

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CLASSE DELLE LAUREE MAGISTRALI (LM – 35)

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**ENVIRONMENTAL IMPACTS AND STABILITY OF LIGHTWEIGHT-TYRE
MIXTURE EMBANKMENTS**

Relatore

Prof. Alessandro Flora

Prof. Anastasios Anastasiadis

Candidati

Maria Crispino M67/400

Mariaelena Fierro M67/398

Anno Accademico 2018-2019

Environmental impacts and stability of lightweight-tire mixtures embankments

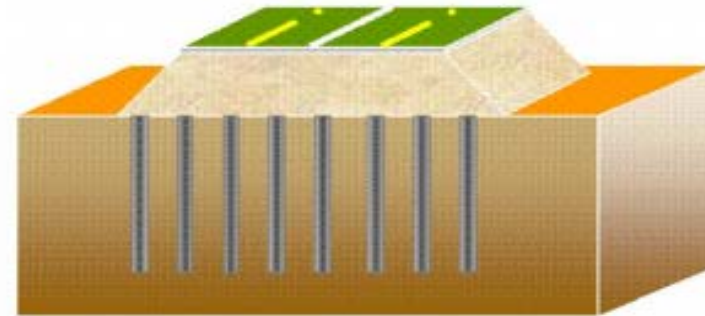
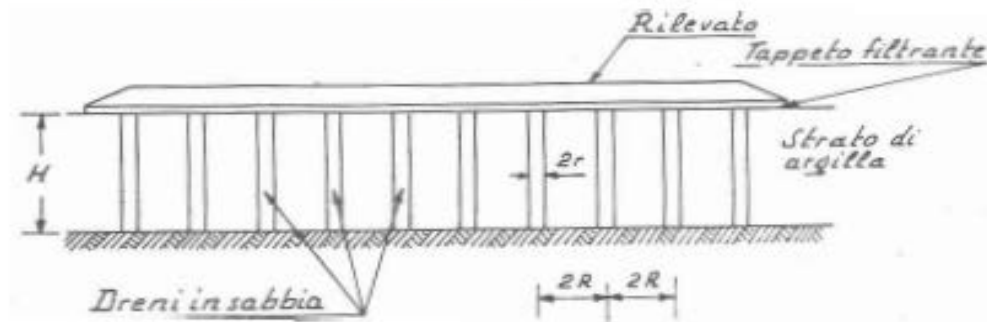
Obiettivi:

- Principali caratteristiche dei brandelli di pneumatici di scarto;
- Applicazioni ingegneristiche delle miscele terreno-pneumatico;
- Potenziale impatto ambientale;
- Analisi di stabilità di rilevati stradali.

Soluzioni per terreni di fondazione scadenti

B) Consolidamento Terreni di Fondazione

A) Dreni Verticali

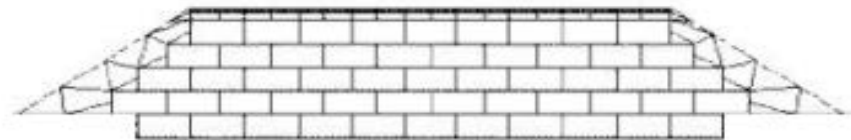


- pali battuti
- pali ad elica continua
- jet grouting
- deep mixing
- colonne di ghiaia-sabbia

C) Rilevati Alleggeriti



Argilla Espansa



Polistirene

Environmental impacts and stability of lightweight-tire mixtures embankments



Materiali alleggeriti più utilizzati:

Geomateriali
compositi

LIGHTWEIGHT
aggregate
concretes

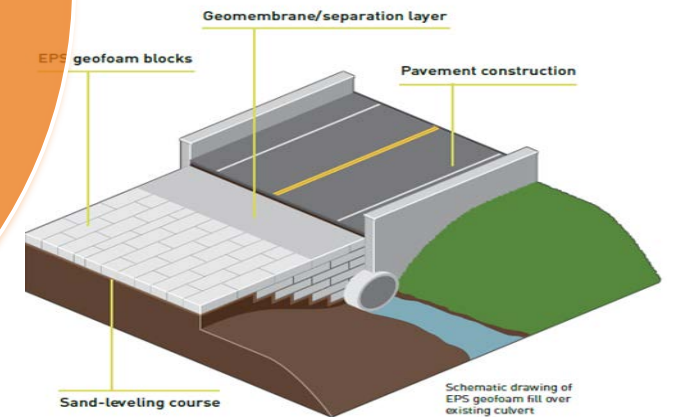
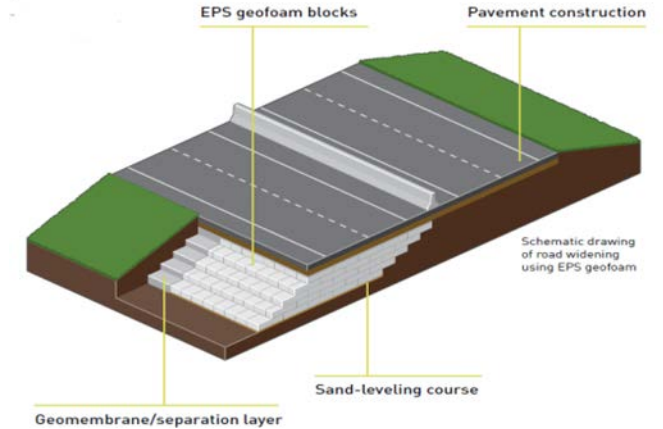
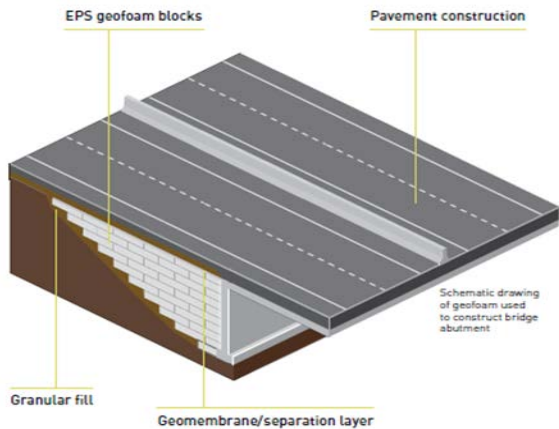
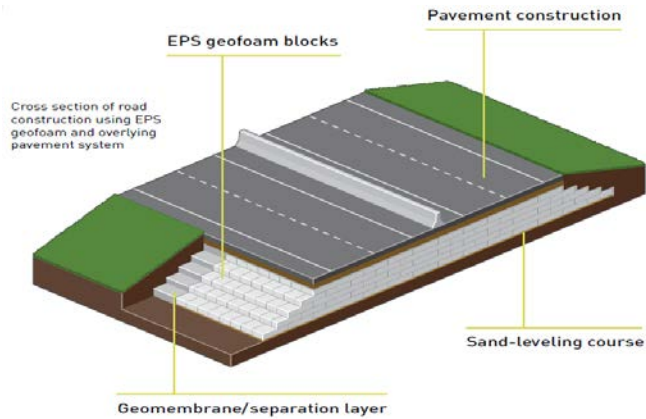
Tyre shreds-
brandelli di
pneumatici

Geofoam
(EPS)

GEOFOAM

è un materiale di riempimento rigido, ingegnerizzato, realizzato con una struttura cellulare, creato utilizzando un agente espandente.

È utilizzato nella costruzione di strade, per l' allargamento della strada e come riempimento di un canale sotterraneo esistente.



LIGHTWEIGHT aggregate concretes

PROPRIETA'

Bassa densità

Bassa conducibilità
termica

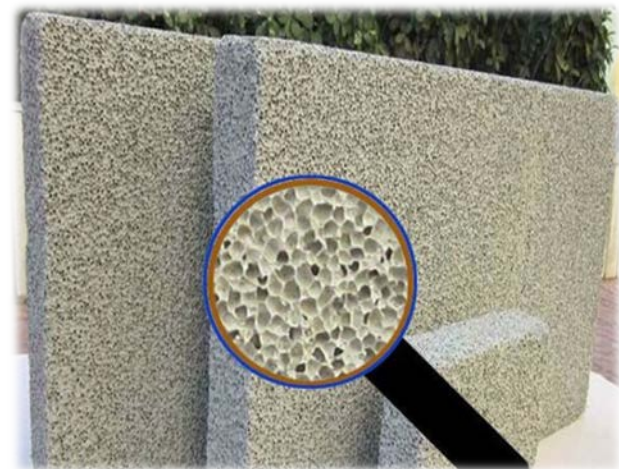
20-40% più leggera di
altri materiali da
costruzione

Alta resistenza al
fuoco



Gli aggregate alleggeriti
vengono prodotti in due
modi:

→ da materiali naturali di
origine vulcanica, tramite
→ trattamenti meccanici;
da materie prime e
sottoprodotti industriali
con trattamento termico.



Geomateriali compositi

Ceneri volatili e Ceneri pesanti



Le **ceneri pesanti** e le **ceneri volanti** sono sottoprodotti della combustione del carbone

Materiali dragati



I **materiali dragati** vengono raccolti per effettuare la manutenzione di porti e vie d'acqua per la navigazione.

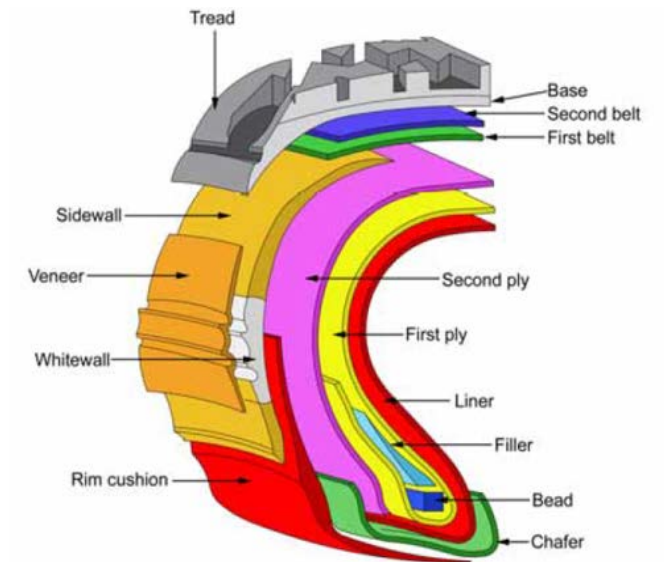
TYRE SHREDS

brandelli di pneumatici

Lo **pneumatico** è un telaio elastico per le ruote dei veicoli, costituito da un involucro deformabile contenente aria in pressione o una camera d'aria gonfiata ad aria compressa.



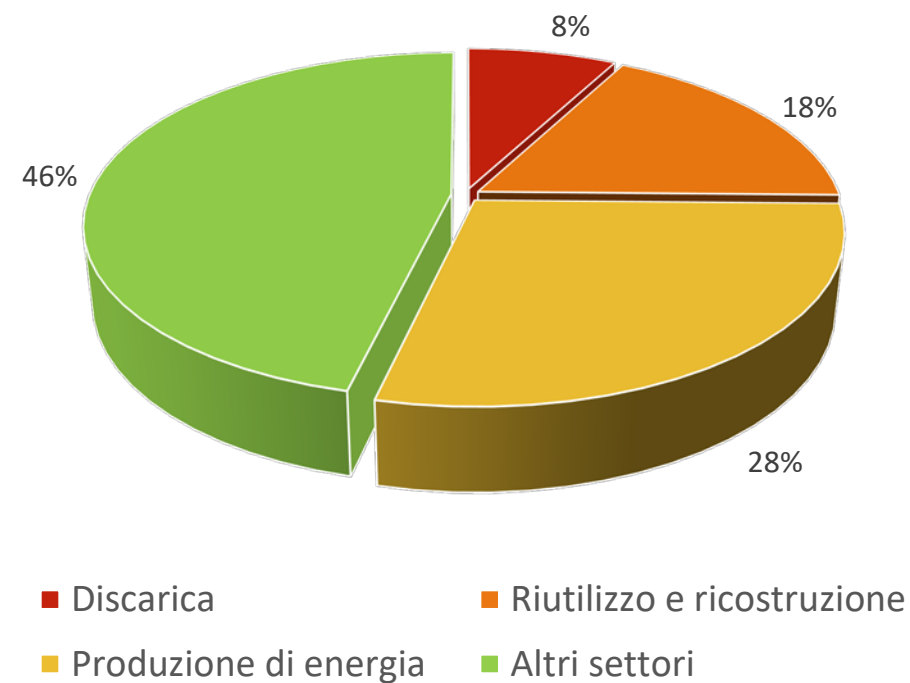
Struttura di un tipico pneumatico per auto



Si stima che tra **0,8 e 2 miliardi** di **pneumatici di scarto** siano stati smaltiti in enormi pile in tutta Europa.



Smaltimento di pneumatici esausti



(ETRM, 2015)

**Rubber
or granulated
crumbs**

Briciole di gomma
o granulate

Rough Shred
brandello ruvido

Whole Tyre
pneumatico
intero

Gli scarti di pneumatici vengono prodotti in
diverse forme a seconda dell'uso previsto:

Tyre Chips
Chip di pneumatici

Tyre Shreds
brandelli
di pneumatici

**Tyre Derived
Aggregate (TDA)**
aggregato derivato dal
pneumatico

prEN 14243:2004 (Europe)		ASTM D 6270-98 (USA)	
Designation	Size	Designation	Size
Fine powder	<500 µm	Granulated	425 µm–12 mm
Powder	<1 mm	Ground rubber	425 µm–2 mm
Granulate	1–10 mm	Chip	12–50 mm
Chip	10– 50 mm	Shred	50–305 mm
Shred	50–300 mm	Rough shred	50×50×50 < X < 762×50×100



Technical Properties

Tyre Chips
($\approx 50\text{mm}$)



Tyre Shreds
($\approx 150\text{mm}$)



Compact Density

1.14 t/m^3 Humphrey et al. (1993)

Specific Gravity

1.02 - 1.27 Edeskar (2006)

Bulk Density

$450 - 600 \text{ kg/m}^3$ (loose compaction)
 $600 - 800 \text{ kg/m}^3$ (dense compaction)
Edeskar (2004)

Porosity

22 - 62% (0 - 400 kPa) T. Edeskar (2006)

Unit Weight

$2.4 - 7.0 \text{ kN/m}^3$ Humphrey et al. (1993)

Permeability

10^{-2} m/s Cecich et al. (1996)

Hydraulic Conductivity

$1.8 \times 10^{-3} - 15.4 \text{ cm/s}$

Elastic Modulus

0.77 - 1.25 MPa T. Edeskar (2006)

Poisson's Ratio

0.27 - 0.30 Tsinaris (2018)

SCRAP TYRES APPLICATIONS

APPLICAZIONI CON PNEUMATICI DI SCARTO

L'uso di
pneumatici di scarto
in strutture ingegneristiche:

riduce gli oneri ambientali
legati alla produzione di
pneumatici nuovi

può fornire capacità di
recupero sostenibile per
pneumatici usati

sostituisce l'uso di aggregati
primari



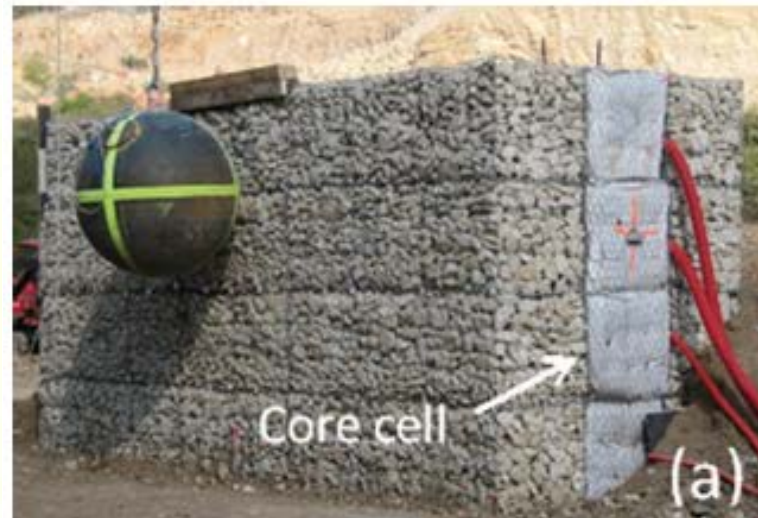
Applicazioni Ingegneria Ambientale

- strato di raccolta del gas in discarica
- drenaggio del percolato
- strato protettivo in discarica



Applicazioni Ingegneria Civile

- riempimento leggero;
- isolamento termico
- strato elastico
- muri di sostegno



LIGHTWEIGHT FILL

RIEMPIMENTO LEGGERO



Per essere considerati idonei all'uso su terrapieni stradali, i materiali alleggeriti con tyre shreds devono:

non danneggiare
l'ambiente

essere economicamente
competitivo rispetto ai
materiali da costruzione
disponibili

fornire un livello
accettabile di
prestazioni

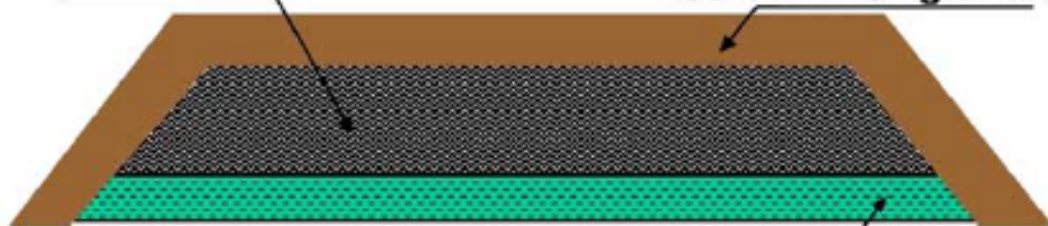
esibire le giuste
caratteristiche
tecniche

soddisfare
costantemente i
requisiti delle
specifiche

150 mm thick tyre shreds

450 mm thick granular surface

5 layers of tyre side walls



Environmental impacts

WHAT HAPPENS TO YOUR USED TIRES?



Possiamo riassumere i potenziali impatti ambientali e le azioni per ridurli al minimo.

Material	Impact	Action to avoid/reduce impact
Resource use during manufacture, use and reprocessing and disposal	Depletion of oil reserves Depletion of iron ore Depletion of zinc oxide	Increase recycled content of tyres Extend life of tyres Increase energy efficiency of processing
Atmospheric emissions during manufacture	Quality of atmosphere Human health (respiratory problems)	Remove potential pollutants from manufacturing process Increase energy efficiency Improve technology to reduce emissions Improve fuel quality or use low emission alternatives
Tyre abrasion during use	Quality of water courses Quality of atmosphere	Reduce abrasion rate of tyres (extend life of tyres) Maintain tyre pressures
Stockpiles of post-consumer tyres after use	Fire risk Quality of atmosphere Quality of water courses Quality of soil and vegetation Human Health Unsightly	Increase reprocessing capacity for post consumer tyres Encourage development of recycled products and markets Greater enforcement of regulations regarding illegal dumping

Ci sono diverse questioni
irrisolte relative alla
produzione e all'uso di
pneumatici

degrado in
condizioni
particolari

impatto sulla vita
acquatica

potenziale
contaminazione delle
acque sotterranee

reazioni
esotermiche che
possono causare
incendi



CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Proprietà meccaniche delle miscele di gomma granulata leggera

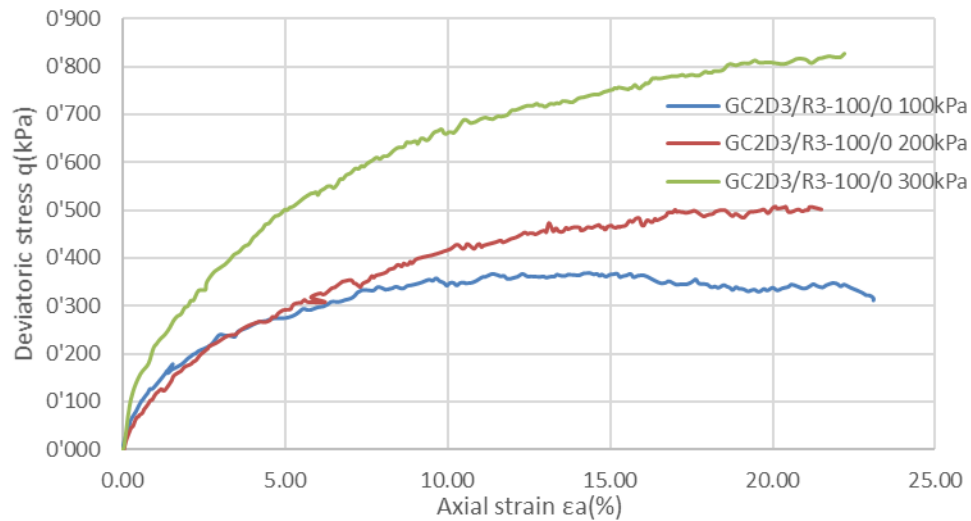
Nel Laboratory of Soil Mechanics, Foundations and Geotechnical Earthquake Engineering of Aristotle University of Thessaloniki sono stati effettuati test triassiali sperimentali per determinare le caratteristiche di ghiaia e miscele di gomma di pneumatici con diverse percentuali di gomma.

Mediante test triassiali CD (drenati consolidati) sono state studiate le proprietà meccaniche delle miscele ghiaia-gomma, concentrandosi sull'effetto del contenuto di gomma (r%), che varia dallo 0% al 15%.

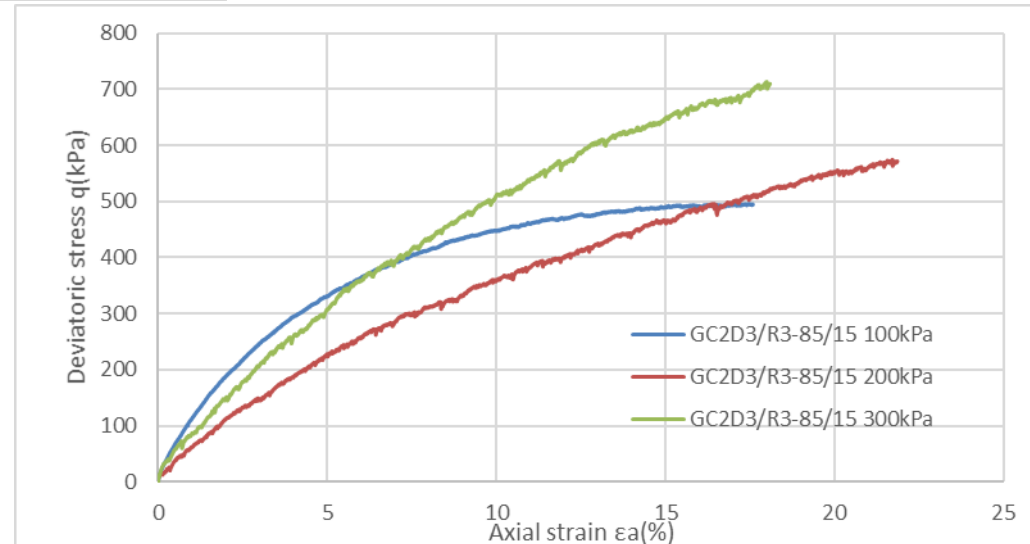
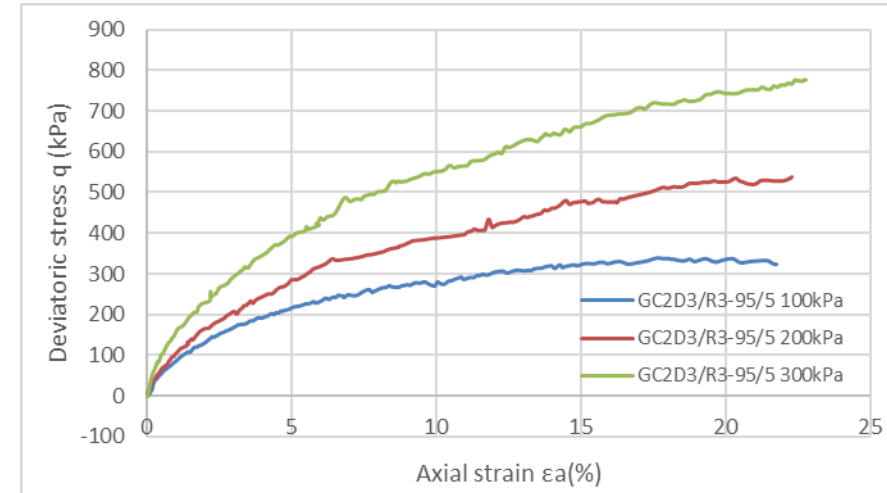
Code name	Rubber (%)	Gs (gr/cm ³)	e _o	e _{eq}	$\gamma_{d,min}$ (kN/m ³)	P _{mean} (kPa)	Test
GC2D3	0	2.70	0.767	0.767	15.283	100	TRX
GC2D3	0	2.70	0.765	0.765	15.295	200	TRX
GC2D3	0	2.70	0.772	0.772	15.240	300	TRX
GC2D3/R3-95/5	5	2.62	1.070	1.070	13.728	100	TRX
GC2D3/R3-95/5	5	2.62	1.066	1.066	13.753	200	TRX
GC2D3/R3-95/5	5	2.62	1.070	1.070	13.731	300	TRX
GC2D3/R3-85/15	15	2.47	1.785	1.785	11.405	100	TRX
GC2D3/R3-85/15	15	2.47	1.779	1.779	11.431	200	TRX
GC2D3/R3-85/15	15	2.47	1.791	1.791	11.380	300	TRX



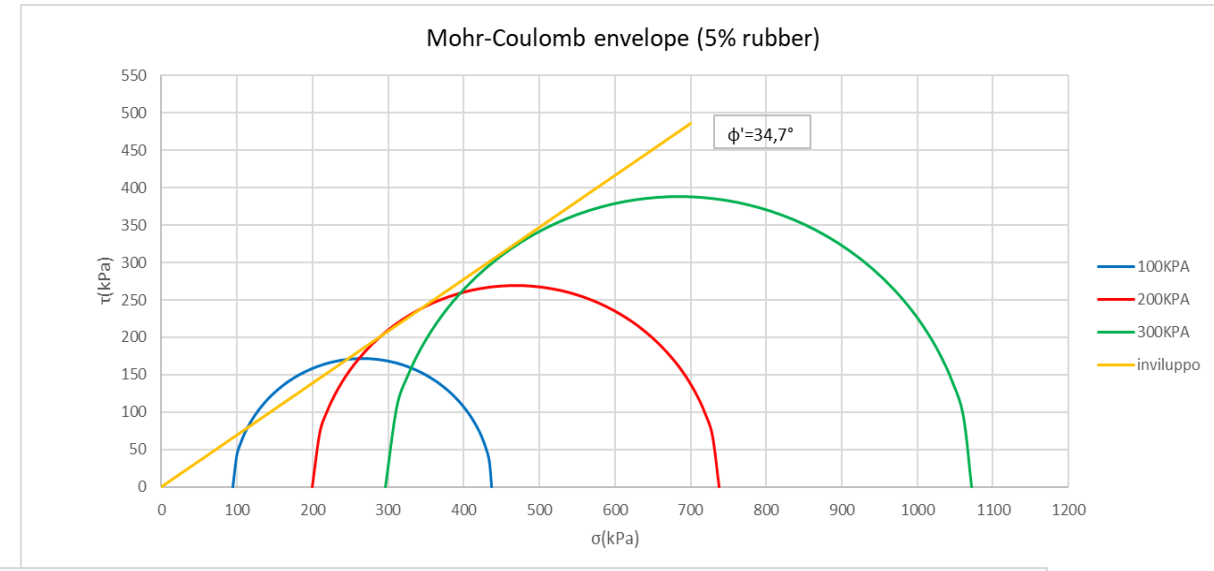
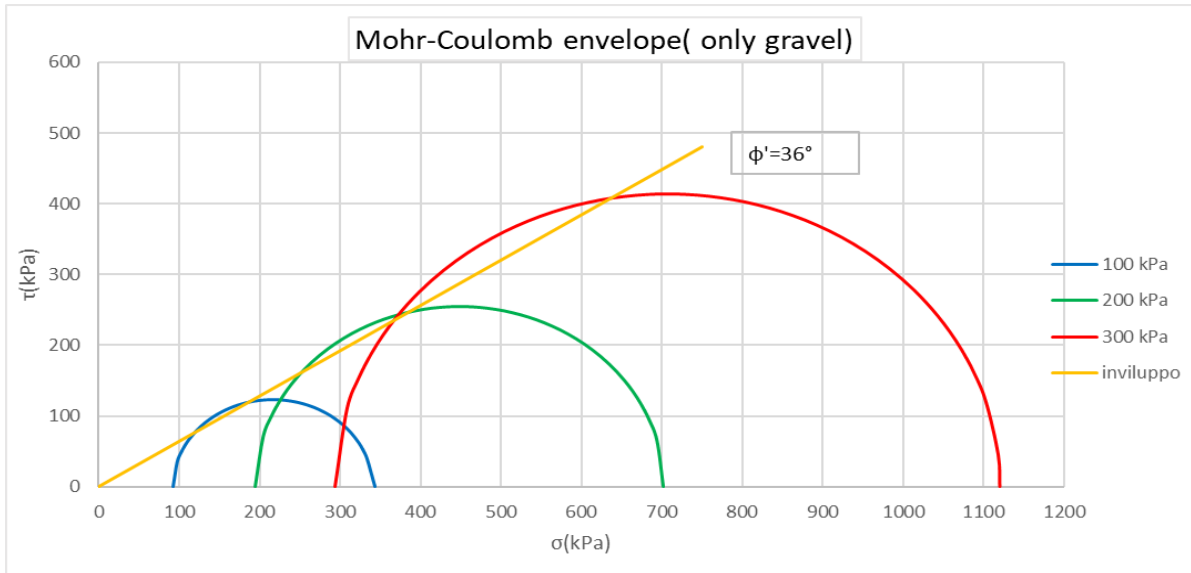
Risultati della prova triassiale



Variation of deviatoric stress, q , with the axial strain, ϵ , of gravel/rubber group mixture GC2D3/R3 and, under different confining stresses

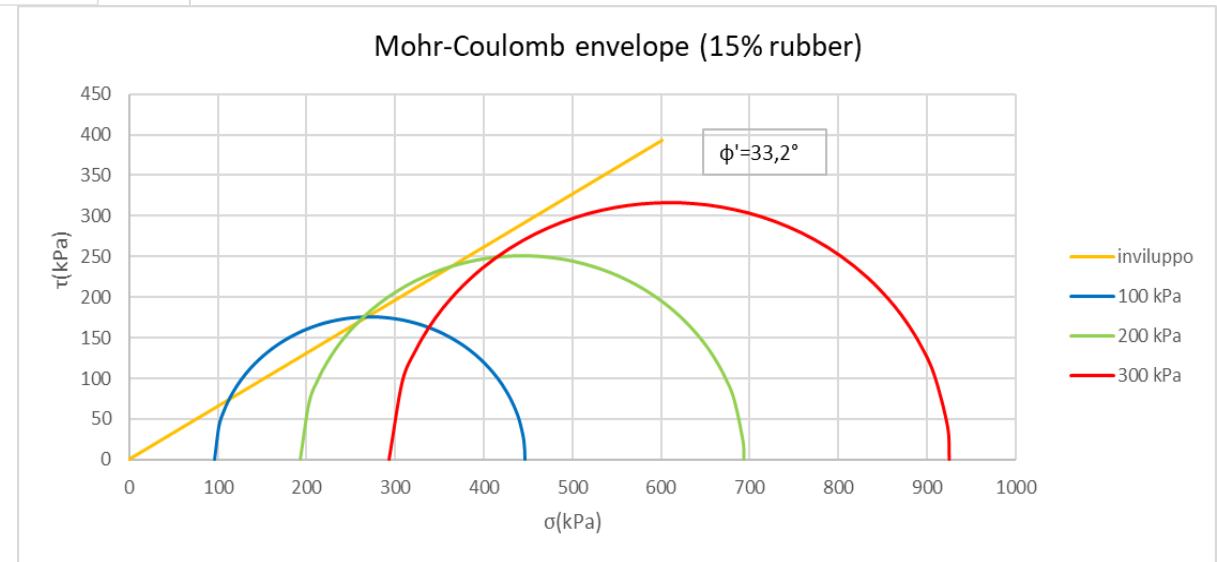


Cerchi di Mohr



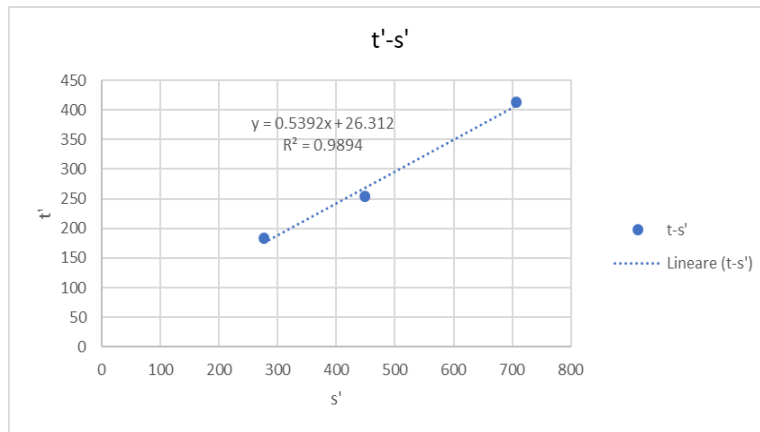
Il criterio di rottura di Mohr –
Coulomb è retto dall'equazione:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

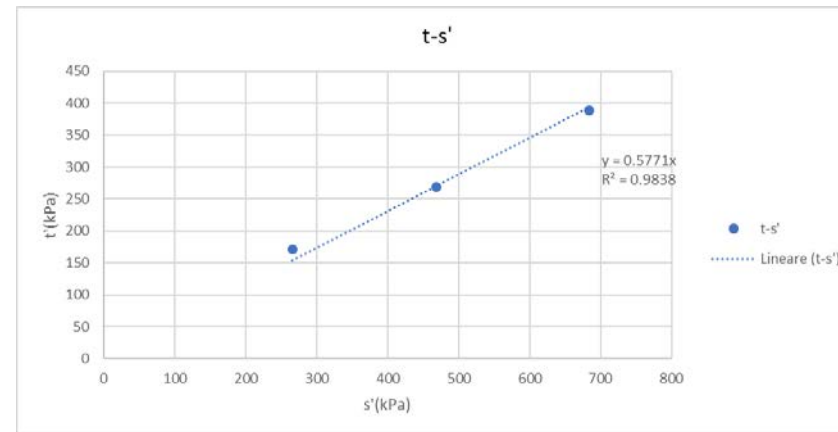


PERCORSI TENSIONALI

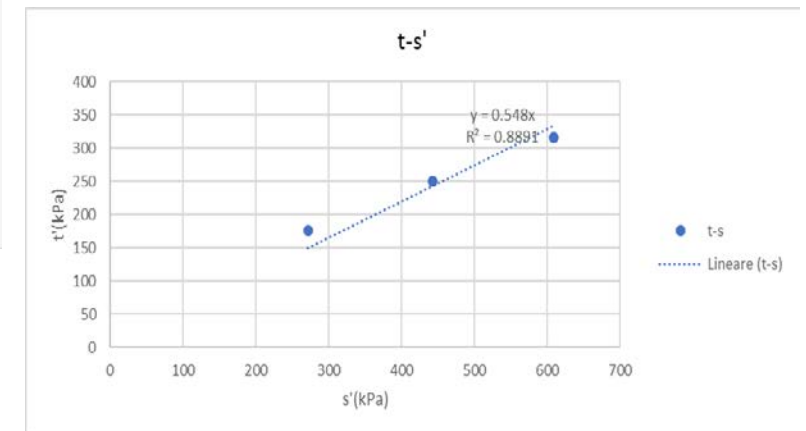
GCD2-R3/100-0



GCD2-R3/95-5



GCD2-R3/85-15

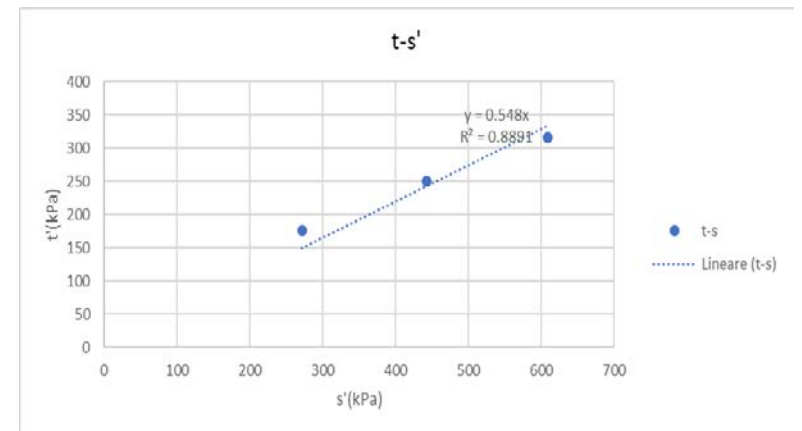
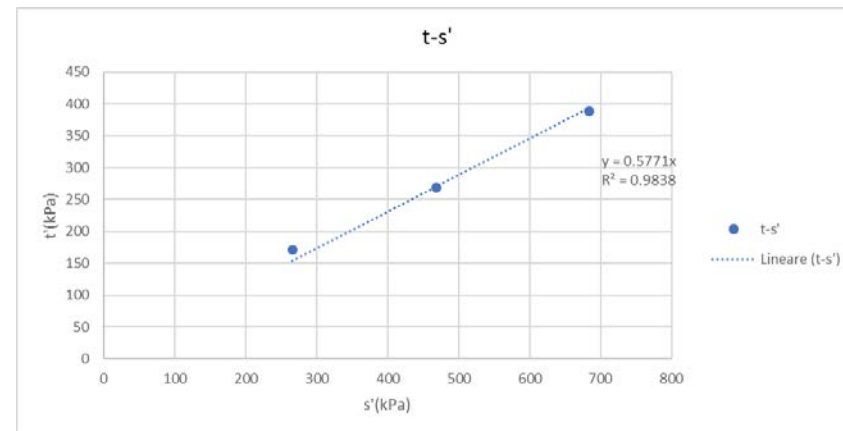
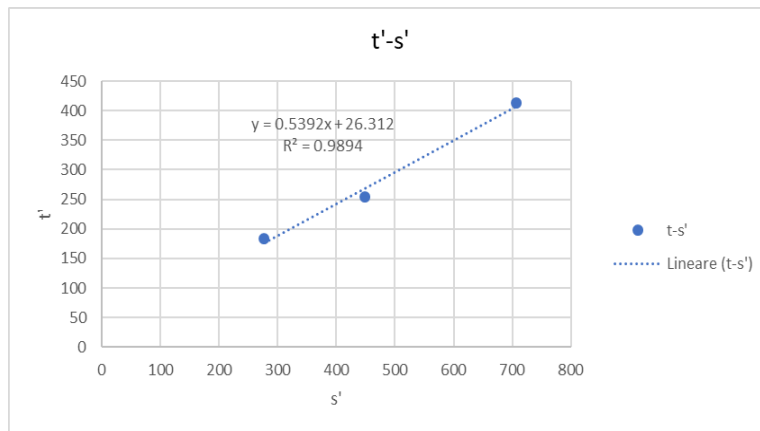


$$t' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$$

$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

PARAMETRI MECCANICI DELLE MISCELE

	GC2D2/R3 100-0			GC2D2/R3 95-5			GC2D2/R3 85-15		
	100 kPa	200 kPa	300 kPa	100 kPa	200 kPa	300 kPa	100 kPa	200 kPa	300 kPa
γ [kg/m^3]	1600			1425			1178		
φ [°]	36			34.7			33.2		
c [kPa]	0								
E [MPa]	8.77	3.89	9.4	4.69	3.29	4.65	1.8	2.68	3.05
ν	0.30								



SCELTA DEL MODULO ELASTICO E

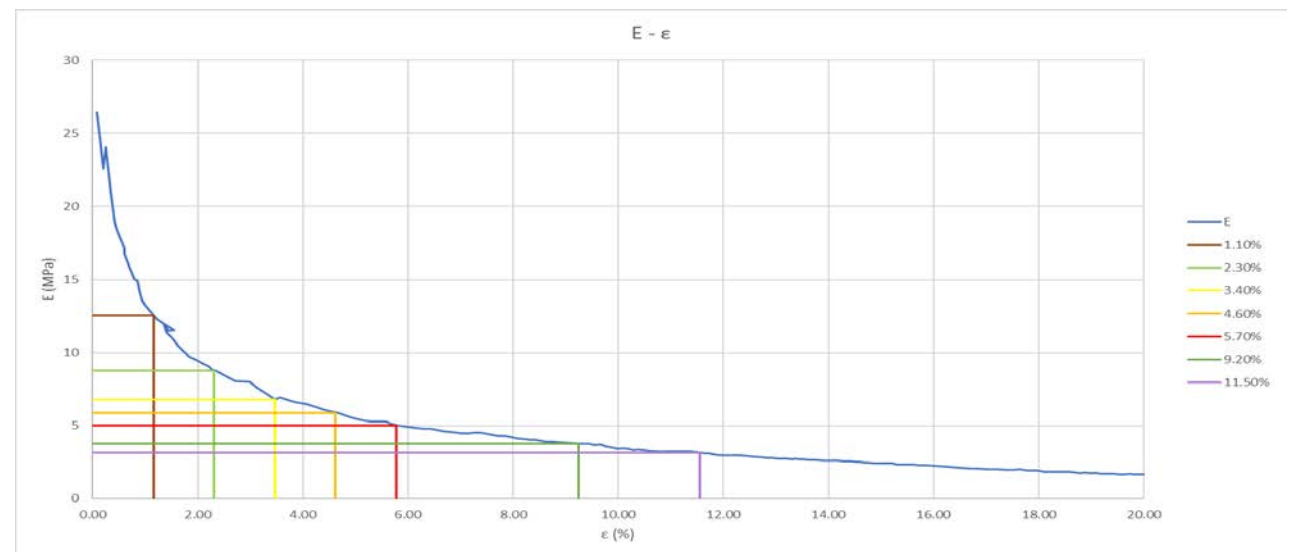
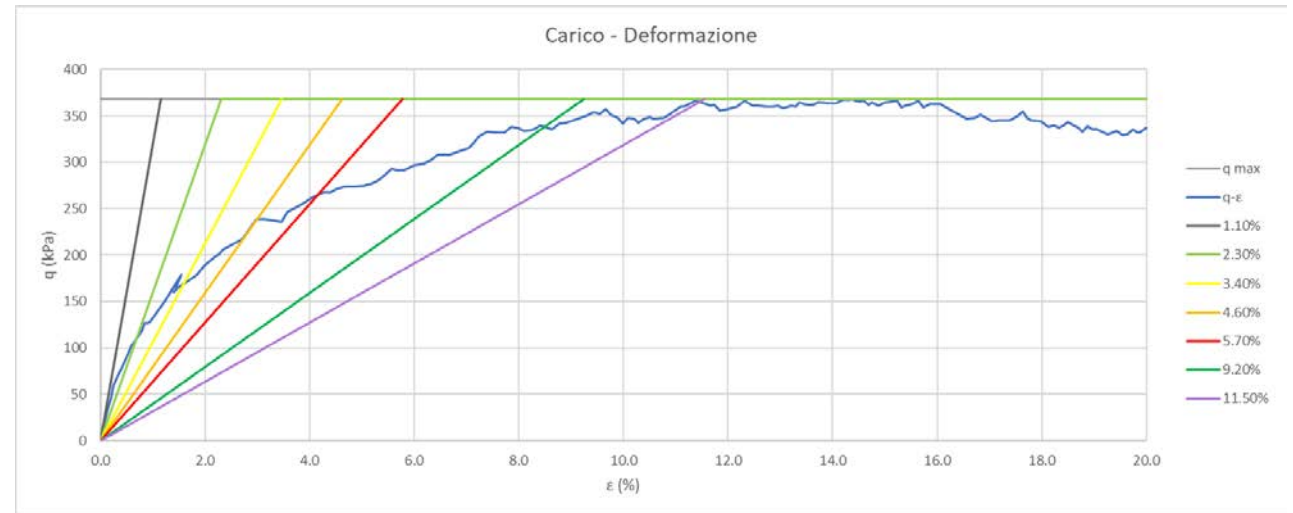
Per ottenere il valore del modulo di Young E che più si avvicinasse a quello sperimentale si è valutata l'area sottesa alla curva sperimentale e quella sottesa alle curve rappresentative della deformazione percentuale ε . I valori della deformazione percentuale sono stati scelti valutando il rapporto:

$$\frac{\varepsilon_{max} (\%)}{\varepsilon_{lim} (\%)}$$

per ognuna delle miscele e successivamente inserite nel software FLAC2D;
l'area sottesa alla curva sperimentale è stata calcolata come:

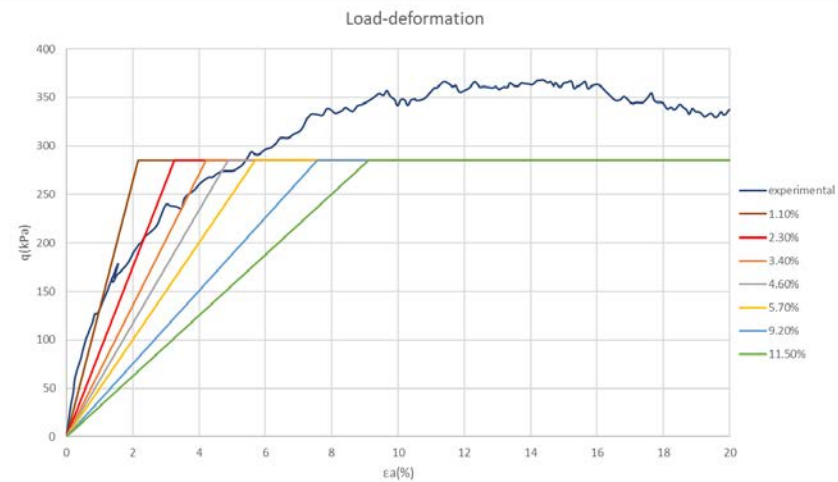
$$I = \sum_{i=1}^n \frac{(q_i + q_{i+1})}{2} \cdot d\varepsilon$$

L'errore è stato calcolato come differenza tra le due aree.

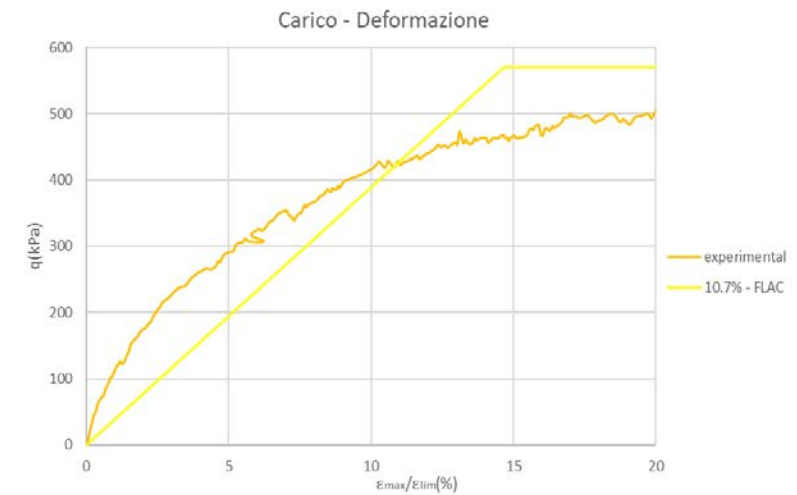
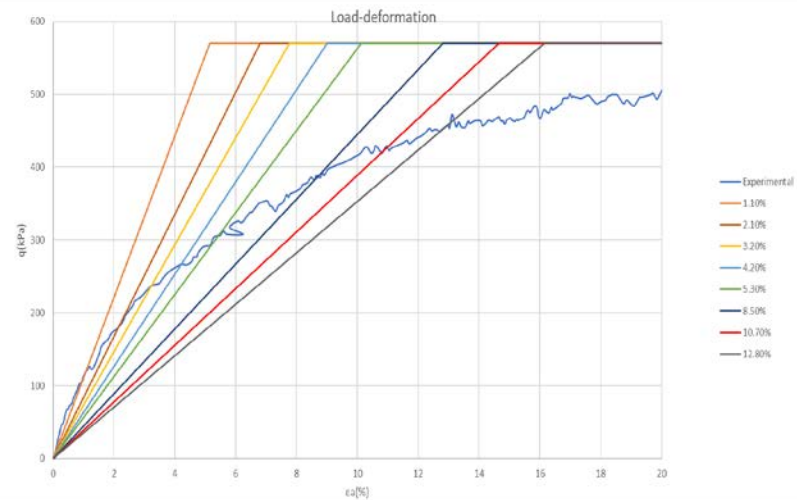


GRC2D2/R3 100-0
Pura Ghiaia

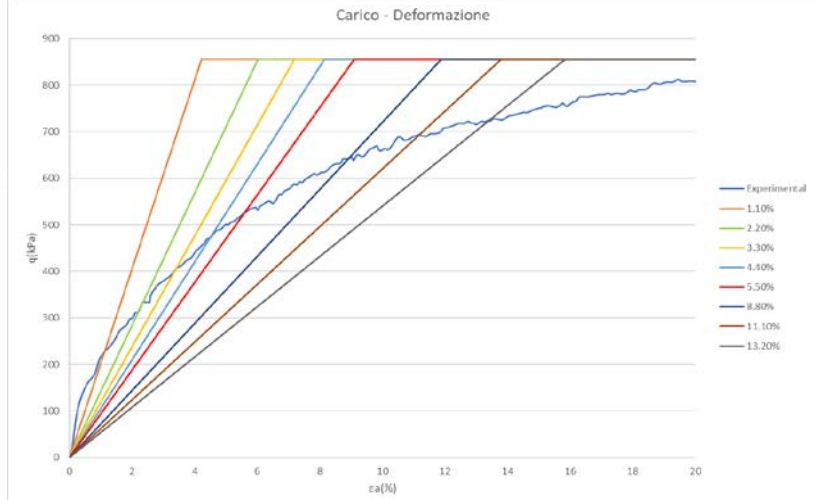
100 kPa



200 kPa

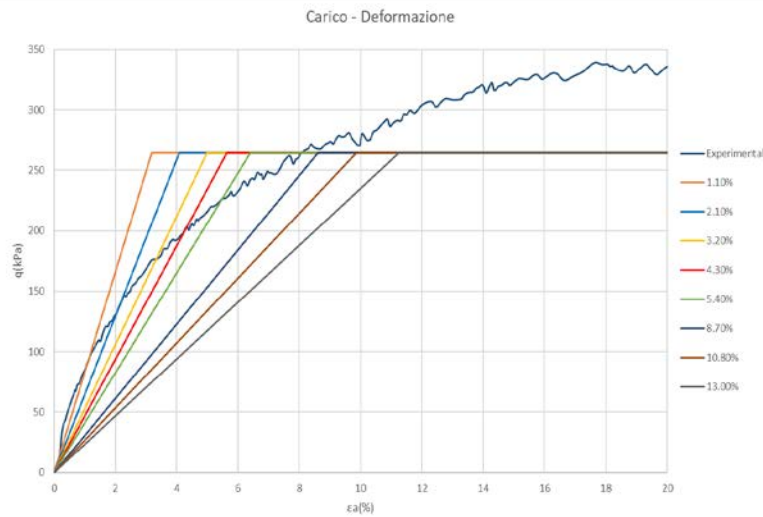


300 kPa

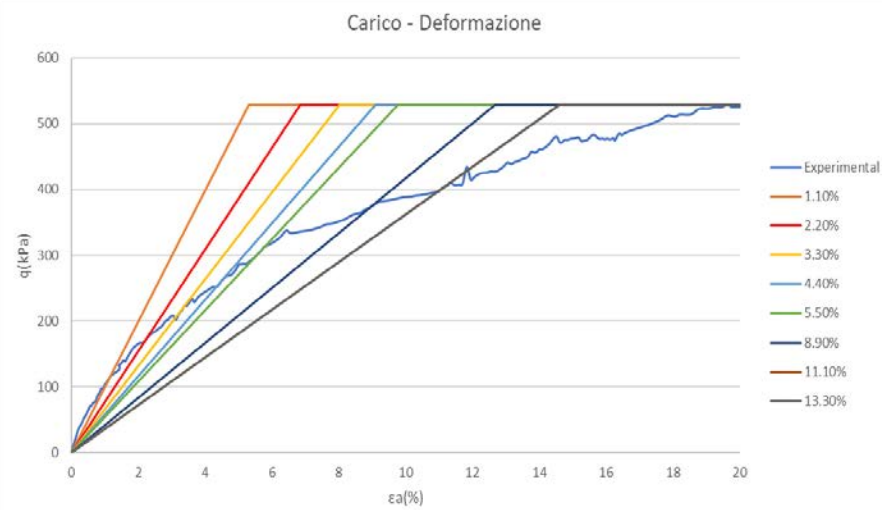


GRC2D2/R3 95-5
Miscela Ghiaia (95%)/Gomma (5%)

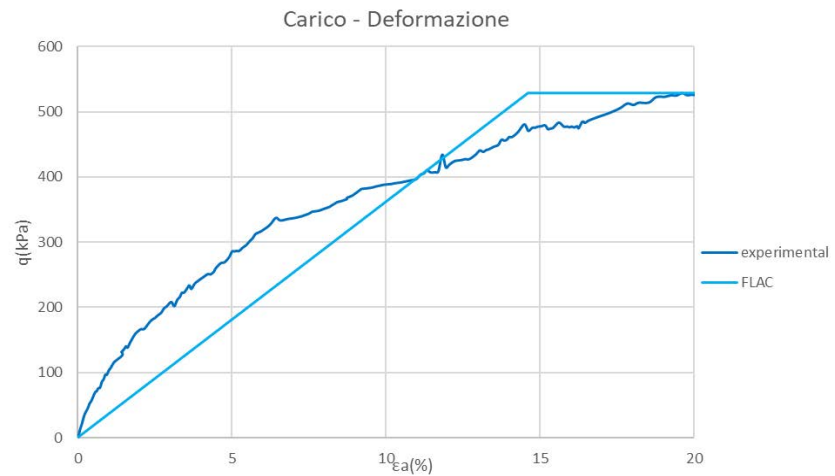
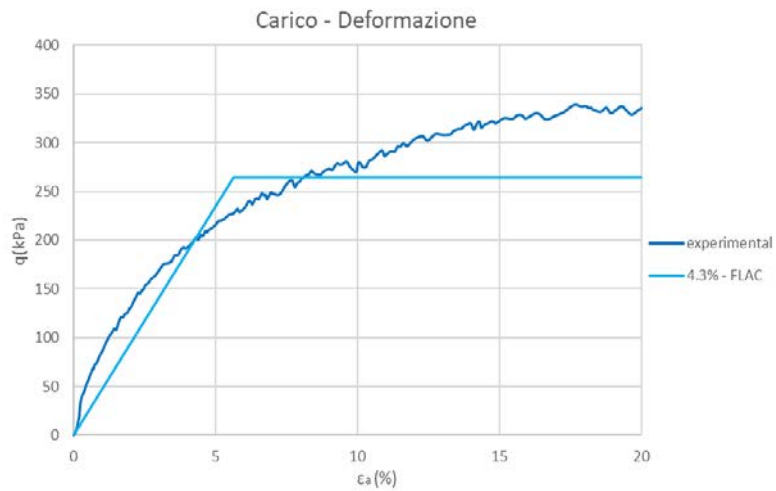
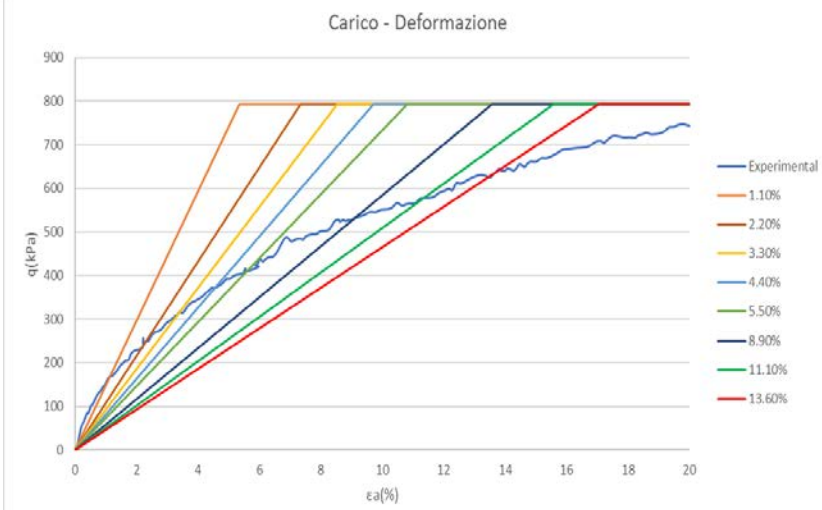
100 kPa



200 kPa



300 kPa



GRC2D2/R3 85-15
Miscela Ghiaia (85%)/Gomma (15%)

100kPa

200 kPa

300kPa

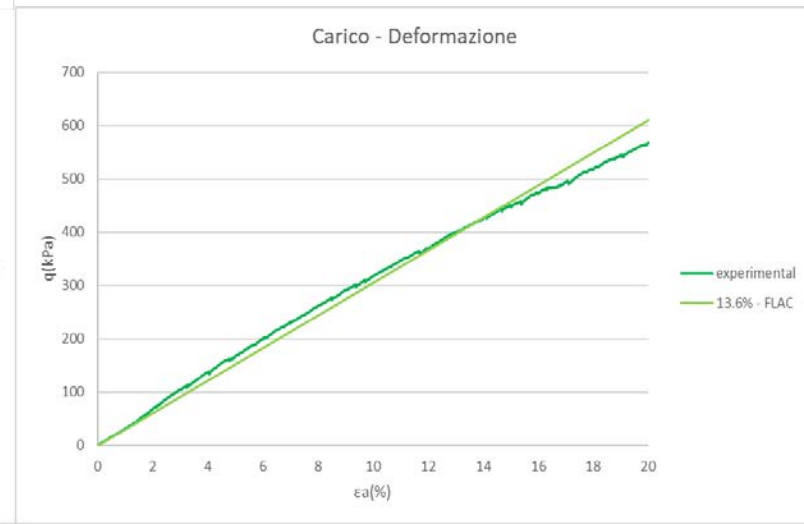
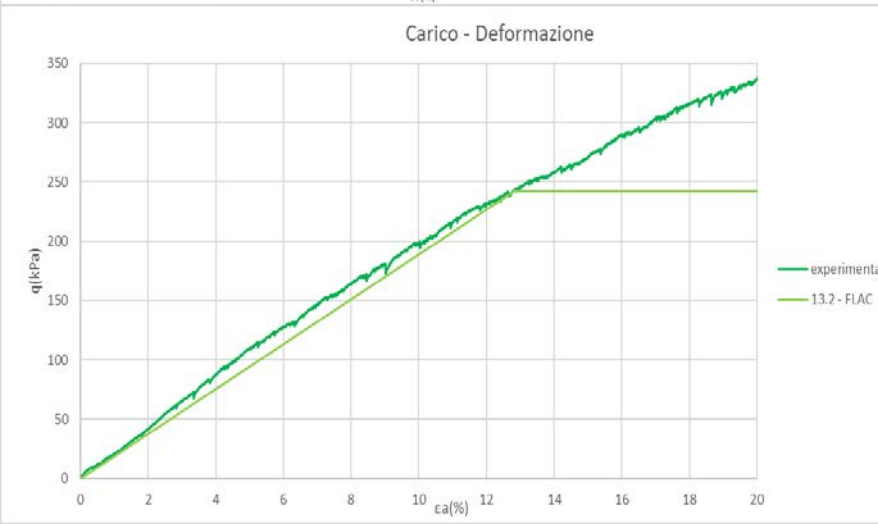
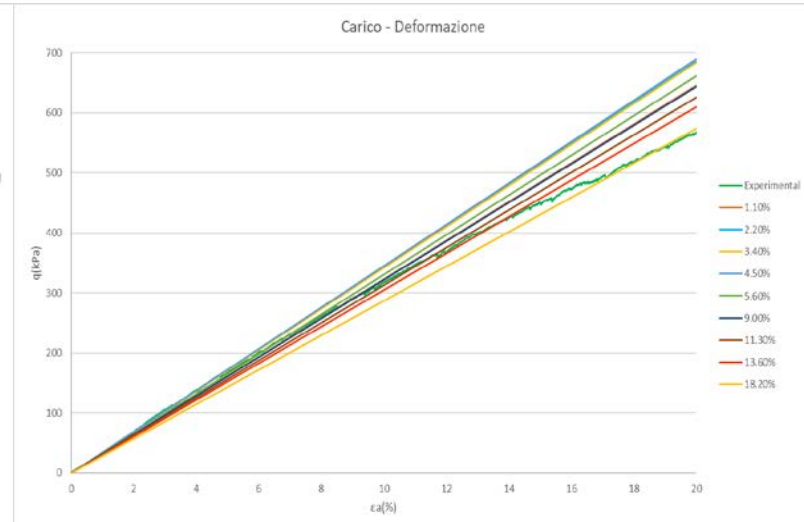
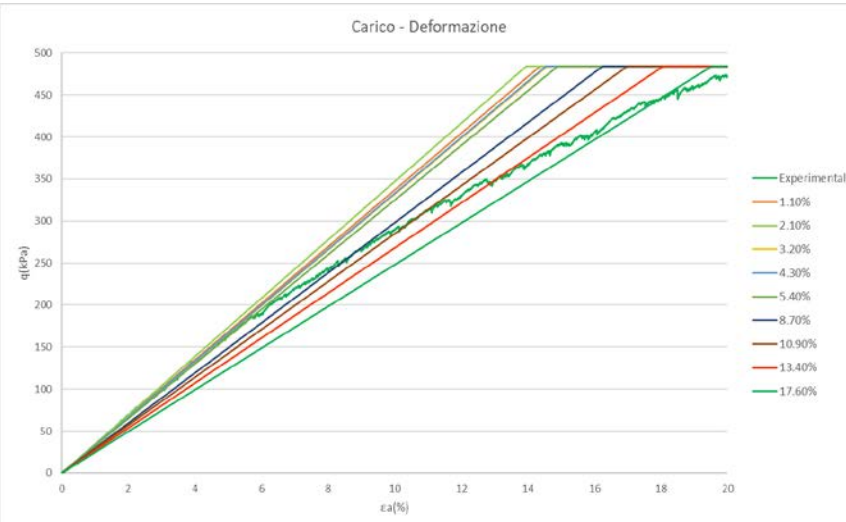
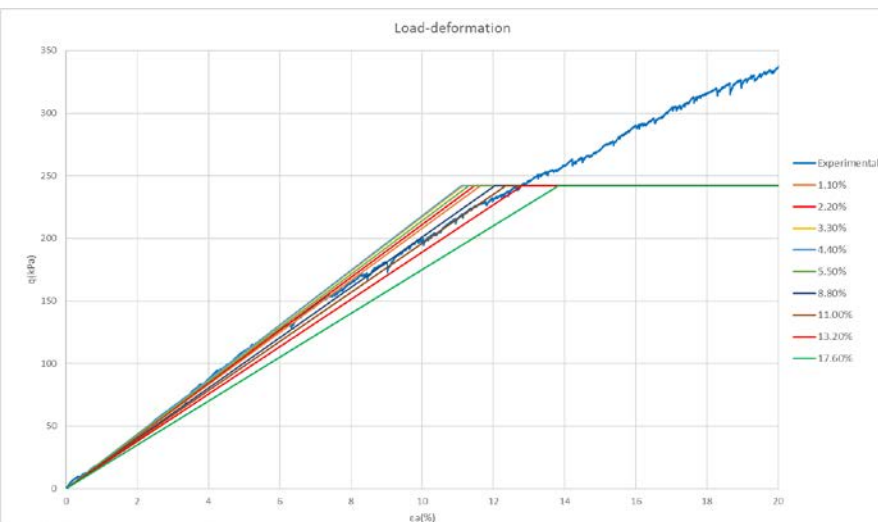


Tabelle riassuntive per la valutazione dell'errore

	GC2D2/R3 100-0							
	100 kPa							
	1.1%	2.3%	3.4%	4.6%	5.7%	9.2%	11.5%	
E (Mpa)	12.54	8.77	6.78	5.85	5.01	3.77	3.13	
errore (%)	11.2	10.84	11.84	11.76	12.14	-	-	
	200 kPa							
	1.1%	2.1%	3.2%	4.2%	5.3%	8.5%	10.7%	12.8%
E (Mpa)	11.07	8.38	7.34	6.33	5.63	4.45	3.89	3.53
errore (%)	25.7	21.7	20.18	18.09	16.89	14.16	13.98	16.03
	300 kPa							
	1.1%	2.2%	3.3%	4.4%	5.5%	8.8%	11.1%	13.2%
E (Mpa)	20.27	14.2	11.97	10.5	9.4	7.24	6.2	5.41
errore (%)	35.24	28.65	25.5	20.75	18.66	19.16	26.71	27.09

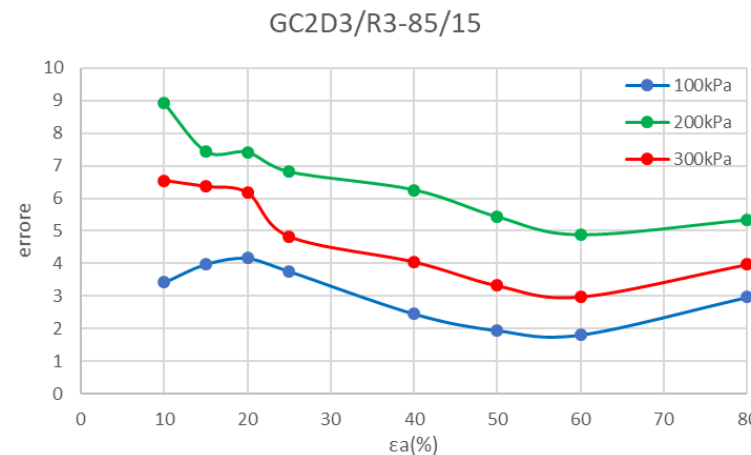
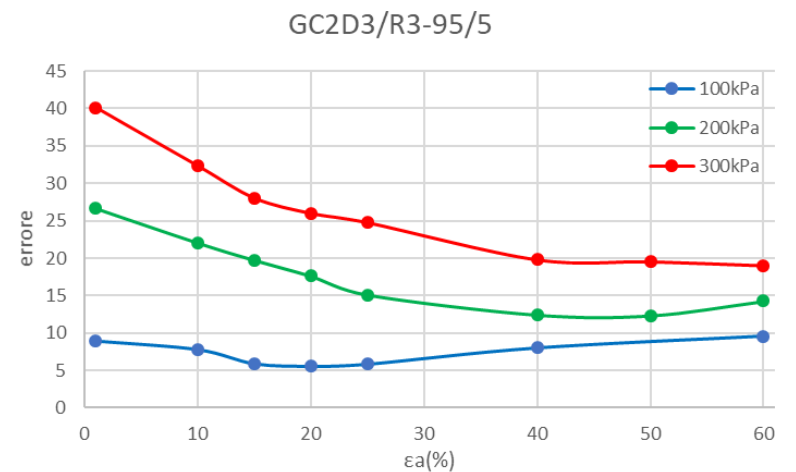
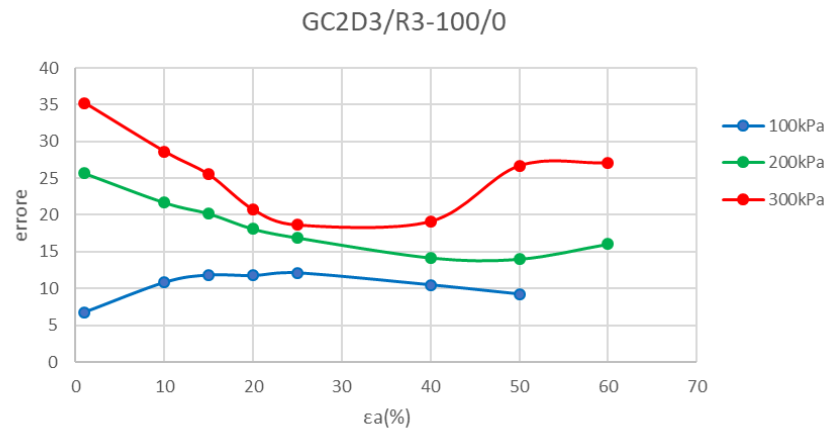
	GC2D2/R3 95-5							
	100 kPa							
	1.1%	2.1%	3.2%	4.3%	5.4%	8.7%	10.8%	13.0%
E (Mpa)	8.27	6.47	5.3	4.69	4.13	3.07	2.68	2.35
errore (%)	8.9	7.7	5.89	5.55	5.83	8	8.6	9.5
	200 kPa							
	1.1%	2.2%	3.3%	4.4%	5.5%	8.8%	11.1%	13.3%
E (Mpa)	9.96	7.72	6.59	5.81	5.41	4.17	3.29	3.31
errore (%)	26.6	22	19.7	17.6	15.11	12.44	12.34	14.25
	300 kPa							
	1.1%	2.2%	3.4%	4.5%	5.6%	9.1%	11.3%	13.6%
E (Mpa)	14.82	10.83	9.29	8.16	7.33	5.84	5.09	4.65
errore (%)	40.1	32.3	28	26	24.7	19.7	19.53	19

	GC2D2/R3 85-15									
	100 kPa									
	1.1%	2.2%	3.3%	4.4%	5.5%	8.8%	11.1%	13.3%	17.60%	
E (Mpa)	2.08	2.2	2.17	2.18	2.14	2.01	1.96	1.89	1.75	
errore (%)	4.2	3.4	3.9	4.16	3.7	2.4	1.95	1.82	2.97	
	200 kPa									
	1.1%	2.1%	3.2%	4.3%	5.4%	8.7%	10.9%	13.4%	17.50%	
E (Mpa)	3.37	3.47	3.31	3.32	3.25	2.98	2.85	2.68	2.48	
errore (%)	5.9	8.9	7.8	7.4	6.8	6.2	5.42	4.87	5.33	
	300 kPa									
	1.1%	2.2%	3.4%	4.5%	5.6%	9.0%	11.3%	13.6%	18.20%	
E (Mpa)	3.23	3.43	3.41	3.45	3.31	3.22	3.13	3.05	2.87	
errore (%)	3.8	6.5	6.2	5.4	4.8	4	3.32	2.95	3.97	

Errore % a diversi valori della deformazione

	100 kPa		200 kPa		300 kPa	
	(%)	E (MPa)	(%)	E (MPa)	(%)	E (MPa)
GC2D2/R3 100-0	2.3	8.77	10.7	3.89	5.5	9.4
GC2D2/R3 95-5	4.3	4.69	11.1	3.29	13.6	4.65
GC2D2/R3 85-15	13.3	1.89	13.4	2.68	13.6	3.05

E' stata scelta la curva
corrispondente al rapporto delle
 $\varepsilon\%$ che presentava l'errore
minore.



APPLICAZIONI

- Calcolo dei cedimenti e del fattore di sicurezza di un rilevato stradale costituito dalle tre tipologie di terreno analizzate e caricato con un carico stradale come da normativa, rispettivamente 0-20-50 kPa.
- Calcolo del carico limite e del carico totale del terrapieno e dei relativi fattori di sicurezza FS. Con FLAC calcolo dei cedimenti in corrispondenza della mezzeria del piano del rilevato e del piano campagna.

Le applicazioni sono state sviluppate con l'ausilio dei software: **FLAC 2D** e **SLIDE**, al fine di confrontare i risultati.



FLAC[®] VERSION 8.1
Explicit Continuum Modeling of
Non-linear Material Behavior in 2D

 rocscience

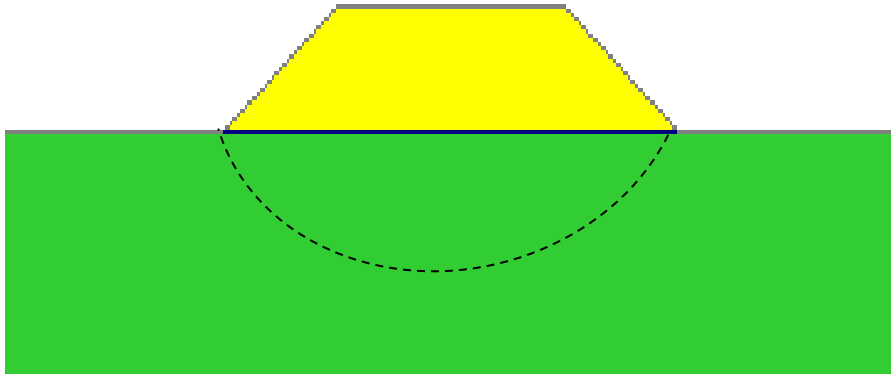
Slide

2D limit equilibrium slope stability
for soil and rock slopes

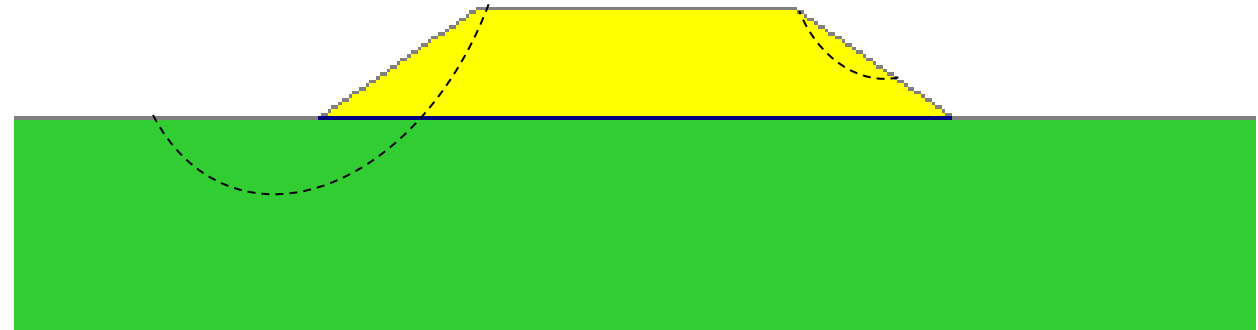
VERIFICHE DI STABILITA' DI UN RILEVATO



Calcolo dei cedimenti

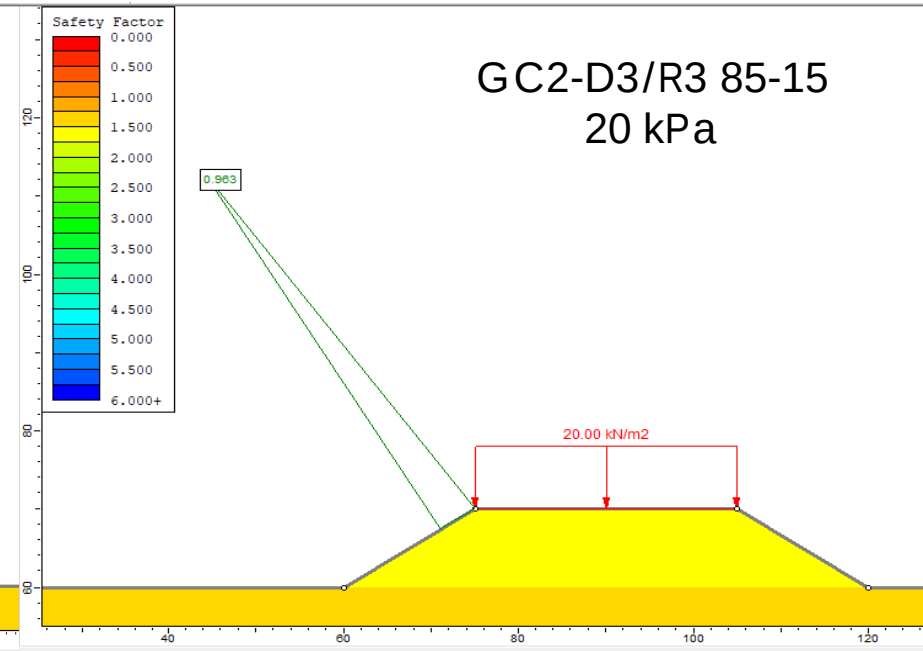
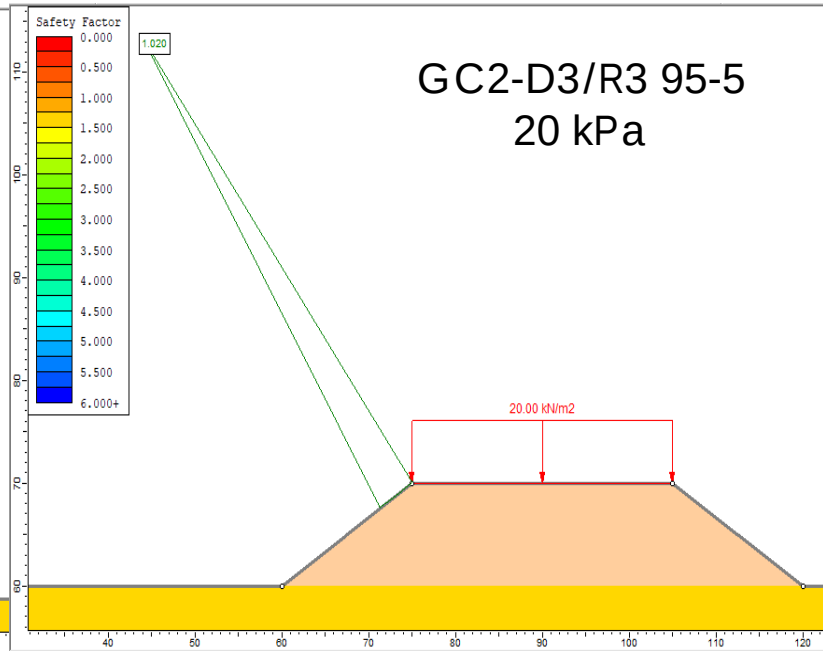
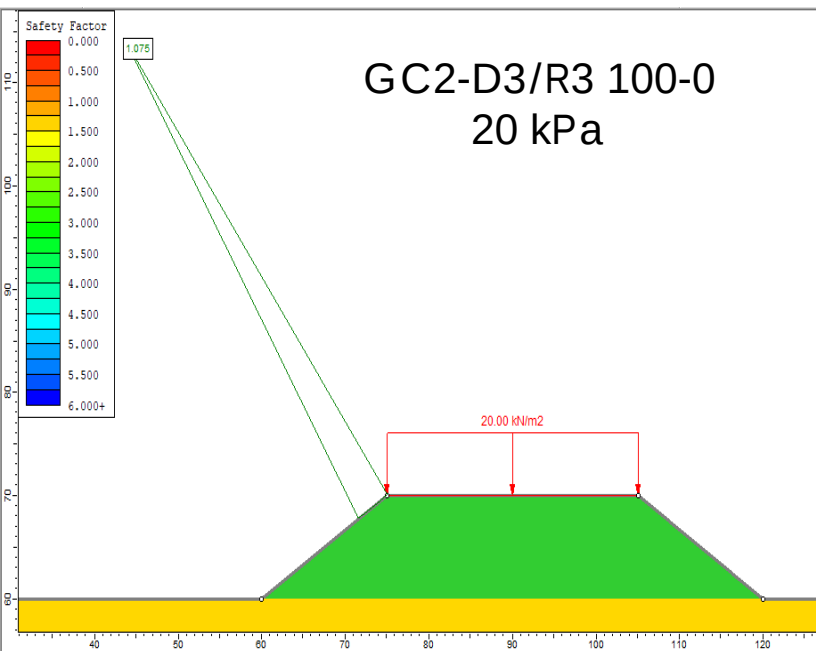
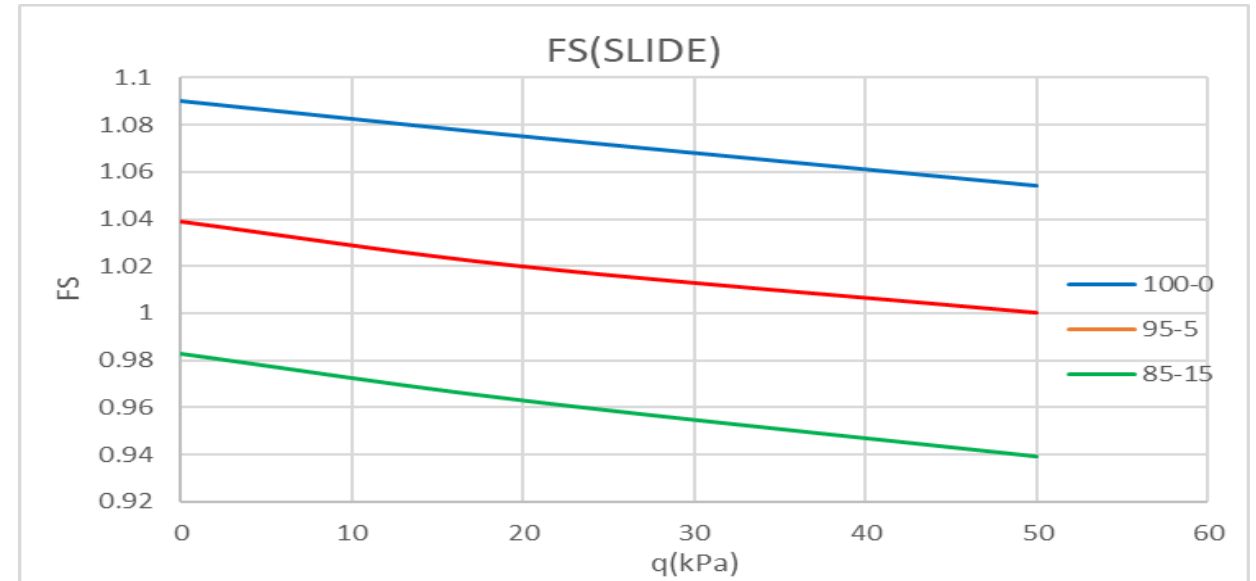


Verifiche di stabilità



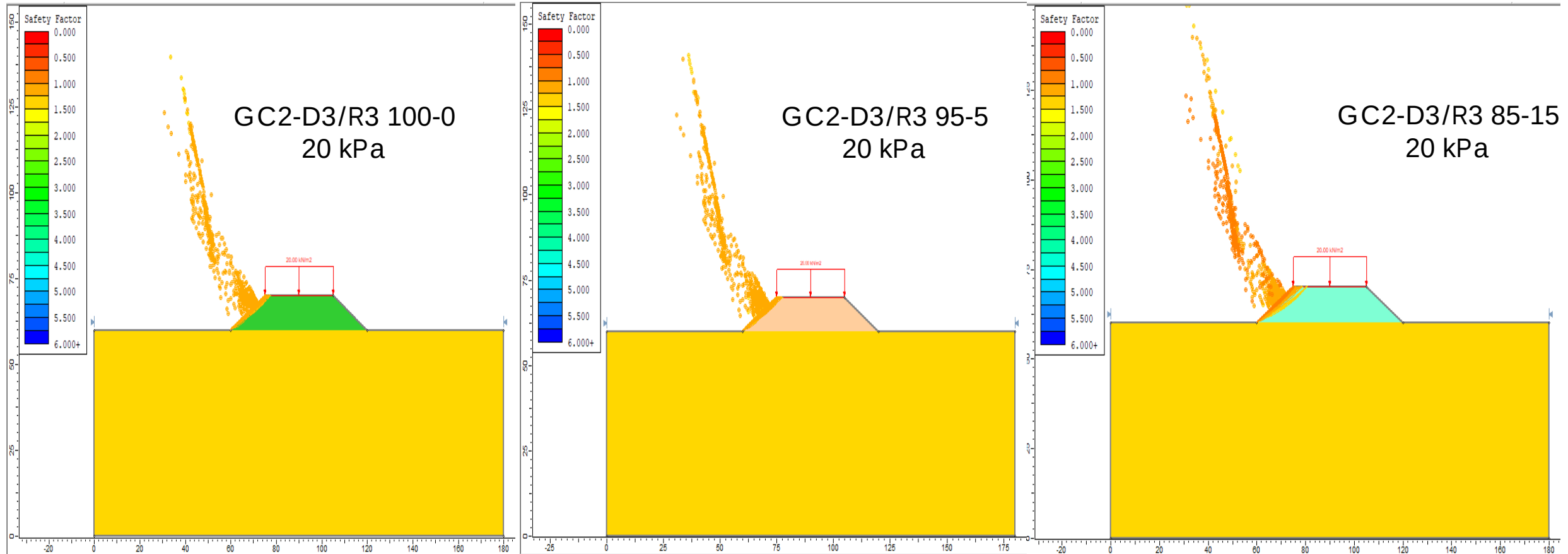
Calcolo del Fattore di Sicurezza FS

Slide	FS 0 kPa	FS 20kPa	FS 50kPa
GC2-D3/R3 100-0	1.09	1.075	1.054
GC2-D3/R3 95-5	1.039	1.02	1
GC2-D3/R3 85-15	0.983	0.963	0.939



Calcolo del Fattore di Sicurezza FS

Rilevati caricati con $FS < 1.3$

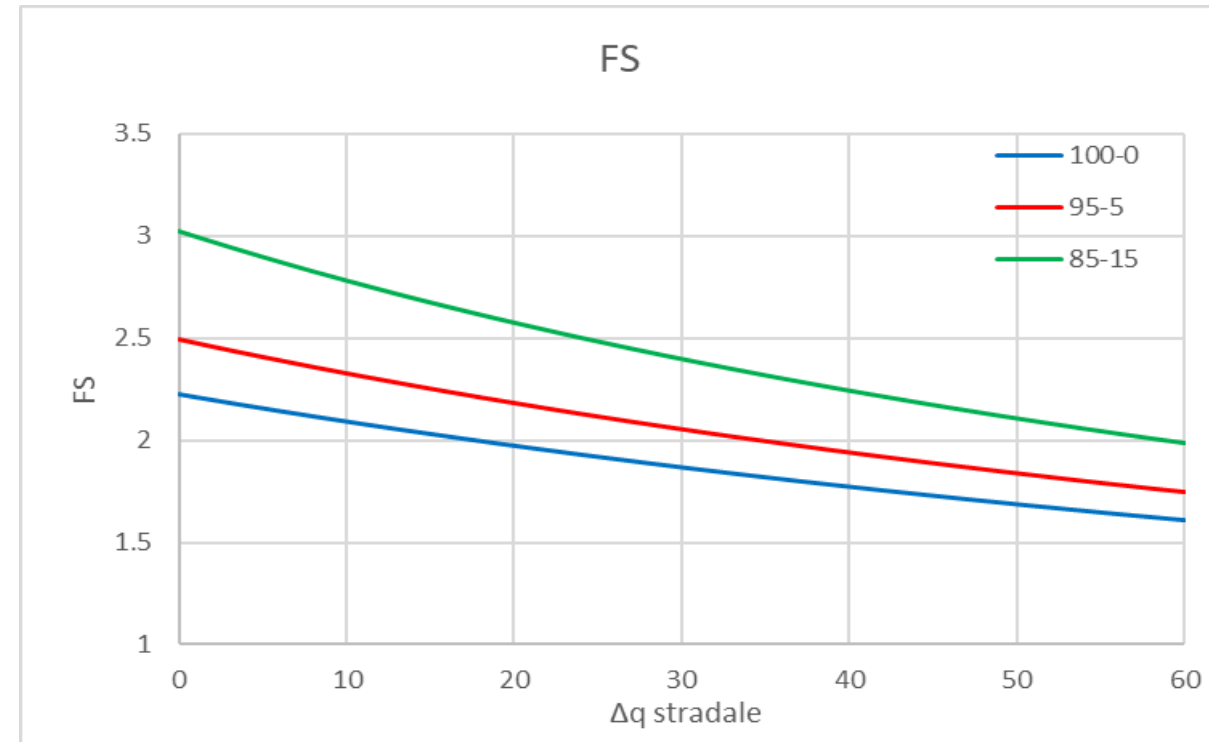


CALCOLO DEL CARICO LIMITE

Per la determinazione del carico limite abbiamo utilizzato l'analisi di Terzaghi in termini di tensioni totali (condizioni non drenate), che diventano:

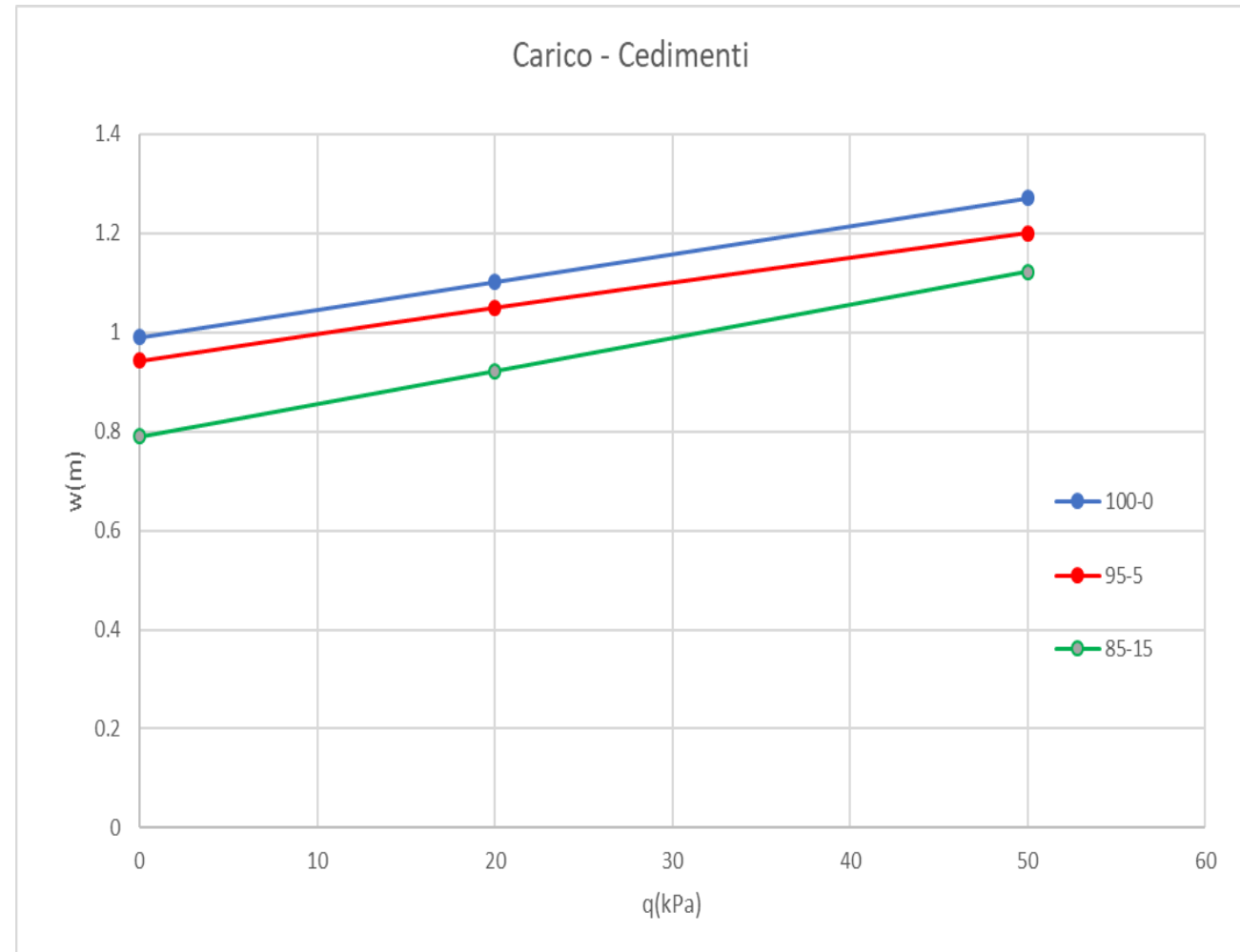
$$q_{lim} = N_c \cdot c_u = 5.14 \cdot c_{ud}$$
$$c_{ud} = c_u / 1.4$$

dove c_{ud} è la coesione di design non drenata del materiale.



Cedimenti sul piano del rilevato

100-0				
w max(m)	w max(cm)	load(kPa)	$\tan \beta$	β
0.99	99	0	0.066	1.31E+00
1.102	110.2	20	0.073466667	1.34E+00
1.271	127.1	50	0.084733333	1.37E+00
95-5				
w max(m)	w max(cm)	load(kPa)	$\tan \beta$	β
0.943	94.3	0	0.062866667	1.30E+00
1.05	105	20	0.07	1.33E+00
1.2	120	50	0.08	1.36E+00
85-15				
w max(m)	w max(cm)	load(kPa)	$\tan \beta$	β
0.79	79	0	0.052666667	1.25E+00
0.922	92.2	20	0.061466667	1.29E+00
1.122	112.2	50	0.0748	1.34E+00



CONCLUSIONI

- ✓ Abbiamo analizzato l'uso degli scarti di pneumatico per la realizzazione di rilevati stradali. Le nostre analisi, seppur in ipotesi semplificate, hanno concluso che certamente l'alleggerimento del rilevato grazie all'uso di materiali di scarto di pneumatici, nonostante la maggiore deformabilità, producano dei cedimenti del piano stradale che non aumentano, anzi nella maggior parte dei casi sono ridotti, rispetto al rilevato costituito dalla sola ghiaia.
- ✓ Rispetto alla stabilità della scarpata, le condizioni di stabilità sono garantite allo stesso modo che per i rilevati in ghiaia, purché la percentuale di gomma riciclata non superi il 5%.
- ✓ Certamente, poi, si ottiene un effetto benefico rispetto al carico limite nei terreni di fondazione all'aumentare della percentuale di gomma, stante l'alleggerimento dei carichi.

Di conseguenza, la gomma può essere riciclata in rilevati stradali senza grandi conseguenze negative rispetto alla performance del rilevato stradale stesso, ma con l'effetto benefico di poter riutilizzare materiale di scarto e di poter ridurre l'uso di materiale prezioso come la ghiaia di cava.



***Grazie per
l'attenzione***