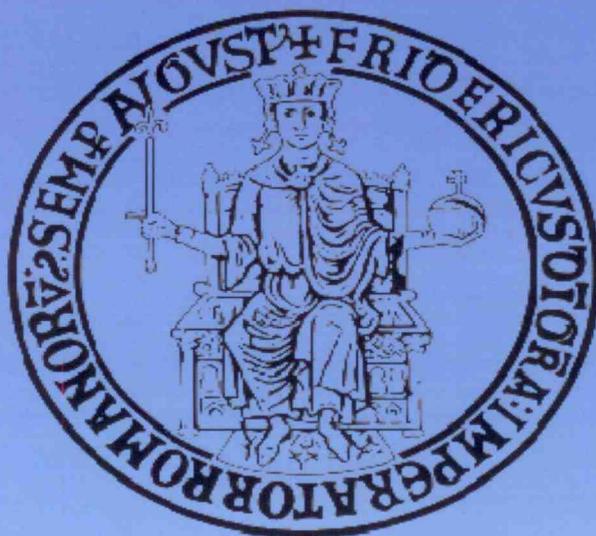


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI**  
**"FEDERICO II" DIPARTIMENTO DI**  
**INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE**



**Corso di Laurea Triennale in**  
**INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA:**  
**ADDITIVAZIONE DI ARGILLE AI CALCESTRUZZI CELLULARI PER**  
**IMPIEGHI GEOTECNICI**

**RELATORE**

Ch.mo Prof. Ing.  
Gianfranco Urciuoli

**CANDIDATO**

COSENTINO DARIO N49/425

**CORRELATORE**

Dott. Ing. Raffaele Papa

# Sintesi dell'elaborato di tesi

## ➤ **Introduzione e obiettivo di tesi**

- Descrizione Agente schiumogeno
- Descrizione del calcestruzzo Cellulare
- Descrizione metodo LWTS (Lightweight Treated Soil Method).

## ➤ **Attività sperimentale**

- Prove di Slump
- Preparazione dei provini con inerti fini e prove di compressione monoassiale

## ➤ **Conclusioni**

# Introduzione

Il seguente elaborato tratta l'impiego di argille come inerte nei calcestruzzi cellulari e l'utilizzo di schiume in applicazioni geotecniche

## Obiettivo

Utilizzo di schiume come fluidificanti di terreni negli scavi in galleria con TBM-EPB

Slump Test

Riutilizzo di argille con il metodo LightWeight Treated Soil

Preparazione e prove di compressione monoassiale

# Agente schiumogeno

La schiuma conferisce grande leggerezza al materiale con la quale viene miscelata grazie alla sua funzione di espandente, cioè crea bolle d'aria all'interno del materiale, formando una struttura porosa.

La macchina utilizzata in laboratorio per la sua produzione è la GN-100 AC. Tale macchina consente di regolare la pressione dell'aria, la densità della schiuma e la sua portata.

Dosatron

Schiuma

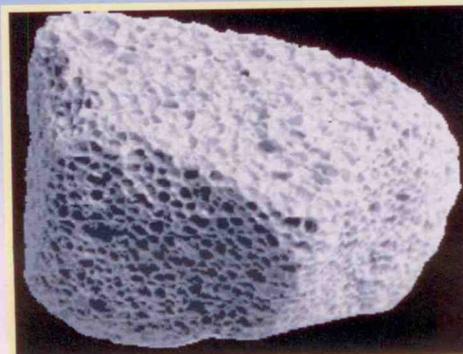


1

# Descrizione Calcestruzzo Cellulare

- Il calcestruzzo cellulare è costituito da 
  - Matrice Cementizia
  - Inerti (fine)
  - Agente schiumogeno

L'intero agglomerato presenta una quantità di piccole bolle d'aria in genere non comunicanti tra loro. Tale struttura è simile a quella di una spugna e grazie a tale caratteristica consente di avere un vantaggio dal punto di vista economico e statico essendo un materiale alleggerito.



2

# Lightweight Treated Soil Method

- Un terreno trattato è un materiale con densità compresa tra 0,6 e 1,5 g/cm<sup>3</sup> realizzato con:
  - Acqua
  - Agente schiumogeno
  - Cemento
  - Inerte fine
- Il materiale è dotato di alta fluidità.

3

# Parametri caratteristici dei Terreni Leggeri

- Densità

La densità viene regolata variando:

- La quantità di schiuma
- La densità della schiuma

- Dosaggio cemento

Maggiore è la quantità di cemento aggiunto alla miscela, maggiore è la sua resistenza alla compressione non confinata (qu).

- Contenuto d'acqua

Maggiore è il contenuto d'acqua dell'impasto liquido, maggiore è la sua fluidità, ma la resistenza risulta minore.

4

In breve si può affermare che:

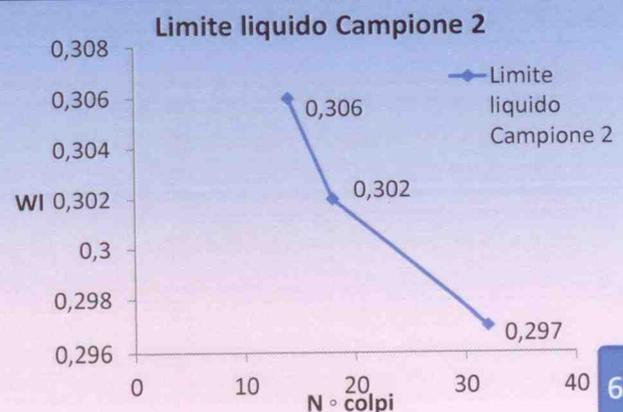
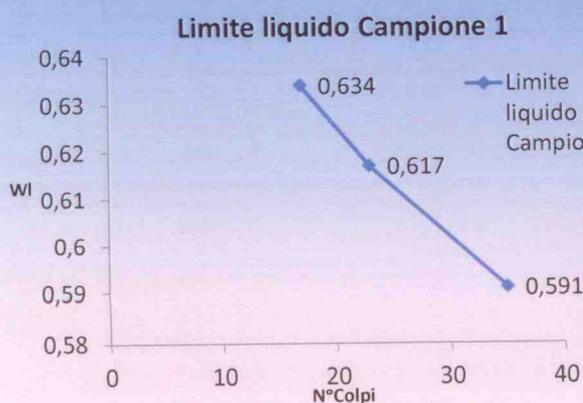
- I terreni alleggeriti, a differenza di un terreno naturale, sono materiali omogenei la cui densità e resistenza può essere regolata secondo le rispettive necessità.
- Ci consentono un riutilizzo efficiente del terreno di scarto e dei rifiuti da costruzione.
- Possono essere impiegati in qualsiasi forma senza compattazione, grazie alla sua fluidità.

5

## Caratteristiche fisiche generali terreni utilizzati per la sperimentazione

- Per la composizione delle due diverse miscele è stato utilizzato un terreno derivante da uno scavo in galleria: in particolare due tipi di Argille di Caposele.
- Determinazione dei parametri fisici.

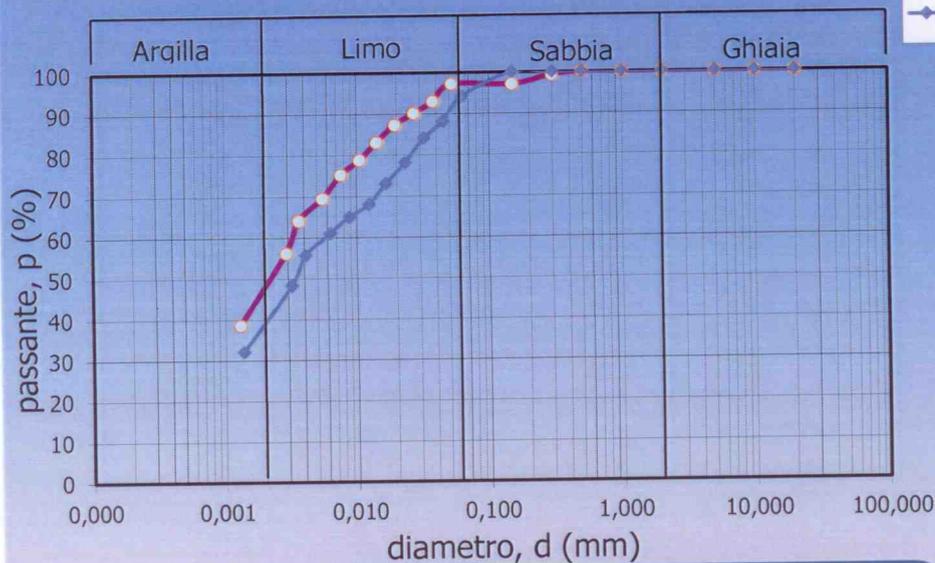
Campione	wl	wp	lp	s [gr/cm <sup>3</sup> ]
1	0.61	0.301	0.309	2.75
2	0.299	0.177	0.122	2.7



6

## • Analisi Granulometriche

### Fuso granulometrico (ARGILLA)



● campione 1  
● campione 2

Dati staccatura Campione 1	
diametri (mm)	trattenuto
0.4	0
0.3	0.43
0.15	1.63

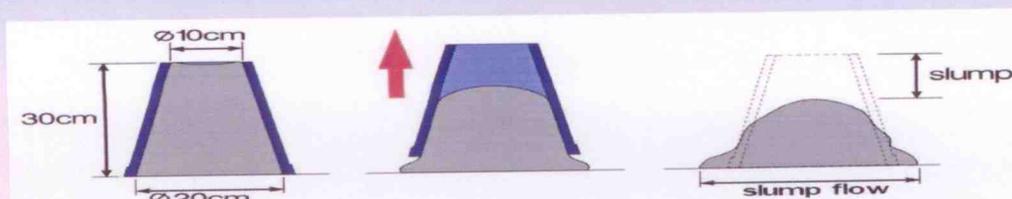
Dati staccatura Campione 2	
diametri (mm)	trattenuto
0.15	0
0.075	2.25

Nomenclatura  
LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO

7

## Attività sperimentale

- La **prima parte** della sperimentazione riguarda l'utilizzo di schiume come fluidificanti durante le operazioni di scavo in galleria eseguite con una macchina TBM-EPB.
- Si vuole valutare, in base alle quantità di agente schiumogeno e volume d'acqua finale aggiunto, come varia la consistenza di una miscela formata da: argilla, acqua e agente schiumogeno preformato.
- La miscela deve essere abbastanza fluida da garantire la giusta pressione sullo scudo che sorregge le pareti della galleria, ma abbastanza consistente da poter essere estratta attraverso un nastro trasportatore.
- **Slump test o prova di abbassamento del cono**
  - Si ritiene che lo slump ideale sia di 19 cm.



8

## Parametri che condizionano lo scavo in galleria:

- Nella pratica d'uso delle schiume in scavi con TBM-EPB sono utilizzati i seguenti parametri:
- FIR-Foam Injection Ratio %: rapporto tra il volume di schiuma ed il volume di terreno.
- FER-Foam Expansion Ratio %: rapporto tra il volume di schiuma e il volume di soluzione.
- Concentrazione %: rapporto tra il volume di additivo e volume di soluzione

9

## Prova di Slump

- Si riporta la scheda della composizione ideale e il grafico sintetico dei risultati ottenuti:

terreno	ARGILLA
$\gamma$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,5
schiumogeno	CLB F5/TM
c [%]	1,5

Prova 4 Slump ideale 18 cm

Parametri fissati per la  
composizione della  
miscela

Prova	4	Note	Foto
Peso materiale [kg]	10	ideale	
Volume materiale [l]	6,67		
w naturale	5%		
w acqua libera aggiunta [l]	1,48		
w iniziale [%]	20%		
FIR [%]	100%		
FER	10		
Peso schiuma [g]	650		
Altri additivi	-		
Quantitativi additivi [%]	0		
Quantitativi additivi [l]	0		
Liquido totale aggiunto [l]	2,13		
w finale	28%		
Slump [cm]	18		

10

## Calcestruzzi cellulari con inerti fini

La **seconda parte** dell'attività sperimentale tratta il riutilizzo di argille come inerte per la composizione di una miscela costituita da: acqua, agente schiumogeno, cemento e argilla, attraverso una specifica procedura di preparazione e successive prove di compressione monoassiale.

Miscela prodotta con il metodo LWTS



Set di provini



Provino indurito ed estruso



11

## Mix Design

Per poter ottenere una miscela con le giuste proporzioni di legante, agente schiumogeno e contenuto d'acqua, al fine di ottenere un materiale che soddisfi i parametri di progetto, occorre far variare alcuni parametri di maggiore influenza come: quantità di cemento, acqua, quantità di schiumogeno e quantità di inerte fine.

**Nel caso in esame sono stati utilizzati i seguenti parametri:**

- Quantità di cemento per metro cubo ( $120 \text{ kg/m}^3$  e  $150 \text{ Kg/m}^3$ )
- Quantità di agente schiumogeno ( $32 \text{ kg/m}^3$  e  $34 \text{ kg/m}^3$ )
- Contenuto d'acqua per impasto ( $W=2.4*WL$ )
- Quantità di inerte fine ( $340 \text{ kg/m}^3$  e  $380 \text{ kg/m}^3$ )

12

## Tabelle descrittive dei parametri utilizzati per la composizione delle miscele

VALORI DA FISSARE			VALORI CALCOLATI		
$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1	Densità LTS (obiettivo)	wt/wl	2.43	
wt	1.50	contenuto d'acqua finale del terreno	n1 (1/c)	40.0	diluting factor
$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.75	Peso specifico terreno	$\rho_t$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1.34	Peso specifico terreno+acqua
$\rho_w$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1	Peso specifico acqua	ma [kg/m <sup>3</sup> ]	0.82	Peso di tensioattivo per 1m <sup>3</sup>
$\rho_c$ [g/cm <sup>3</sup> ]	3.1	Peso specifico cemento	ms [kg/m <sup>3</sup> ]	338.80	Peso di terreno per 1m <sup>3</sup>
c [%]	2.5%		mw [kg/m <sup>3</sup> ]	508.21	Peso di acqua per 1m <sup>3</sup>
n2	10	FER	mfoam [kg/m <sup>3</sup> ]	32.99	Peso di schiuma per 1m <sup>3</sup>
mc [kg/m <sup>3</sup> ]	120	quantità di cemento per 1m <sup>3</sup>	tot [kg/m <sup>3</sup> ]	1'000.00	Peso per 1m <sup>3</sup>

VALORI CALCOLATI		
Vc [m <sup>3</sup> ]	38.7097	Volume di tensioattivo per 1m <sup>3</sup>
Vs [m <sup>3</sup> ]	123.20	Volume di terreno per 1m <sup>3</sup>
Vw [m <sup>3</sup> ]	508.21	Volume di acqua per 1m <sup>3</sup>
Vf [m <sup>3</sup> ]	329.88	Volume di schiuma per 1m <sup>3</sup>
tot [m <sup>3</sup> ]	1'000.00	

Miscela con 120 kg/m<sup>3</sup> di cemento

13

## Tabelle descrittive dei parametri utilizzati per la composizione delle miscele

VALORI DA FISSARE			VALORI CALCOLATI		
$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1	Densità LTS (obiettivo)	wt/wl	2.43	
wt	1.50	contenuto d'acqua finale terreno	n1 (1/c)	40.0	diluting factor
$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.75	Peso specifico terreno	$\rho_t$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1.34	Peso specifico terreno+acqua
$\rho_w$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1	Peso specifico acqua	ma [kg/m <sup>3</sup> ]	0.86	Peso di tensioattivo per 1m <sup>3</sup>
$\rho_c$ [g/cm <sup>3</sup> ]	3.1	Peso specifico cemento	ms [kg/m <sup>3</sup> ]	326.26	Peso di terreno per 1m <sup>3</sup>
c [%]	2.5%		mw [kg/m <sup>3</sup> ]	489.38	Peso di acqua per 1m <sup>3</sup>
n2	10	Fer	mfoam [kg/m <sup>3</sup> ]	34.36	Peso di schiuma per 1m <sup>3</sup>
mc [kg/m <sup>3</sup> ]	150	quantità di cemento per 1m <sup>3</sup>	tot [kg/m <sup>3</sup> ]	1'000.00	Peso per 1m <sup>3</sup>

VALORI CALCOLATI		
Vc [m <sup>3</sup> ]	48.3871	Volume di tensioattivo per 1m <sup>3</sup>
Vs [m <sup>3</sup> ]	118.64	Volume di terreno per 1m <sup>3</sup>
Vw [m <sup>3</sup> ]	489.38	Volume di acqua per 1m <sup>3</sup>
Vf [m <sup>3</sup> ]	343.59	Volume di schiuma per 1m <sup>3</sup>
tot [m <sup>3</sup> ]	1'000.00	

Miscela con 150 kg/m<sup>3</sup> di cemento

14

## Preparazione della miscela

E' stata preparata una miscela costituita da: argilla, acqua, agente schiumogeno in concentrazione pari al 2.5% e una quantità di cemento per metro cubo variabile tra 120 e 150 Kg/m<sup>3</sup>.

### Procedura utilizzata:

- Identificazione del terreno
- Definizione dei parametri che influenzano la miscela
- Trasformazione dell'argilla in fango
- Aggiunta di agente schiumogeno
- Aggiunta di cemento e formazione dei provini

Miscela costituita da:  
acqua e argilla



Miscela costituita da: acqua, argilla,  
agente schiumogeno, cemento



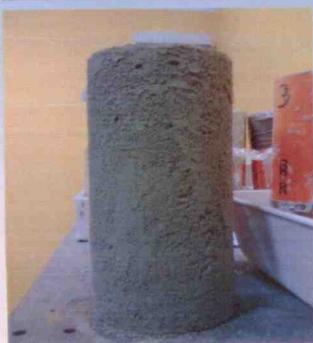
15

## Preparazione gruppo di provini

- Preparati i provini è stata misurata la variazione di densità nel tempo delle due miscele ed è stata eseguita una prova di compressione monoassiale a diversi tempi di maturazione



Maturazione all'aria  
alla temperatura di 20°  
MC/120 (5,6,7,8)  
MC/150 (1,2,3,4)



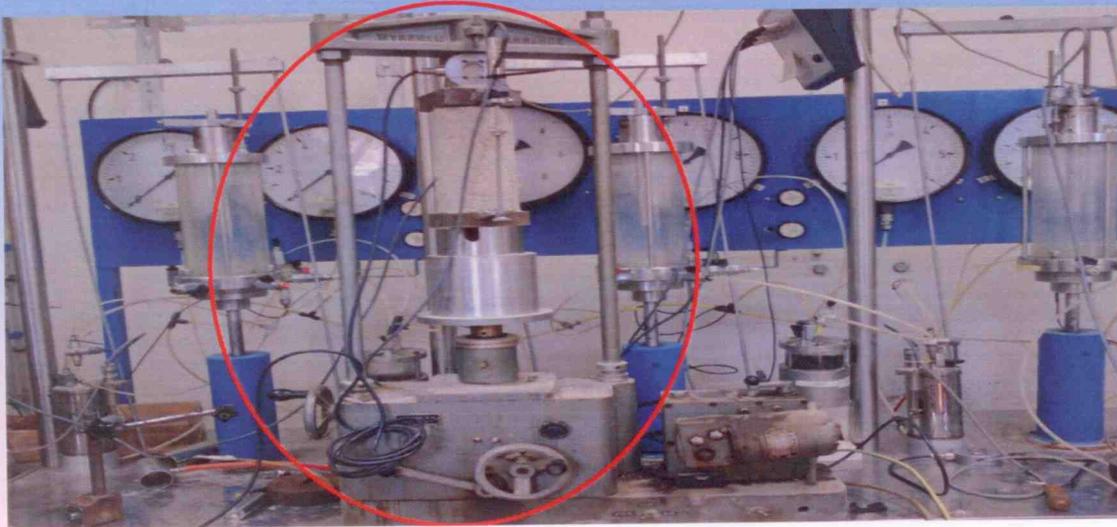
Estrusione dei provini

16

# Prova Compressione Monoassiale

- Tale prova fornisce le caratteristiche meccaniche del materiale in termini di tensioni e deformazioni.
- Macchina di compressione monoassiale.**

Strumenti di misura: Cella di carico (500 Kg) e due LVDT



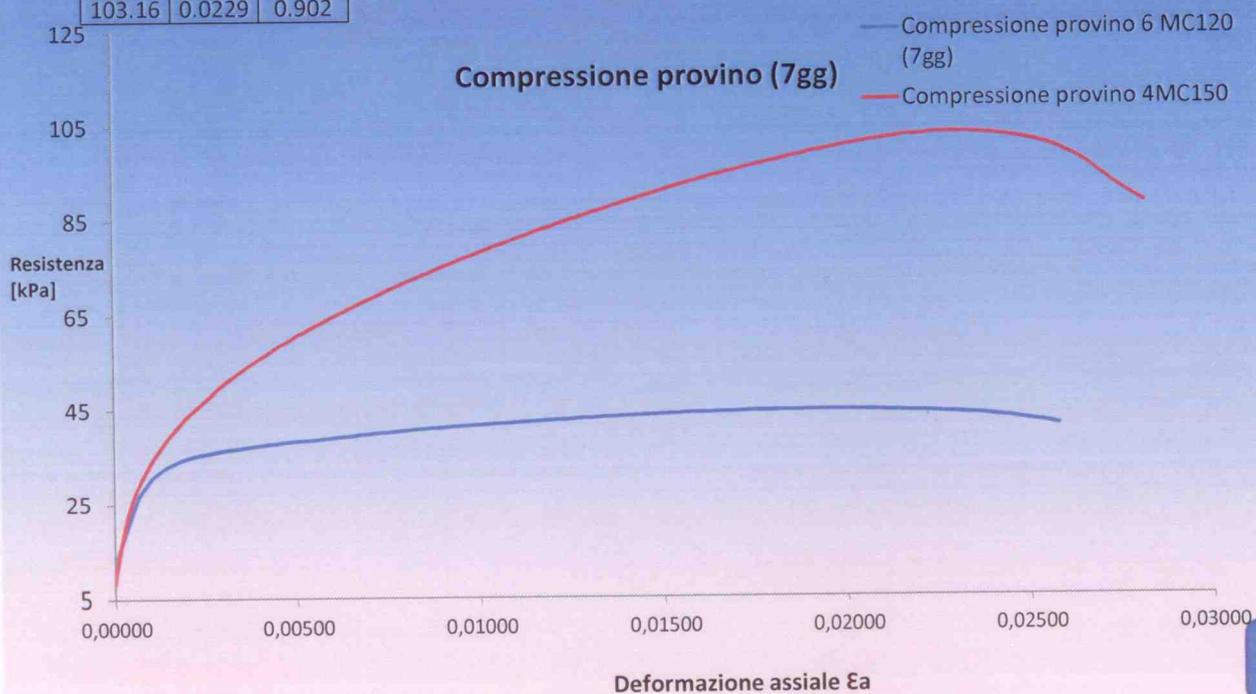
17

## Provini sottoposti a prova dopo 7 giorni dalla fase di maturazione

kPa	$\epsilon_a$	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
44.46	0.019	0.728
103.16	0.0229	0.902

Provino 6 MC/120

Provino 4 MC/150



18

## Provini sottoposti a prova con massa di cemento per metro cubo MC/150

kPa	$\epsilon_a$	$\rho$ [g/cmc]
103.16	0.0229	0.902

Provino 4

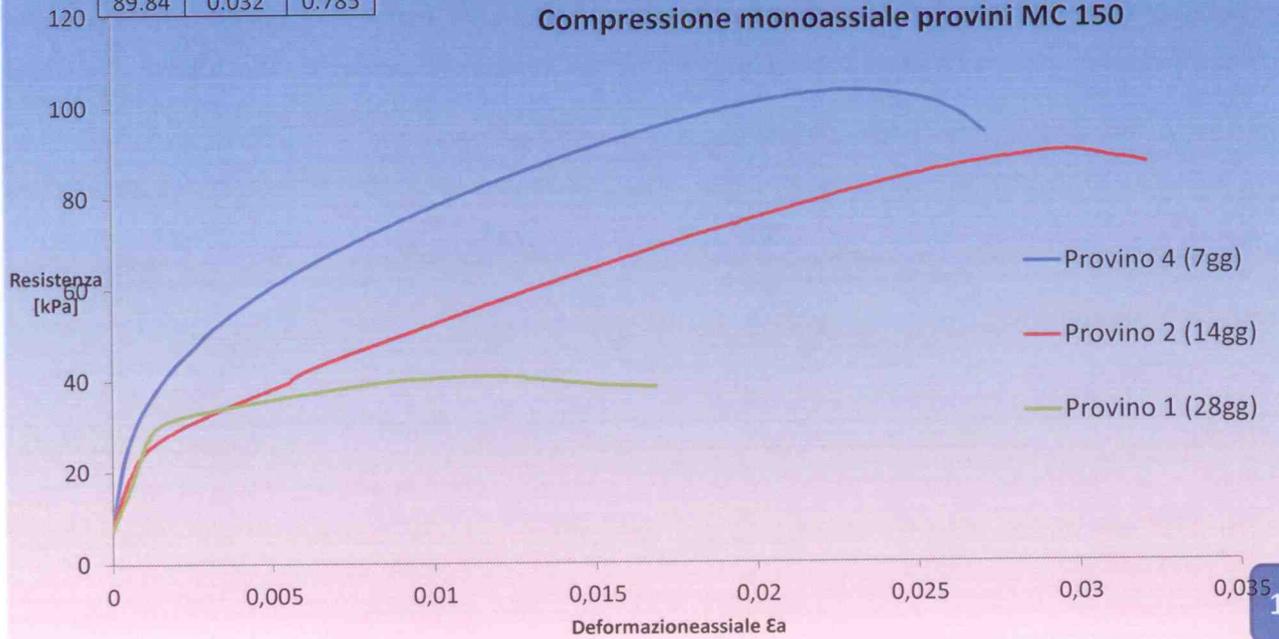
kPa	$\epsilon_a$	$\rho$ [g/cmc]
40.920	0.012	0.730

Provino 1

kPa	$\epsilon_a$	$\rho$ [g/cmc]
89.84	0.032	0.785

Provino 2

Compressione monoassiale provini MC 150



19

## Diagramma rappresentativo della densità al variare del tempo

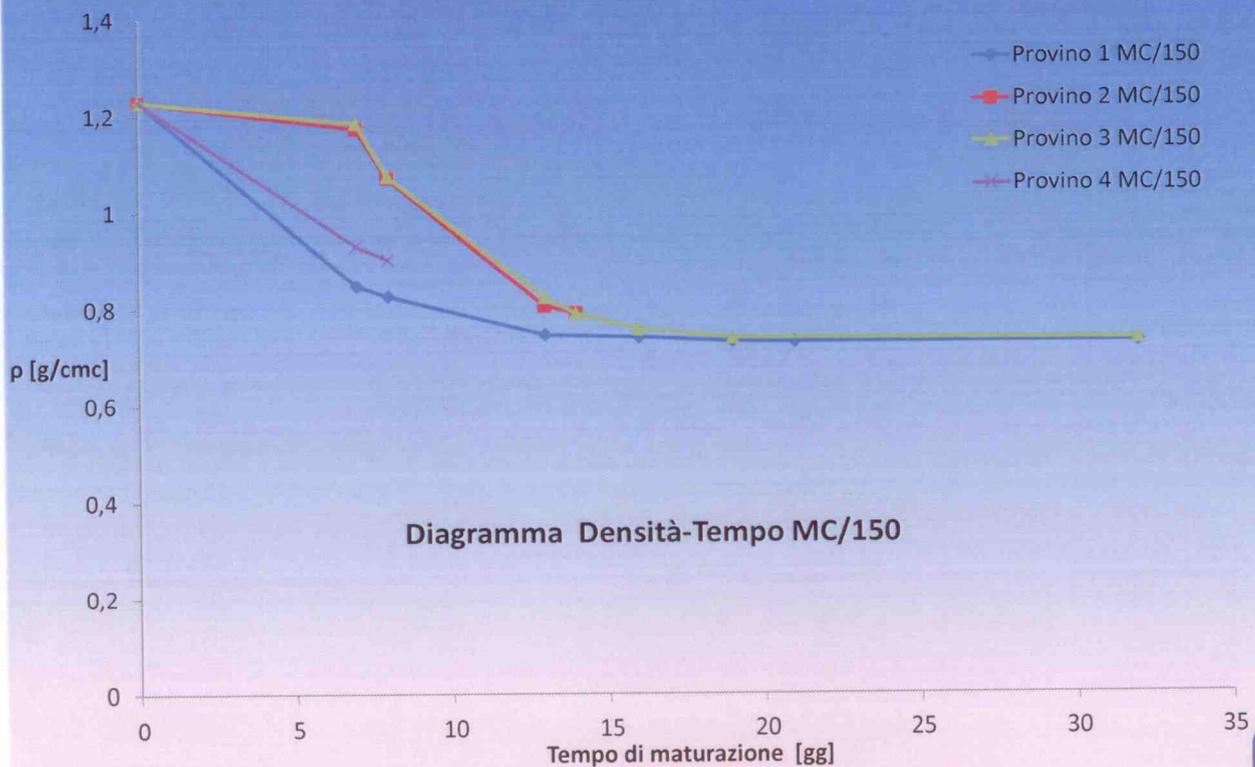
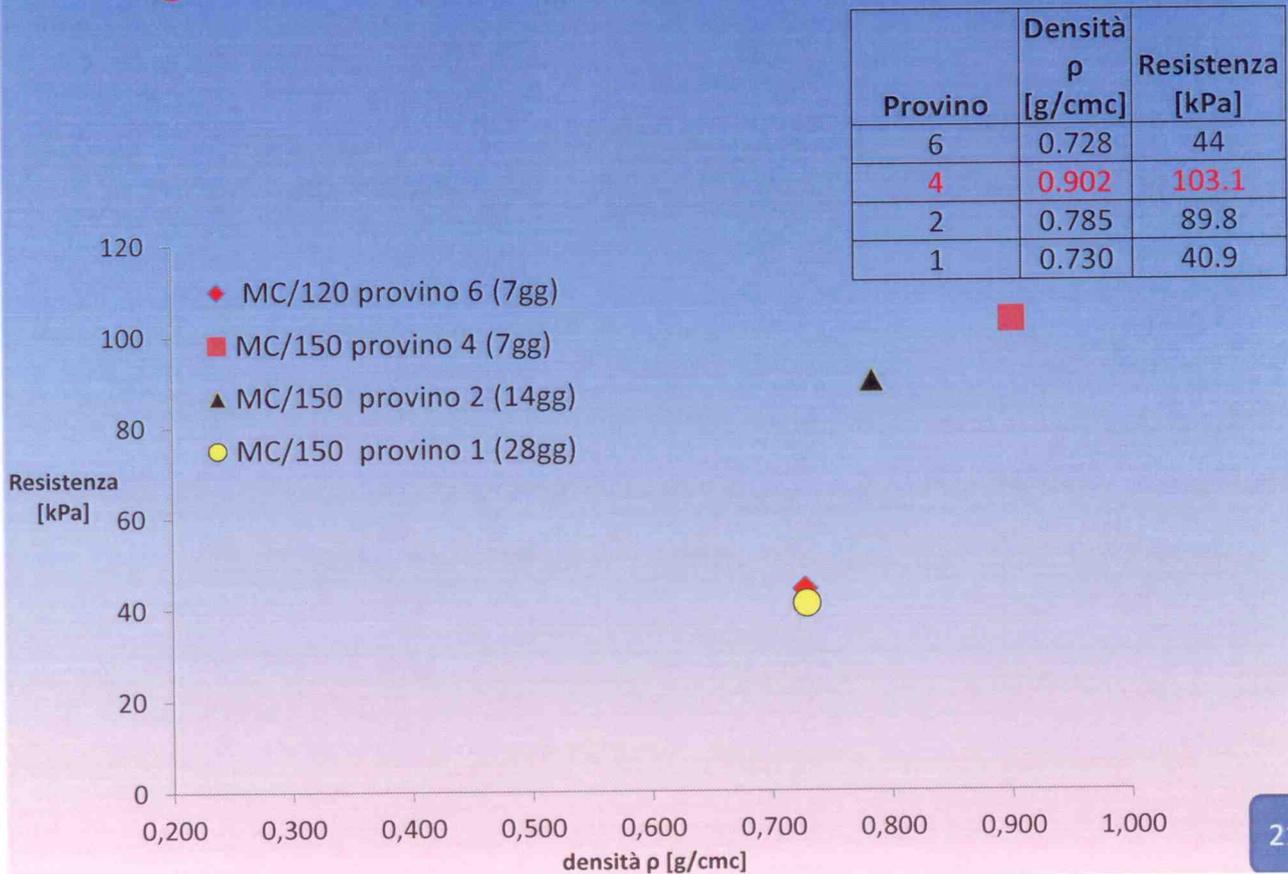


Diagramma Densità-Tempo MC/150

20

## Diagramma rappresentativo densità- Resistenza



21

## Conclusioni

- La sperimentazione ha fornito indicazioni circa la concentrazione di schiuma ottimale da utilizzare per effettuare uno scavo in galleria per il raggiungimento ottimale di consistenza in modo tale da poter scavare ed estrarre materiale attraverso una macchina TBM.
- Per il riutilizzo di inerti fini derivanti da uno scavo in galleria, la sperimentazione dà conto di buone caratteristiche meccaniche, che al passare del tempo si riducono per un fenomeno di degrado meccanico che sembrerebbe in parte già risolto grazie alle ipotesi fatte precedentemente.

22