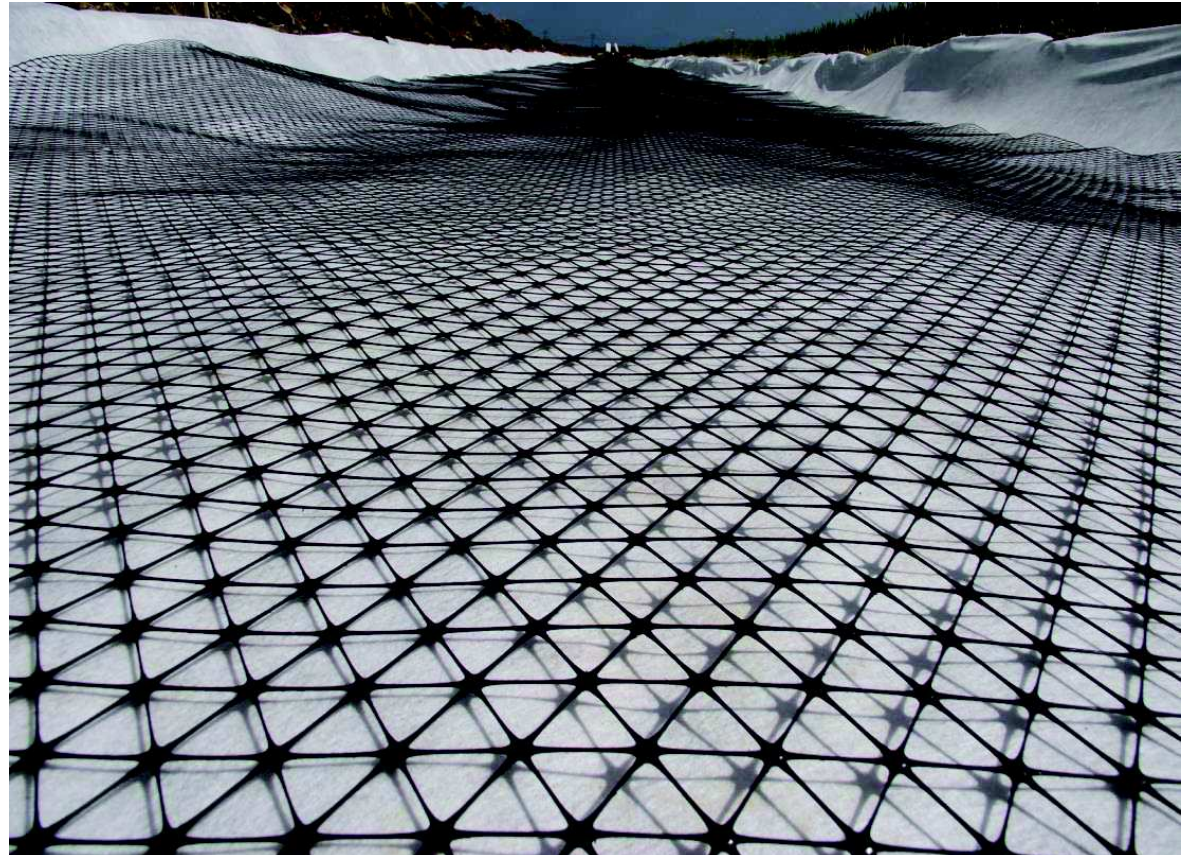
Test da traffico –  
TRL Università di  
Nottingham

# TEST IN SCALA

prova di efficienza TriAx sotto carico DINAMICO (traffico stradale)

**Tensar**













# ESEMPI APPLICATIVI

## Applicazioni stradali

**Tensar**®

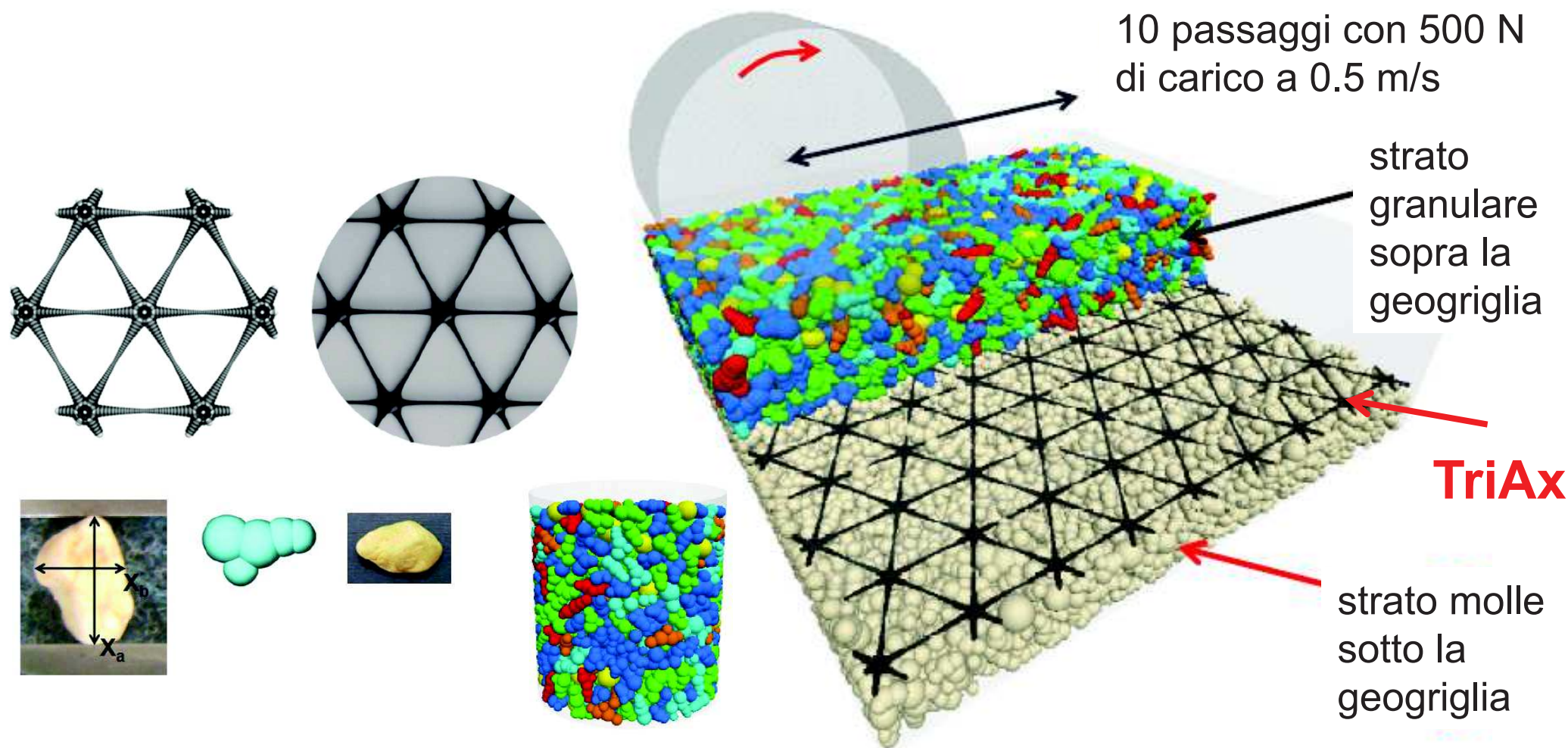




# TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

## prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

**Tensar**

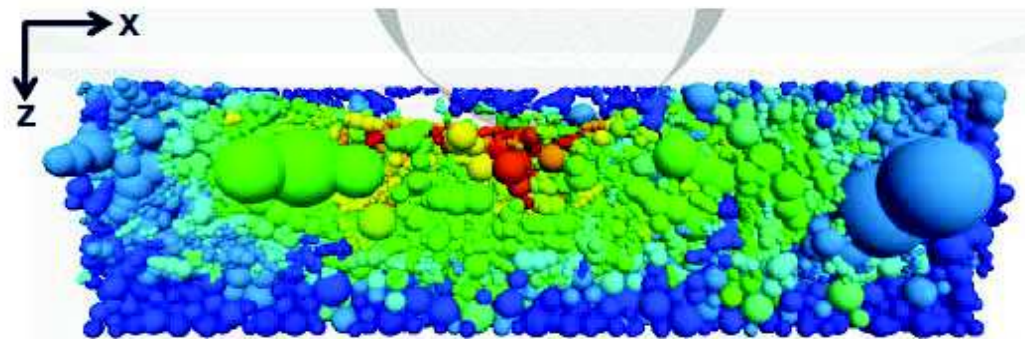


# TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

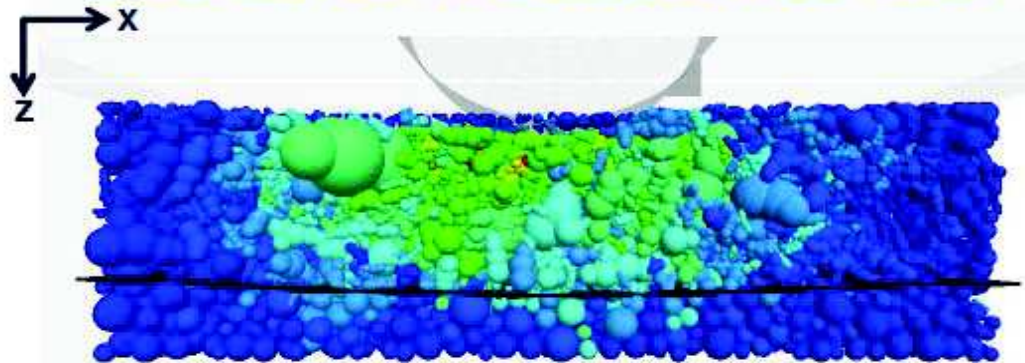
## prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

**Tensar**

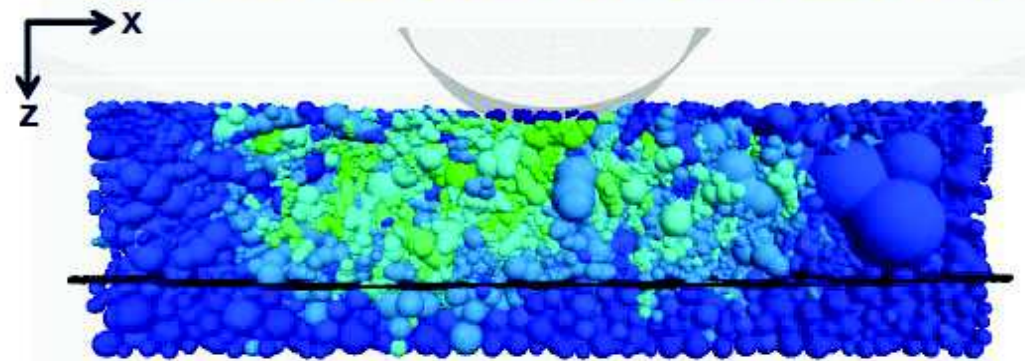
Spostamento degli inerti - vista longitudinale



No grid - 9<sup>th</sup> run

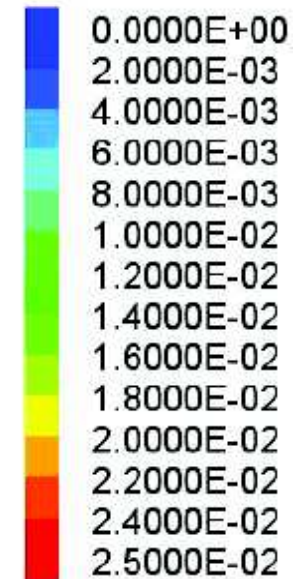


SS20 - 9<sup>th</sup> run



TX160 - 9<sup>th</sup> run

[m]



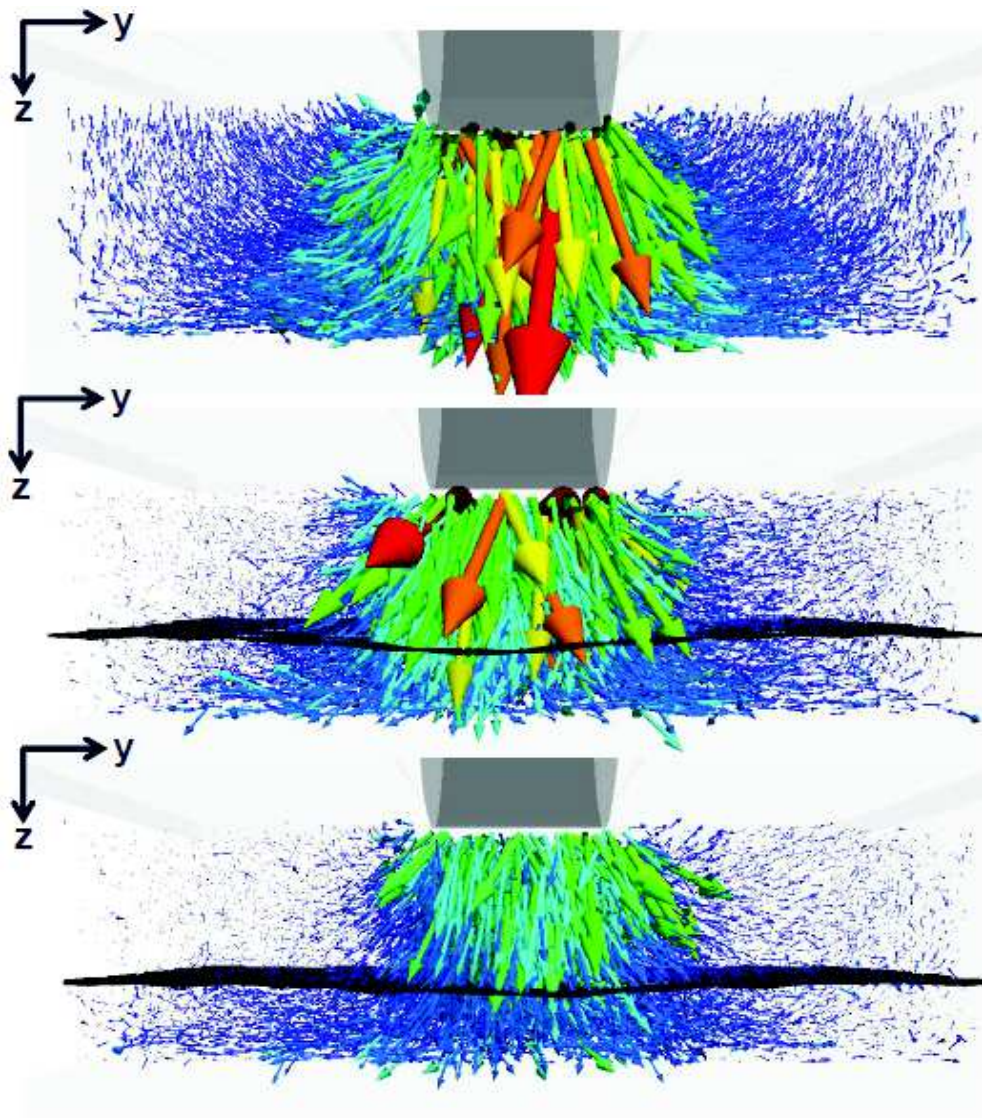
 **ITASCA**  
Consulting Group, Inc.

# TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

## prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

**Tensar**

Spostamento degli inerti - vista trasversale



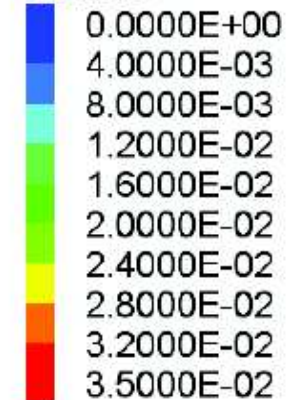
No grid - 9<sup>th</sup> run

SS20 - 9<sup>th</sup> run

TX160 - 9<sup>th</sup> run

[m]

Scale: 3



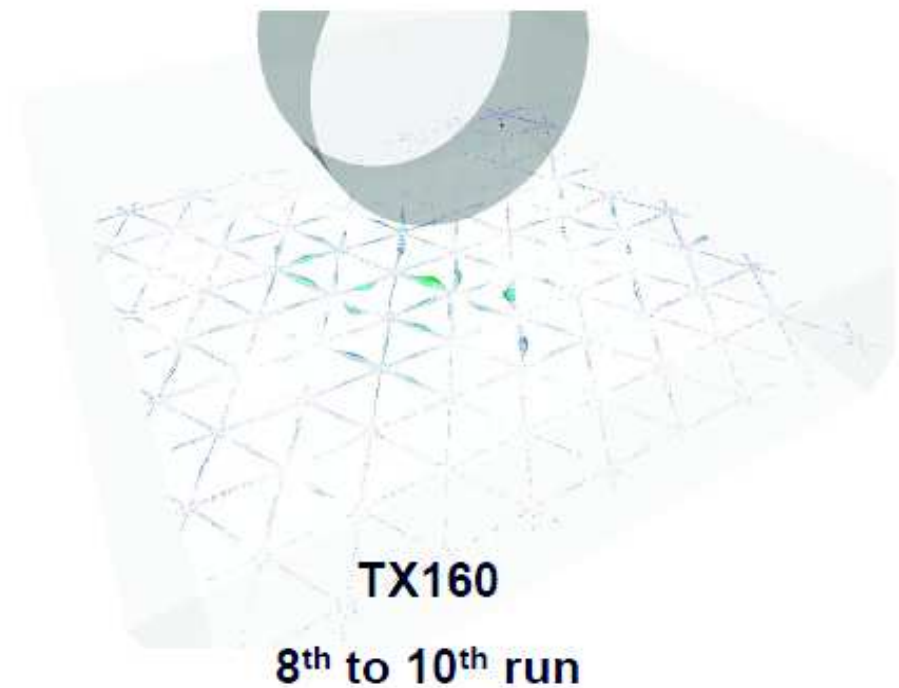
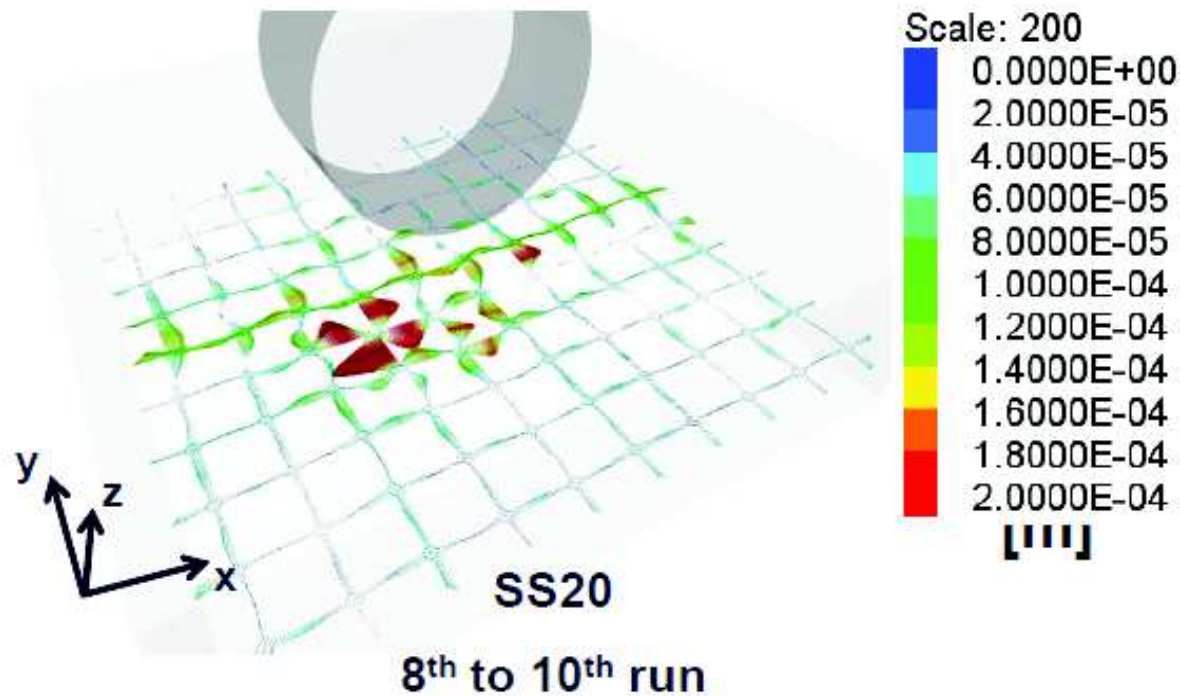
 **ITASCA**  
Consulting Group, Inc.

# TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

## prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

**Tensar**

Spostamenti delle maglie



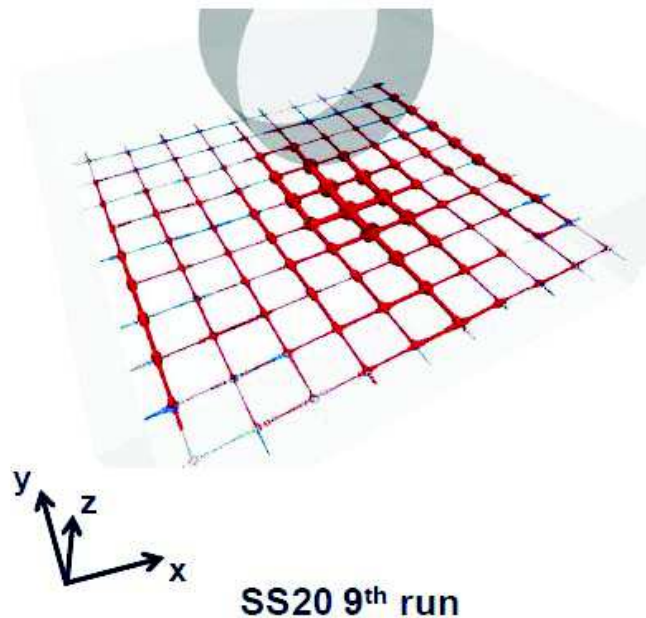
**ITASCA**  
Consulting Group, Inc.

# TEST DI MODELLAZIONE NUMERICA

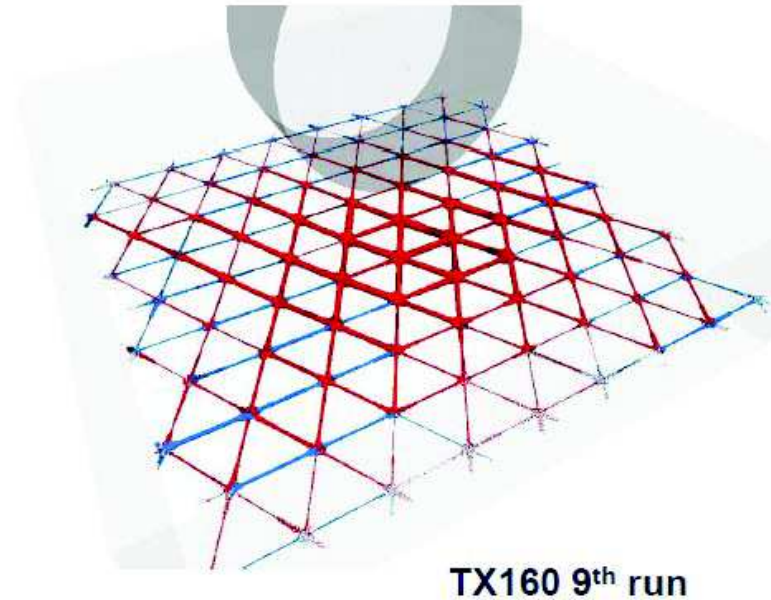
## prova di efficienza TriAx con modellazione FEM

**Tensar**

Stato tensionale sulle maglie



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



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

 Compression  
 Tension

 **ITASCA**  
Consulting Group, Inc.

## In generale il Ballast:

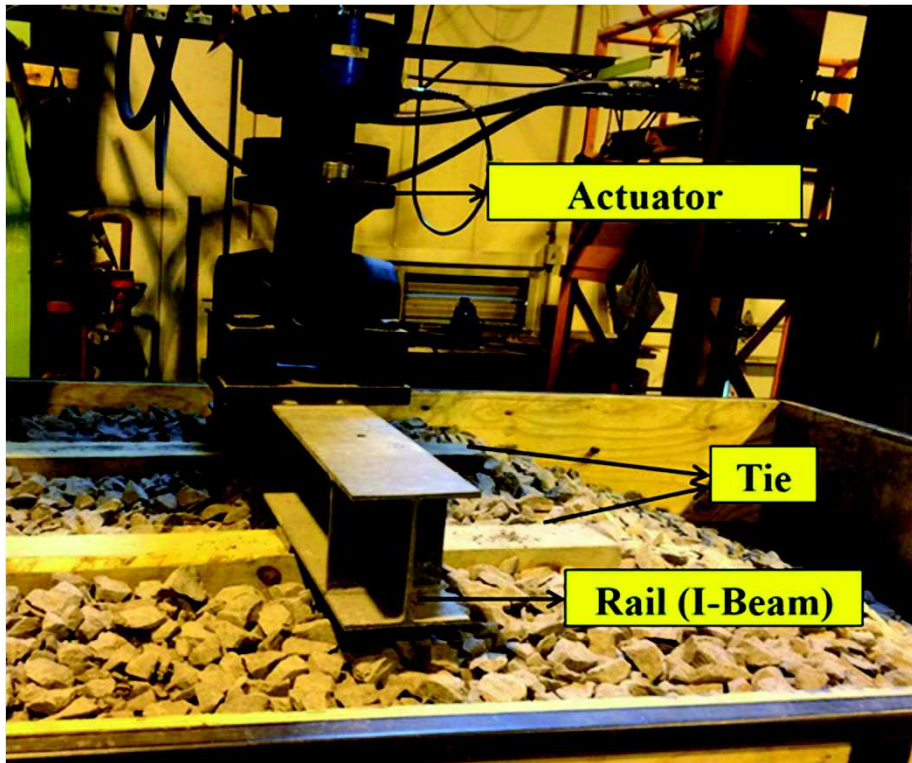
- è costituito da frantumato di cava vagliato e lavato con granulometria tipicamente compresa fra 30 e 60 mm, un contenuto ridotto di particelle fini (polveri) ed una forma spigolosa (al fine di favorire l'ingranamento ed evitare cedimenti, facilitare il drenaggio ).
- L'intasamento degli elementi granulari 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.



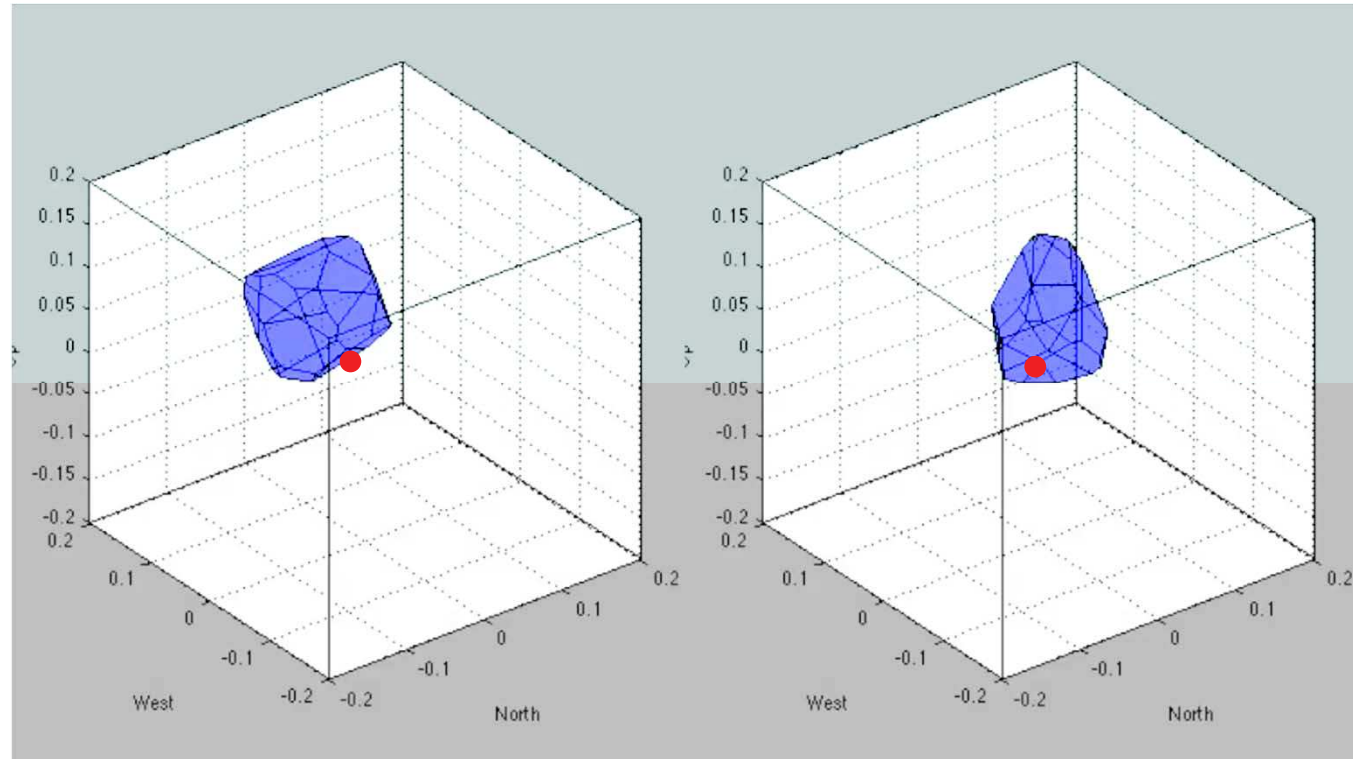
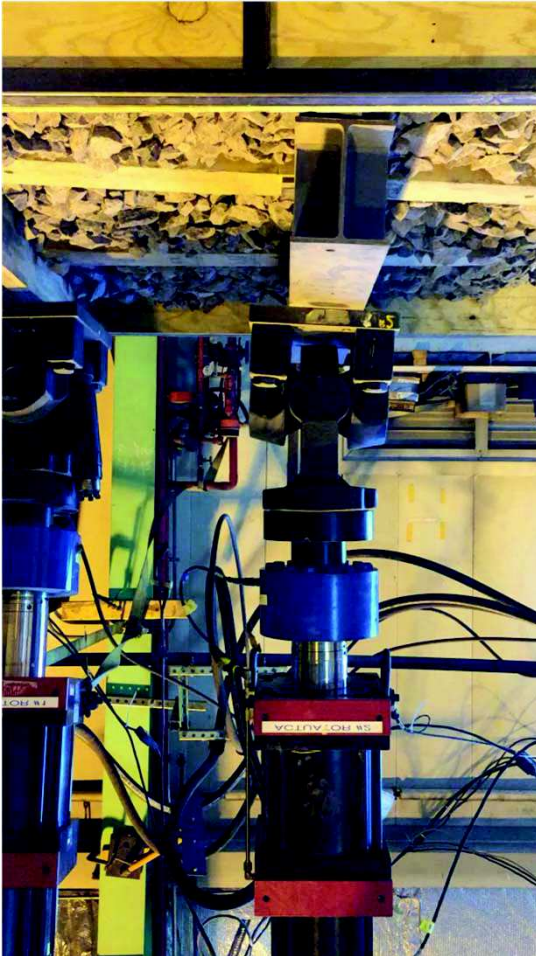
## Obiettivo della ricerca:

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



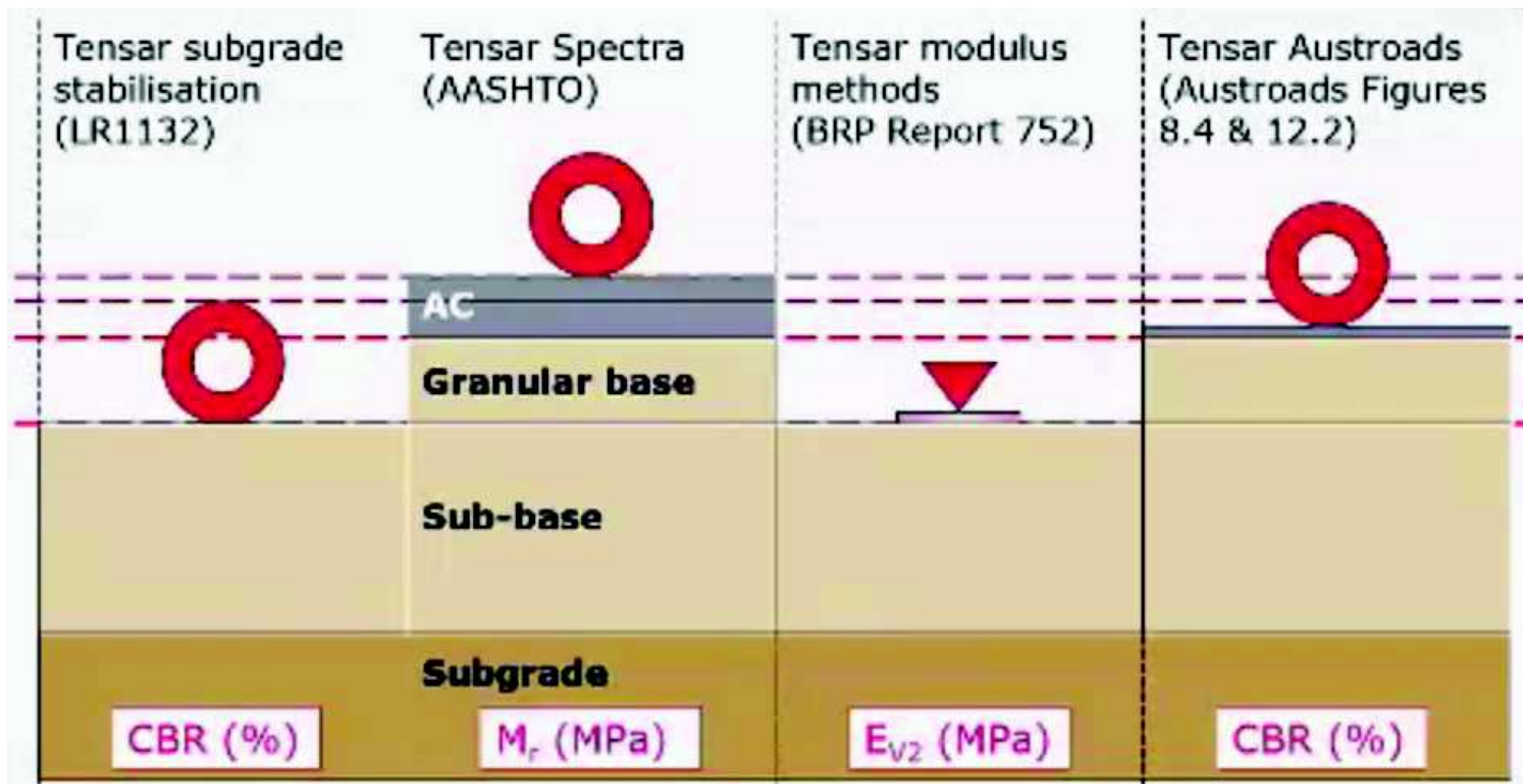
Visualizzazione del movimento **SmartRock** nel Ballast.



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

- La geogriglia Triax TX190L limita il 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:

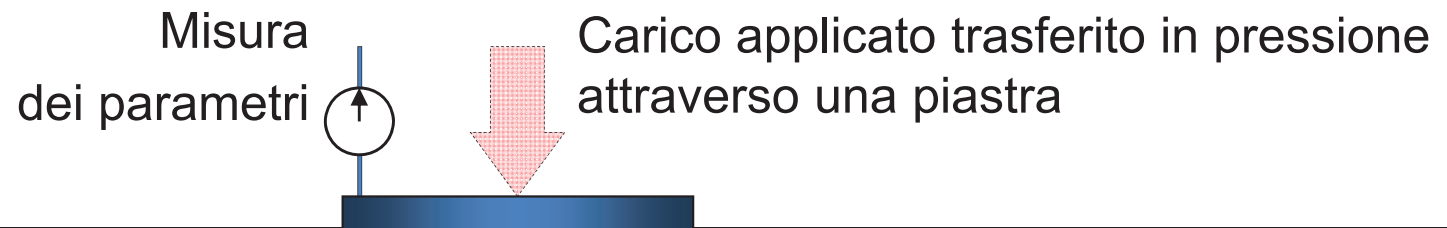




Metodologia di approccio semiempirico che si basa sulla misurazione della portanza in sito in termini di Modulo Elastico  $E_v$  con prova di carico su piastra (ZTVT-StB 86).

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  $\delta$  della piastra



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

Misura  
dei parametri

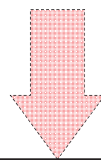
Carico applicato trasferito in pressione  
attraverso una piastra

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

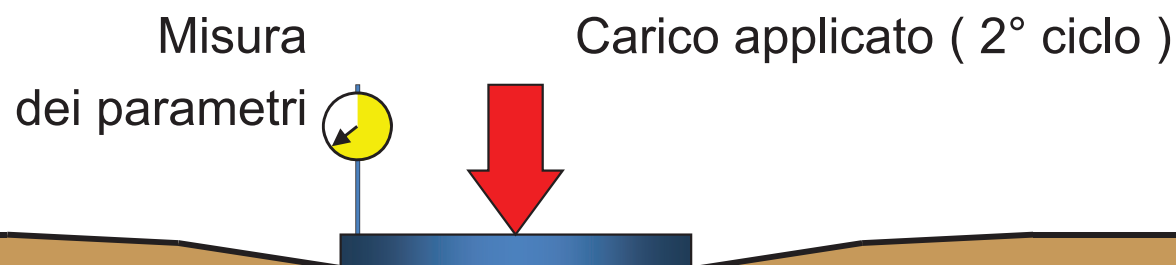
Misura  
dei parametri



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):

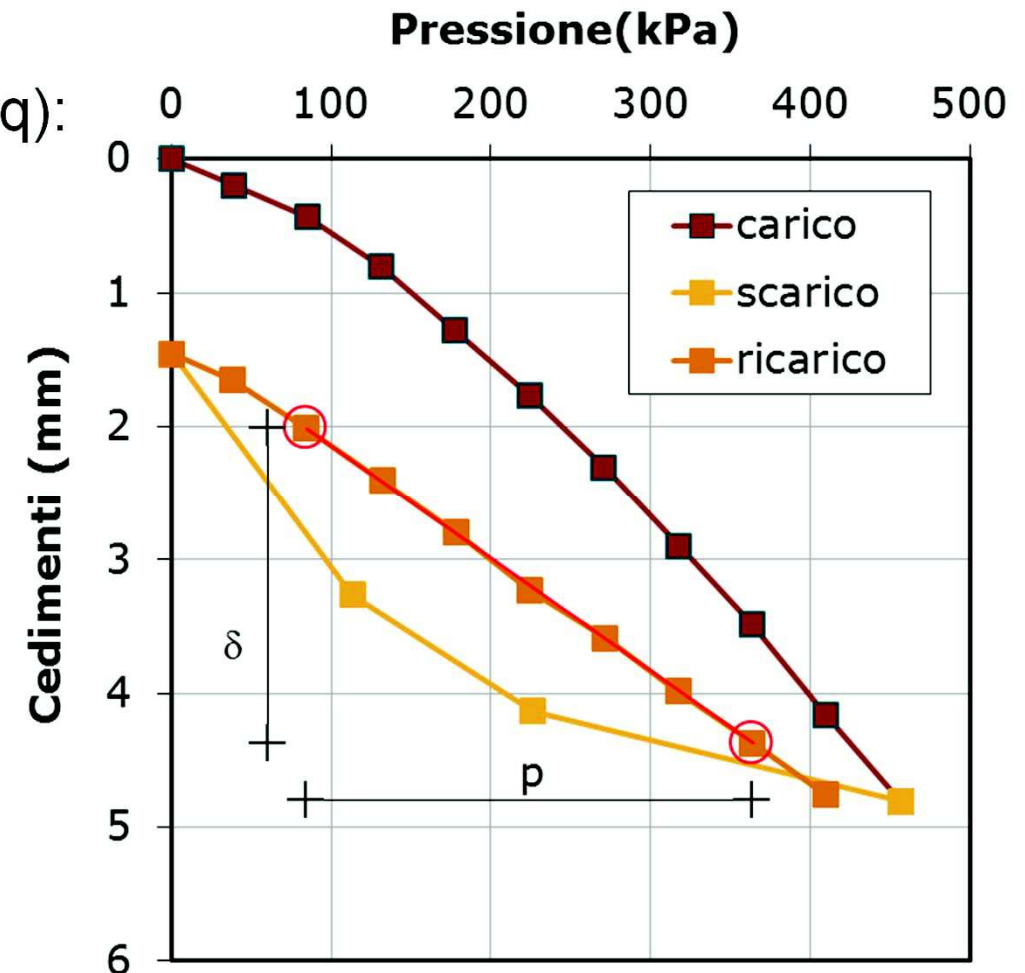
$$E = \frac{\pi (1 - \nu^2) ap}{2 \delta}$$

dove:

$a$  = raggio della piastra

$\nu$  = coeff.di Poisson

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



- Semplificando otteniamo (ZTVT-StB 86):

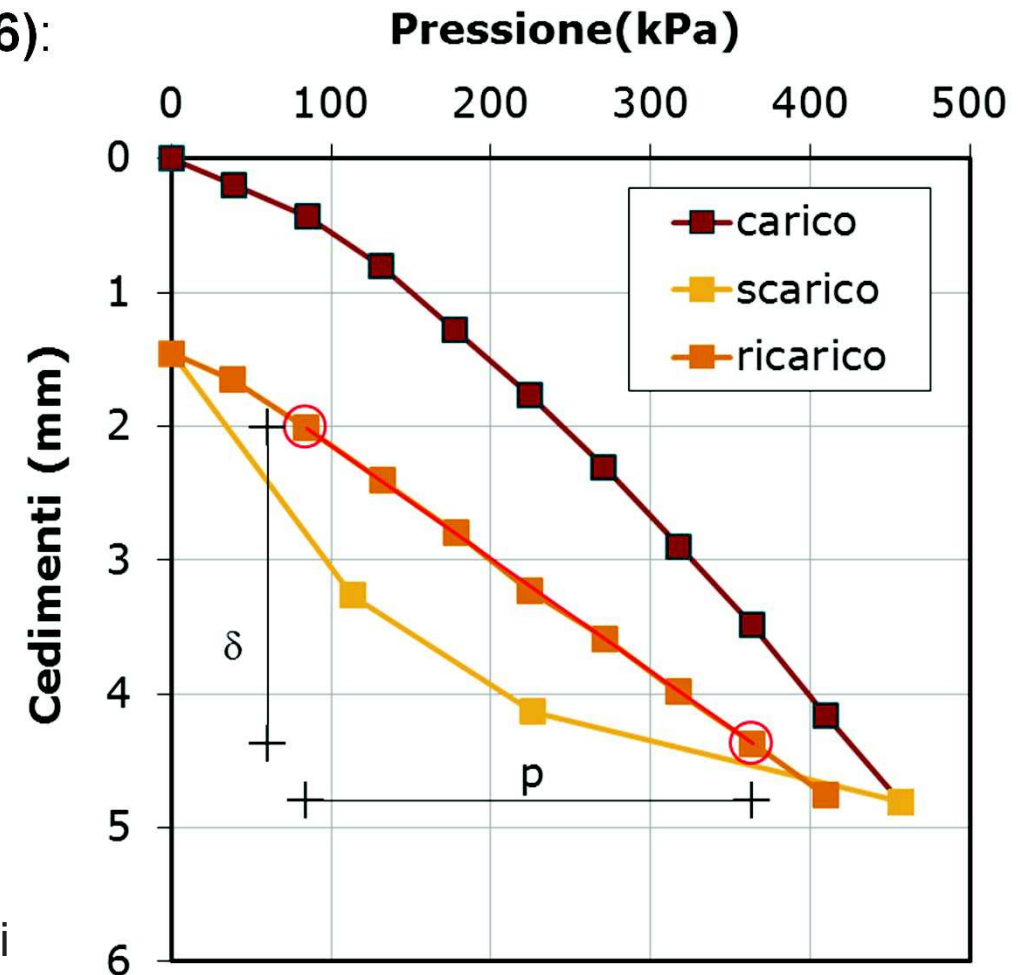
$$E_{v1} = 0.75 \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad D \text{ (primo ciclo)}$$

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

- 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 sito viene valutata in termini di Modulo di Deformazione **Md** (**Bollettino Ufficiale del CNR 146/92**):

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

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

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

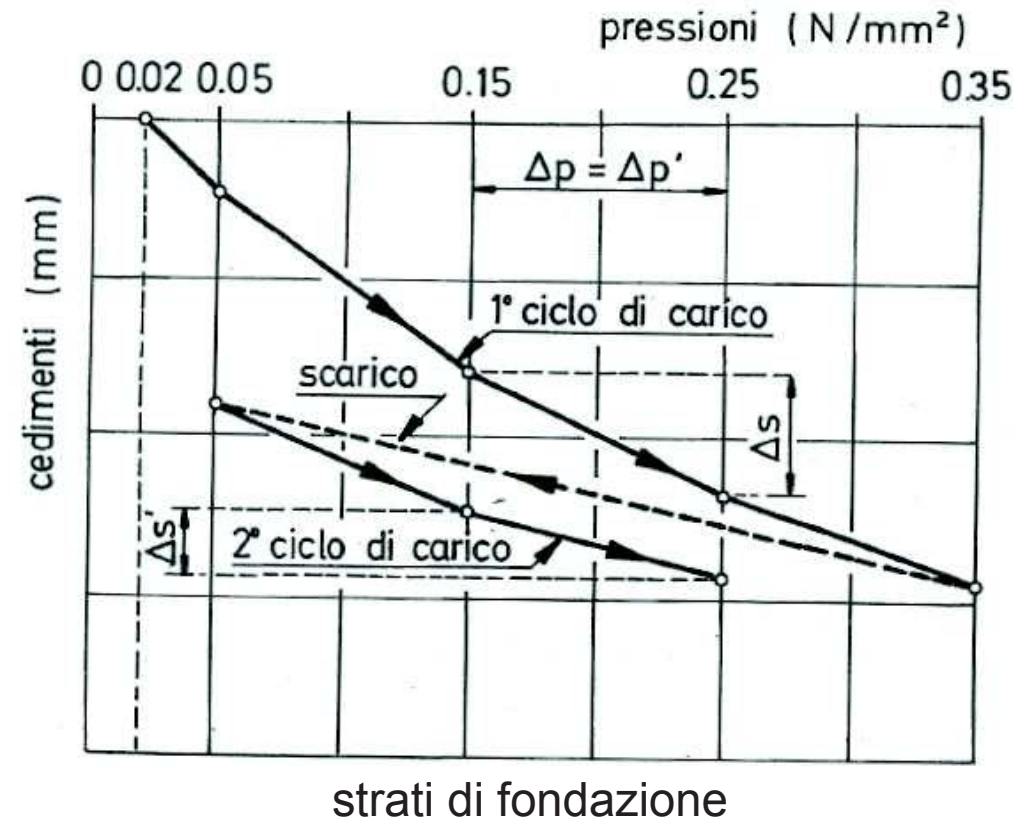
- deriva dall'interpretazione di Boussinesq

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

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

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

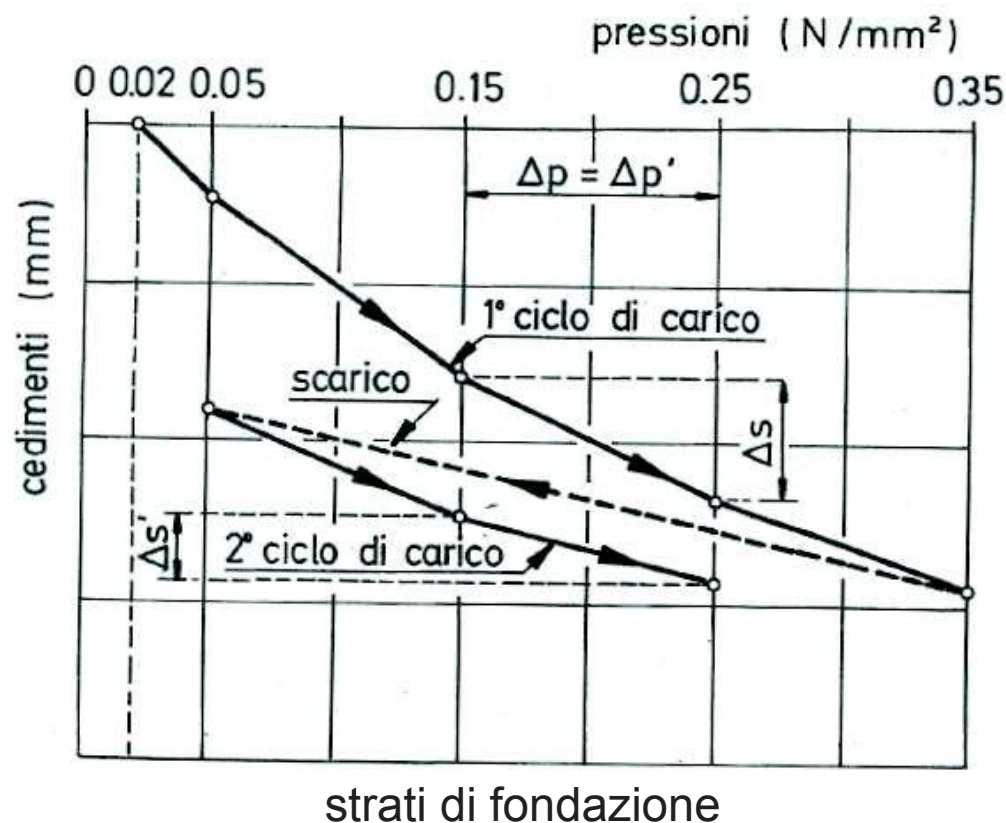
- $D = 300 \text{ mm}$
- si procede ad incrementi di carico regolari
- si calcola  $M_d$  in corrispondenza di fissati livelli di carico (in funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato)



- Dal confronto tra Normative ne deriva:

$$E_{v1} = 0.75 M_d \quad (\text{primo ciclo})$$

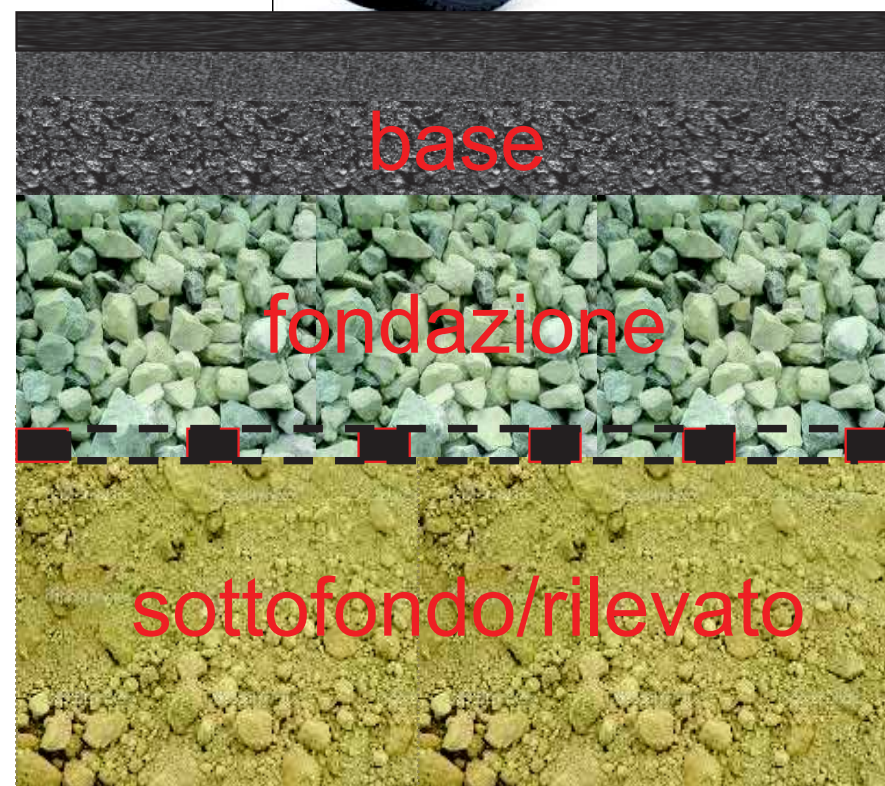
$$E_{v2} = 0.75 M'_d \quad (\text{secondo ciclo})$$















### ANAS

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

- **50 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup> per il piano di posa della sovrastruttura;
- **30 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è > 2.00m.



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

N. 4F Modulo resistente del sottofondo	STRADE EXTRAURBANE SECONDARIE – ORDINARIE					
	Numero di passaggi di veicoli commerciali					
	400 000	1 500 000	4 000 000	10 000 000	25 000 000	45 000 000
150 N/mm <sup>2</sup>						
90 N/mm <sup>2</sup>						
30 N/mm <sup>2</sup>						

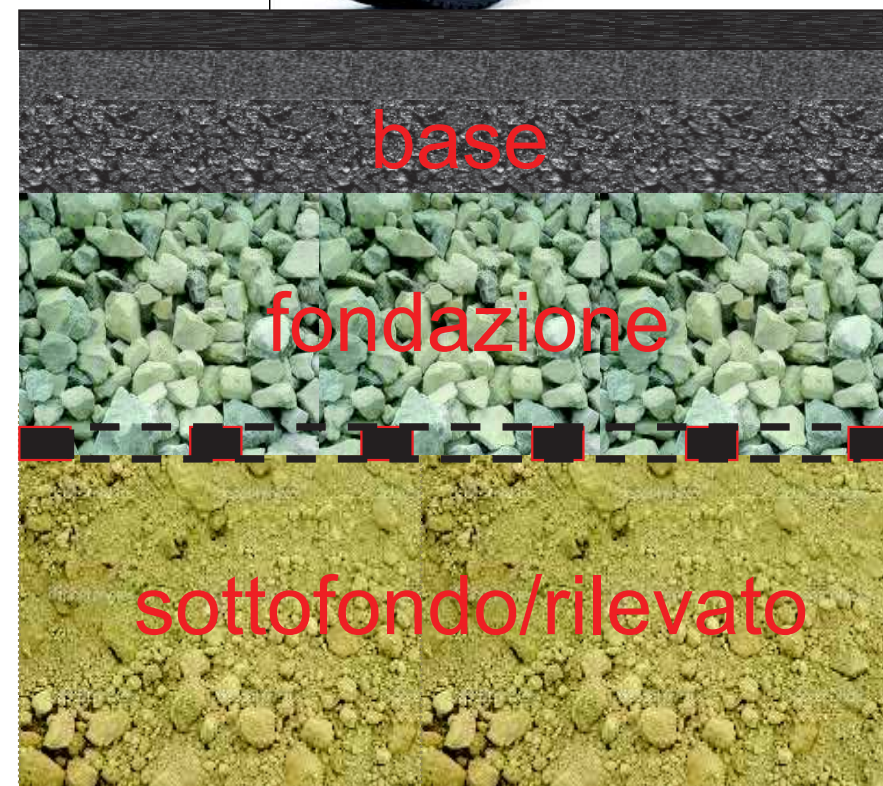
 CONCRETO ARMATO PER STRADA IN USURA

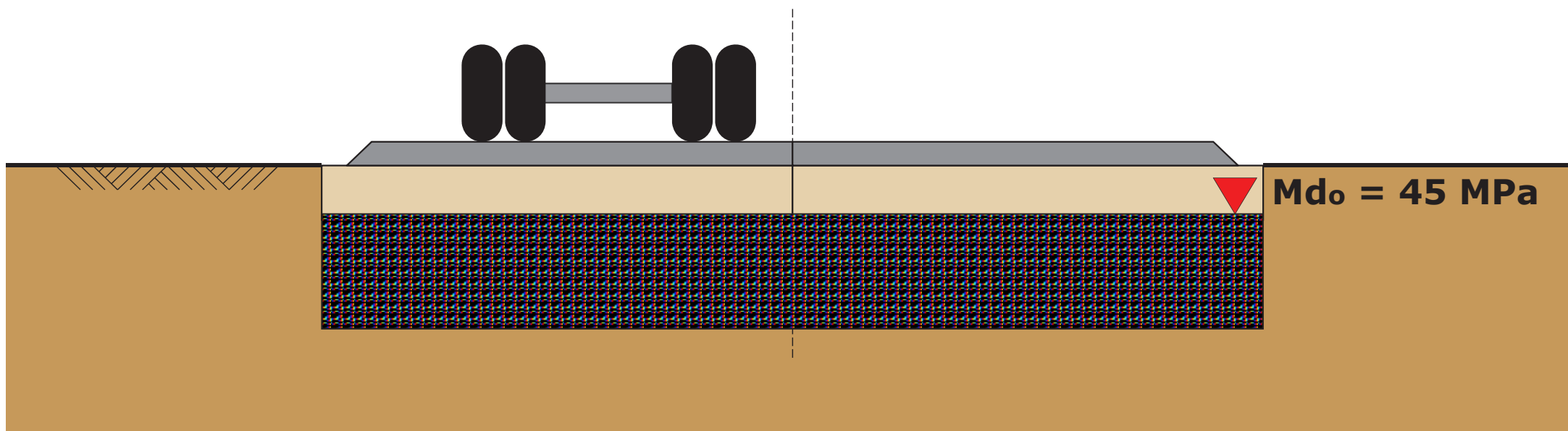
 CONCRETO ARMATO PER STRADA DI COLLECALENTI

 CONCRETO ARMATO PER STRADA DI BASE

 MISTO GRANULARE NON LEGATO

NEI CASI SPESSE SONO ESPRESSE IN CM.





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/mm<sup>2</sup> (CBR 15%)** corrispondente a un *Modulo di Deformazione* **Md<sub>o</sub>=45 MPa**  
(Bollettino Ufficiale del CNR 178/95 )

da **CBR % 15** si ottiene un  **$E_{v2} = 80 \text{ Mpa} = E_o$**  ( secondo ciclo )

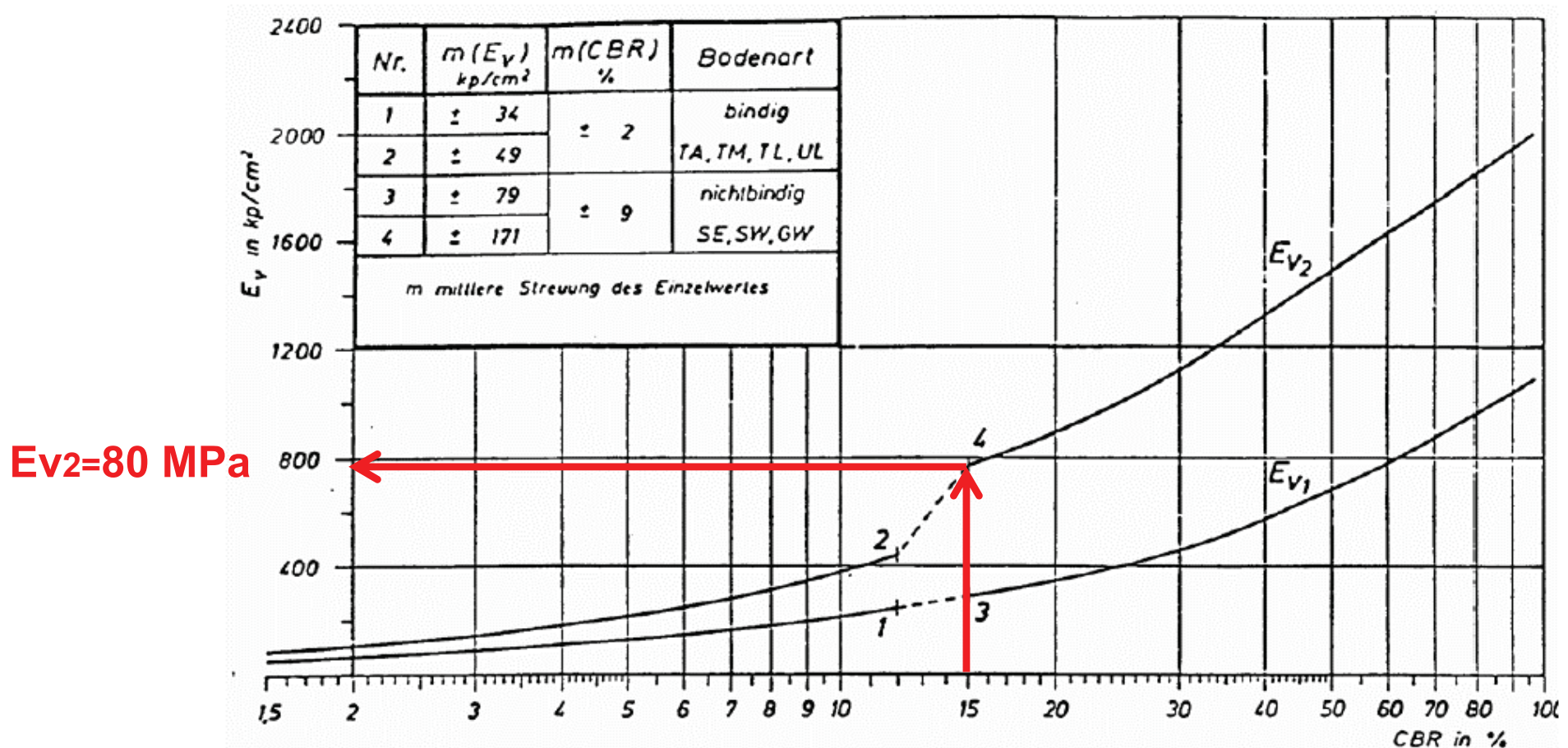
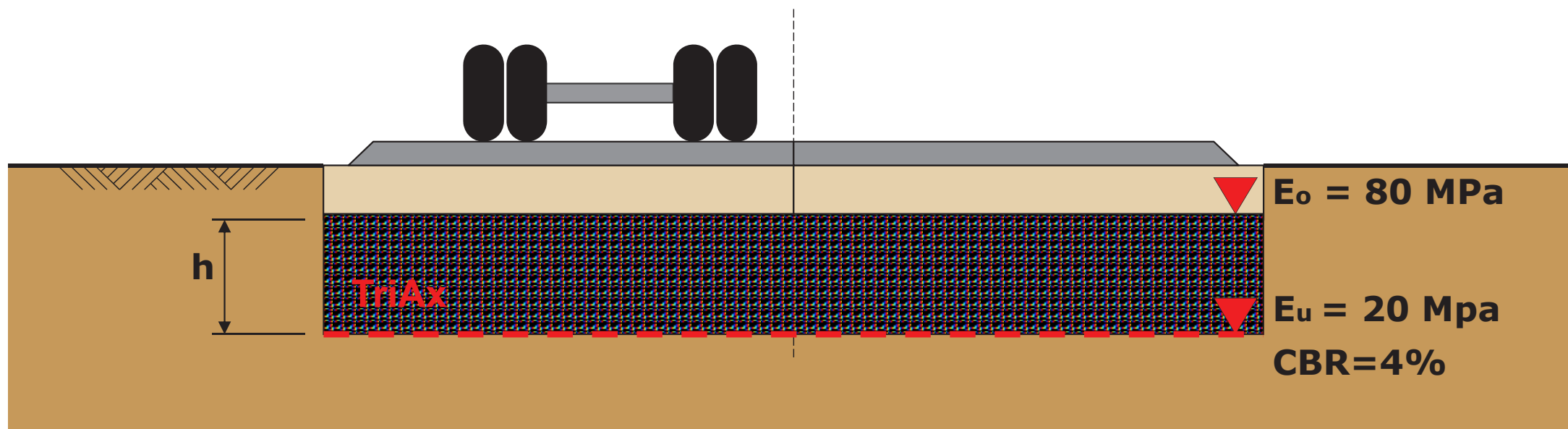


Abb. 1: Beziehung zwischen Verformungsmodul  $E_v$  und CBR-Wert.

prova di carico su piastra

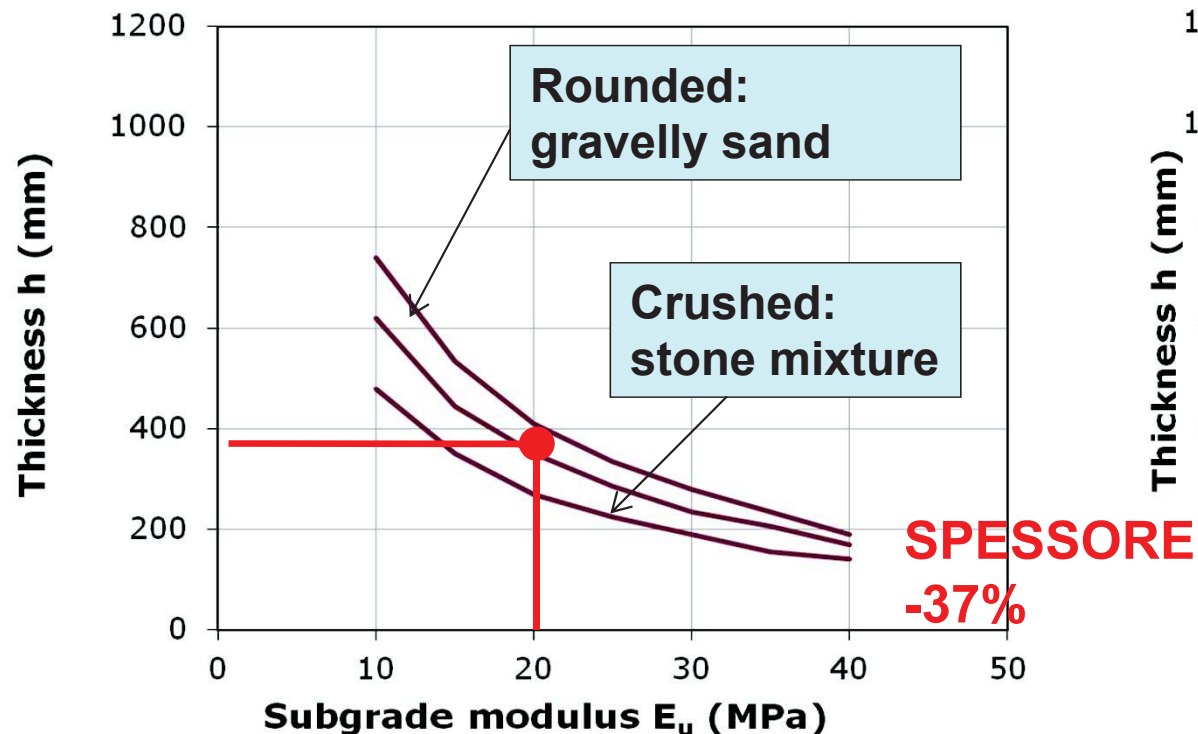


Definito  $E_o$  che si vuole ottenere sopra lo strato di fondazione ed indentificato  $E_u$  di sottofondo si determina lo spessore  $h$ , il tipo di Geogriglia TriAx e la tipologia di materiale granulare da utilizzare.

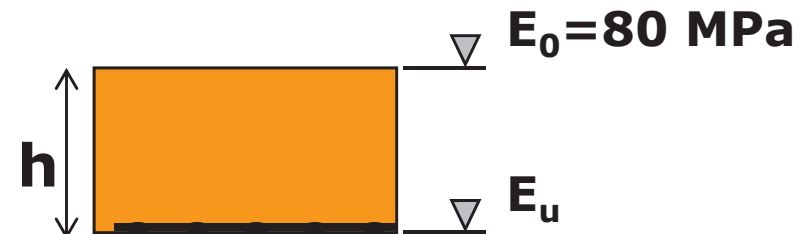
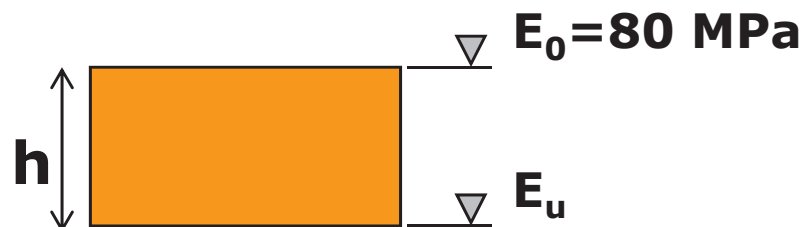
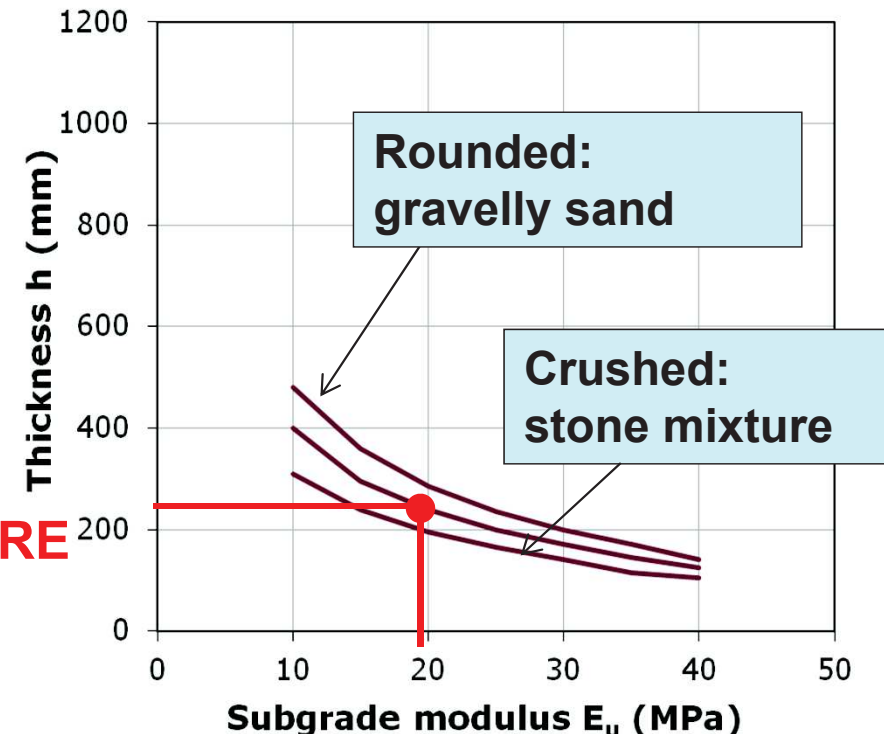
(ZTVT-StB 86)

### The $E_{v2}$ design method - BRP curves (1994)

Thickness without reinforcement



Thickness with reinforcement



# PROGETTAZIONE

## Tensar Modulus Method (EV2)

TensarPave™ Version 7.00.08

File Print Help

Design method: Tensar German modulus method

File not saved

**Design Requirements**

Non-stabilised

**Select pavement layers**

**Tensar TriAx design**

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

Eu = 120 MN/m<sup>2</sup>

345 mm

549 mm

TX160 (at base)

Eu = 20 MN/m<sup>2</sup>

Eu = 20

Eu = 20

**Subgrade**

Subgrade strength definition:

- ☐ Measured Eu value
- ☒ Eu from CBR
- ☐ Derive from plasticity data

CBR: 4,00

Eu (MN/m<sup>2</sup>): 20

☐ Based on estimated value:

Reference for subgrade material:

**Proprietà del sottofondo**

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

# PROGETTAZIONE

## Tensar Modulus Method (EV2)

TensarPave™ Version 7.00.08

File Print Help

Design method: Tensar German modulus method

File not saved

**Design Requirements**

**Select pavement layers**

Non-stabilised

**Tensar TriAx design**

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

Eo = 120 MN/m<sup>2</sup>

549 mm

345 mm

TX160 (at base)

Eu = 20 MN/m<sup>2</sup>

Eu = 20

Eu = 20

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

**Compensation for weak subgrade**

Particle size: Maximum < 75 mm

Fill type

- ☐ Ballast (Crushed Stone)
- ☐ Gravel
- ☒ Crushed stone mixture
- ☐ Gravelly sand

Minimum Eo:

120 MPa

45 MPa

80 MPa

100 MPa

120 MPa

150 MPa

Minimum thickness (mm):

Maximum thickness (mm):

Required thickness (mm)

345

Customise grid layout

Reference for stabilised material:

to set

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

# PROGETTAZIONE

## Tensor Modulus Method (EV2)



TensorPave™ Version 7.00.08

File Print Help

Design method: Tensor German modulus method

File not saved

**Design Requirements**

Non-stabilised

**Select pavement layers**

Tensor TriAx design

120	120	Eo (MPa)
Crushed stone mixture		Fill type
OK	OK	Design result
		Eo = 120 MN/m <sup>2</sup>

345 mm

549 mm

TX160 (at base)

Eu = 20

Eu = 20

**Compensation for weak subgrade**

Grid 3

Grid 2

Grid 1

TX160

TX160

TX170

TX180

TX190L

TX160-G

TX170-G

TX180-G

TX190L-G

Default grid layer

mm above base of layer

OK

When selecting the strength of the supporting layer, the grading of the s its relation to the subgrade grading, the actual pavement service life should all be taken into consideration. Advice can be found in the Tensor information bulletin "IB/TriAx Selection: Selection of the appropriate Tensor TriAx geogrid", which may be accessed via the Help menu. The Tensor 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



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:

$N_{8.2} = W_{18}$  è il numero sopportabile di passaggi di assi standard della pavimentazione prima di raggiungere un fissato ammaloramento  $PSI_f$

$PSI_f$  grado di funzionalità della pavimentazione

SN indice strutturale [cm] della pavimentazione

$M_R$  Modulo resiliente del sottofondo [Mpa]

R Affidabilità legata ai parametri  $Z_r$  e  $S_0$

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

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

- **S<sub>0</sub>** = deviazione standard della variabile aleatoria  $\delta$  (usualmente **0,40 ≤ δ ≤ 0,50** per pav. Flessibili) tiene conto dell'errore sul traffico e sulla prestazione prevista della pavimentazione;
- **Z<sub>R</sub>** = valore della variabile  $\delta$  standardizzata, legata all'affidabilità, che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico **N** che portano al valore **PS<sub>i</sub> = PS<sub>f</sub>** sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni **N<sub>T</sub>** realmente applicati;

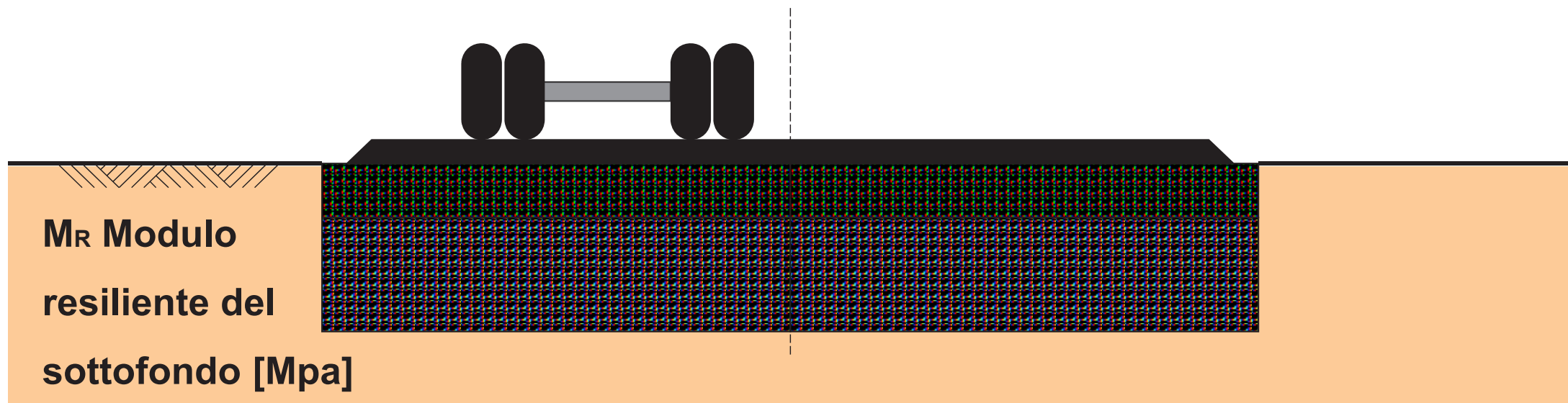
Nota: **N<sub>80kN</sub>** **cresce** con **SN** e **M<sub>R</sub>** e **decrece** con **R** e **PS<sub>f</sub>**

**R affidabilità legata ai parametri Z<sub>r</sub> e S<sub>0</sub>**

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

**M<sub>R</sub>**: esprime la capacità del sottofondo di assorbire energia quando è deformato elasticamente e di restituirla quando viene scaricato.

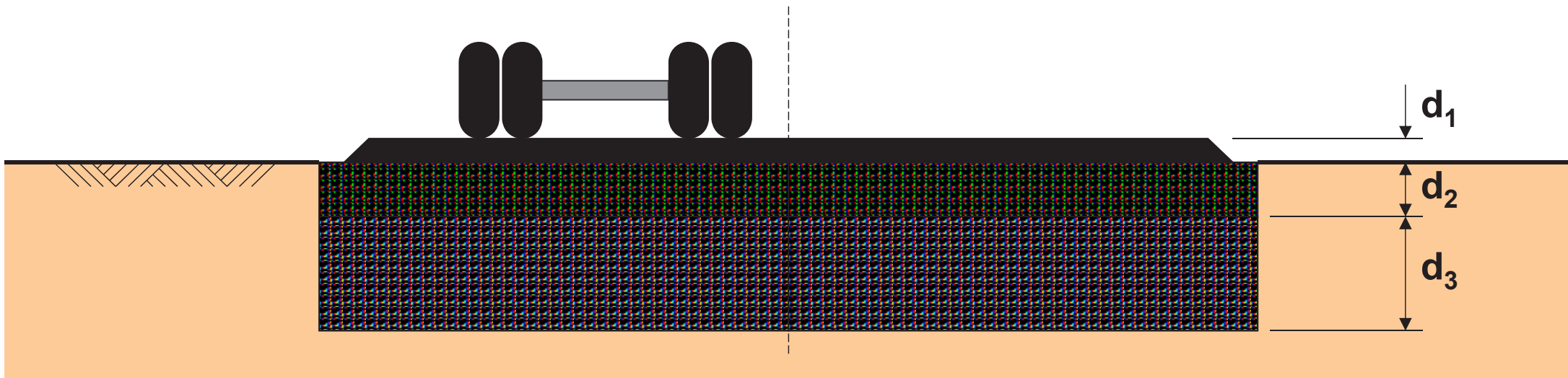
$$M_R \text{ (MPa)} \approx 10.34 \times \text{CBR}$$



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

## PROGETTAZIONE IN ASSENZA DI FALDA

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



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

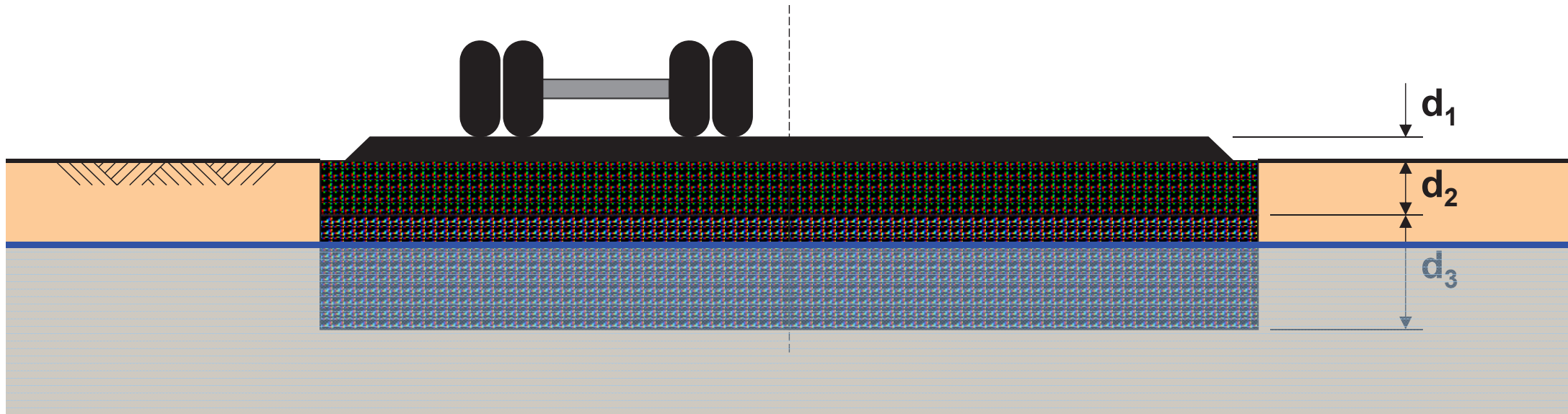
dove:

- $a_1$ ,  $a_2$ , 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

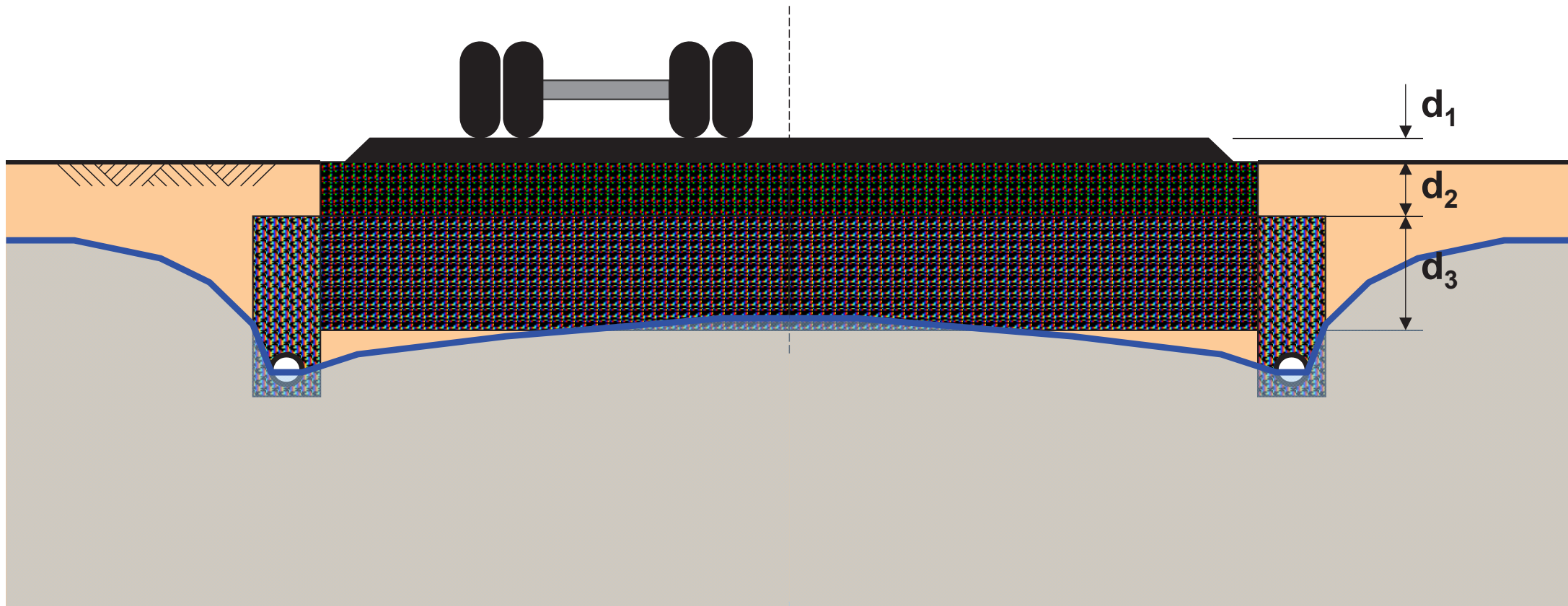


$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3$$

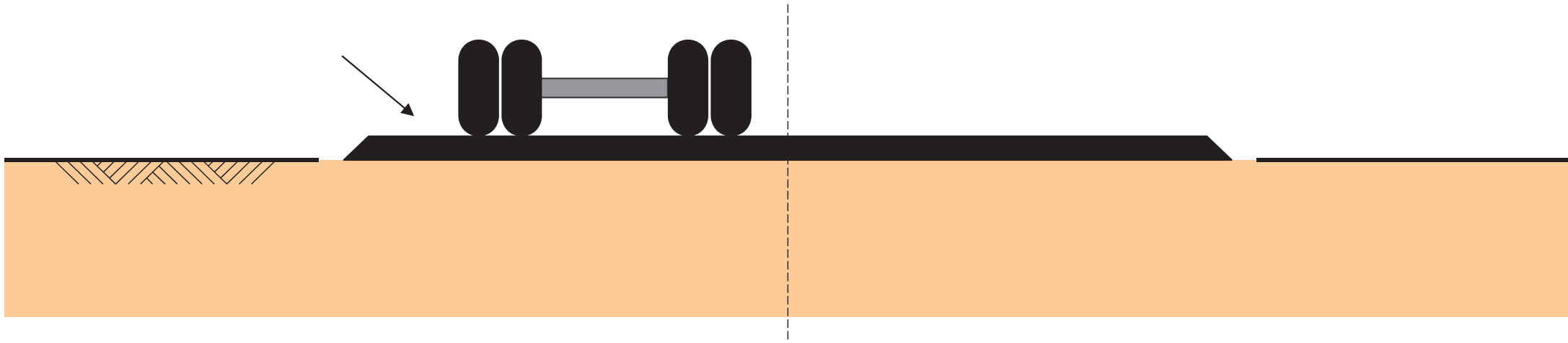
dove:  $m_2$  e  $m_3$  sono i coefficienti di drenaggio per i materiali non legati che tengono conto della qualità del drenaggio e durata delle condizioni prossime alla saturazione ( valori tabellati )

## 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;

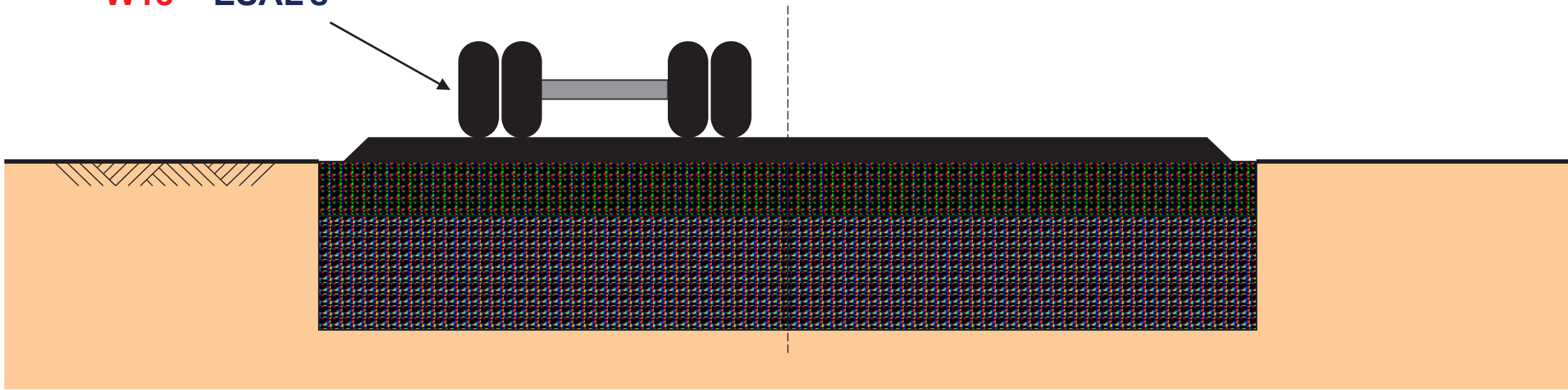


- è un numero che varia tra **5** (ottime condizioni) e **0** (pessime);
- all'inizio della vita utile si assume **PSI<sub>i</sub> = 4,2**;
- **PSI<sub>f</sub>** è scelto in funzione della strada, **3** per strade di maggiore importanza e **2.5** per strade di minore importanza .

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

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

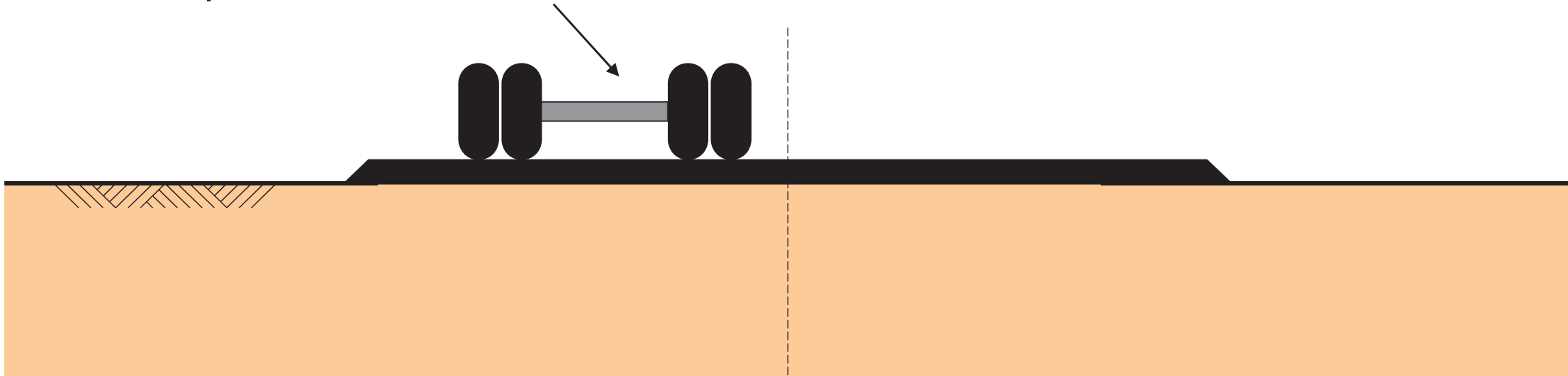
**N8.2 = W18 = ESAL's** sono espressi in termini di numero di assi standard equivalenti ovvero il numero di assi singoli con ruote gemellate da 80 kN ( 8,2 ton )



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

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

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



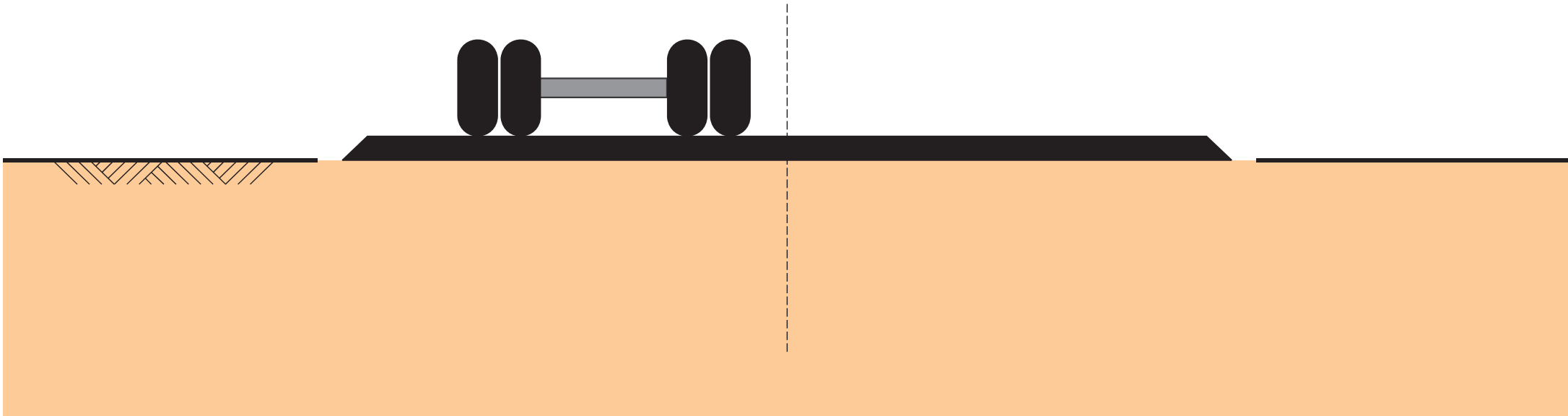
**ESAL's** è il numero di passaggi , in assi standard equivalenti, previsti nell'arco della vita utile della pavimentazione e si ricava da:

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

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.



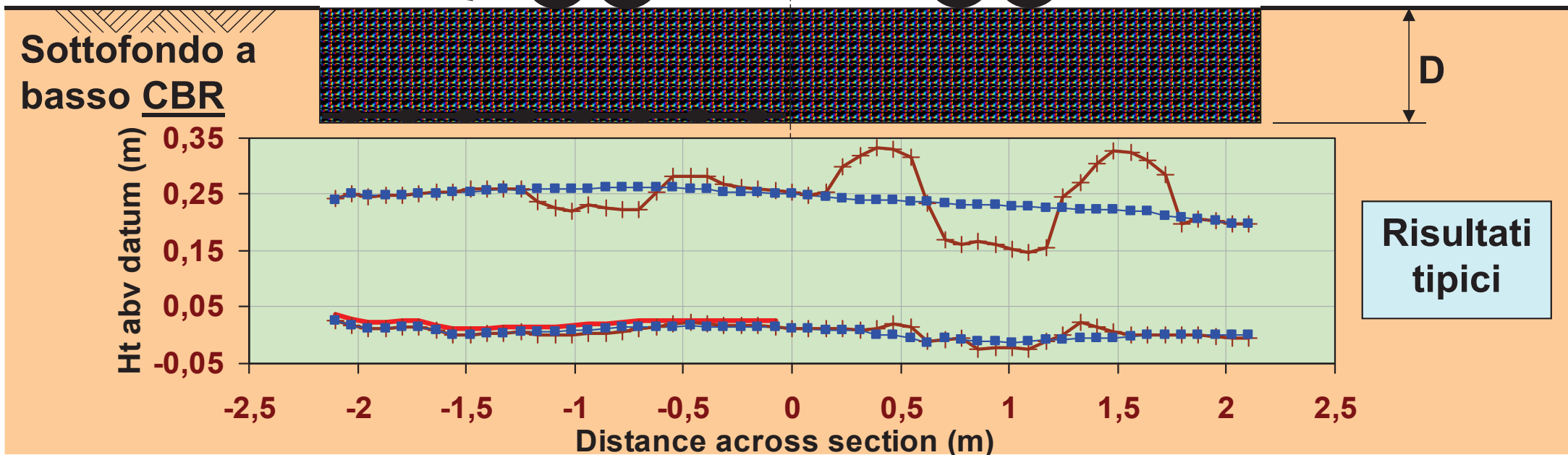
La pavimentazione è verificata quanto :

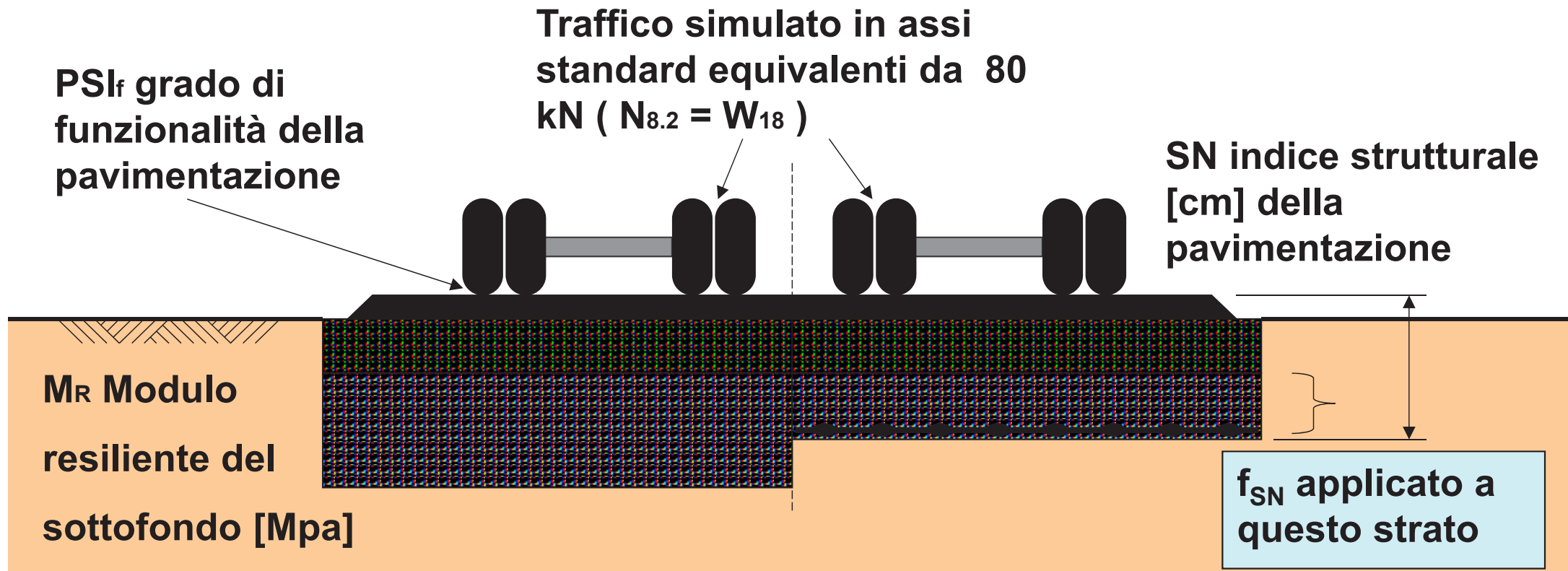
$$N_{8.2} = W_{18} > \text{ESAL's}$$

Condizioni della  
fondazione valutate  
con la profondità  
dell'ormaiamento

Traffico simulato con ruote  
gemellate da 40 kN

Fondazione in materiale  
granulare di spessore D





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

### Statigrafia convenzionale

Design method: Tensor Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

**Select pavement layers**

**Design Traffic and other AASHTO requirements**

Non-stabilised

**Tensor TriAx design**

4,81	4,81	Structural Number
7,603,015	7,603,015	ESAL = 0
OK	OK	Design result

30 mm

70 mm

120 mm

500 mm

Mr = 34,47

Mr = 34,47

Reliability level R (%)

80,0

?

ZR = -0,842

Standard Deviation So

0,490

?

Serviceability Indices:

initial po:

4,20

?

final pt:

2,00

?

Total required equivalent standard axle loads (ESAL = 80 kN)

0

?

Units

☒ SI (mm, kN, MN/m<sup>2</sup>)

☐ US (inches, lbs, psi)

**Scelta dei requisiti di progetto**

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

### Statigrafia convenzionale

Design method: Tensor Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

**Select pavement layers**

**Subgrade**

Non-stabilised

**Tensor TriAx design**

4,81	4,81	Structural Number
7,603,015	7,603,015	ESAL = 0
OK	OK	Design result
30 mm	30 mm	
70 mm	70 mm	
120 mm	120 mm	
500 mm	500 mm	
Mr = 34,47	Mr = 34,47	

Resilient Modulus (MN/m<sup>2</sup>)


34,474

?

☐ Estimated value

**Definizione del sottofondo**

### Statigrafia convenzionale

Design method: Tensor Spectra

File not saved
**Tensor**

Design Traffic and Other Requirements

Select pavement layers

Granular base layer

Non-stabilised

Tensor TriAx design

4,81	4,81	Structural Number
7,603,015	7,603,015	ESAL = 0
OK	OK	Design result
30 mm	30 mm	
70 mm	70 mm	
120 mm	120 mm	
500 mm	500 mm	
Mr = 34,47	Mr = 34,47	

Ballast (Crushed Stone)

a value: 0,120 ?

m value: 1,000 ?

☐ Stabilised

☒ Use in Tensor TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

Thickness (mm)

Structural Number SN

500	2,36
500	2,36

Definizione della  
fondazione  
( strati granulari )

### Statigrafia convenzionale

Design method: Tensor Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

Non-stabilised

**Select pavement layers**

Tensor TriAx design

4,81	4,81	Structural Number
7,603,015	7,603,015	ESAL = 0
OK	OK	Design result
30 mm	30 mm	
70 mm	70 mm	
120 mm	120 mm	
500 mm	500 mm	
Mr = 34,47	Mr = 34,47	

**Bound layers**

Layer 1: Asphalt surface course

a value: 0,420 ?

Thickness (mm): 30

Structural Number SN: 0,50

☒ Use in Tensor TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

Layer 2: Asphalt binder course

a value: 0,400 ?

Thickness (mm): 70

Structural Number SN: 1,10

☒ Use in Tensor TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

Layer 3: Asphalt treated base

a value: 0,180 ?

Thickness (mm): 120

Structural Number SN: 0,85

☒ Use in Tensor TriAx design

☒ 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

Design method: Tensor Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

**Select pavement layers**

Non-stabilised

**Tensor TriAx design**

4,87	4,87	Structural Number
8,265,933	8,265,933	ESAL = 0
OK	OK	Design result

30 mm

70 mm

120 mm

300 mm

512 mm

Mr = 34,47

TX7 (at base)

**Granular base layer**

Ballast (Crushed Stone)

a value: 0,120 ?

m value: 1,000 ?

Maximum <75mm

☒ Stabilised

TX7

Thickness (mm)	Structural Number SN
300	2,42
512	2,42

☒ Use in Tensor TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

**1^ IPOTESI**

**A parità di SN ed N<sub>8.2</sub> abbiamo -40% di spessore in fondazione**

Design Requirements: P = 80%, S<sub>0</sub> = 0,40, n<sub>0</sub> = 4,20, p<sub>t</sub> = 2,00, Units SI

### Statigrafia stabilizzata

Design method: Tensor Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

**Select pavement layers**

Non-stabilised

**Tensor 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	

732 mm

500 mm

TX7 (at base)

Mr = 34,47

Mr = 34,47

**Bound layers**

Layer 1: Asphalt surface course

a value: 0,420 ?

Thickness (mm): 30

Structural Number SN: 0,50

☒ Use in Tensor 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 Tensor TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

Layer 3:

Thickness (mm):

Structural Number SN:

☐ Use in Tensor TriAx design

☐ Use in non-stabilised design

**2^ IPOTESI**

**A parità di SN ed N<sub>8.2</sub> abbiamo -59% di spessore degli strati bitumati**

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

### Statigrafia stabilizzata

Design method: Tensar Spectra

File not saved

**Design Traffic and Other Requirements**

**Select pavement layers**

Non-stabilised

**Tensar TriAx design**

4,93	4,93	Structural Number
9,091,437	9,091,437	ESAL = 0
OK	OK	Design result
30 mm	30 mm	
50 mm	50 mm	
100 mm	100 mm	
622 mm	400 mm	
Mr = 34,47	Mr = 34,47	

TX7 (at base)

**Bound layers**

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): 50 Structural Number SN: 0,79

☒ Use in Tensar TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

Layer 3: Asphalt treated base

a value: 0,180 ? Thickness (mm): 100 Structural Number SN: 0,71

☒ Use in Tensar TriAx design

☒ Use in non-stabilised design

= 4,20, pt = 2,00, Units SI

3<sup>a</sup> IPOTESI

**A parità di SN ed N<sub>8.2</sub>  
abbiamo -20% di  
spessore in fondazione e  
-18% degli stati bitumati**

---

**Grazie per l'attenzione**

**WWW.PAVITEX.COM**

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