



## CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI E DELLE ROCCE

Lunedì 2 settembre, ore 14-18

Paolo Croce:

Obiettivi e tecniche di consolidamento dei terreni

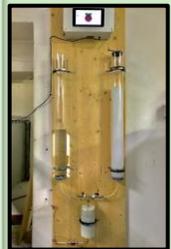
Giuseppe Modoni:

Progettazione degli interventi colonnari basata su evidenze sperimentali

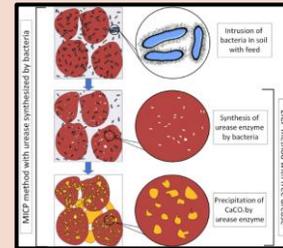
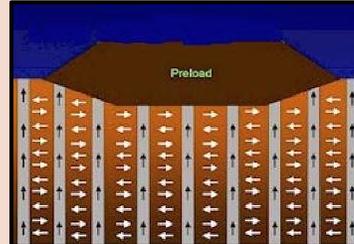
**Erminio Salvatore:**

**Sperimentazione di laboratorio per lo sviluppo e l'ottimizzazione delle tecniche di consolidamento**

## SPERIMENTAZIONE DI LABORATORIO



## TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO IN-SITU



Sperimentazioni proposte:

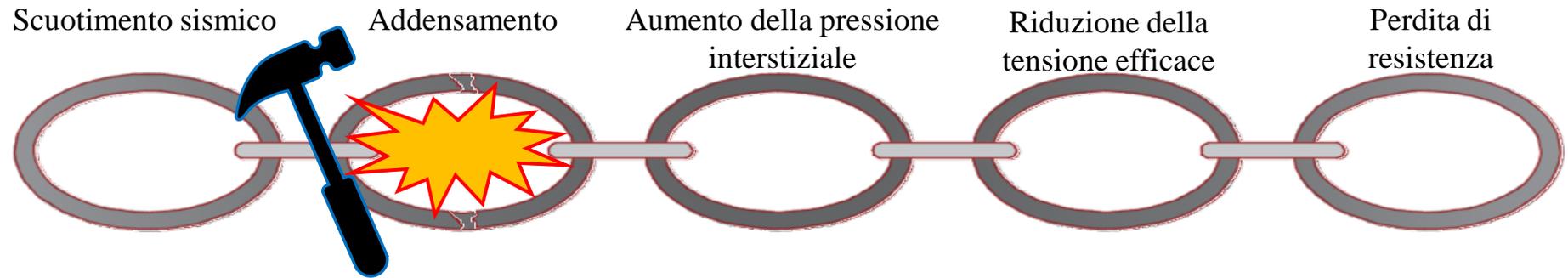
- *Mitigazione della suscettibilità a liquefazione con iniezione di nanosilice colloidale*
- *Miglioramento della performance del deep soil mixing con additivi chimici*
- *Uso di additivi fluidificanti per il miglioramento della performance del jet-grouting*



## INIEZIONI A BASSA PRESSIONE DI MISCELE A BASE DI NANO-SILICE COLLOIDALE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE



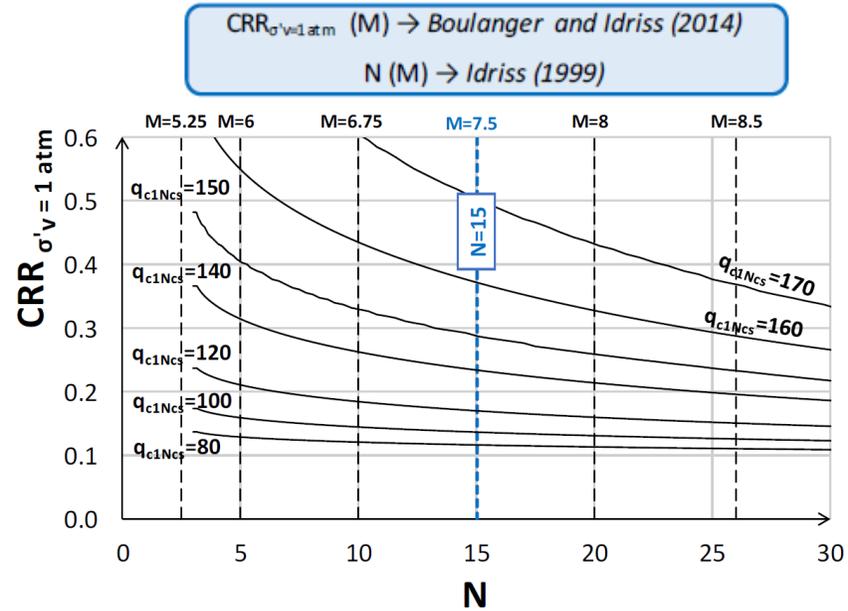
Effetti



Fattori predisponenti

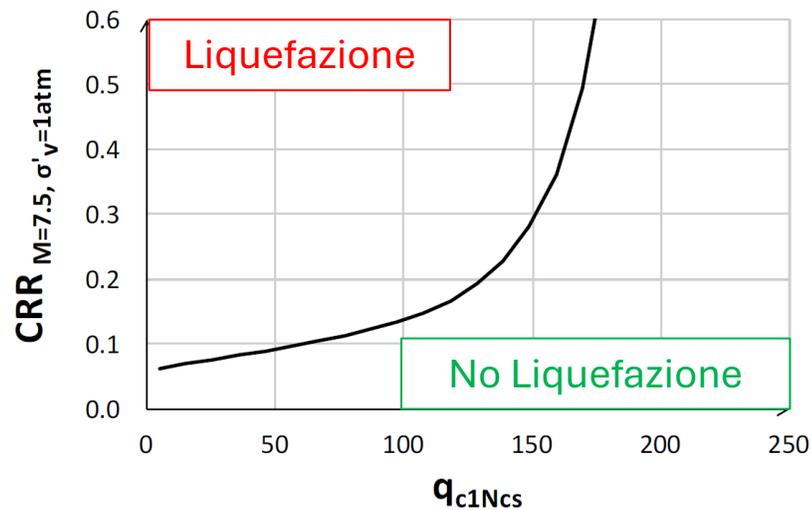
Sisma      Sabbie sciolte      Drenaggio impedito

Iniezioni a bassa pressione di nanosilice colloidale

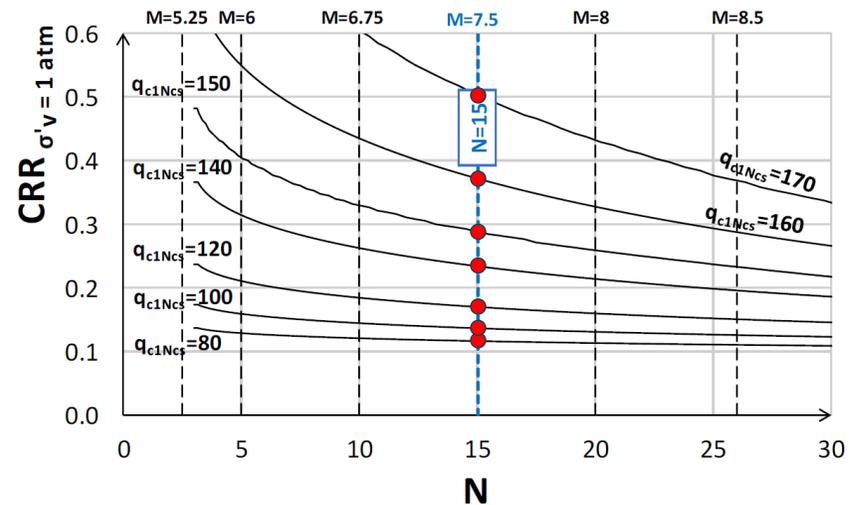


FENOMENOLOGIA DELLA LIQUEFAZIONE

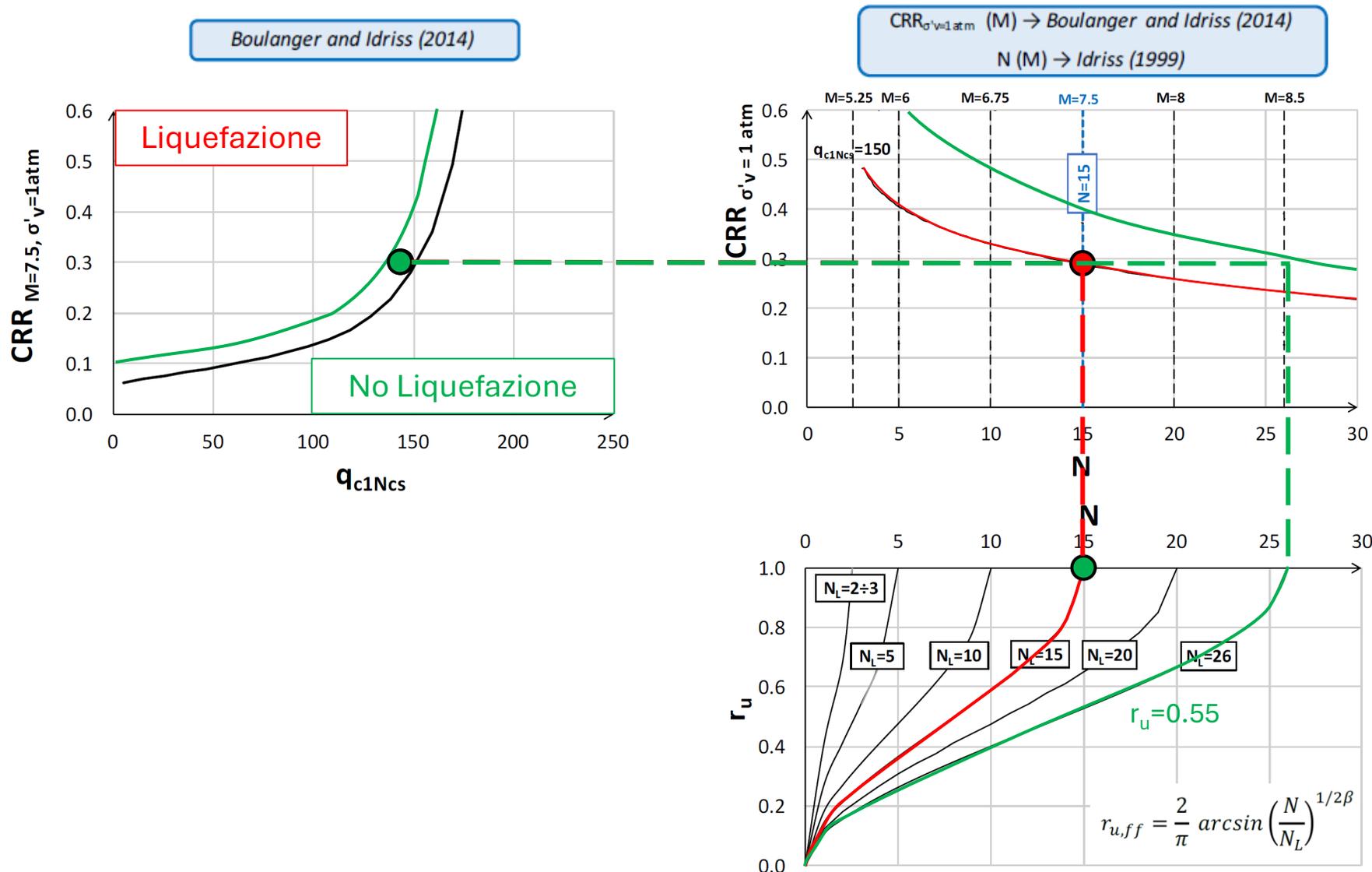
Boulanger and Idriss (2014)



$CRR_{\sigma'_v=1atm} (M) \rightarrow$  Boulanger and Idriss (2014)  
 $N (M) \rightarrow$  Idriss (1999)

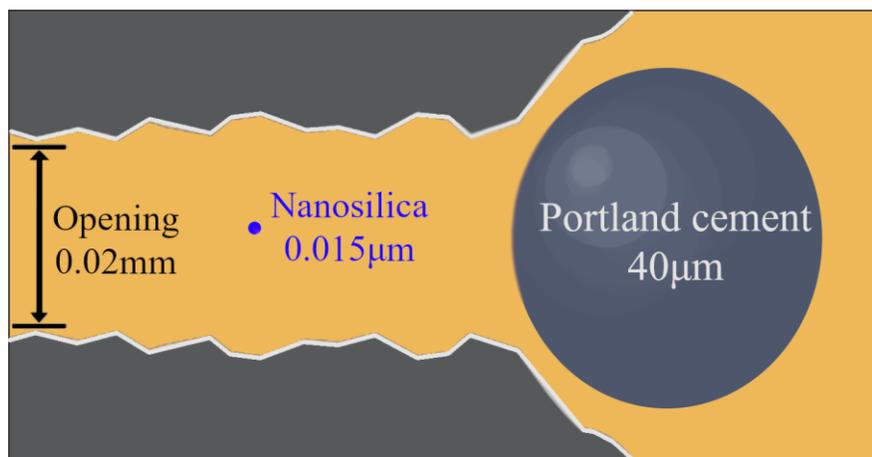


## FENOMENOLOGIA DELLA LIQUEFAZIONE

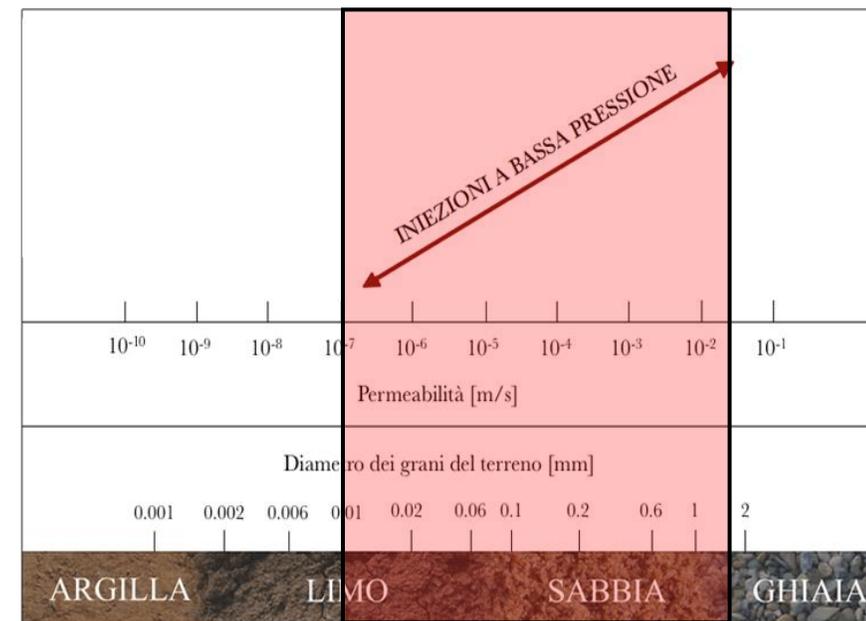


Caratteristiche della nanosilice colloidale

- È una miscela minerale
- Particelle insolubili di  $S_iO_2$  da 4 a 16nm
- Bassissima viscosità



- Principali materiali da iniezione

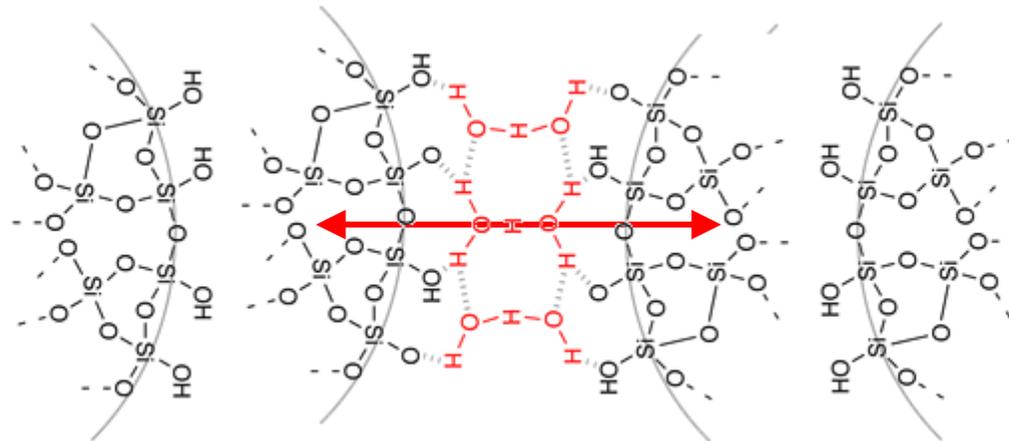


- Diagramma di iniettabilità della nanosilice colloidale

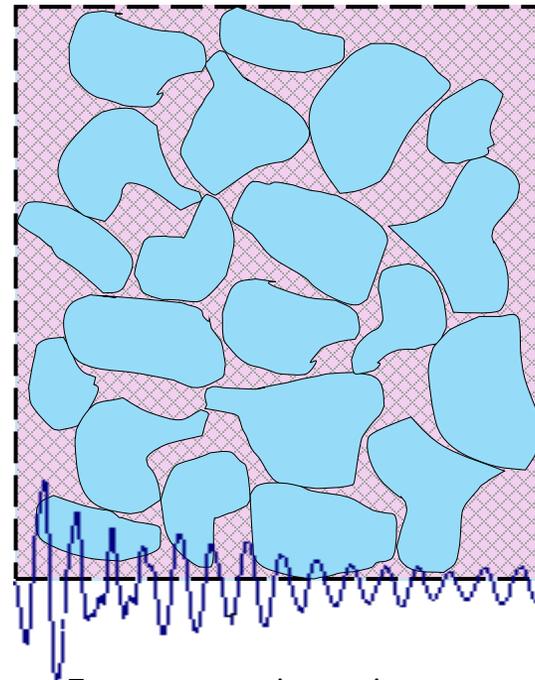
La reazione di gelificazione:



Struttura molecolare



La reazione di gelificazione:



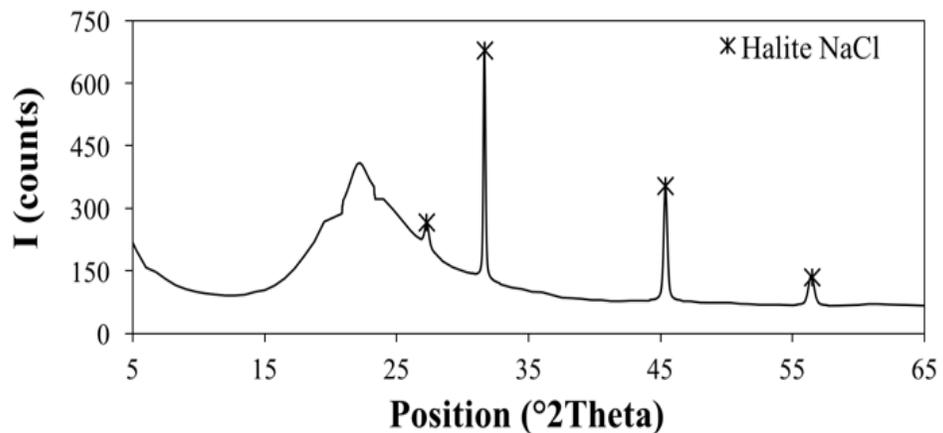
- Trattamento nei terreni

La nanosilice colloidale - MasterRoc MP325:

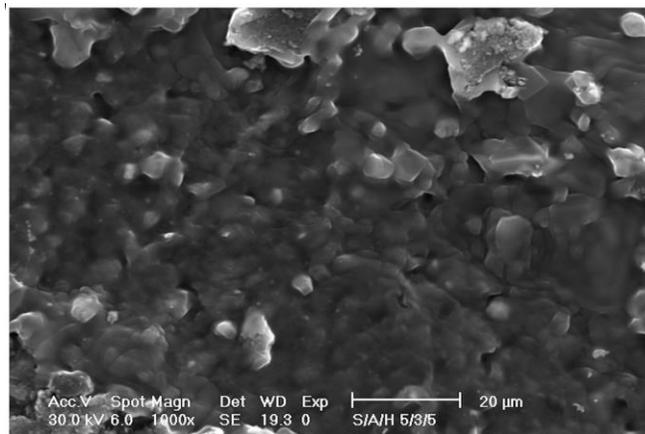
MasterRoc MP 325	
Densità (20°C)	1.1 kg/l
Viscosità (20°C)	10 mPa s
Contenuto di SiO <sub>2</sub>	15%
pH	10

Accelerante	
Densità (20°C)	1.07 kg/l
Viscosità (20°C)	1 mPa s
pH	7

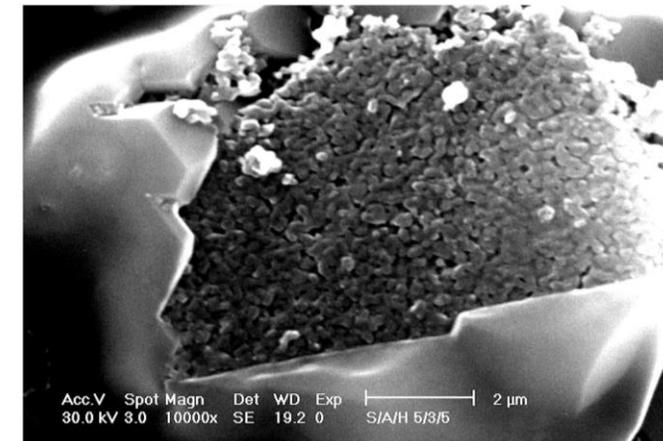
Analisi della microstruttura del gel di silice



- Diffrazione ai raggi-x sul gel di silice



- Immagini SEM del gel di silice

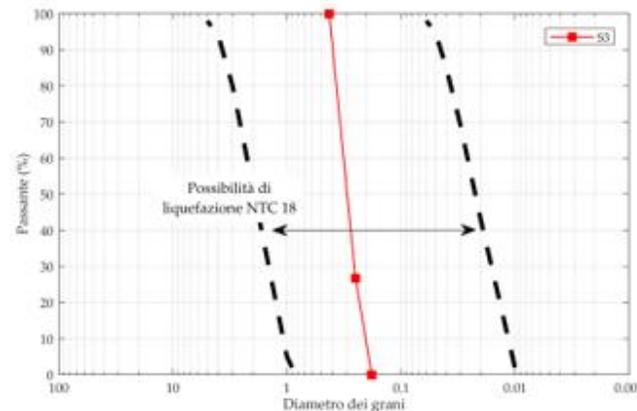


(Salvatore et al., 2020)

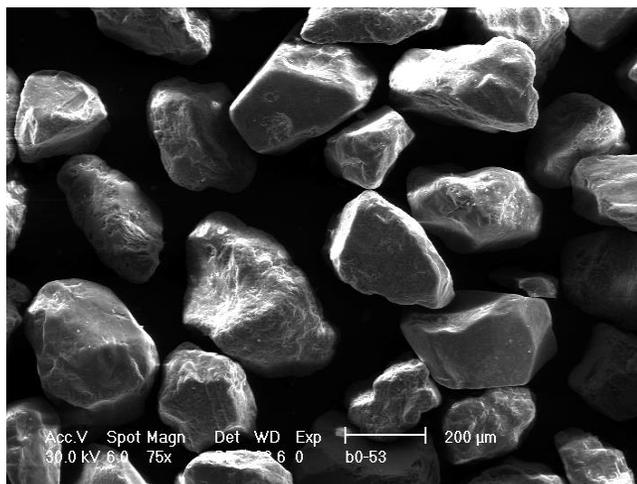
### La sabbia di Fossanova:



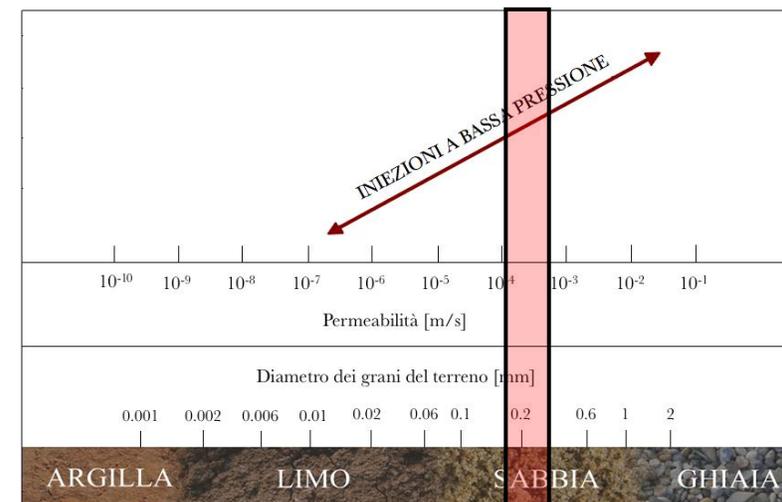
• Immagine Google Earth



• Distribuzione granulometrica



• Immagine SEM della sabbia di Fossanova



• Diagramma di iniettabilità della nanosilice colloidale

Componente	% in volume
Ossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ )	90-96
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	1.35 min
Ossido di ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0.13 max
Ossido di potassio ( $\text{K}_2\text{O}$ )	1.1 max

• Composizione chimica della sabbia di Fossanova

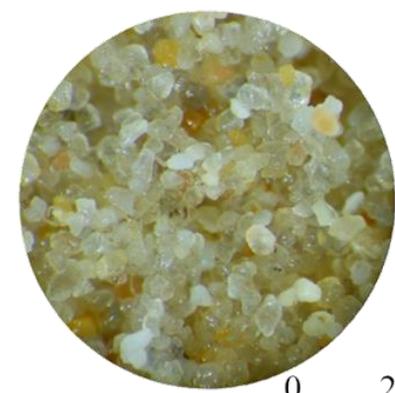
ID	Solid nanosilicate fraction $w_s(\%)$	Activator fraction $w_{NaCl}(\%)$
----	--	-----------------------------------

a	-	-
b	1.25	2
c	12.50	2

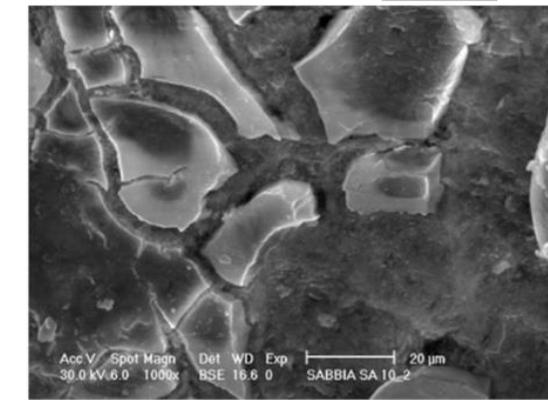
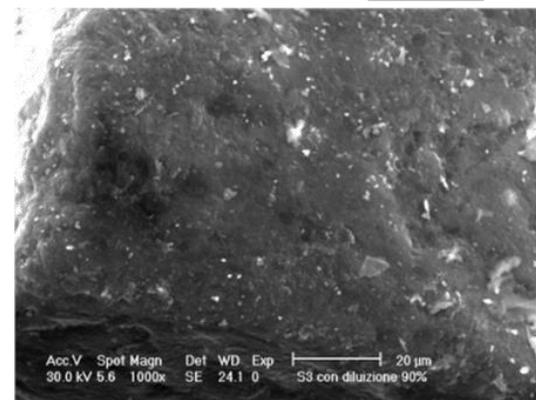
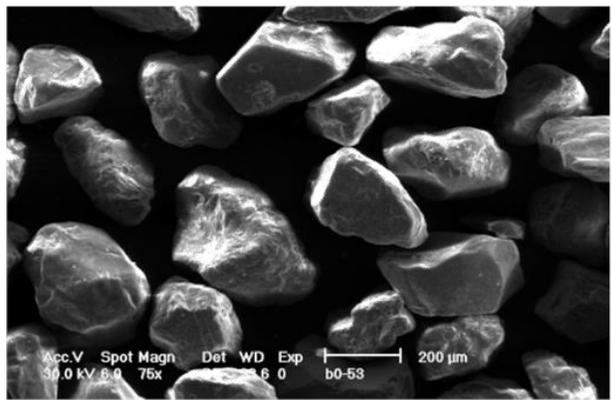
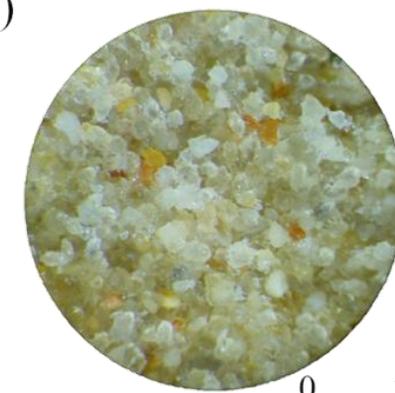
a)



b)



c)

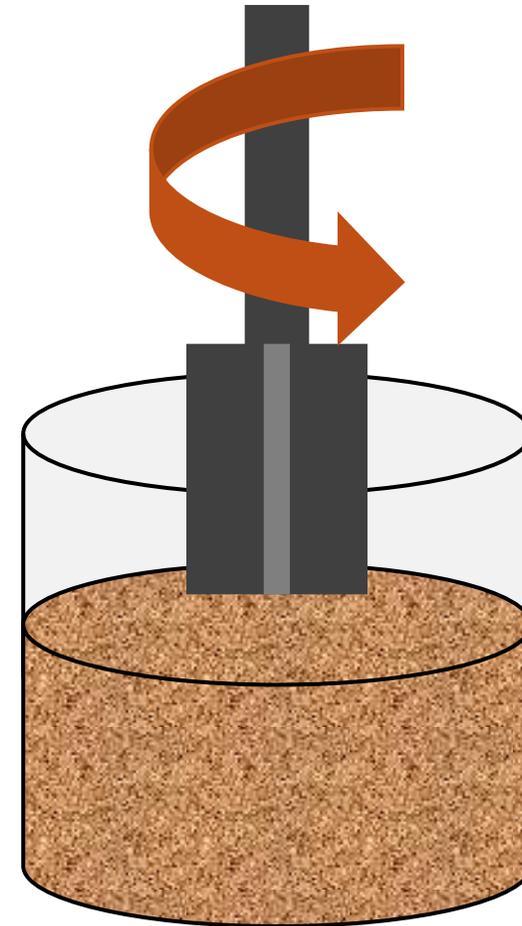


- Immagini stereofotogrammetriche e SEM del terreno trattato con iniezioni a concentrazione di nanosilice crescente. (Salvatore et al., 2020)

Prove scissometriche su campioni trattati



- Apparecchiatura scissometrica



- Prova scissometrica

Prove scissometriche su campioni trattati

Coating



Riempimento ( $e_0=0.83$ )

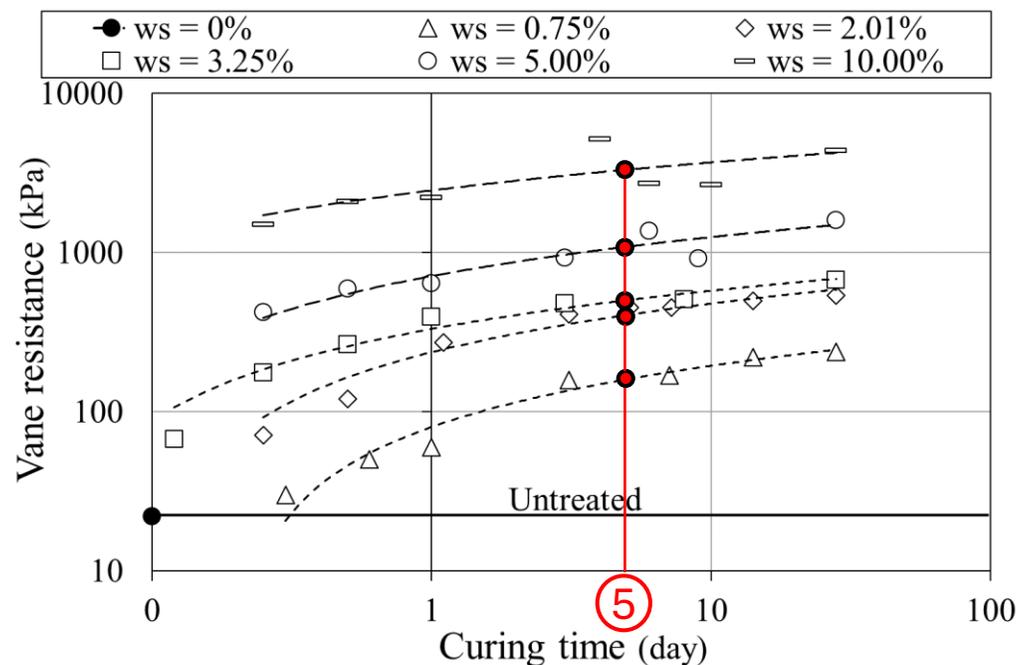


Iniezione della miscela



Prove scissometriche su campioni trattati

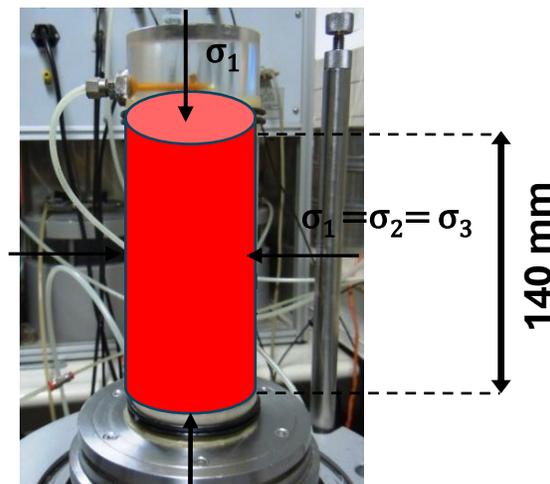
Frazione di nanosilice nella miscela iniettata (%)	Water (%)	Activator (%)	$w_s$ (%)	$w_{NaCl}$ (%)	Incremento di resistenza al vane dopo 28 giorni (%)
5.0	75.0	20.0	0.75	2.0	982
13.4	66.6	20.0	2.01	2.0	2332
21.7	58.3	20.0	3.25	2.0	2964
33.3	46.7	20.0	5.00	2.0	7173
66.7	13.3	20.0	10.00	2.0	19900



Prove triassiali



- Apparato triassiale in uso presso l'Università di Cassino

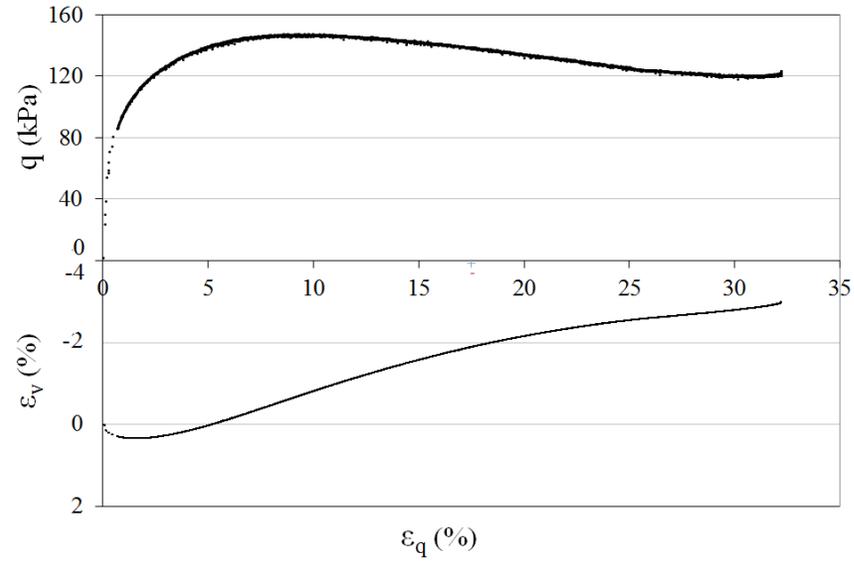


- Provino cilindrico per prova triassiale

Prove triassiali

**FCL50**

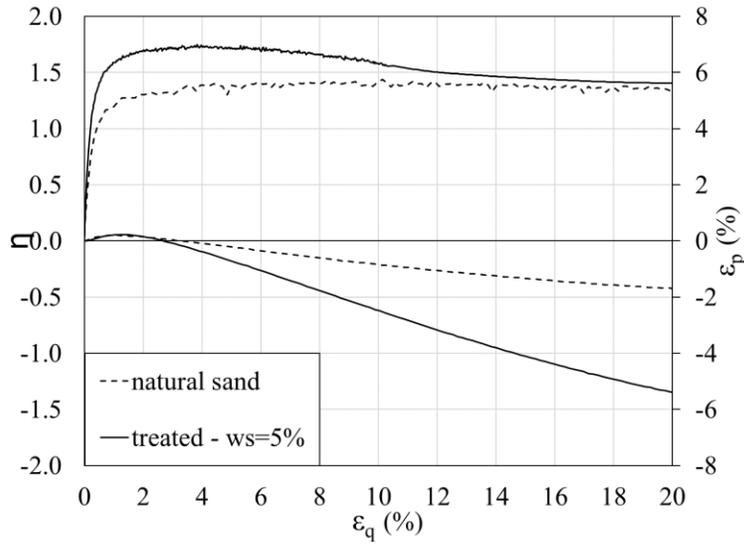
- Compressione triassiale
- $\sigma'_c = 50 \text{ kPa}$  costante
- $Dr_0 = 0.22$



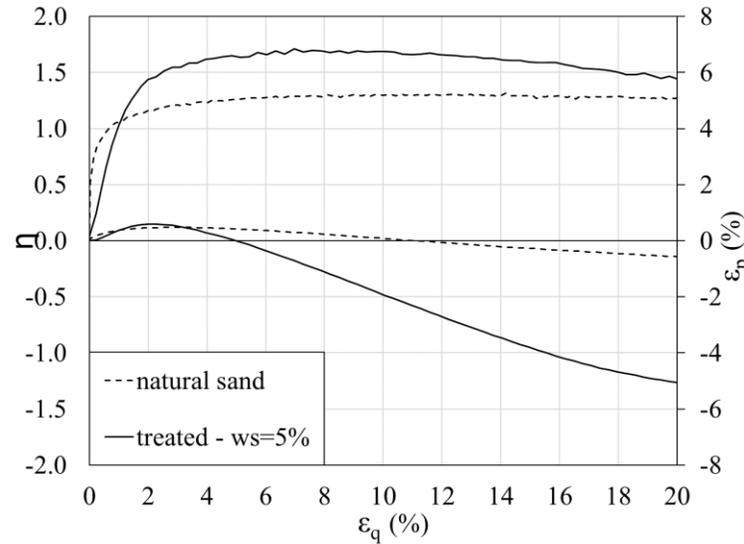
Prove triassiali monotoniche drenate

$D_r = 20-35\%$

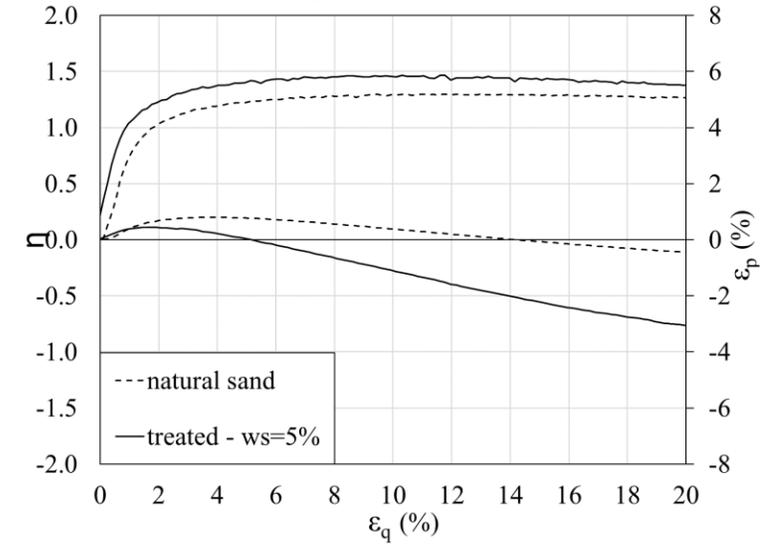
$\sigma_{conf} = 100\text{kPa}$



$\sigma_{conf} = 200\text{kPa}$

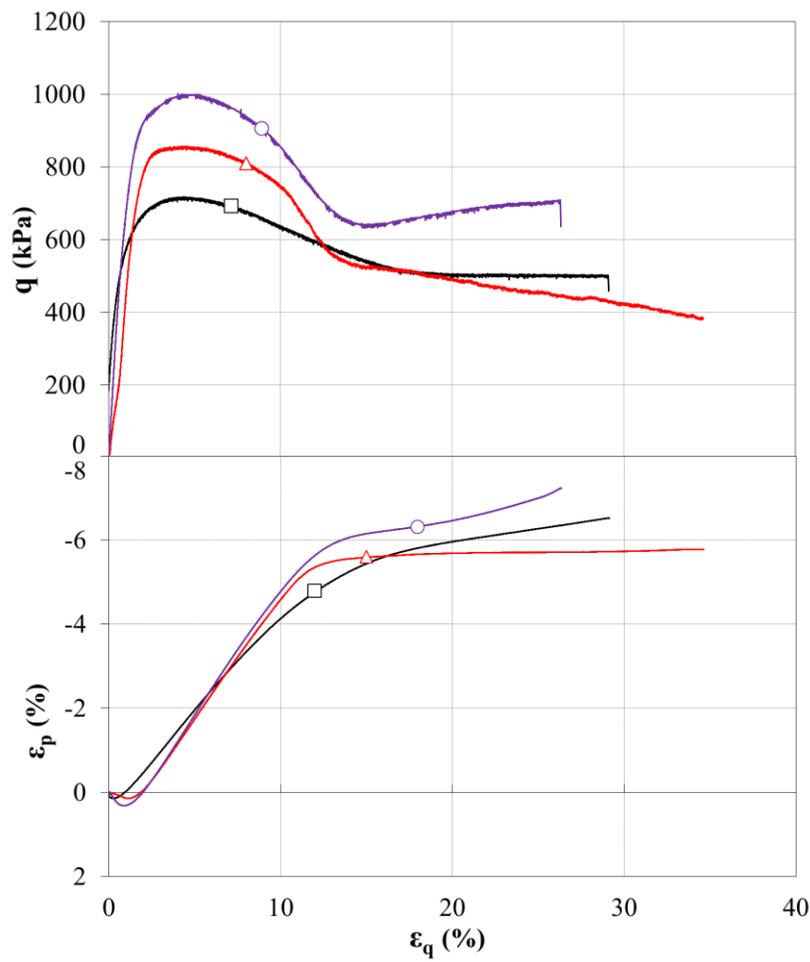
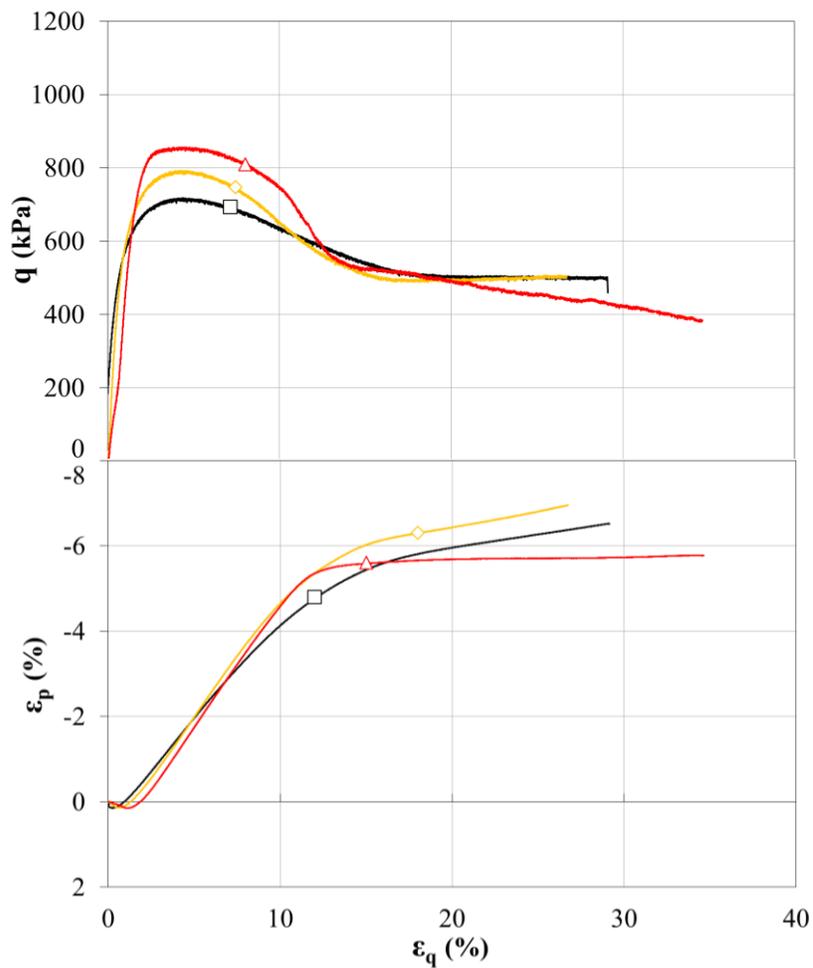


$\sigma_{conf} = 300\text{kPa}$



### Prove triassiali monotoniche drenate

$D_r = 60\%$   $\sigma_{conf} = 200\text{kPa}$

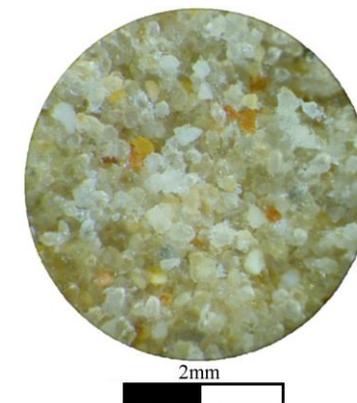


□-untreated    ◇-ws=1.7%    △-ws=5.0%

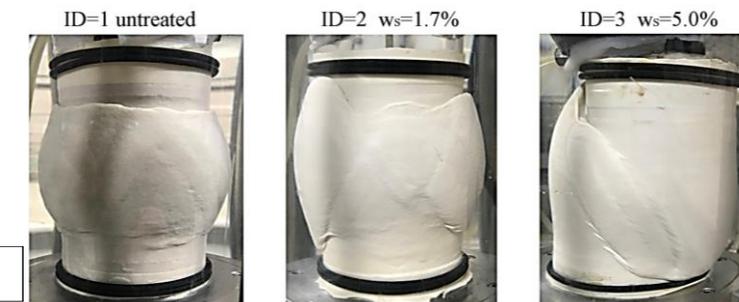
□-untreated    △-ws=5.0% 5days    ○-ws=5.0% 15days



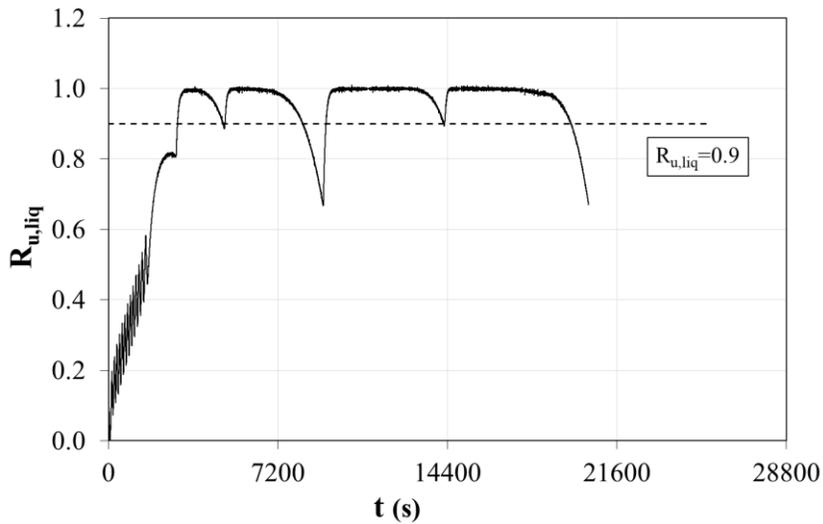
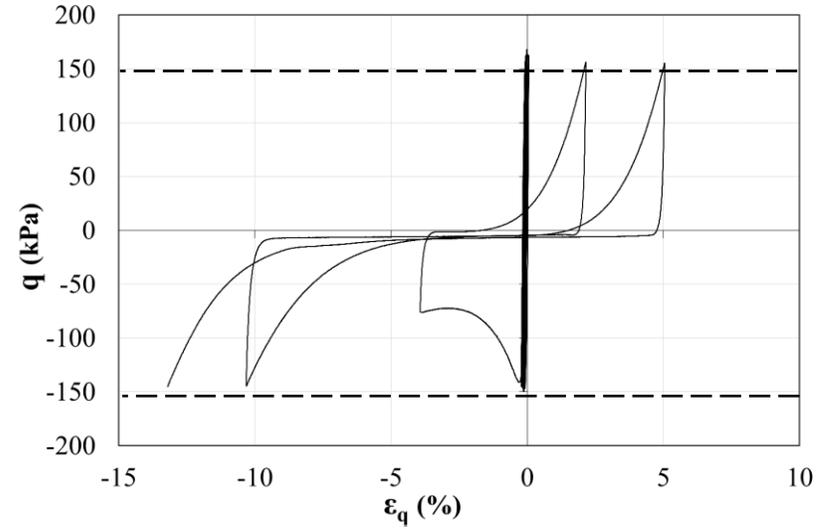
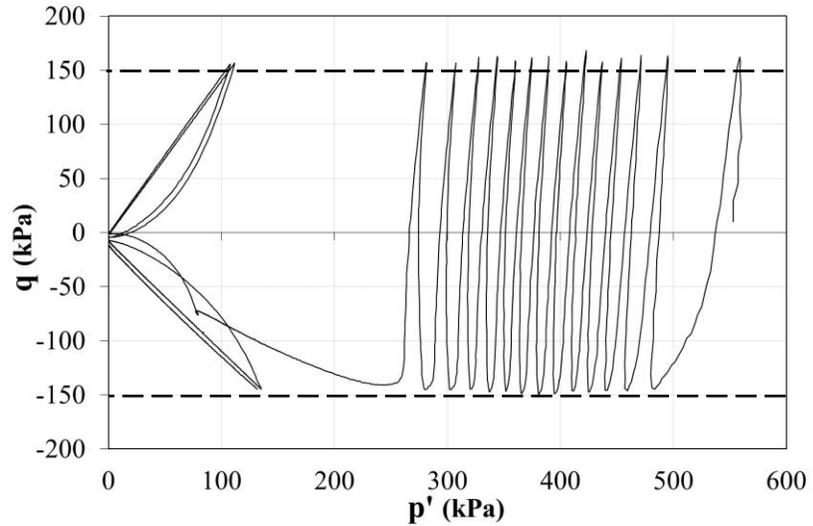
onfezionamento del campione sabbioso per tamping.



- Campione pronto per il trattamento e foto stereofotogrammetrica del materiale trattato.



Prove triassiali cicliche non drenate



$$q = \sigma_a - \sigma_{conf} \qquad \varepsilon_q = \frac{2}{3}(\varepsilon_a - \varepsilon_h)$$

$$p' = \frac{\sigma_a + 2\sigma_{conf}}{3} - u$$

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_{a,0}}$$

## Prove triassiali cicliche non drenate su campioni densi e sciolti

- Programma sperimentale su campioni relativamente densi

ID	$e_0$	$D_{r0}$ (%)	$\sigma_c$ (kPa)	$\Delta q$ (kPa)	CSR	$w_s$ (%)	DF (%)	$n_{liq}$
1	0.62	58.26	100	20	0.10			-
2	0.65	49.57	100	30	0.15			-
3	0.64	0.82	100	40	0.20			18
4	0.62	58.26	100	50	0.25			15
5	0.62	58.26	100	70	0.35			2
6	0.61	61.16	100	50	0.25	5	56	58
7	0.62	58.26	100	60	0.30	5	56	12
8	0.63	55.36	100	70	0.35	5	56	6

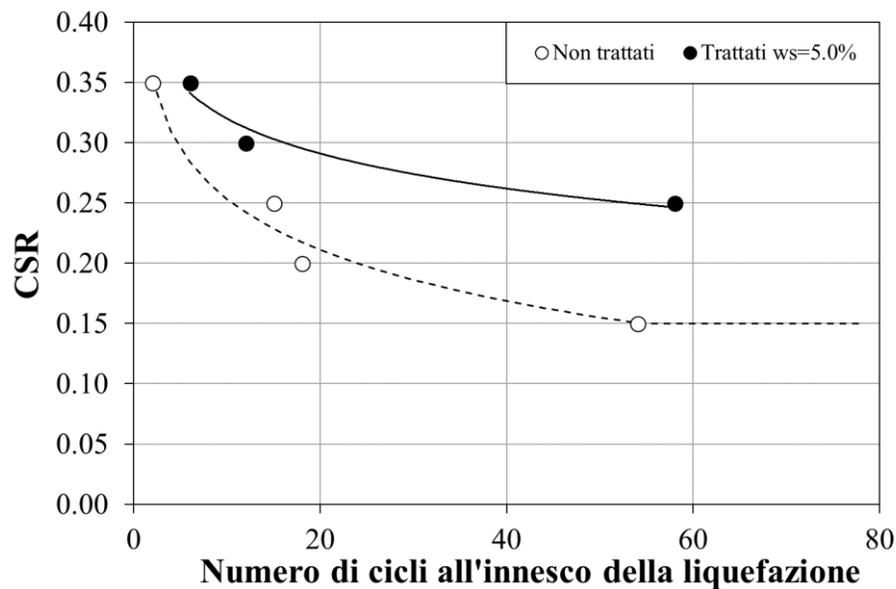
- Programma sperimentale su campioni relativamente sciolti

ID	$e_0$	$D_{r0}$ (%)	$\sigma_c$ (kPa)	$\Delta q$ (kPa)	CSR	$w_s$ (%)	DF (%)	$n_{liq}$
9	0.73	26.38	100	50	0.25			1
10	0.74	23.48	200	80	0.20			1
11	0.70	0.82	200	60	0.15			11
12	0.72	29.28	200	20	0.05			66
13	0.72	29.28	200	50	0.13			17
14	0.73	26.38	200	80	0.20	5	56	4
15	0.71	32.17	200	60	0.15	5	56	17
16	0.74	23.48	200	50	0.13	5	56	25
17	0.70	35.07	200	40	0.10	5	56	110

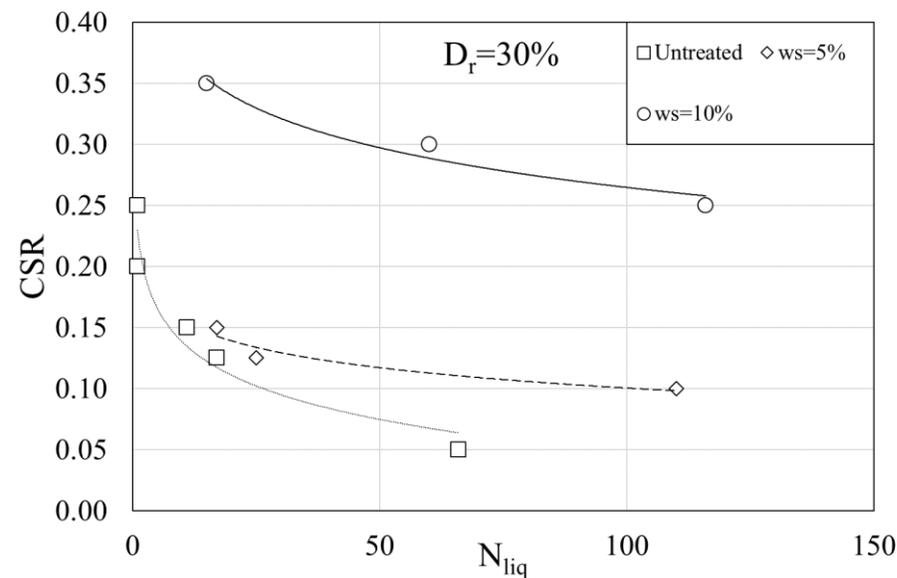
$$CSR = \frac{q}{2 \sigma'_{v0}}$$

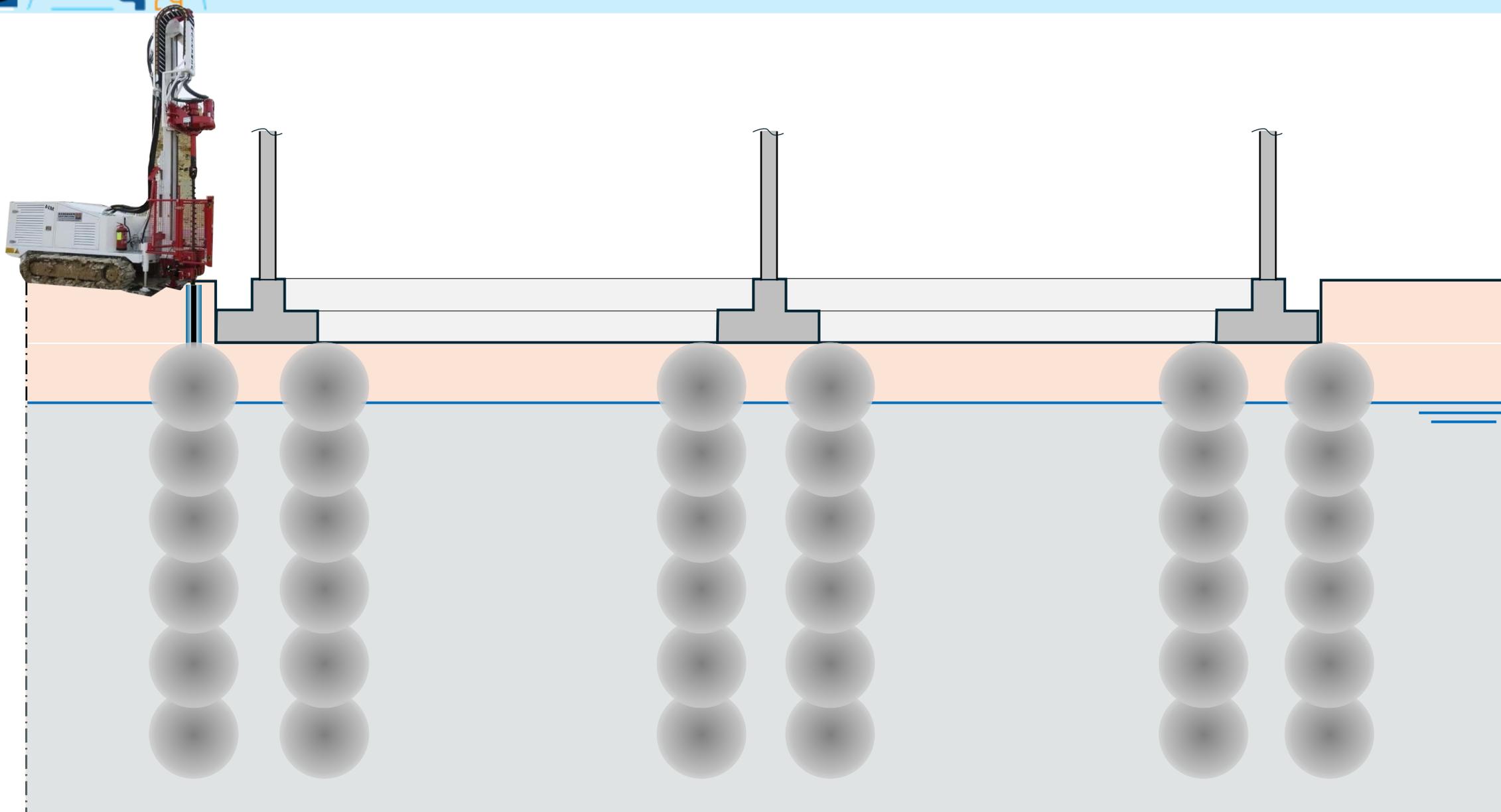
$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_{v0}} = 0.9$$

Campioni densi



Campioni sciolti





Studio del processo di gelificazione

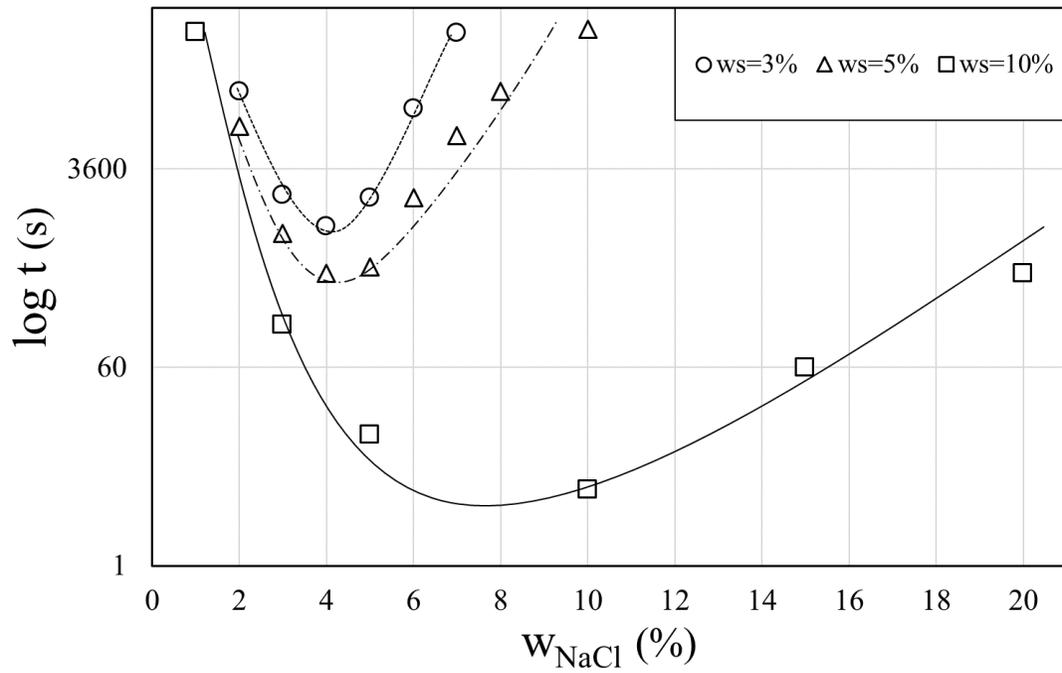


Esecuzione di un jar test (Persoff, 1999)

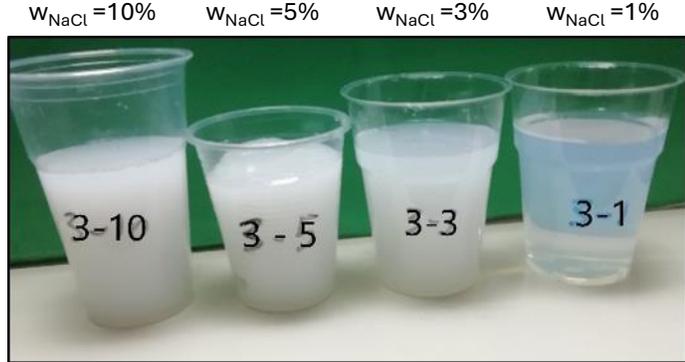
State	Gel state description
1	No detectable gel formed. Gel appears to have same viscosity (fluidity) as original polymer solution and no gel is visually detectable.
2	Highly flowing gel. Gel appears to be only slightly more viscous than initial polymer solution.
3	Flowing gel. Most of obviously detectable gel flows to bottle cap upon reversal.
4	Moderately flowing gel. Small portion (~5-15%) of gel does not readily flow to bottom cap upon inversion – usually characterized as “tonguing” gel (i.e., after hanging out the bottle, gel can made to flow back into bottle by slowly righting it).
5	Barely flowing gel. Gel slowly flows to bottle cap and/or significant portion (>15%) of gel does not flow upon inversion.
6	Highly deformable nonflowing gel. Gel does not flow to bottle cap upon inversion (gel flows to just short of reaching bottle cap).
7	Moderately deformable nonflowing gel. Gel flows about halfway down bottle upon inversion.
8	Slightly deformable nonflowing gel. Only gel surface deforms slightly upon inversion.
9	Rigid gel. There is no gel-surface deformation upon inversion.
10	Ringing rigid gel. Tuning-fork-like mechanical vibration can be felt or tone can be heard after bottle is tapped.
11	Rigid gel no longer ringing. No tone or vibration can be felt or heard, because natural frequency of gel has increasing.

Classificazione dello stato di gel proposta da Sydansk (1990)

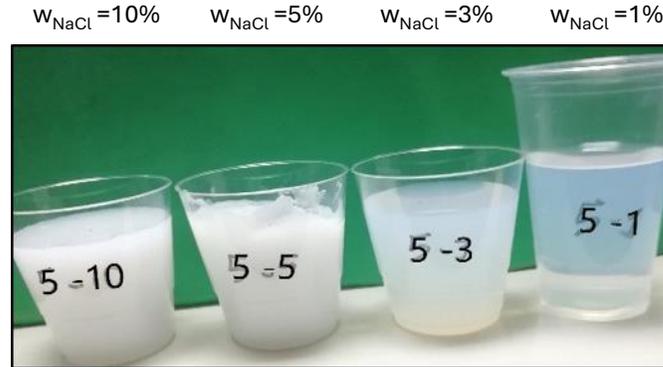
Studio del processo di gelificazione



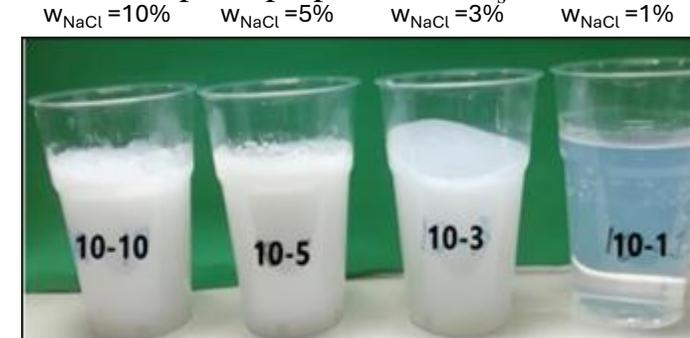
Campioni preparati con  $w_s=3\%$



Campioni preparati con  $w_s=5\%$

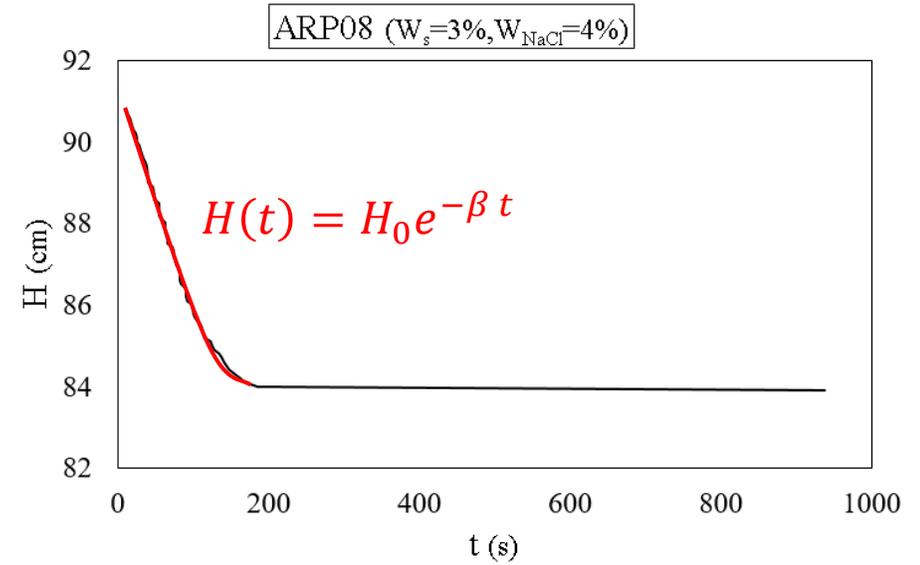
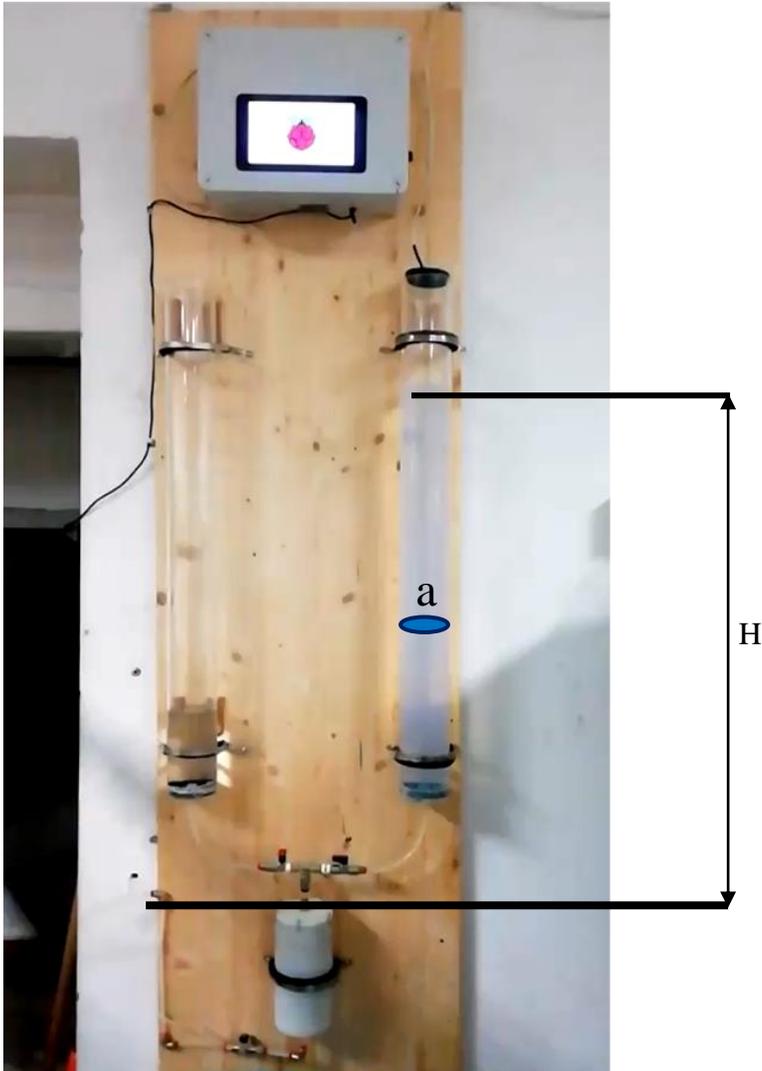


Campioni preparati con  $w_s=10\%$

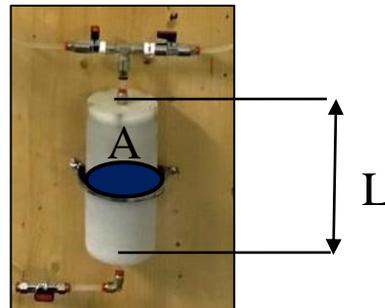


(Salvatore et al., 2020)

Studio dell'evoluzione della permeabilità

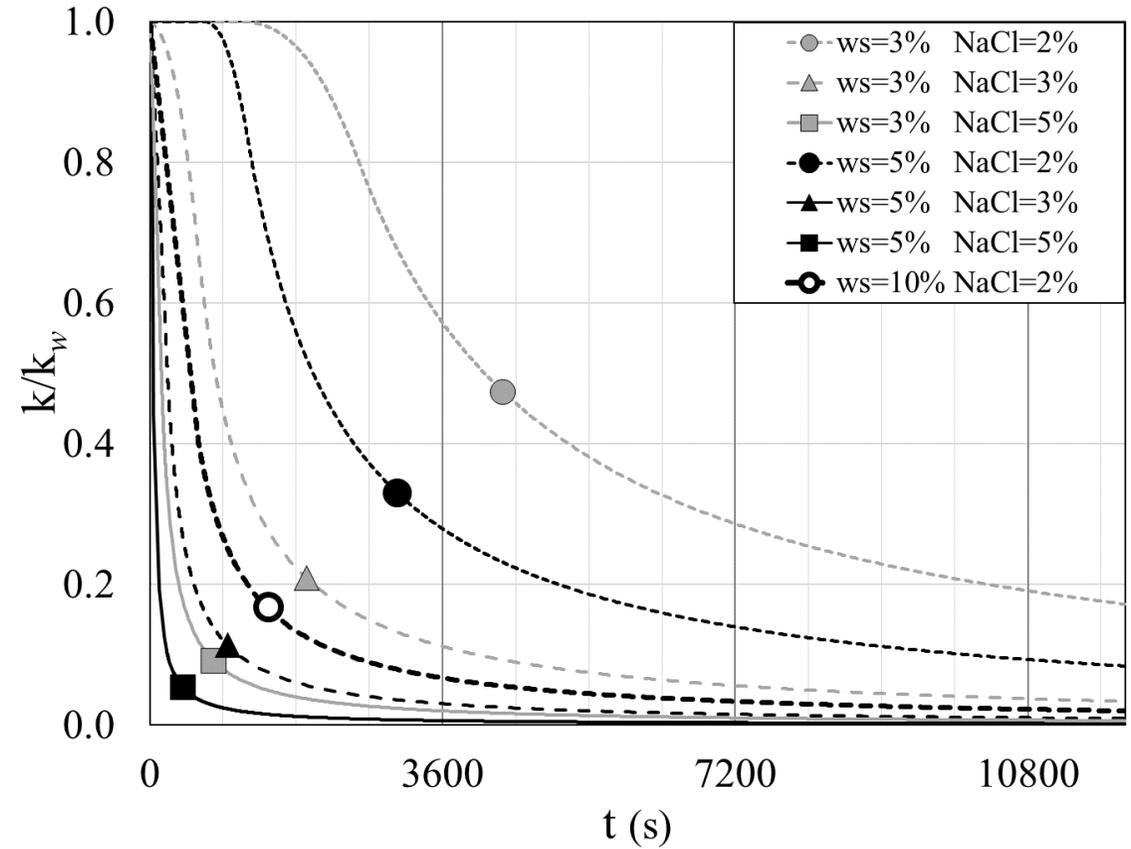


Campione



$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1}$$

Studio dell'evoluzione della permeabilità



(Salvatore et al., 2020)

### Studio dell'evoluzione della permeabilità

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{v}}(t) &= \frac{\mathbf{v}(t) \cdot \boldsymbol{\mu}(t)}{\gamma \cdot d^2} = -\frac{k}{d^2} \left\langle 1 - \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0(t)}{d \cdot \gamma} \frac{1}{\|\mathbf{i}(t)\|} \right\rangle \cdot \mathbf{i}(t) \\ &= -\frac{k}{d^2} \left\langle 1 - \frac{G(t)}{\gamma} \frac{1}{\|\mathbf{i}(t)\|} \right\rangle \cdot \mathbf{i}(t) \end{aligned} \quad (\text{Boschi et al. 2023})$$

$\bar{\mathbf{v}}$ : vettore adimensionale della velocità di filtrazione

$\gamma$ : peso specifico del fluido

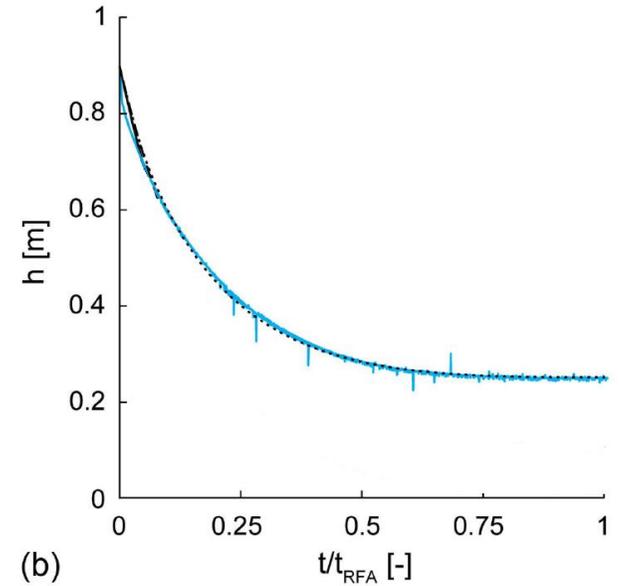
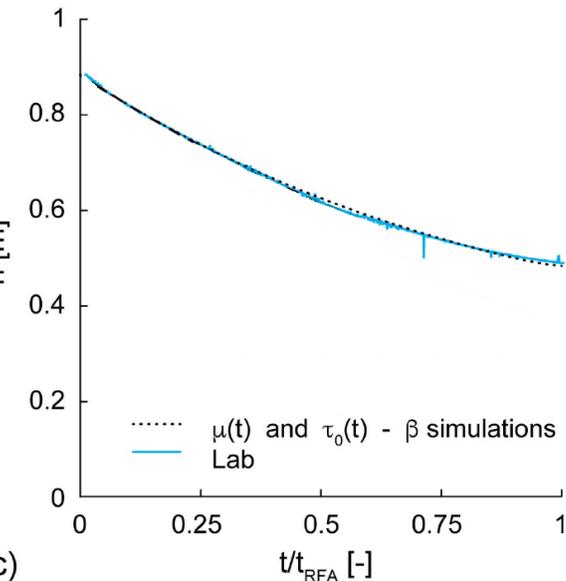
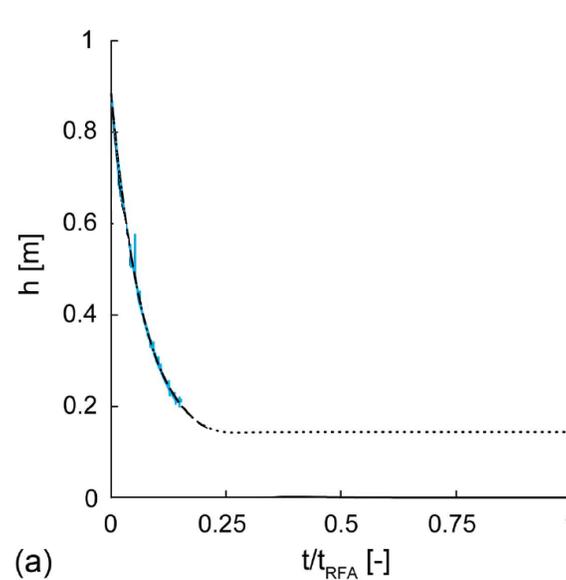
$\mathbf{i}$ : vettore del gradiente idraulico

$G_t/\gamma$ : gradiente idraulico minimo per innescare il flusso  $G(t) = \frac{16 \tau_0(t)}{3} \frac{1}{d}$

$$k = \frac{C}{S_0^2} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (\text{Kozeny and Carman, 1937})$$

$C$ : costante dipendente dalla geometria dei pori

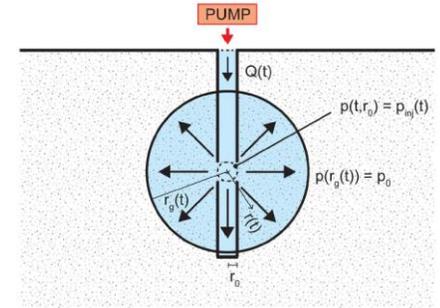
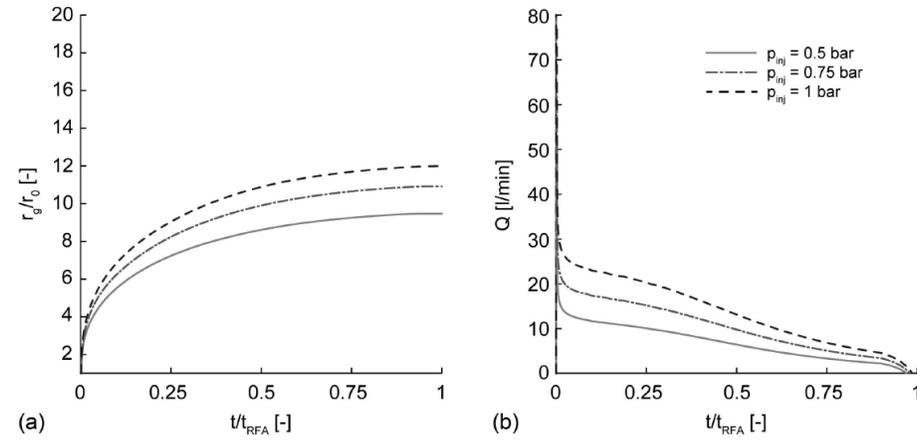
$S_0$ : superficie esposta al fluido per unità di volume del solido



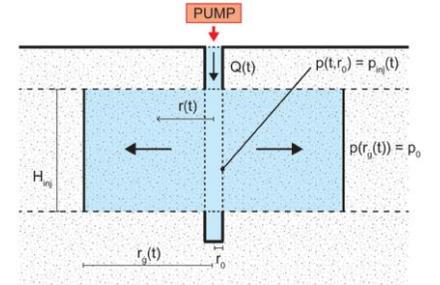
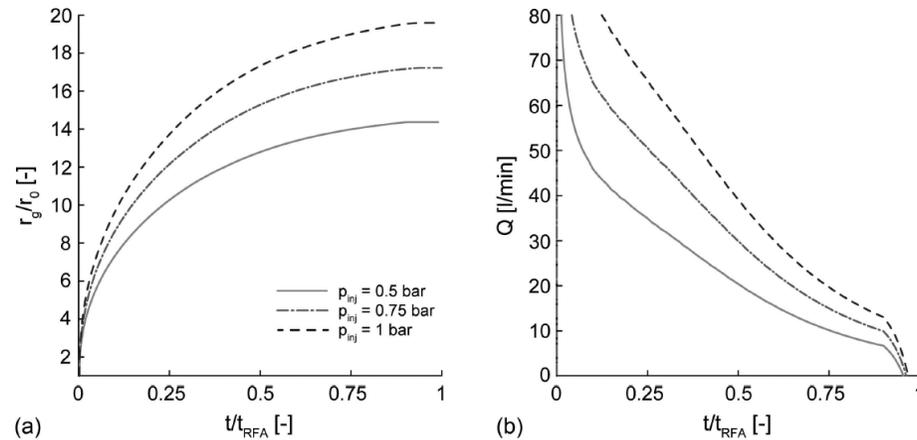
**Table 1.** Fitting parameters for tested nanosilica grout composition rheologies

NSG	NS	NaCl	pH	$t_{SR}$	$t_{gelling}$	$t_{RFA}$
	(%)	(%)	(-)	(min)	(min)	(min)
A	3	2	9.3	23	115	137
B	5	2	9.5	37	60	65
C	12.7	1.5	10.2	7.5	21.6	24
D	5	3	9.5	6	9.5	10
E	3	3	9.3	1	7	8.2

### Studio dell'evoluzione della permeabilità



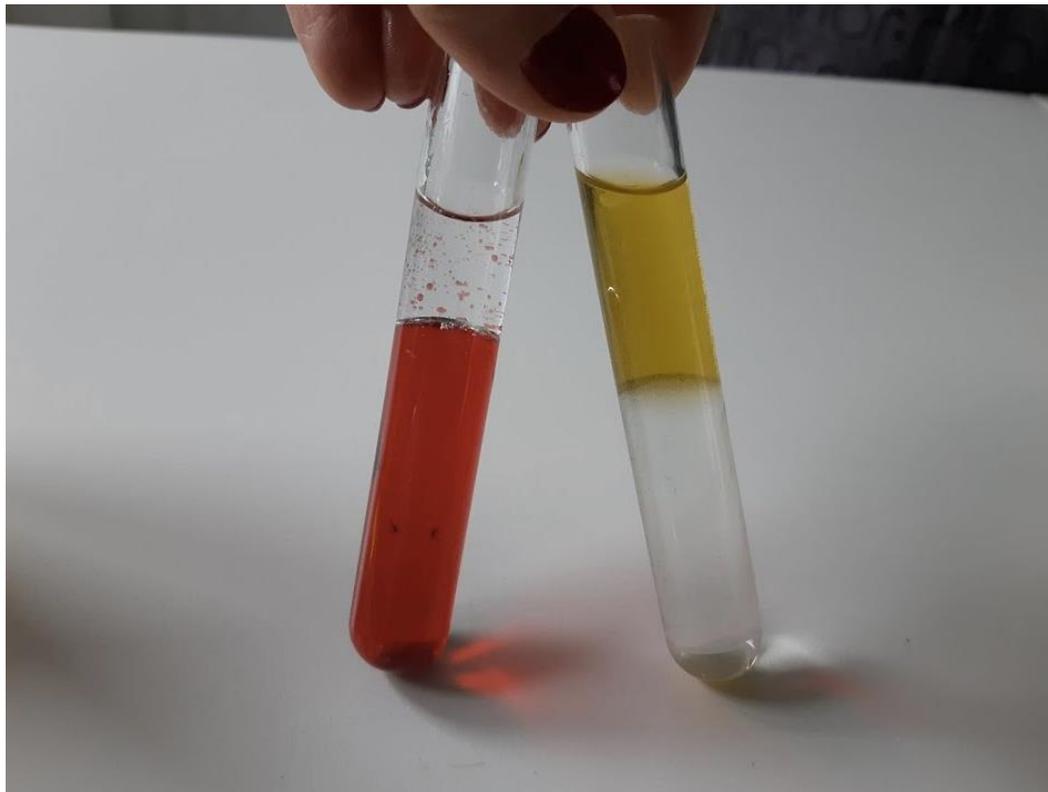
**Fig. 14.** Design charts: (a) dimensionless grout sharp-front advancement  $r_g(t)/r_0$  as a function of dimensionless time  $t/t_{RFA}$ ; and (b) correspondent  $Q$  evolution. Spherical flow model with imposed injection  $p_{inj}$ .



**Fig. 16.** Design charts: (a) dimensionless grout sharp-front advancement  $r_g(t)/r_0$  as a function of dimensionless time  $t/t_{RFA}$ ; and (b) correspondent  $Q$  evolution. Cylindrical flow model with imposed injection  $p_{inj}$ .

(Boschi et al. 2023)

Studio della miscibilità



Una possibile miscibilità tra sospensione e l'acqua



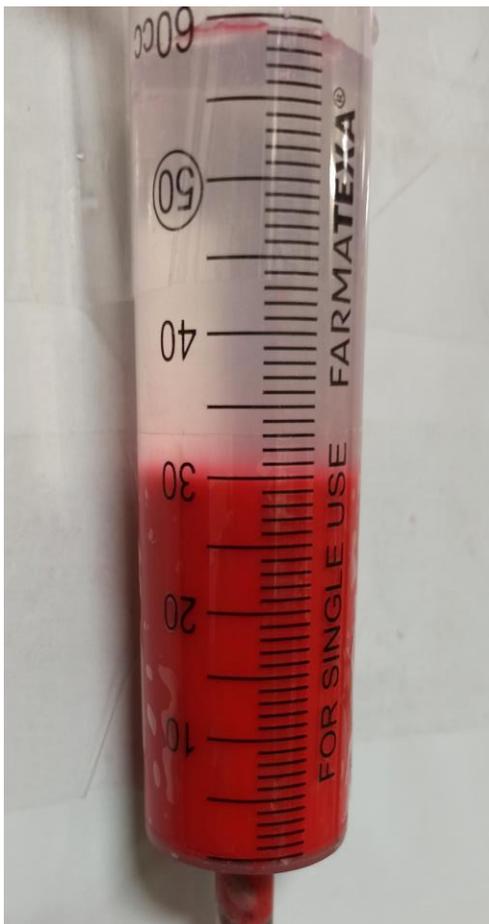
Diluizione della sospensione



Maggiori costi del trattamento

Studio della miscibilità

Procedura della prova



- Misuratore conducibilità



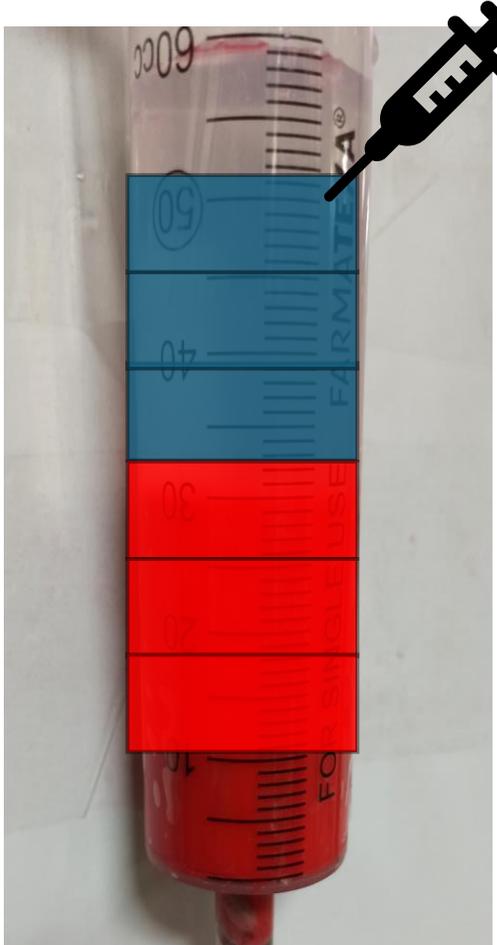
acqua



Nano-silice

Studio della miscibilità

Procedura della prova



Valori  
conducibilità

Valori  
conducibilità

Valori  
conducibilità

Valori  
conducibilità

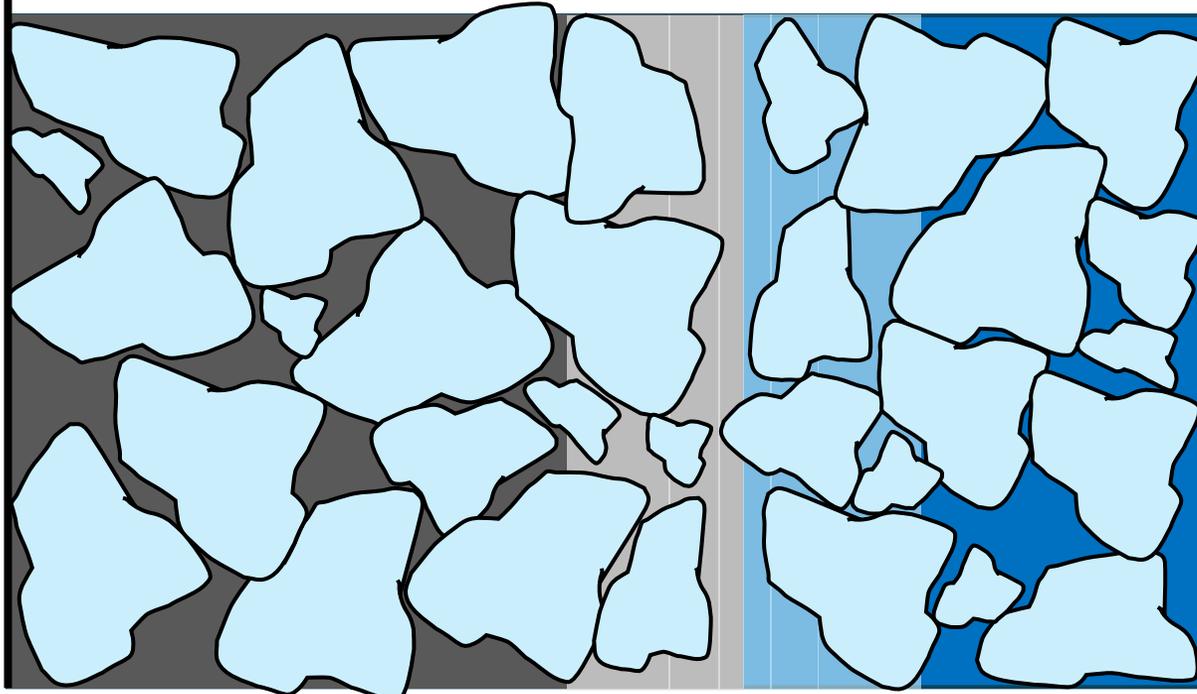
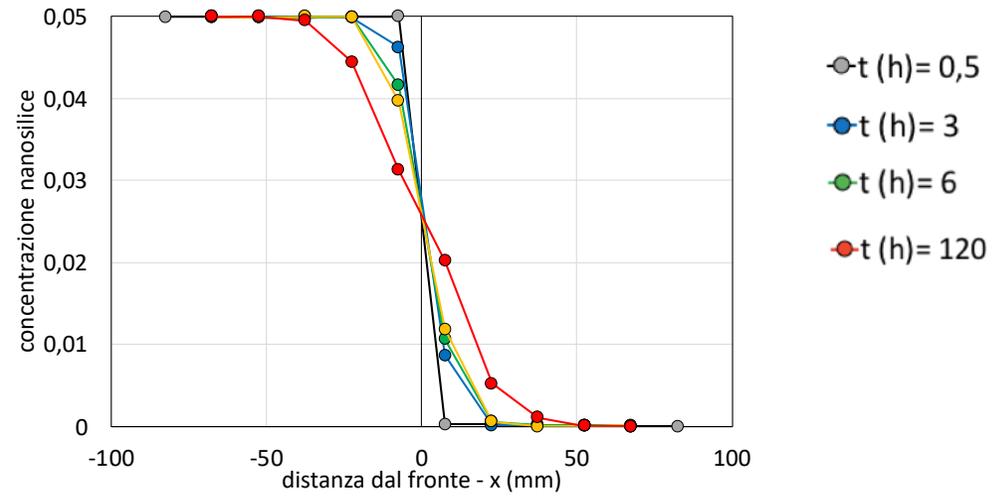
Valori  
conducibilità

Valori  
conducibilità

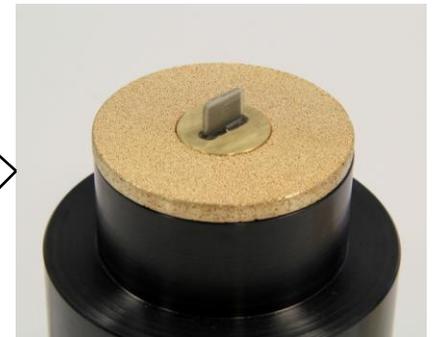
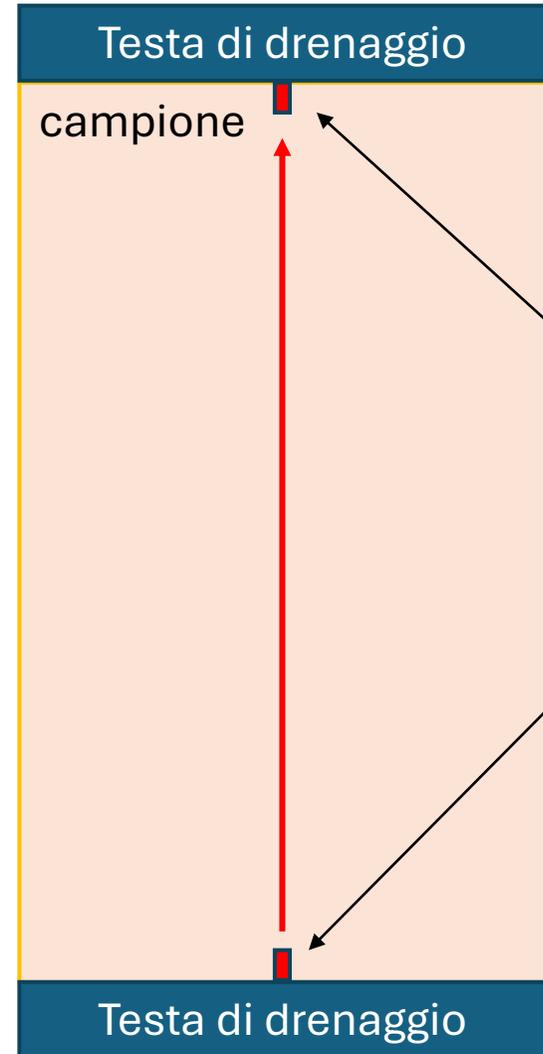


ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO

Studio della miscibilità



Sistema bender elements per provini triassiali



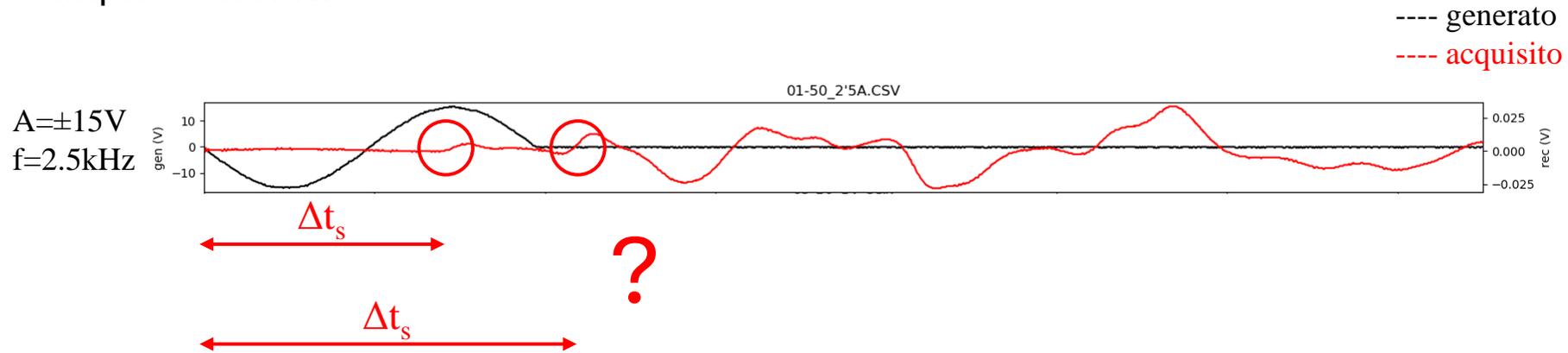
$$v_s = \frac{\text{altezza campione}}{\text{tempo di percorrenza}}$$

Sistema bender elements per provini triassiali

Generazione di segnali a frequenze crescenti: 2.5-5.0-10.0-25.0-50.0 kHz

Campione S08  $\sigma_c=50\text{kPa}$  ( $D_r=35\%$ ,  $w_s=5\%$ )

Campione asciutto

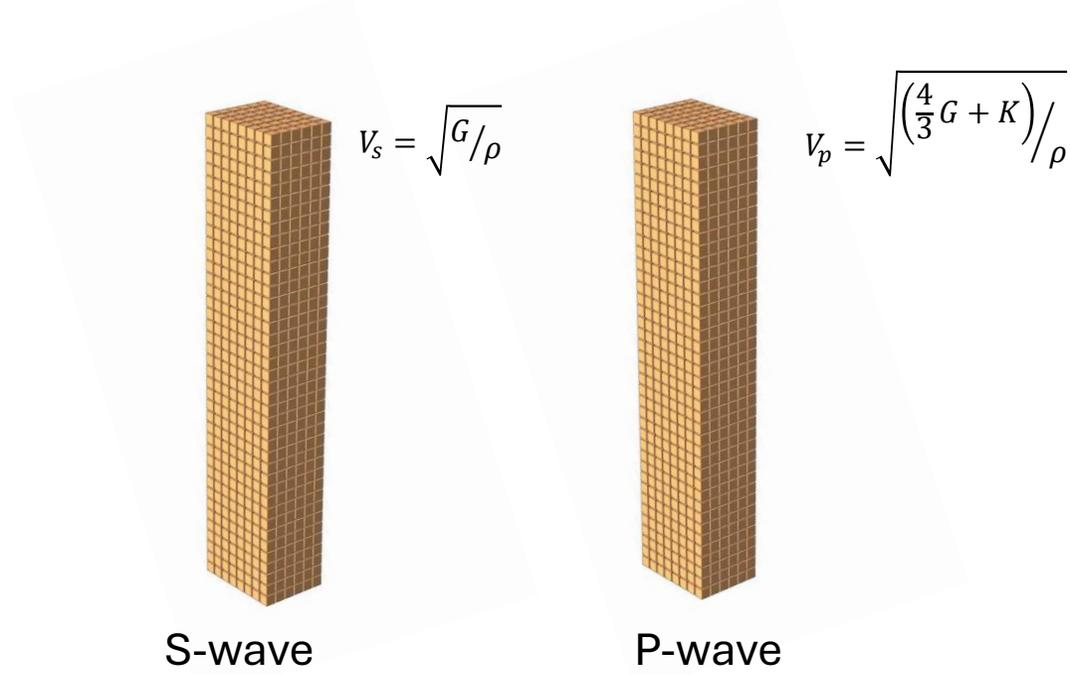
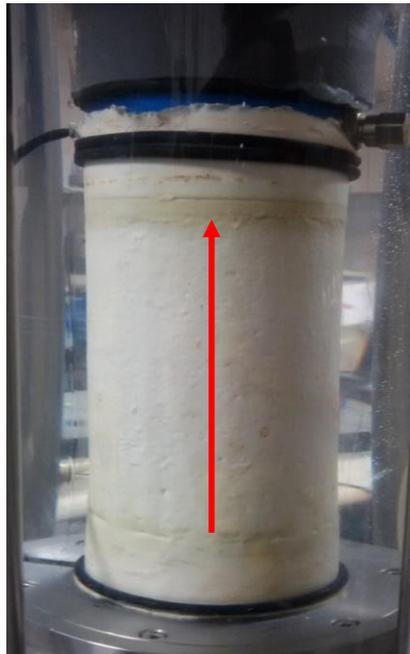
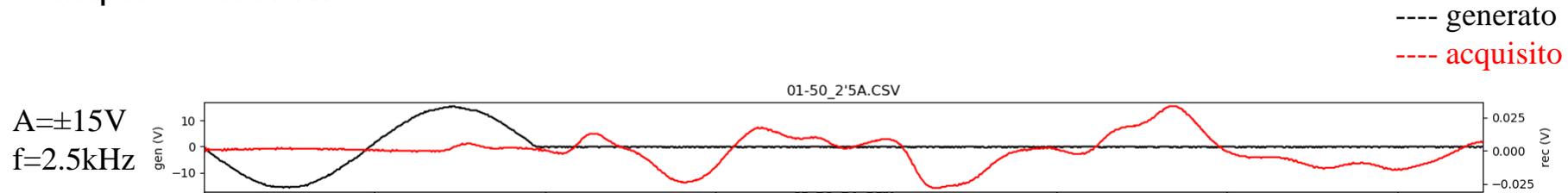


Sistema bender elements per provini triassiali

Generazione di segnali a frequenze crescenti: 2.5-5.0-10.0-25.0-50.0 kHz

Campione S08  $\sigma_c=50\text{kPa}$  ( $D_r=35\%$ ,  $w_s=5\%$ )

Campione asciutto

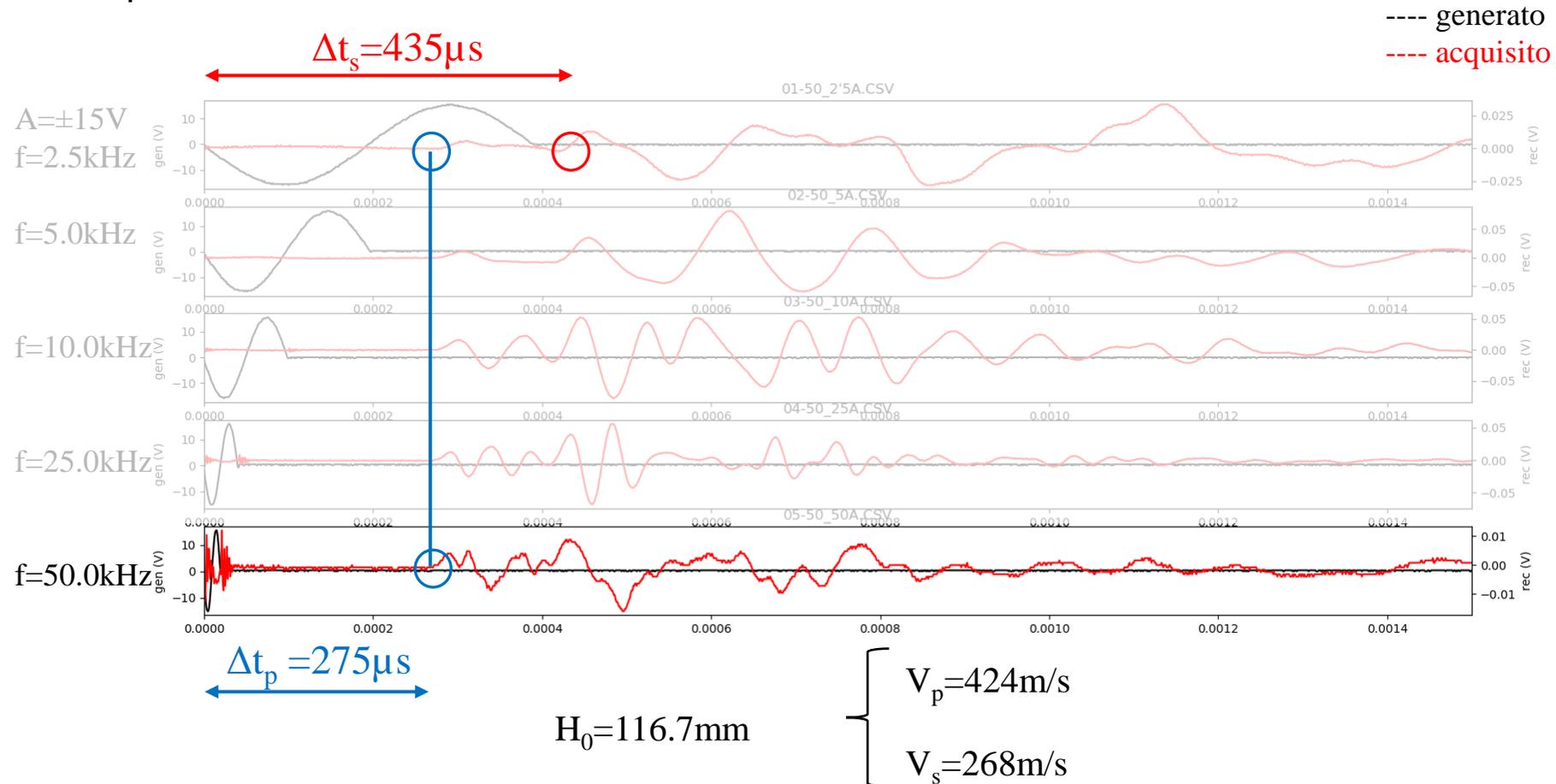


Sistema bender elements per provini triassiali

Generazione di segnali a frequenze crescenti: 2.5-5.0-10.0-25.0-50.0 kHz

Campione S08  $\sigma_c=50\text{kPa}$  ( $D_r=35\%$ ,  $w_s=5\%$ )

Campione asciutto

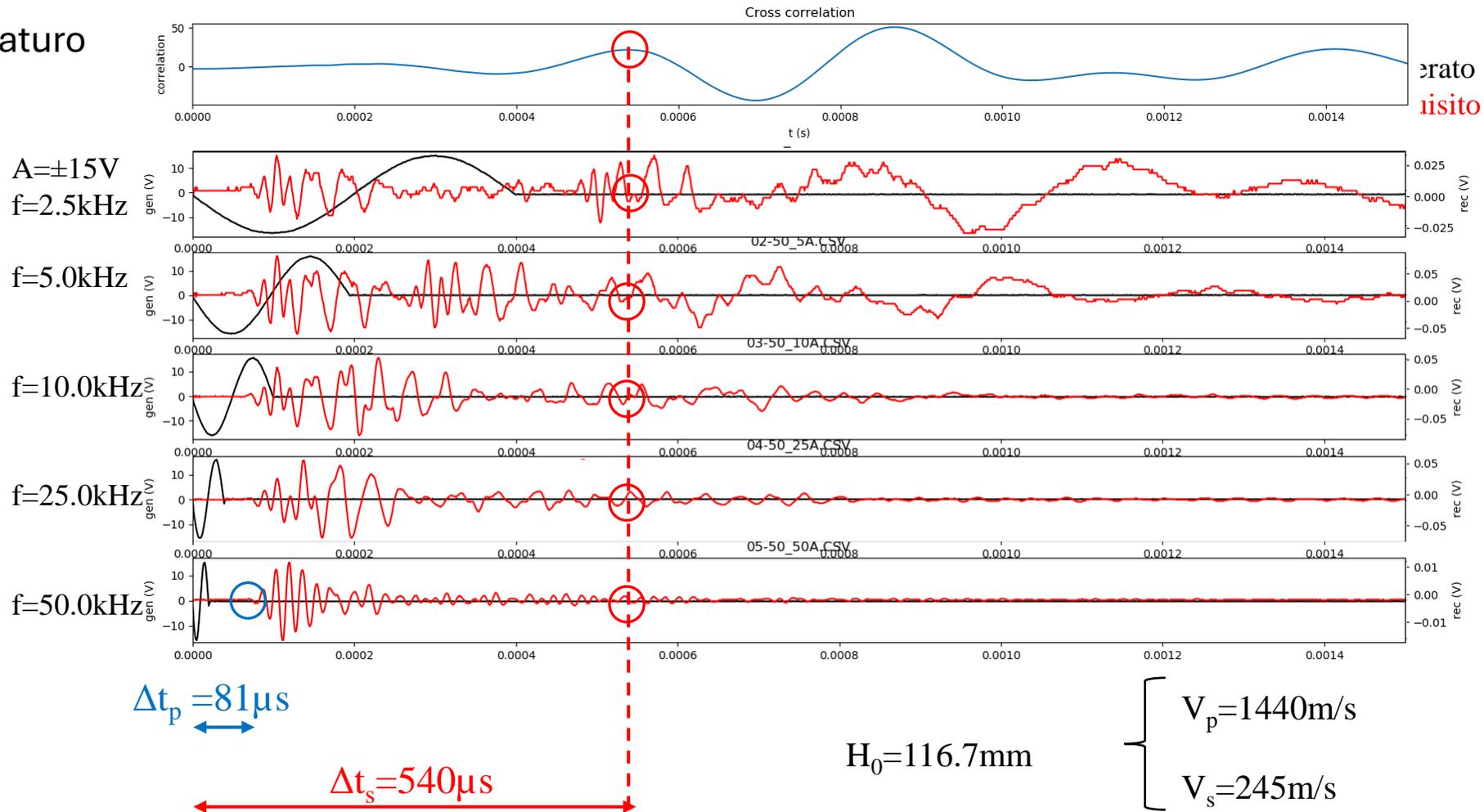


Sistema bender elements per provini triassiali

Generazione di segnali a frequenze crescenti: 2.5-5.0-10.0-25.0-50.0 kHz

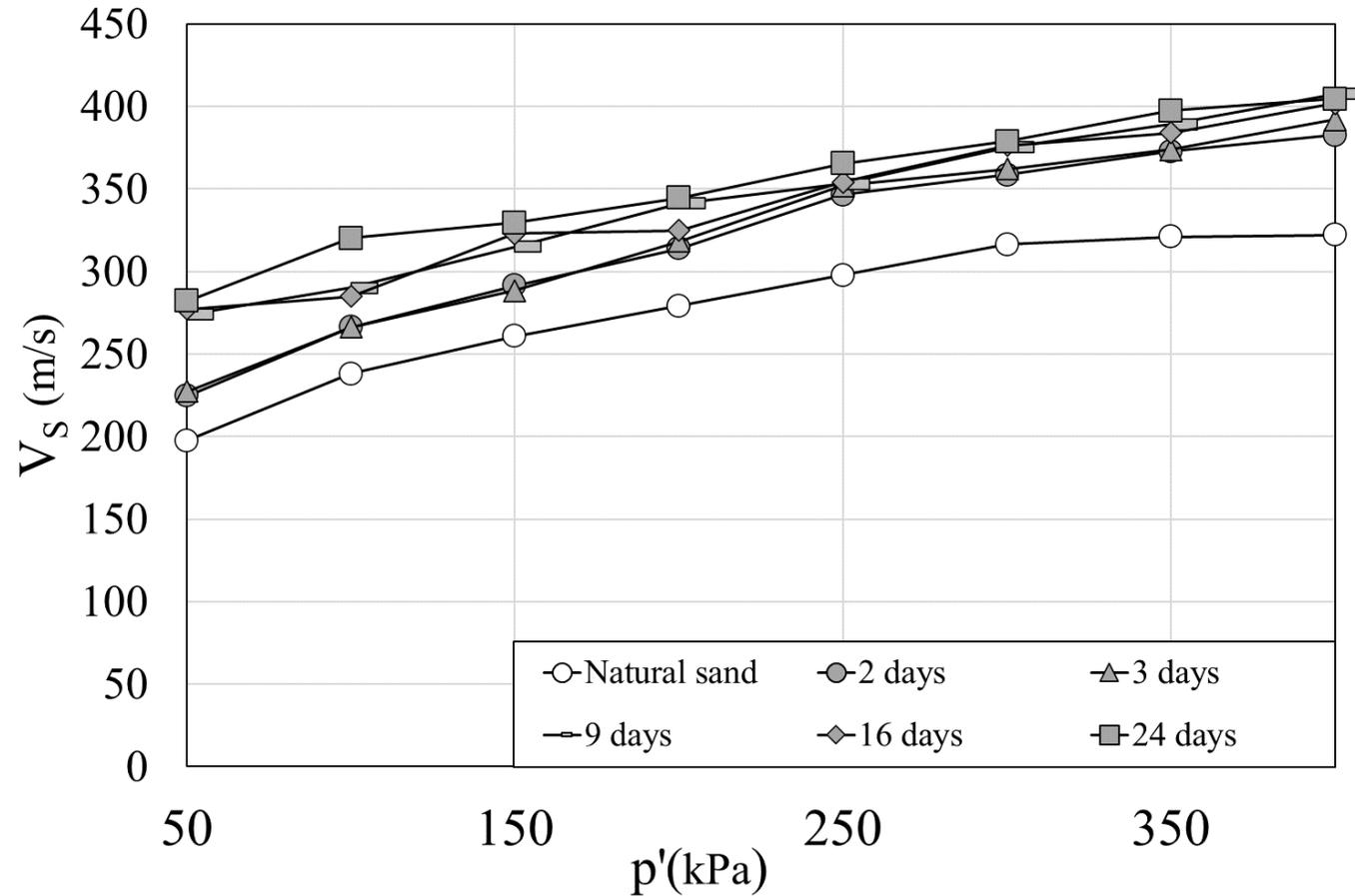
Campione S08  $\sigma_c=50\text{kPa}$  ( $D_r=35\%$ ,  $w_s=5\%$ )

Campione saturo



Sistema bender elements per provini triassiali

Fase di consolidazione isotropa a tempi di stagionatura crescenti



(Salvatore et al., 2020)

L'efficacia delle iniezioni a bassa pressione di nanosilice colloidale nella mitigazione della suscettibilità alla liquefazione delle sabbie è stata dimostrata in laboratorio

Le prove di laboratorio eseguite hanno messo in luce la versatilità della tecnica che permette di raggiungere valori di resistenza differenti al variare del quantitativo di nanosilice iniettata

L'esecuzione in sito del trattamento non può prescindere dallo studio della filtrazione e diffusione della miscela nel terreno.

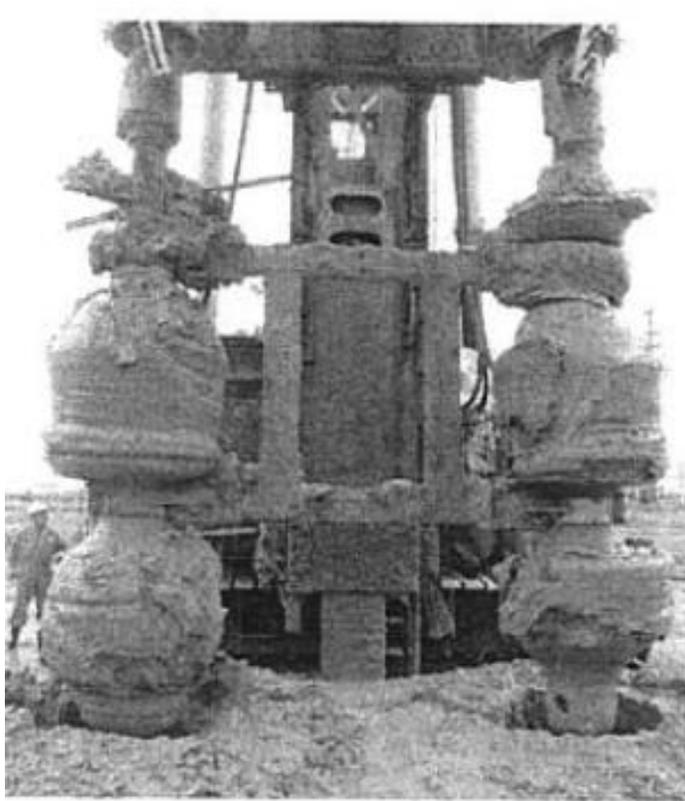
Le curve di evoluzione della permeabilità (viscosità) nel tempo rappresentano la base su cui calibrare un modello di diffusione della miscela

La tecnica sonica si è dimostrata efficace nel quantificare l'efficacia della tecnica

# MIGLIORAMENTO DELLA PERFORMANCE DEL DEEP SOIL MIXING CON ADDITIVI CHIMICI



## Effetto sui macchinari

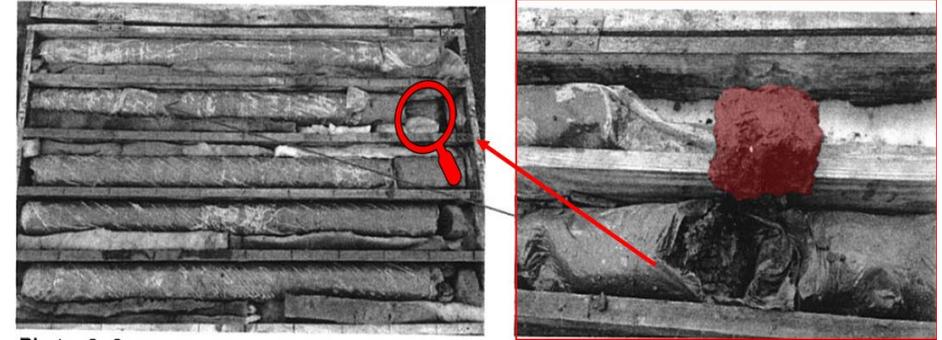


(Nozu *et al.*, 2015)

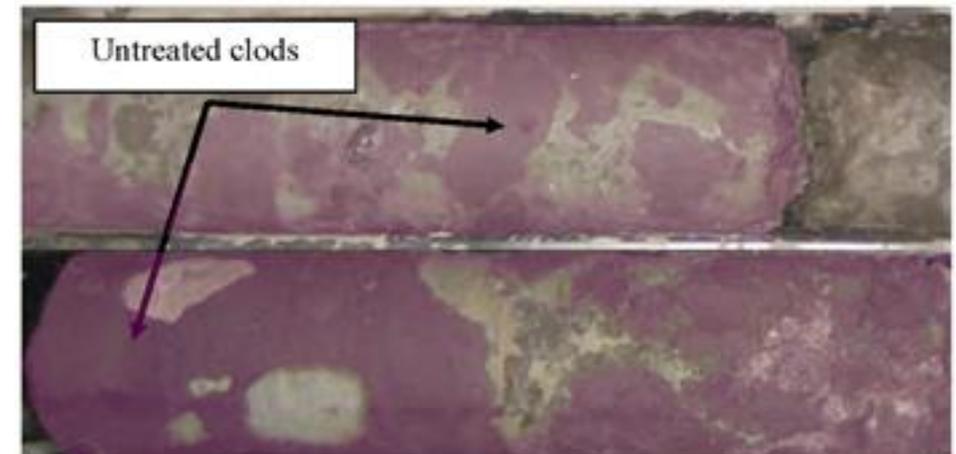


(Courtesy of TREVI s.p.a.)

## Effetto sulle colonne

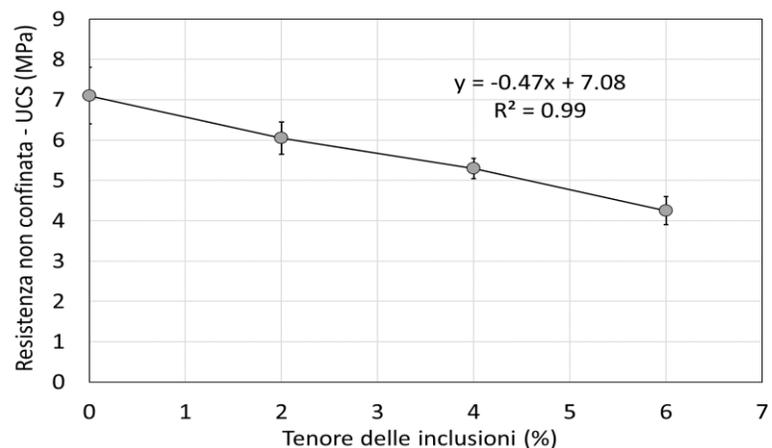


(Nozu *et al.*, 2015)

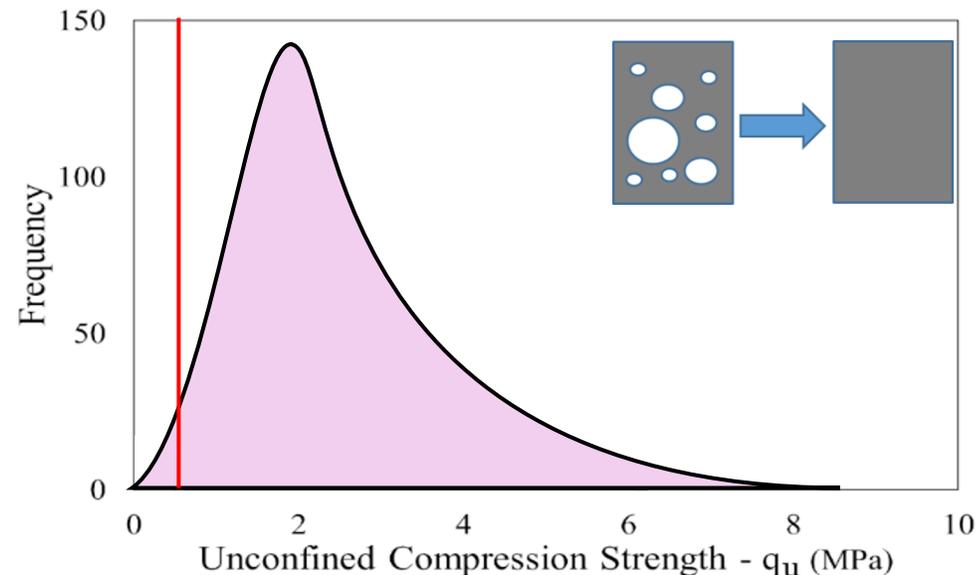


(modified from Croce *et al.*, 2014)

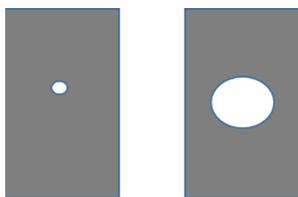
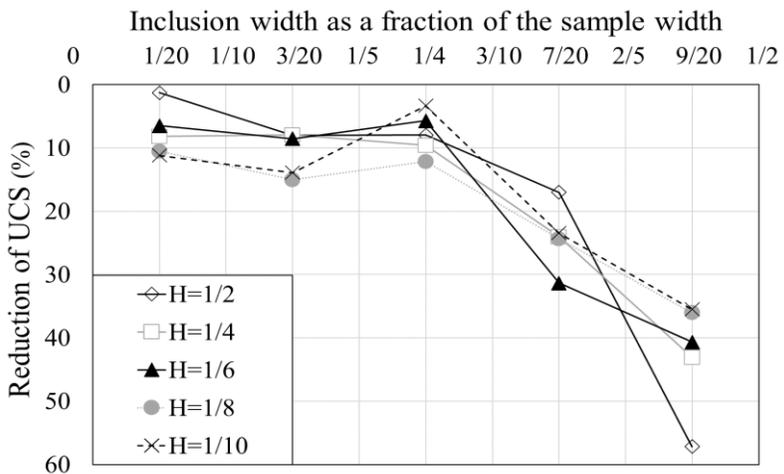
## Influenza della scarsa omogeneità sulla resistenza



## Resistenza caratteristica



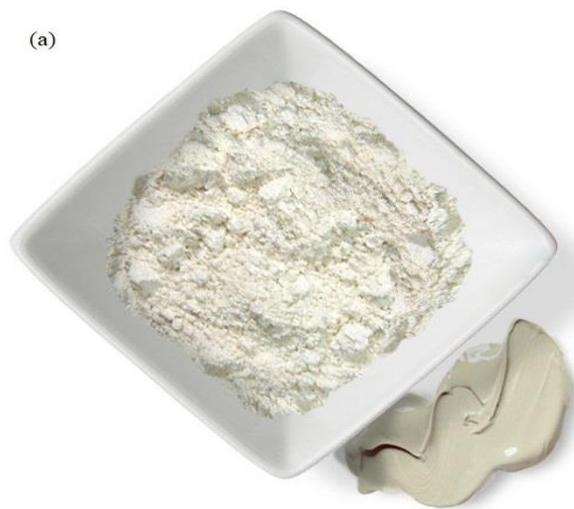
(Tadio, 2016)



(Denies *et al.*, 2013)

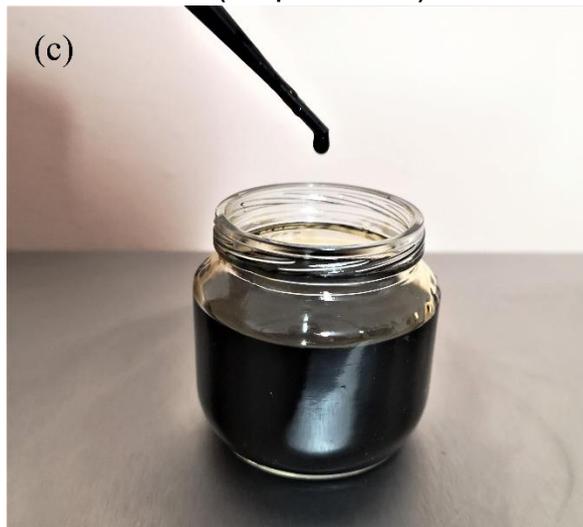
Caolino Speswhite

(a)



**LAVORABILITÀ**  
MasterRoc GE 50  
(dispersante)

(c)



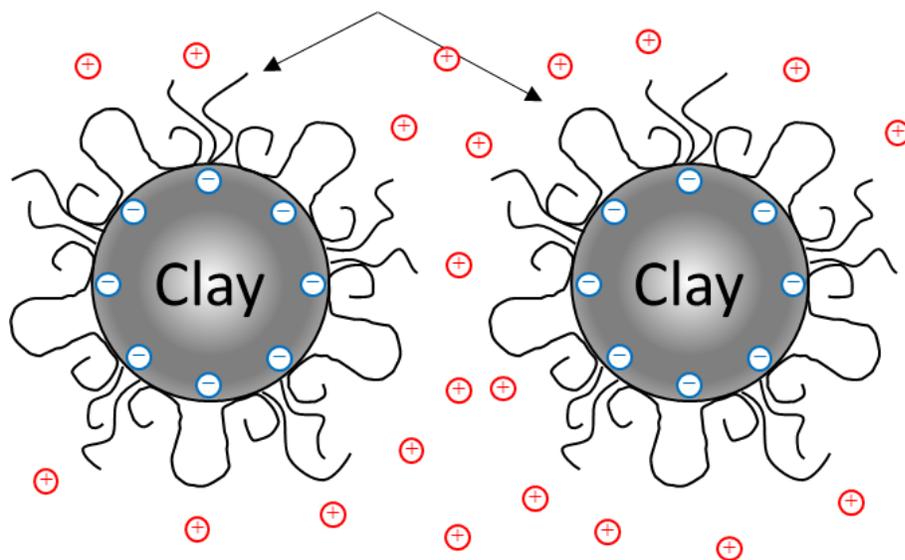
Bentonite  
Sodica

(b)



**RESISTENZA**

Stabilizzazione elettro-sterica  
COOH chains



### Caratteristiche fisiche e reologiche

Aspetto	Liquido giallo chiaro
Densità	1.27g/cc
pH	7.3±0.3
Viscosità (Brookfield)	250±100mPa s
Dispersione in acqua	totale

Caolino:

w=50%  
naturale

w=50%  
 $\chi=0.4\%$



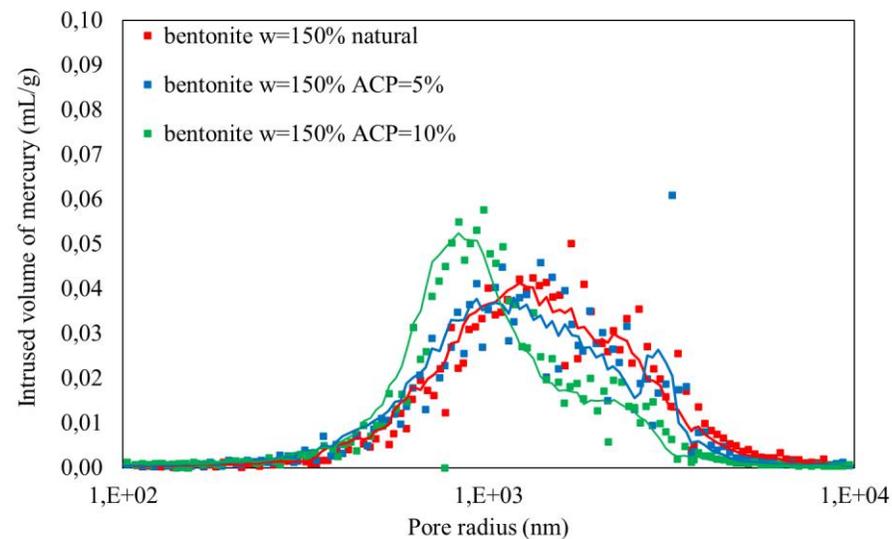
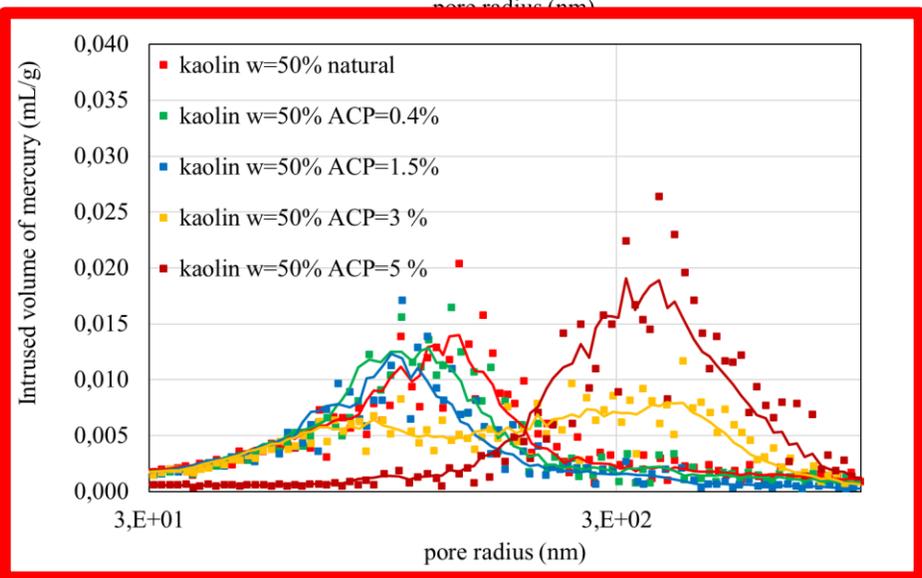
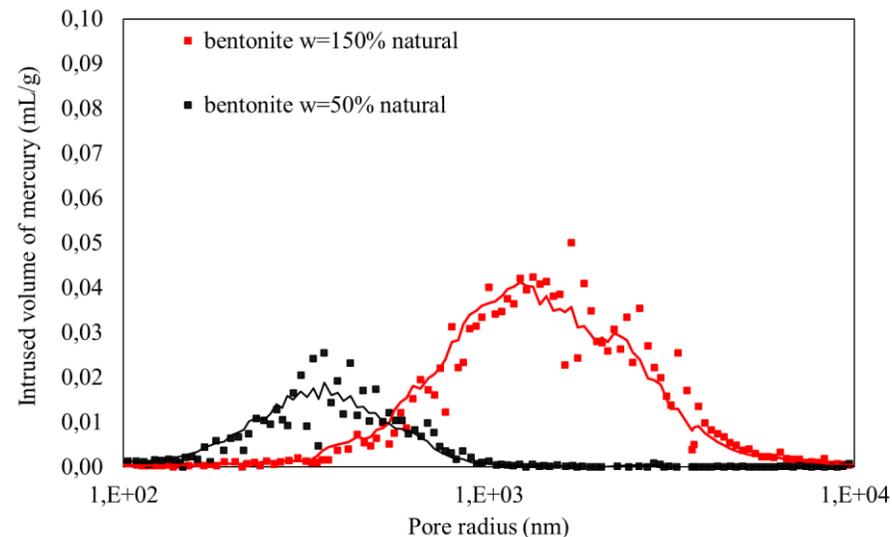
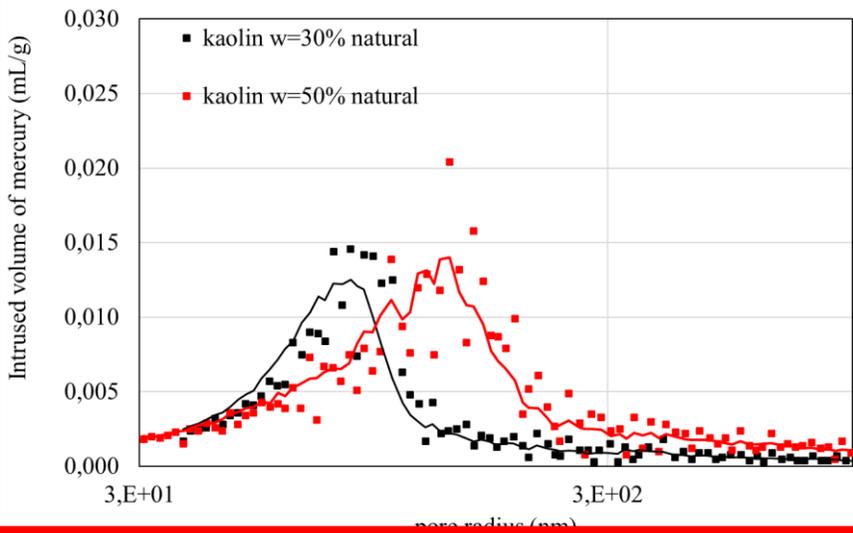
Bentonite

w=150%  
naturale

w=150%  
 $\chi=4.0\%$



### Porosimetria ad intrusione di mercurio (MIP - ASTM D4404 - 18)



### Limiti di Atterberg (ASTM D4318 - 17e1)

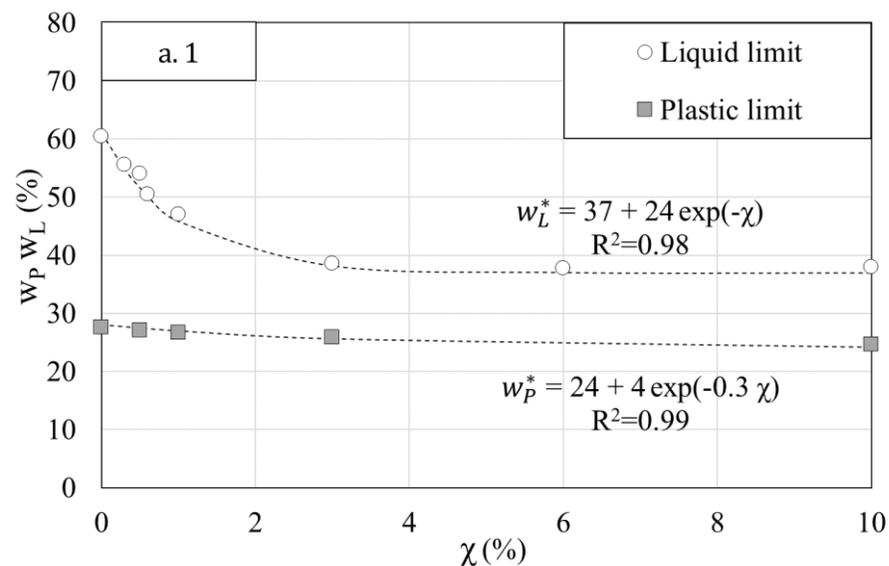
Misura del limite plastico su



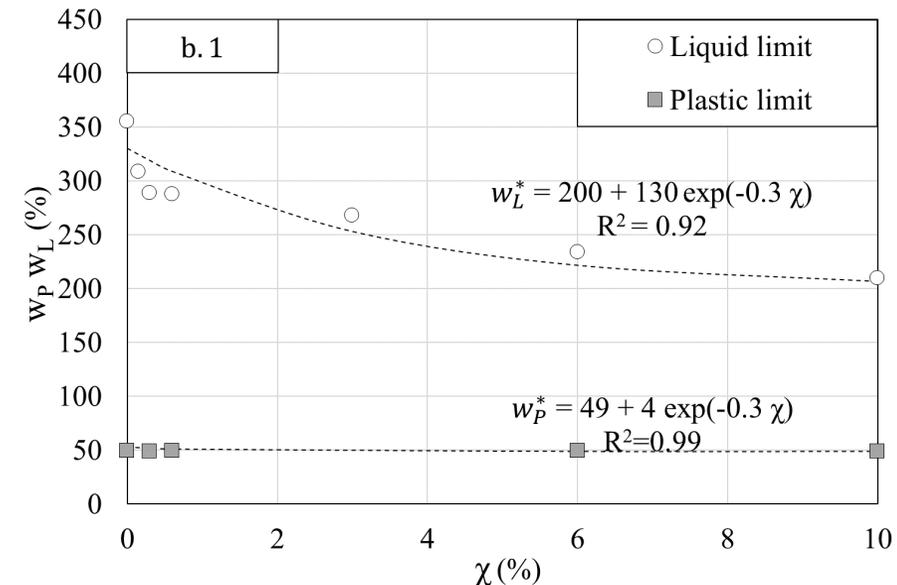
Misura del limite liquido su bentonite:



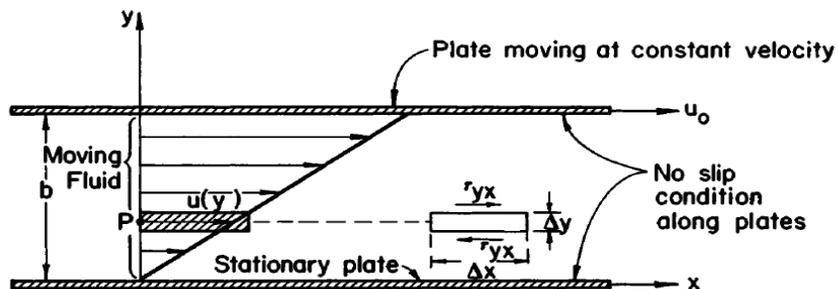
### Caolino



### Bentonite

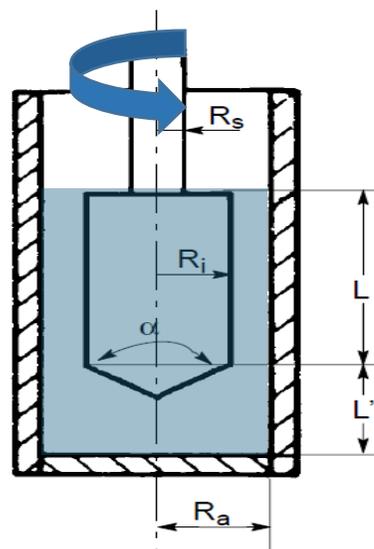


### Prove di viscosità

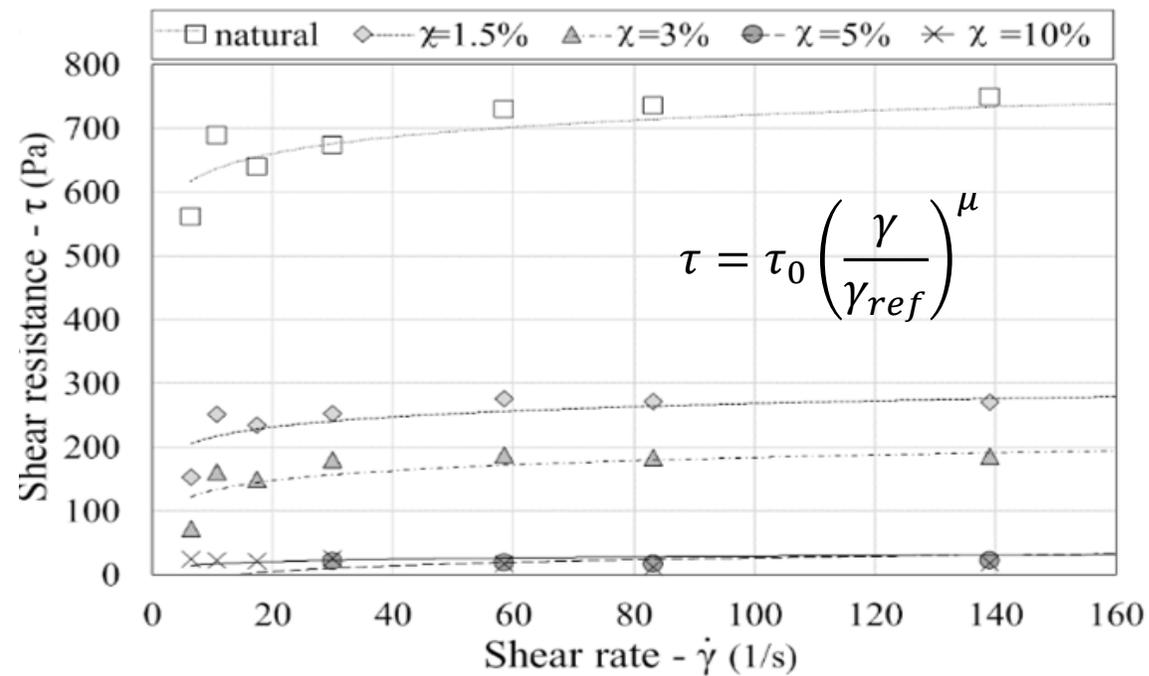


Bear, J. (2013)

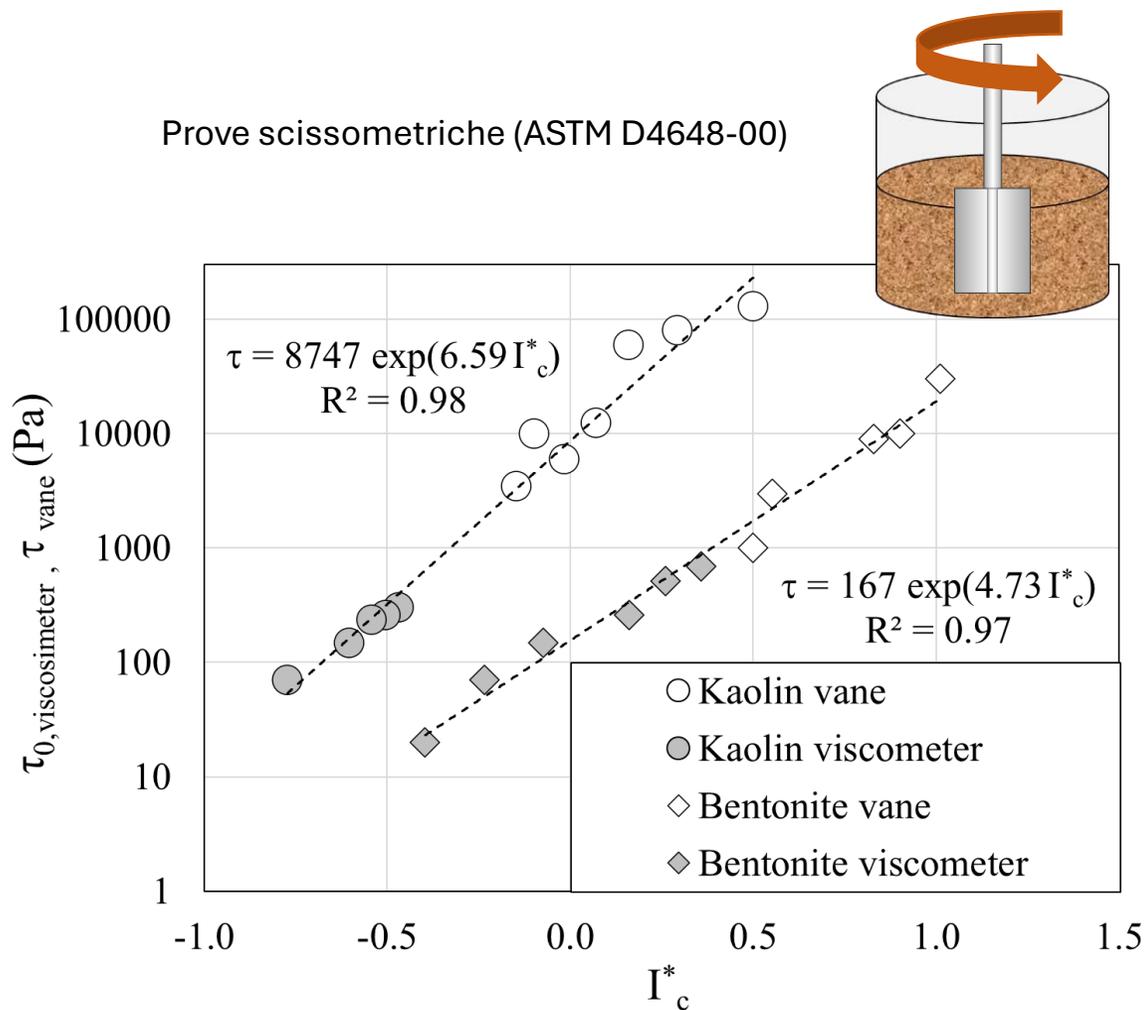
### Viscosimetro Haake VT500



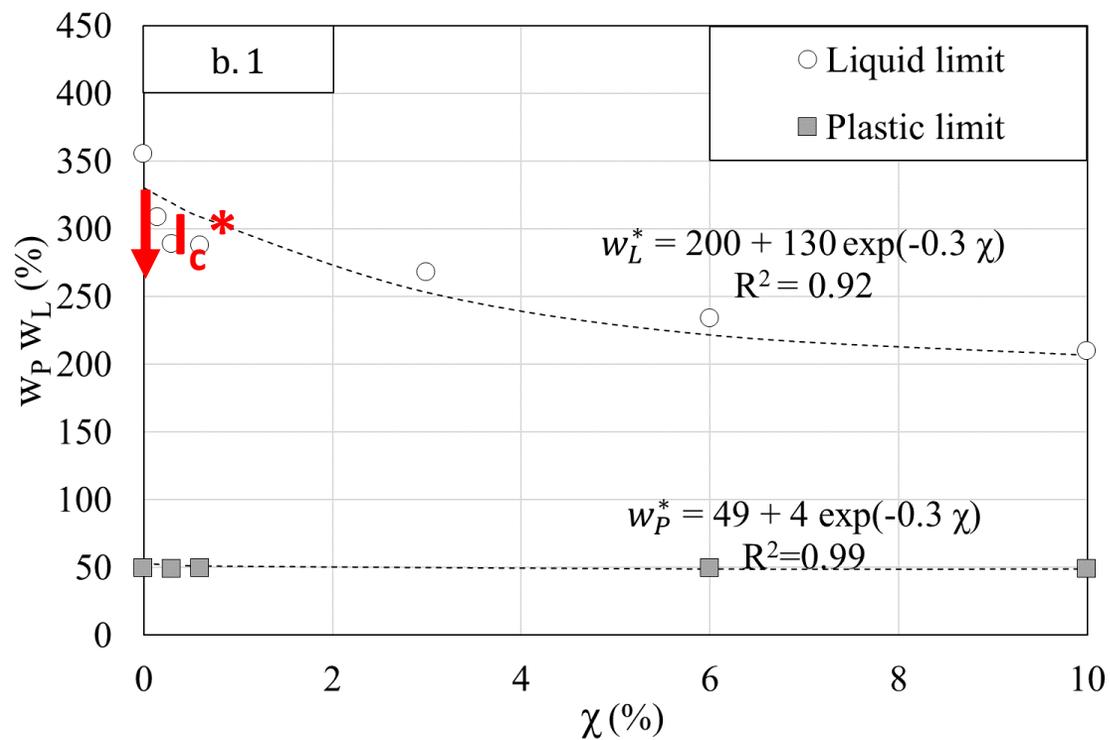
### Esempio di risultato sulla bentonite $lc_0=0.5$



### Risultati delle prove di viscosità



### Variatione dei limiti di consistenza:



Prove di compressione non confinata

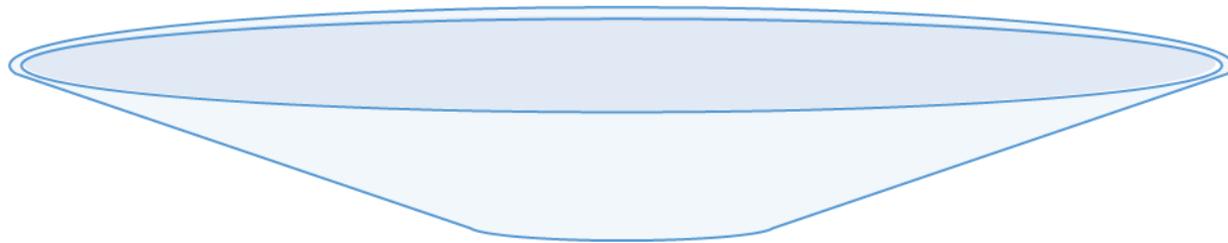
Prodotto



Acqua



Cemento



Terreno cementato



Effetto sulla consistenza dell'impasto

Contenuto d'acqua=30%



Contenuto d'acqua =14%  
Contenuto di ACP=16%



Prove di compressione non confinata (ASTM D1633-00, 2000)

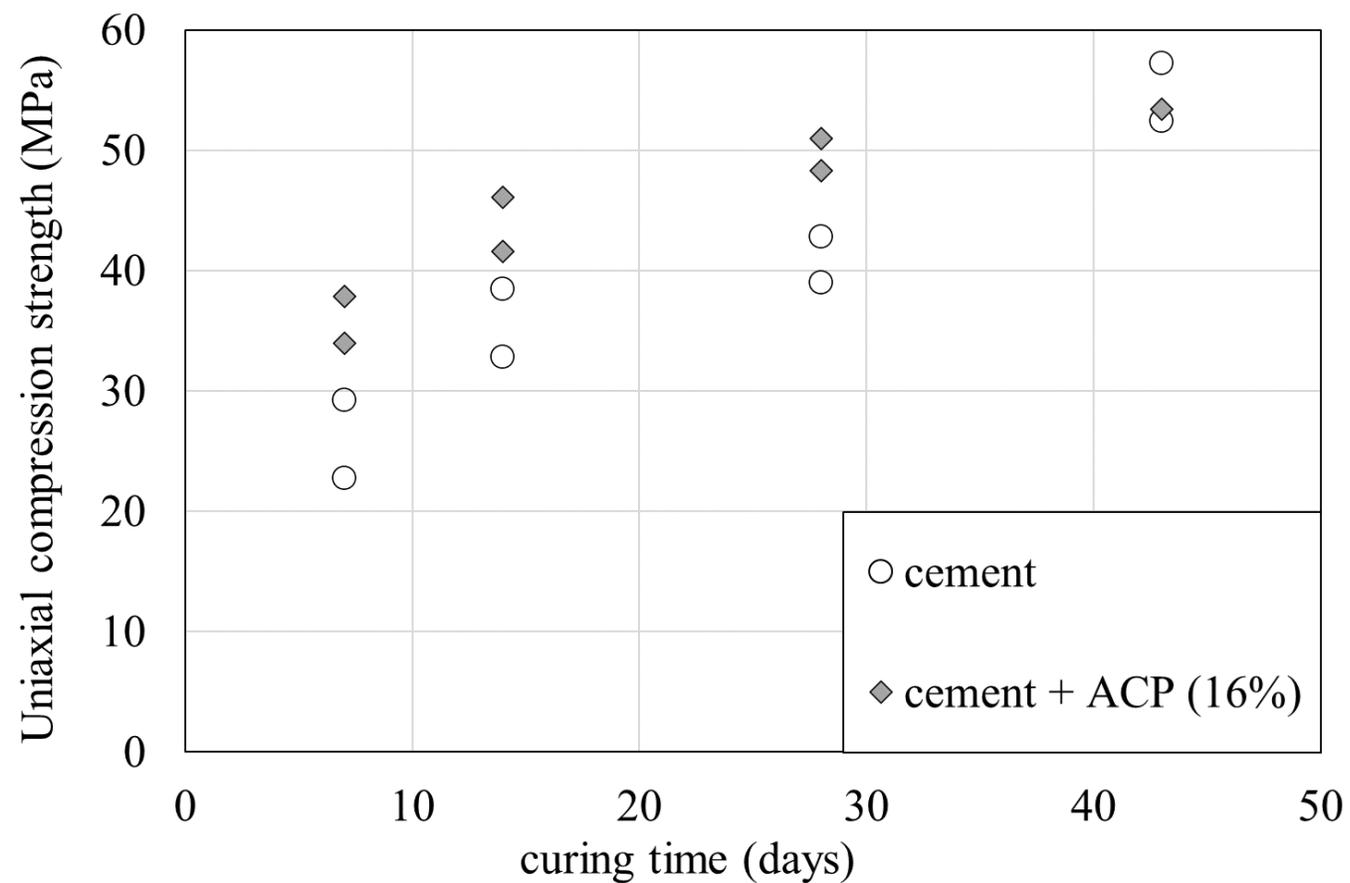
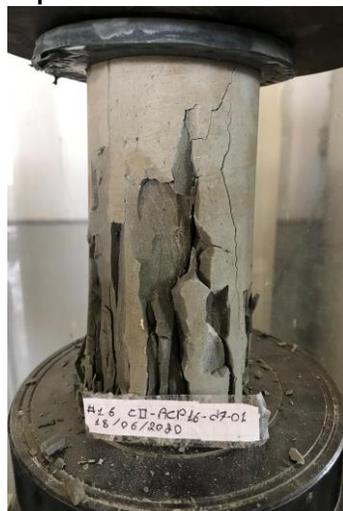
Campioni «cappati» pronti per essere testati



Pressa



Campione testato



Prove di compressione non confinata (ASTM D1633-00, 2000)

Terreno

Prodotto

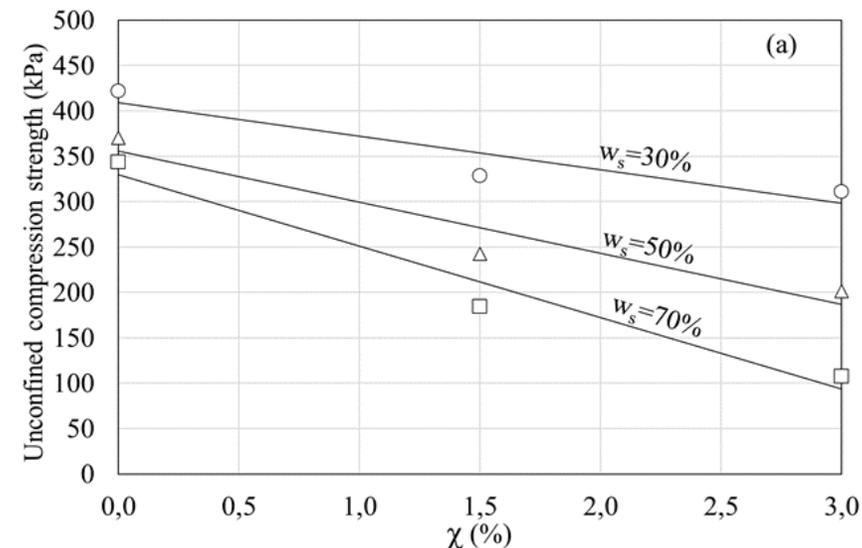
Acqua

Cemento

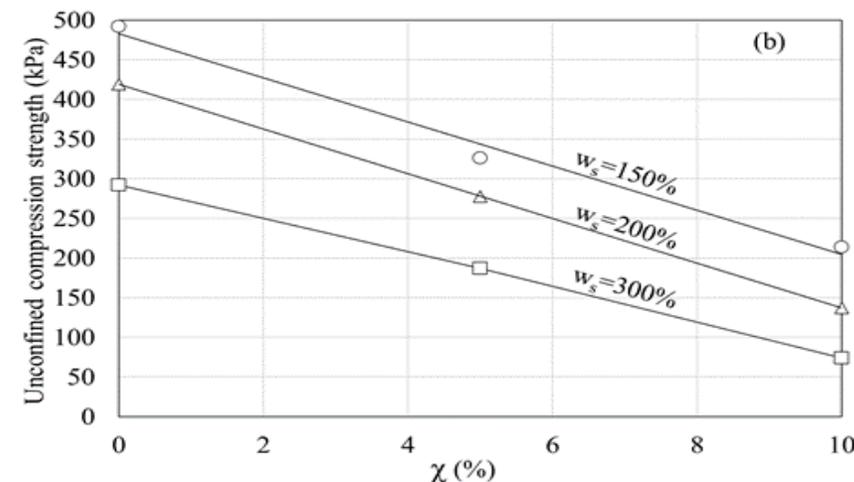
Caolino:



Terreno cementato



Bentonite:



Prove di compressione non confinata (ASTM D1633-00, 2000)

Terreno

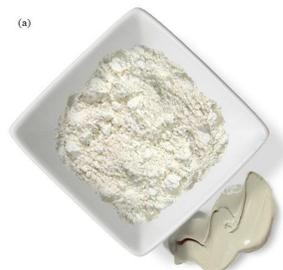
Prodotto

Acqua

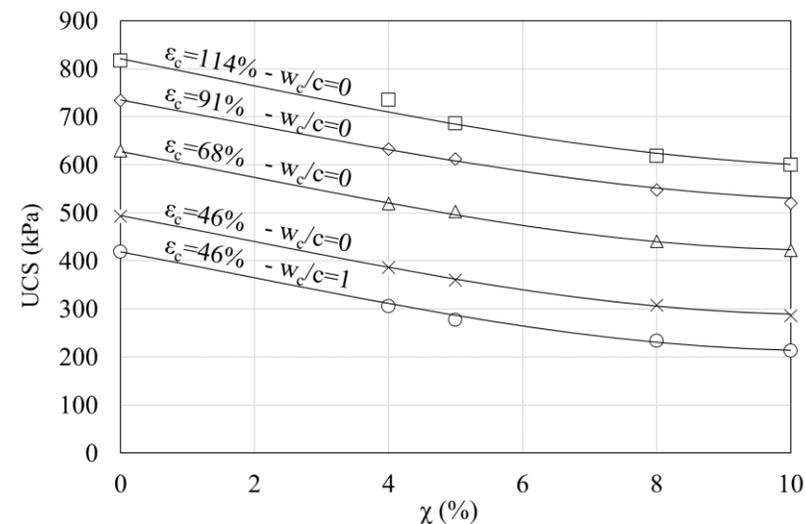
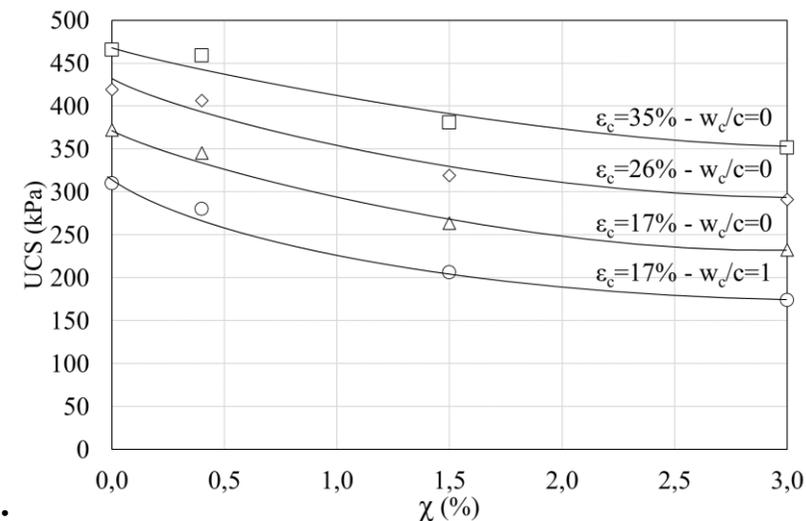
Cemento

Caolino:

Bentonite:



Terreno cementato

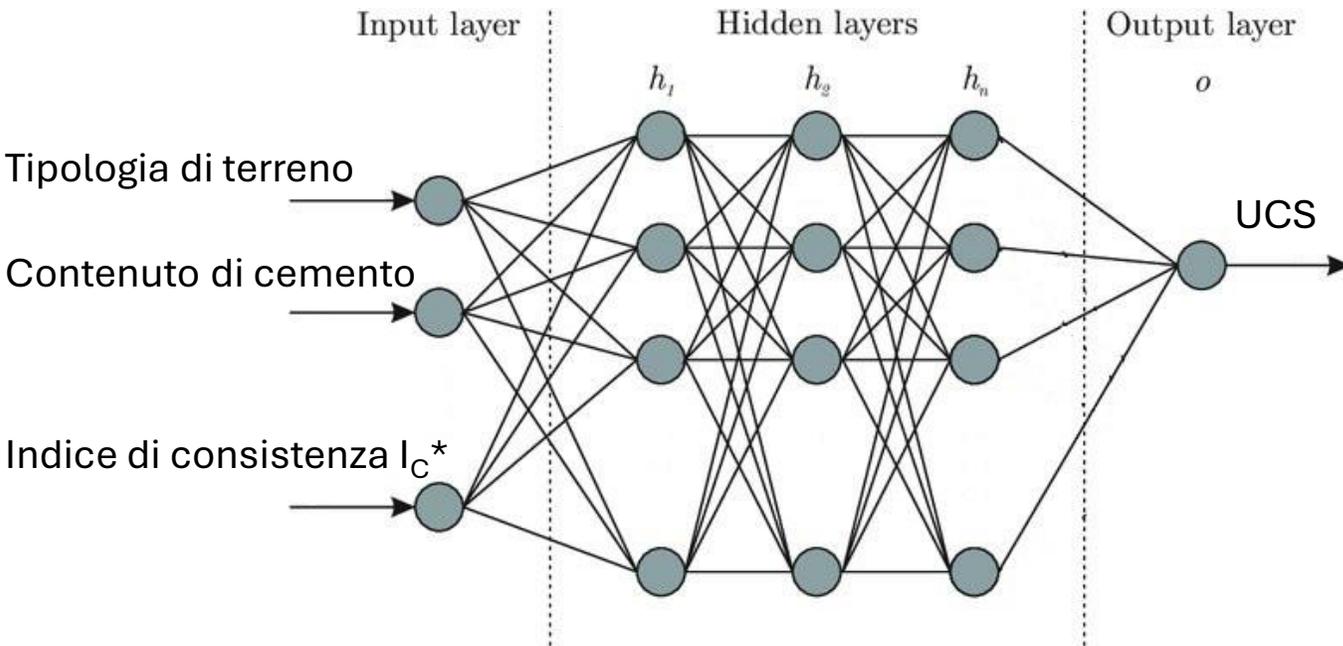
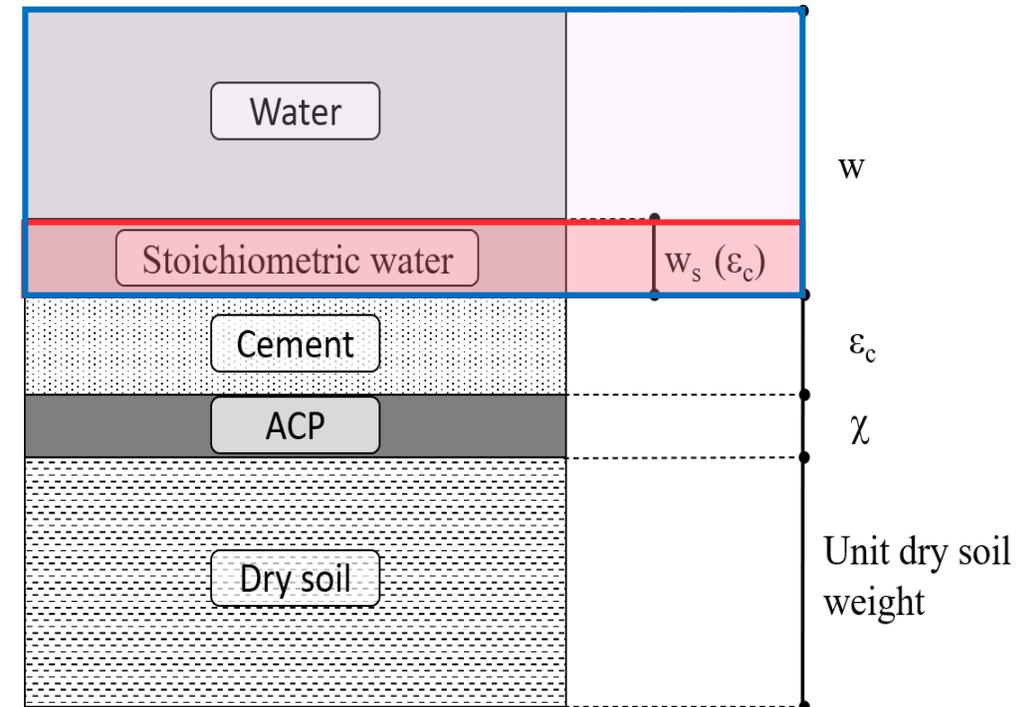


Artificial Neural Network

Indice di consistenza modificato:

$$I_c^*(X, \varepsilon_c) = \frac{w_L^*(X) - (w - w_s(\varepsilon_c))}{w_L^*(X) - w_P^*(X)}$$

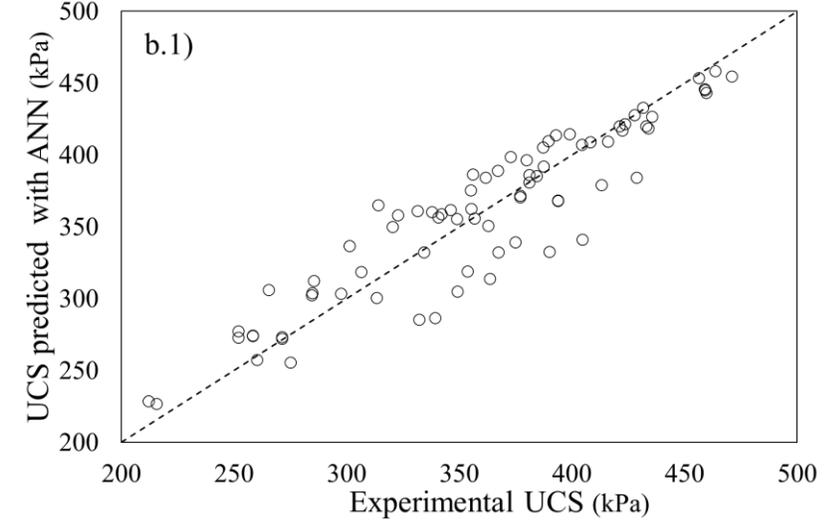
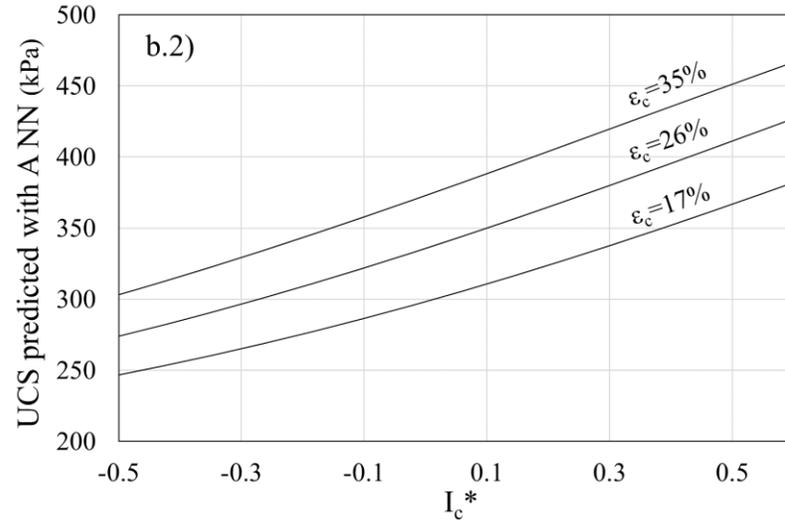
Schema delle fasi:



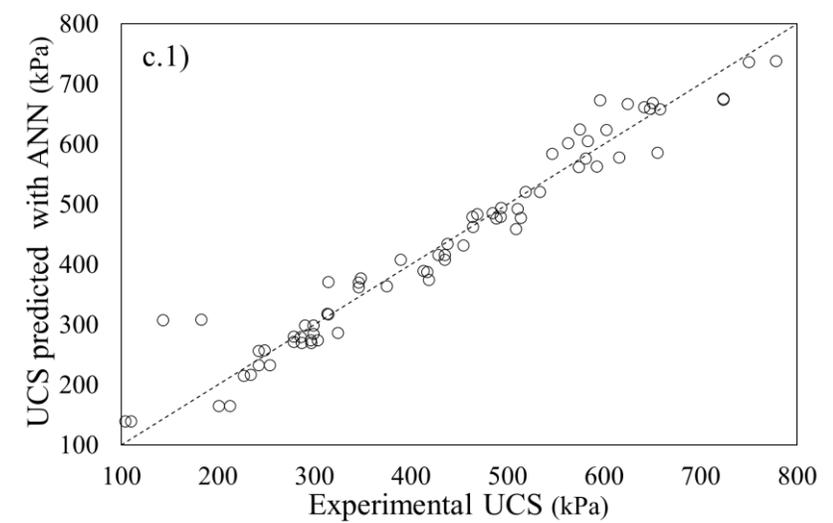
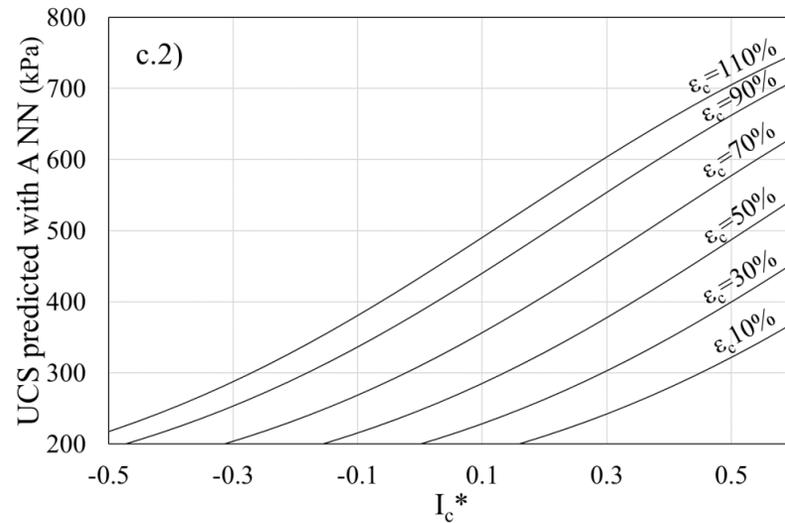
(Facundo et al., 2017)

### Artificial Neural Network

Caolino:



Bentonite:



### STEP 1

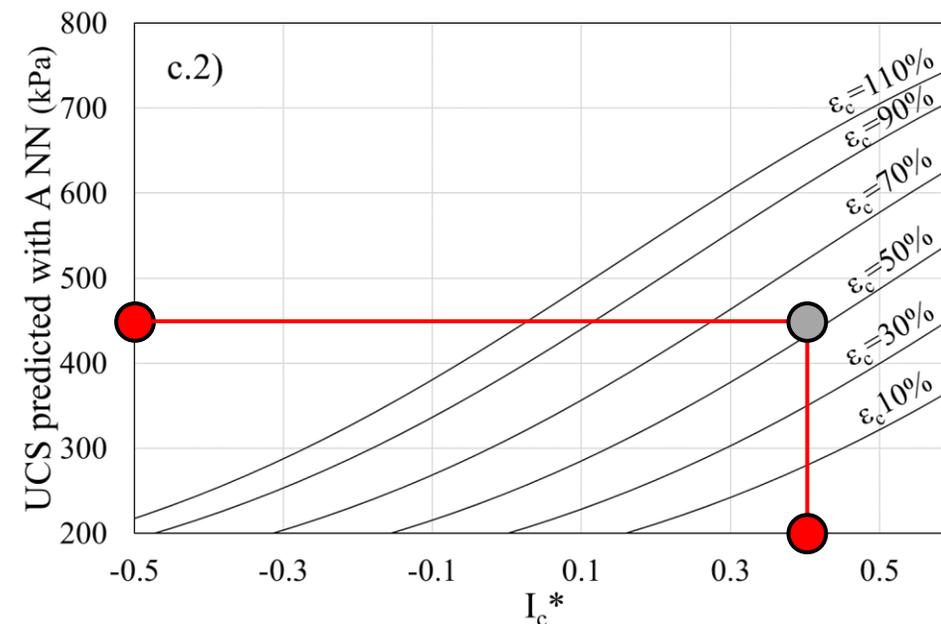
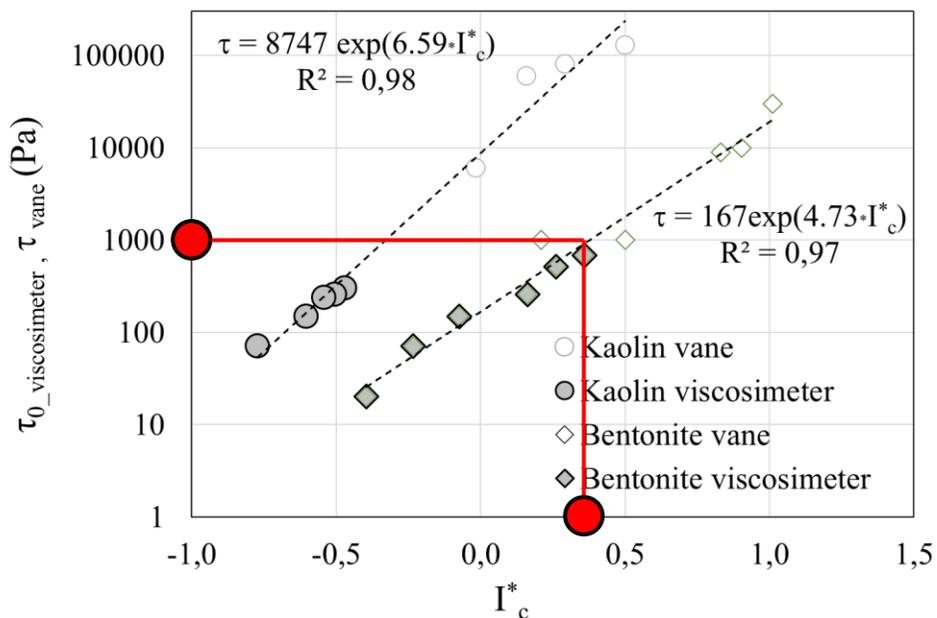
- Calcolo della resistenza richiesta in base alla particolare condizione progettuale (UCS)

### STEP 2

- Assegnazione della resistenza a taglio/viscosità in base ai macchinari impiegati
- Calcolo dell'indice di consistenza  $I_c^*$  e del quantitativo di prodotto  $\chi$

### STEP 3

- Calcolo del quantitativo di cemento necessario



Additivi polidispersanti come il MasterRoc GE 50 possono essere efficacemente utilizzati per migliorare la lavorabilità delle argille.

La modificazione della viscosità è correlabile con l'indice di consistenza  $I_c^*$ .

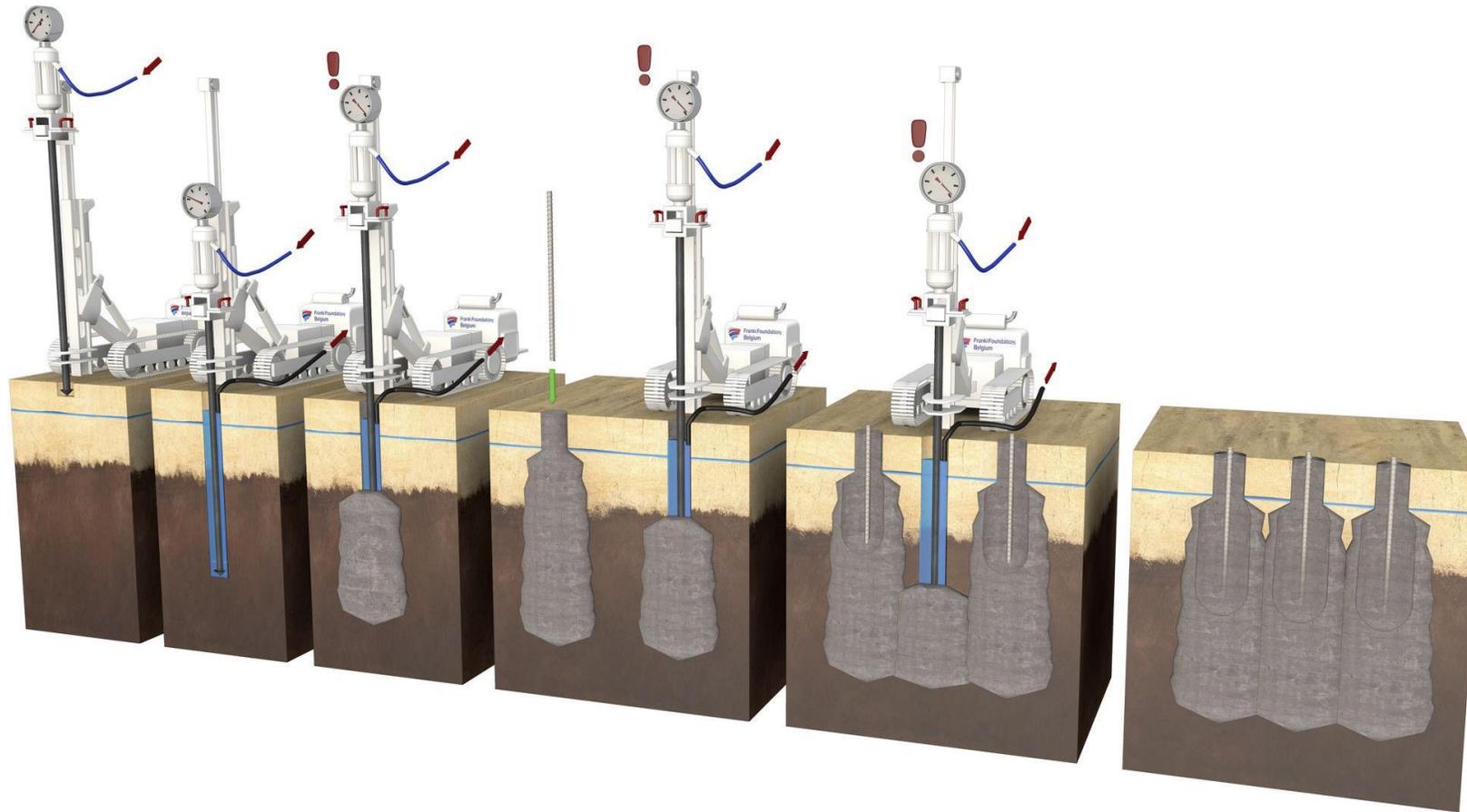
La stessa variabile, insieme al contenuto di cemento, determina la resistenza del materiale cementato.

È stata implementata una procedura di mix design che contempla lavorabilità e resistenza.

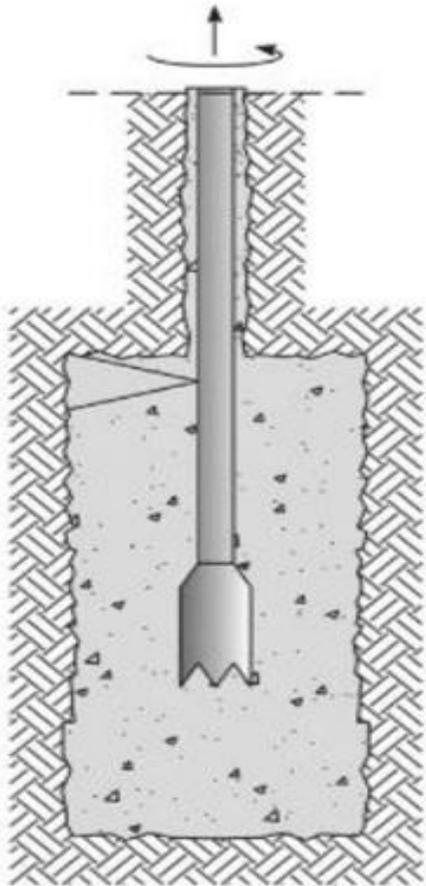
L'esecuzione di un campo prove consentirà di valutare gli effetti del prodotto sull'omogeneità del trattamento alla scala della colonna.

## UTILIZZO DI ADDITIVI FLUIDIFICANTI PER IL MIGLIORAMENTO DELLA PERFORMANCE DEL JET-GROUTING

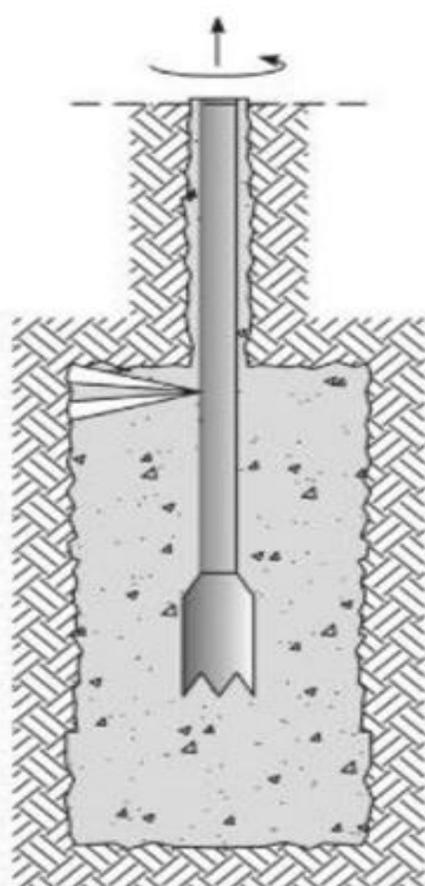




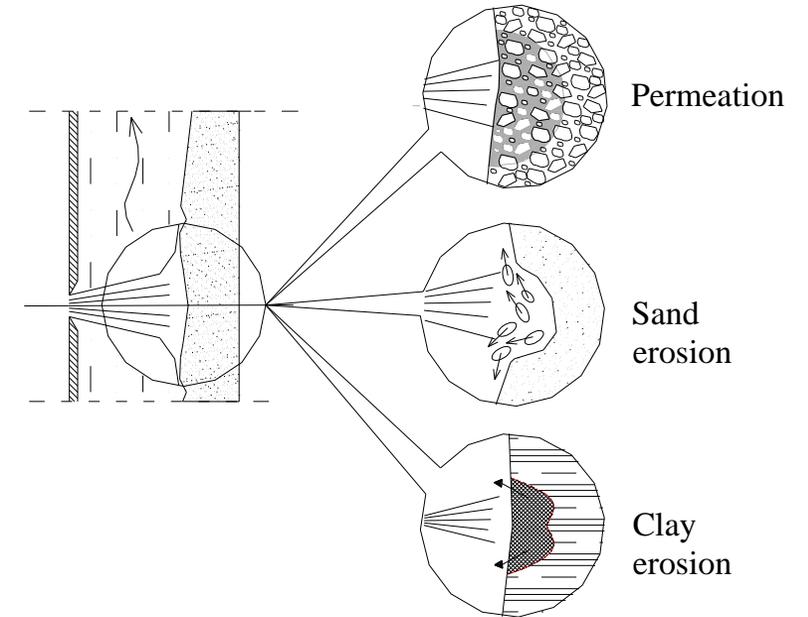
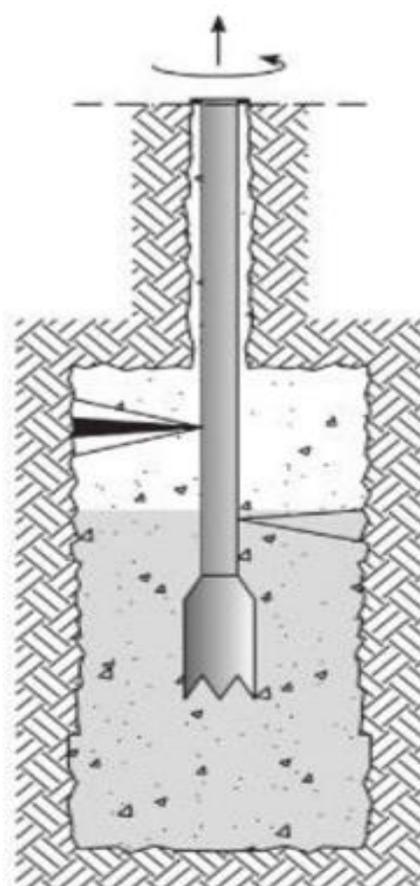
**MONO-FLUIDO**  
(boiaccia cementizia)



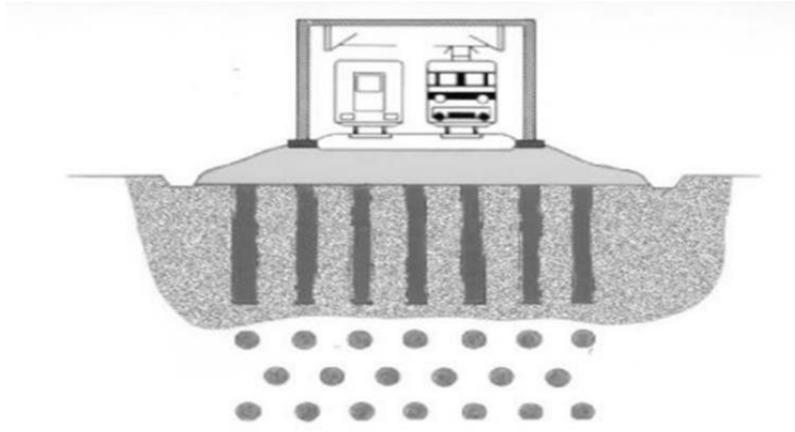
**BI-FLUIDO**  
(boiaccia cementizia e aria)



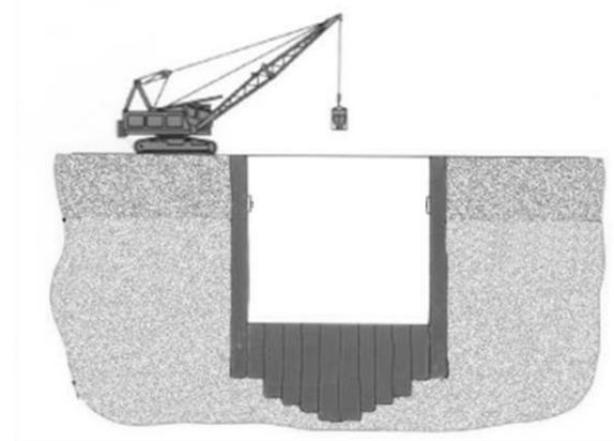
**TRI-FLUIDO**  
(boiaccia cementizia, aria e acqua)



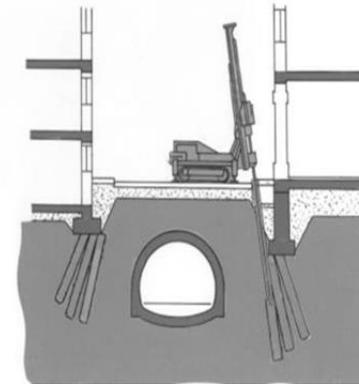
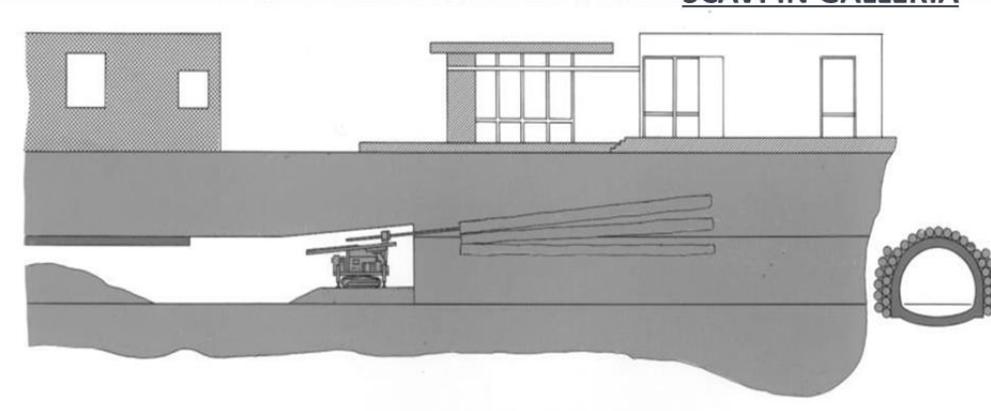
**FONDAZIONI**

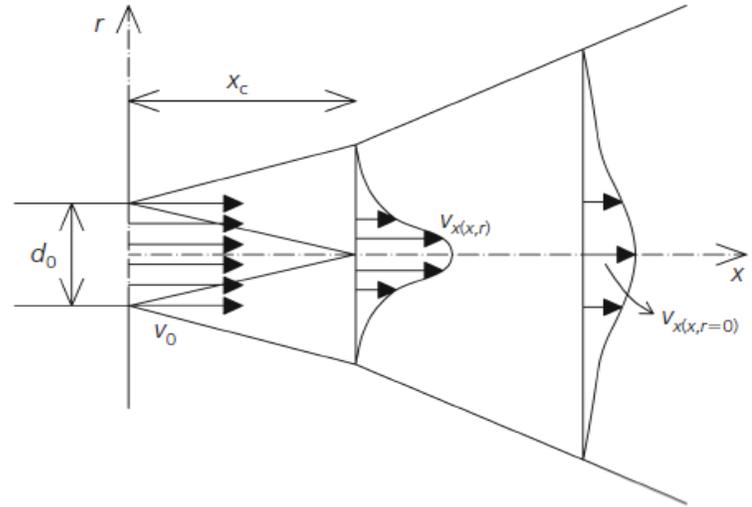
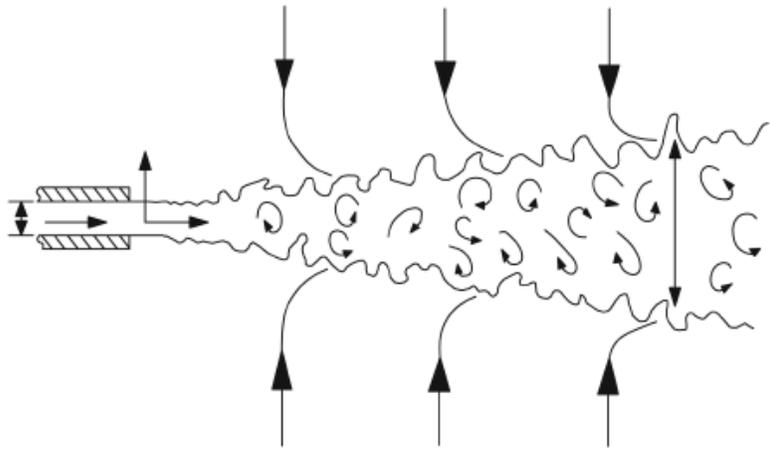


**OPERE DI SOSTEGNO**



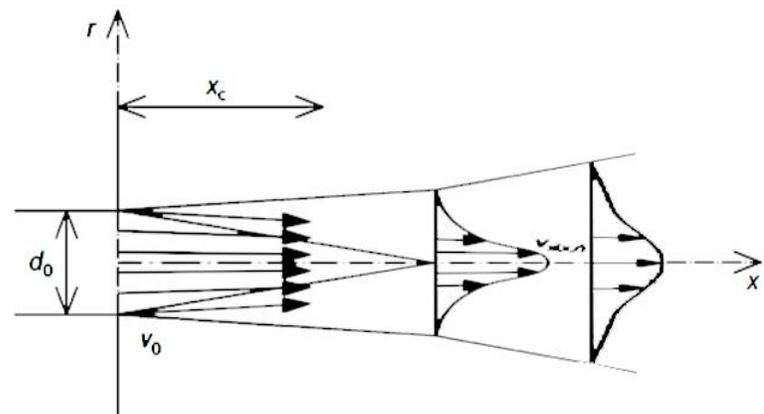
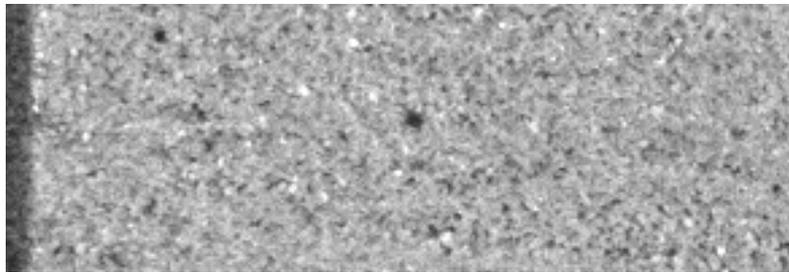
**SCAVI IN GALLERIA**





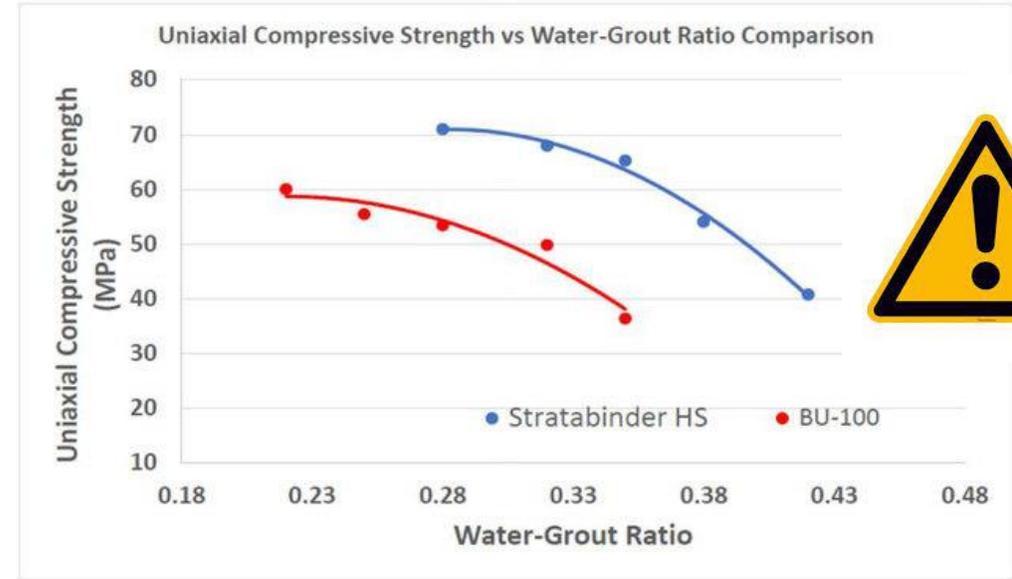
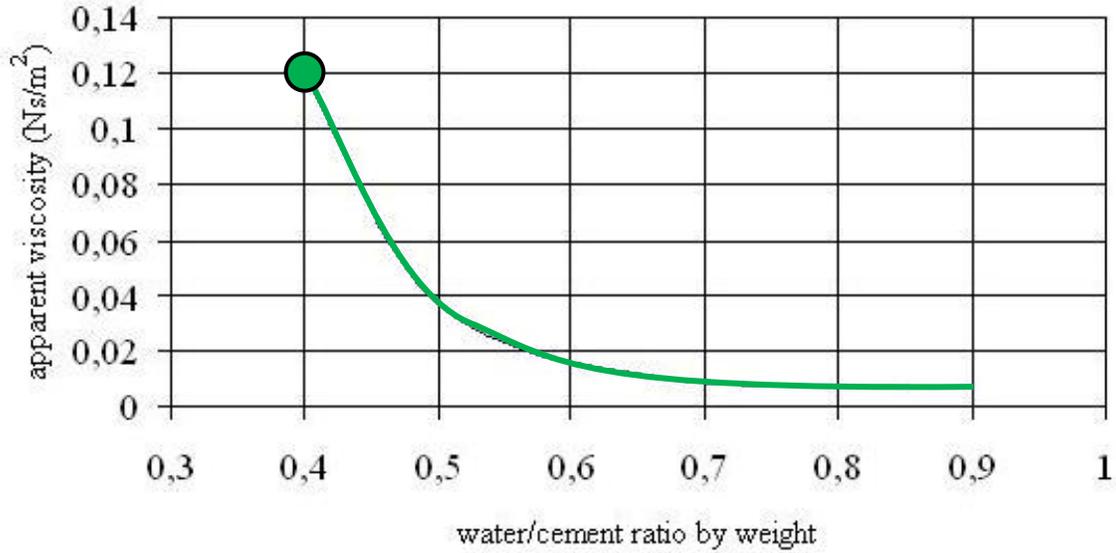
**INERZIA**    **VISCOSITÀ**

$$Re = \frac{\rho v_0 d_0}{\mu}$$



- **Migliore**    **capacità**    **di**  
**propagazione del getto**
- **Sistema**    **maggiormente**  
**efficiente**

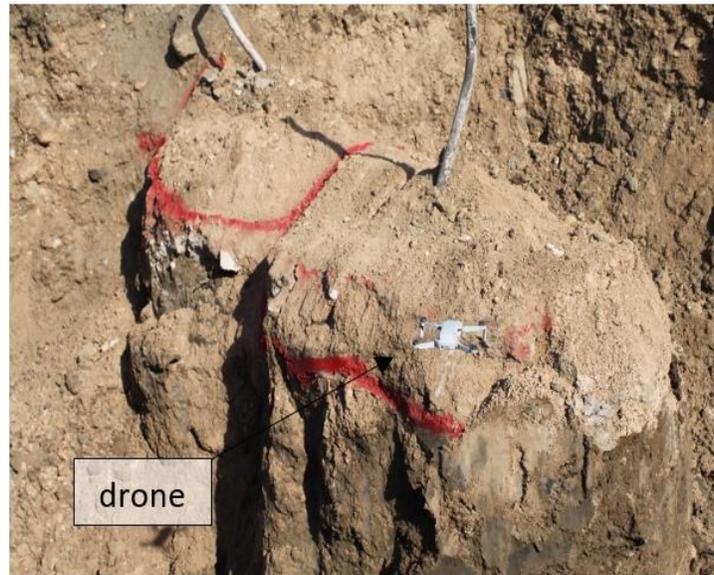
Comune rapporto a/c 0.5÷1.5



Aziz et al., 2017



- Caratterizzazione della miscela
- Esecuzione delle colonne ( $\Delta$ : tecnologia esecutiva, percentuale di additivo)
- Misura dei diametri
- Elaborazione dei risultati



ACQUA



+

CEMENTO



**CEM IV/B – 32,5 R**

Cemento pozzolanico  
RES. A COMPRESSIONE  
32,5 MPa

+

ADDITIVO  
FLUIDIFICANTE



**MASTER-ROC**

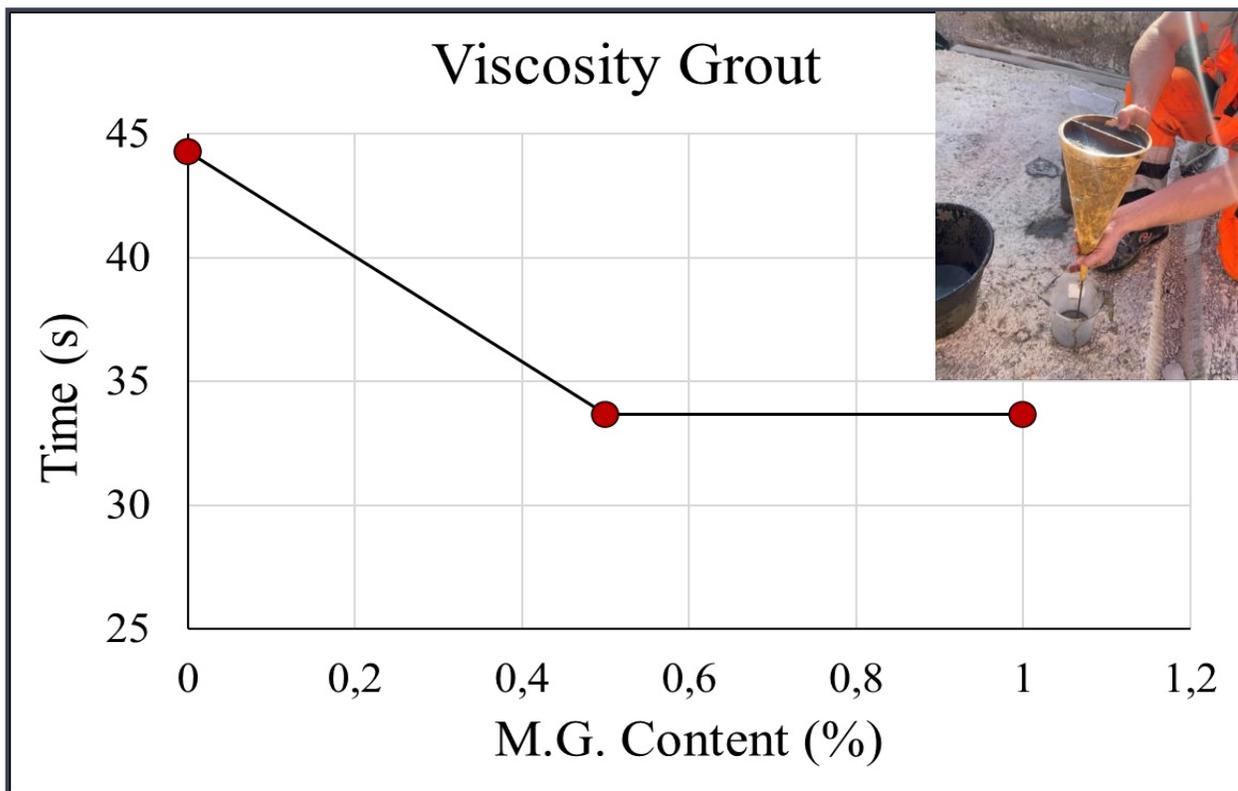
**MASTER®**  
**BUILDERS**  
SOLUTIONS

**Rapporto ACQUA – CEMENTO pari ad 1**

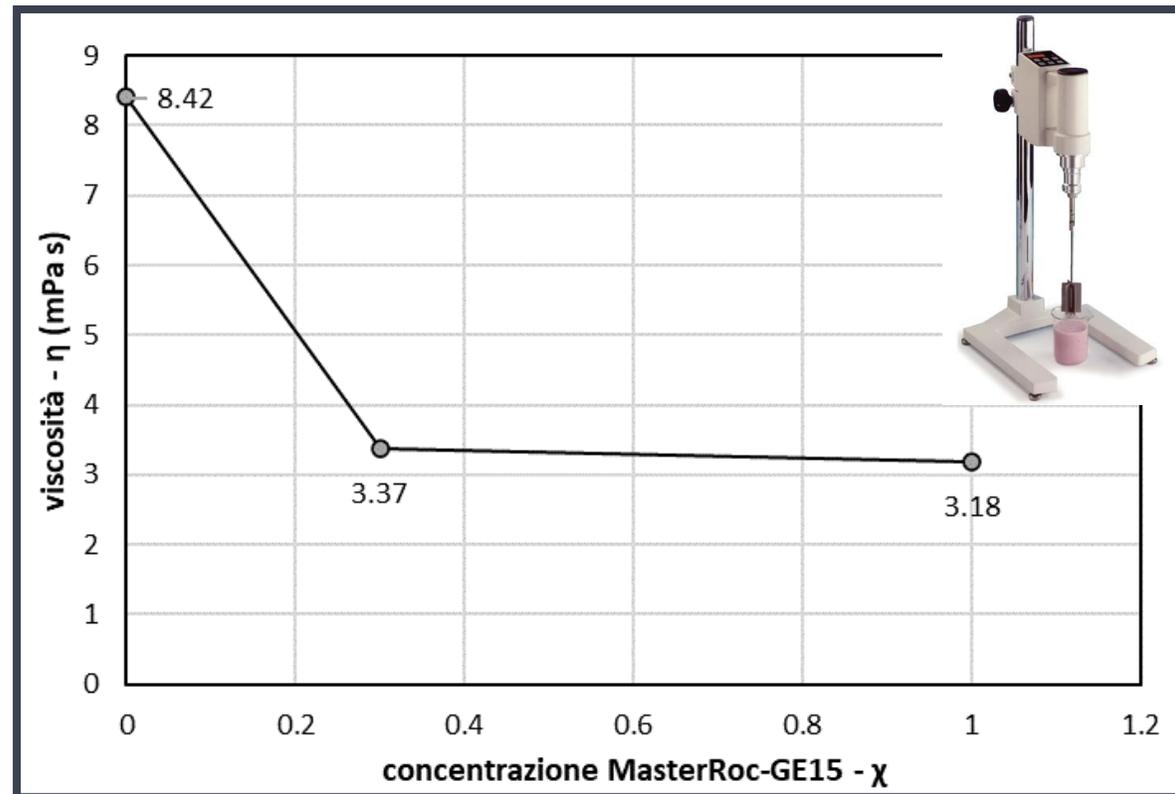
**Var: 0,3 – 1 %**

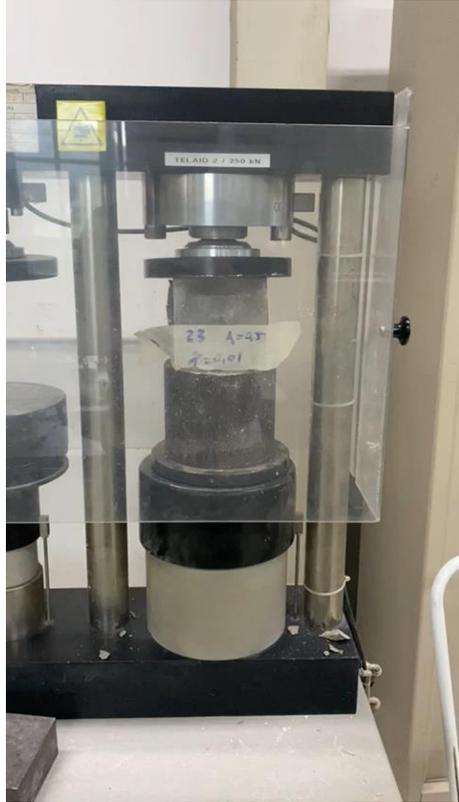
Viscosità

Imbuto di Marsh

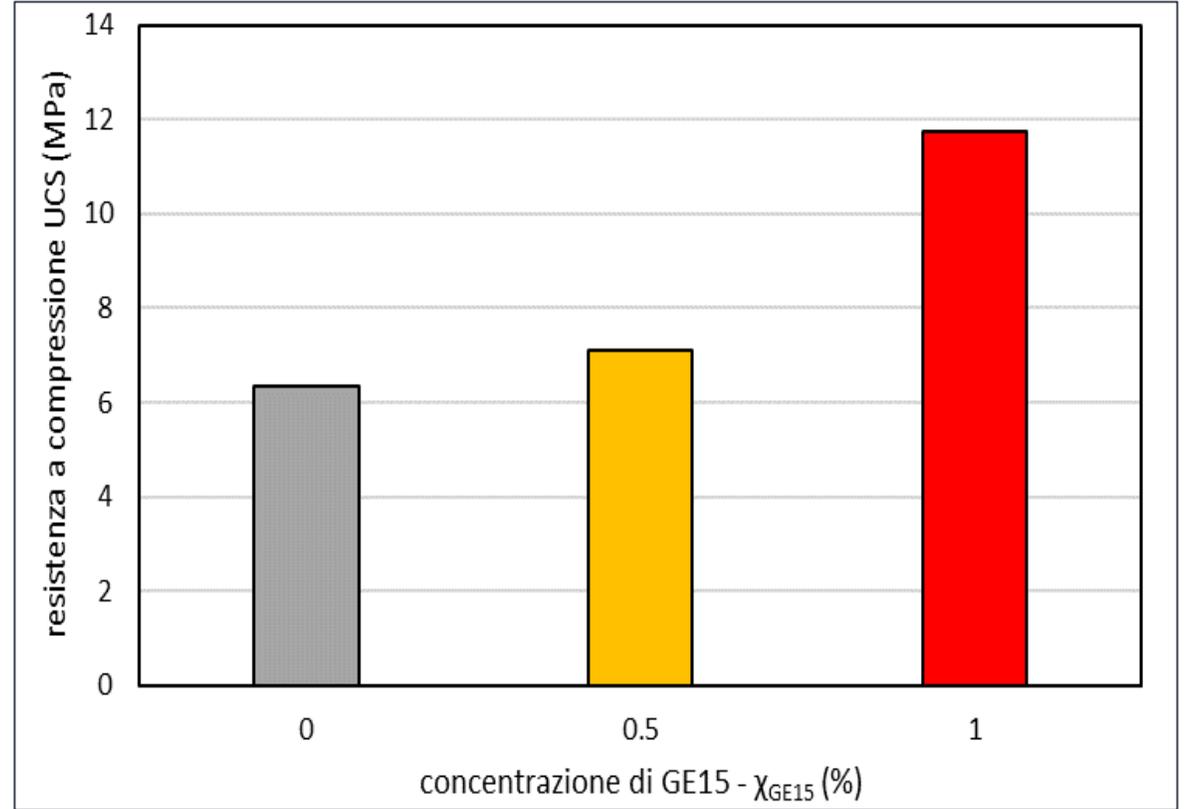


Viscosimetro da laboratorio Haake

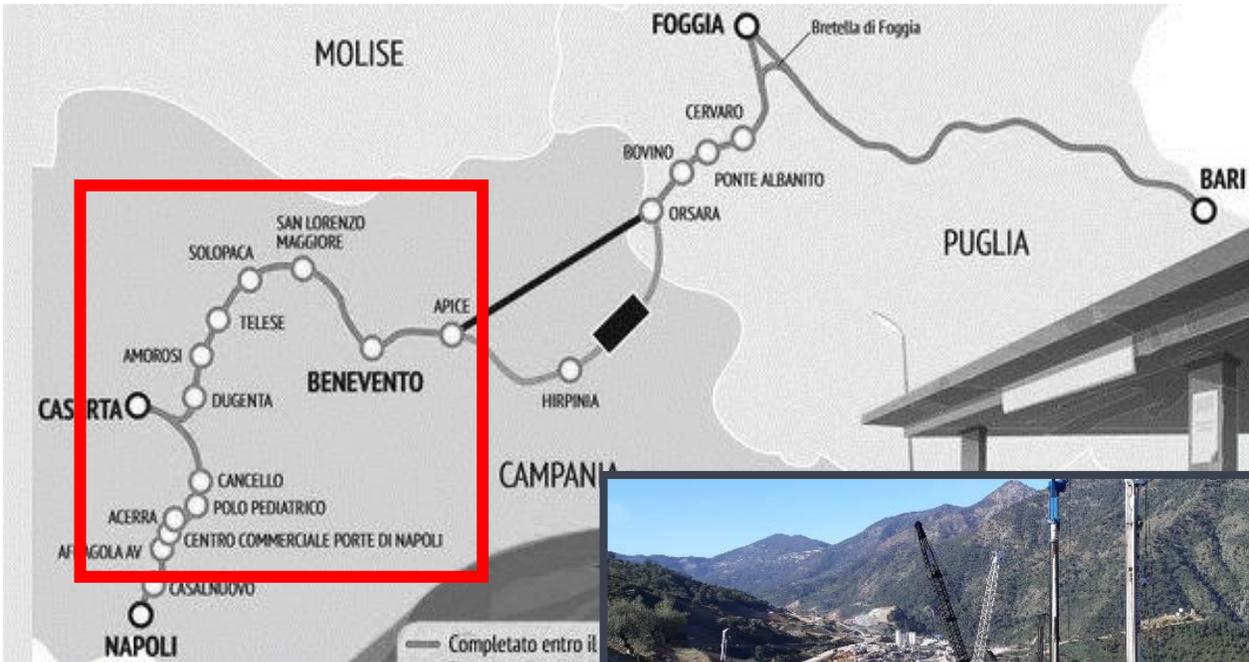




Resistenza



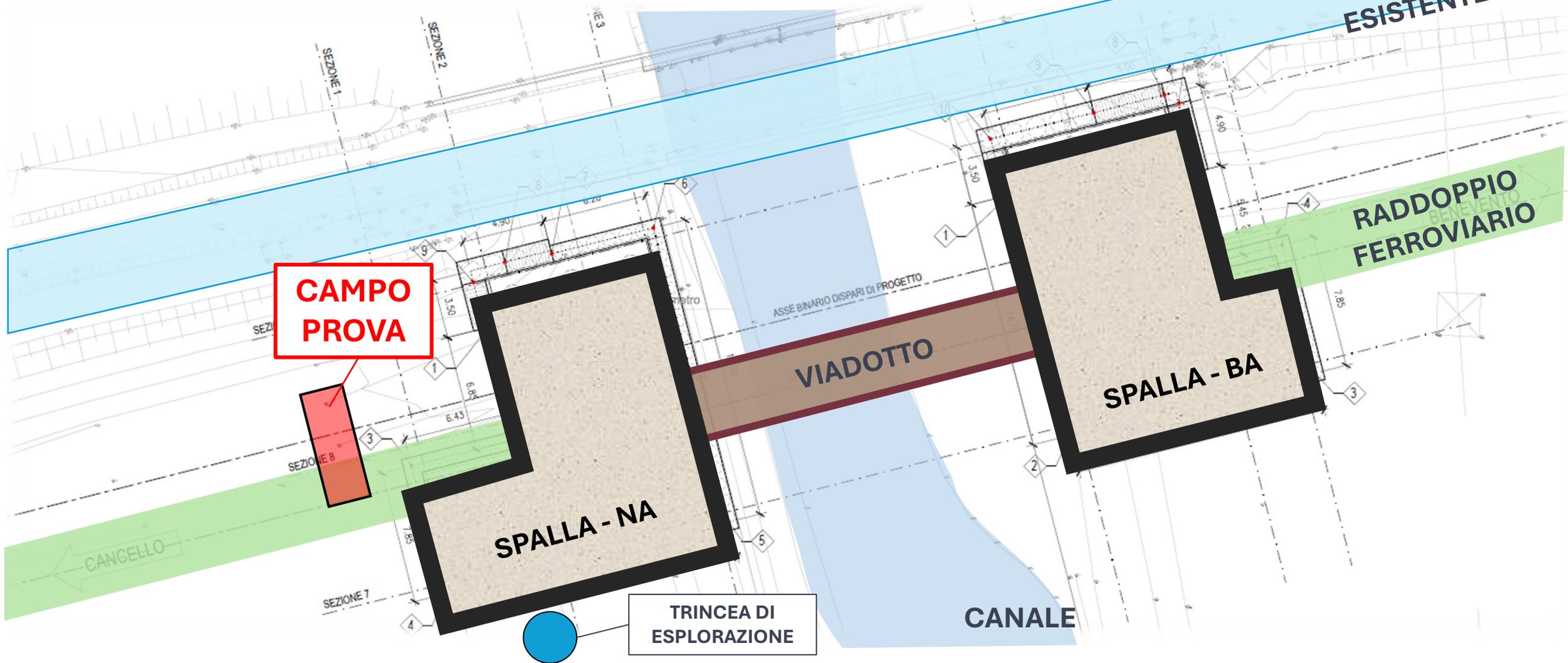
Lavori di raddoppio dell'itinerario  
Napoli - Bari



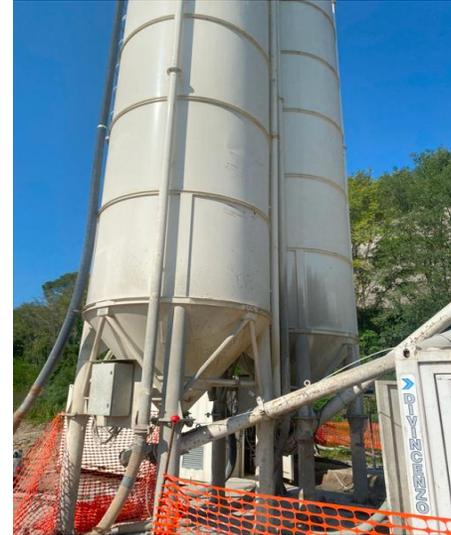
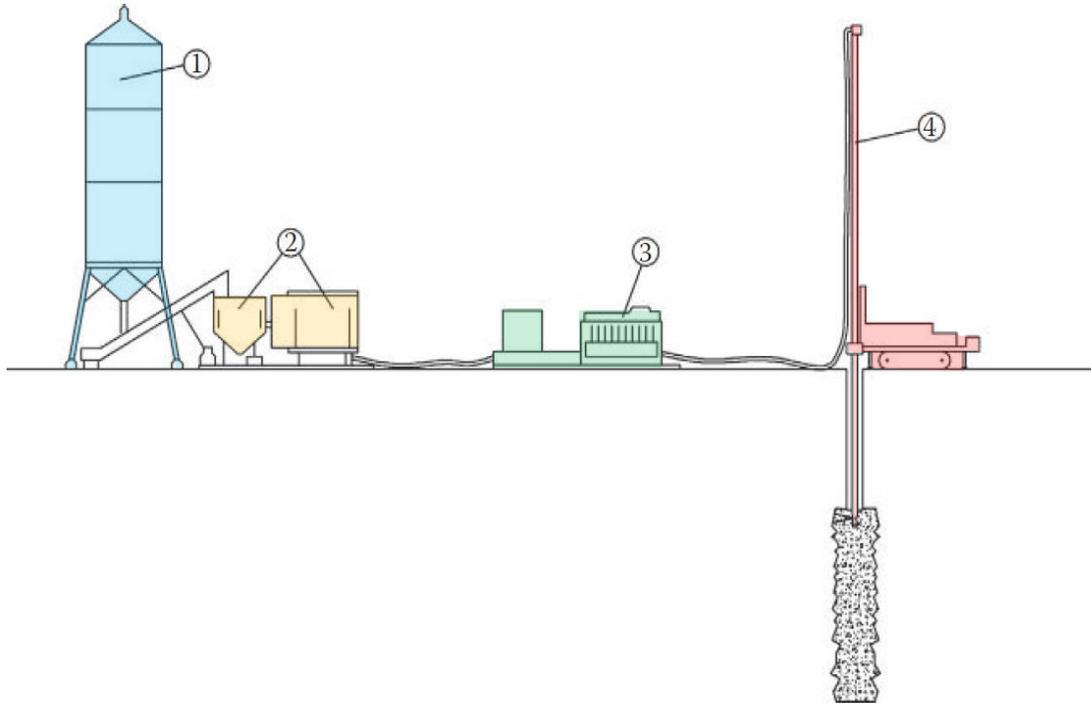
Il lotto funzionale Frasso Telesino – Vitulano



Layout del cantiere



Impianto



Caratterizzazione geotecnica

**1) STUDIO DELLE INDAGINI ESISTENTI**

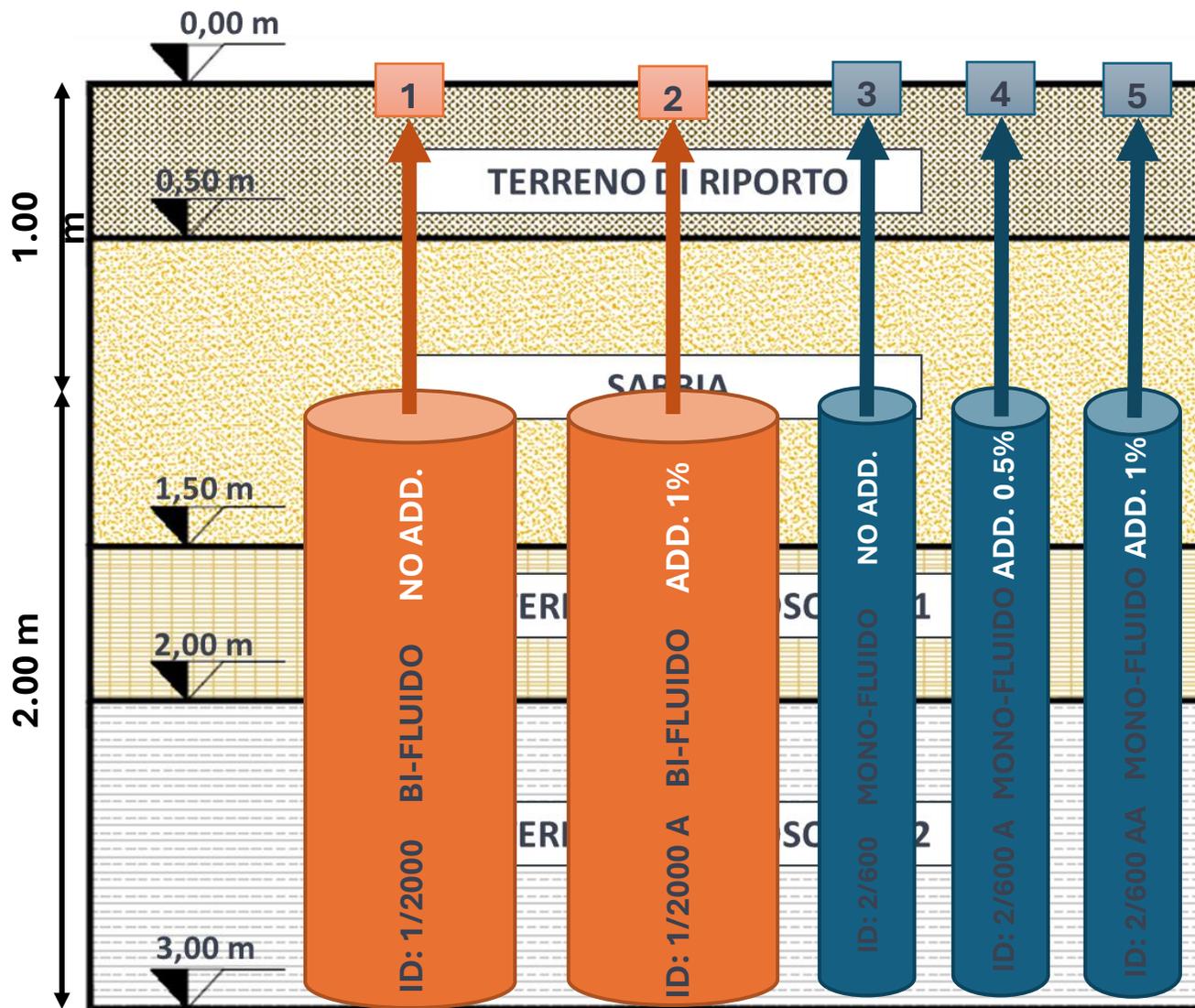
+

**2) INDAGINI ESEGUITE AD-HOC**

- **Relazione Geologica, geomorfologica e idrogeologica;**
- **Sondaggi esistenti;**
- **Risultati delle prove CPT.**



Caratterizzazione geotecnica



**Nr. 2 colonne BI-FLUIDO  
Ø 2000**

UGELLI (nr)	DIAM. UGELLI (mm)	Pressione iniezione boiaccia (bar)	Portata boiaccia (l/min)
1	5,5	380-420	305-340
Velocita' di risalita (cm/min)	Velocita' di rotazione (giri/min)	Pressione aria (bar)	Portata aria (l/min)
28-32 (8sec - 4cm)	13-17	7-9	7000-9000

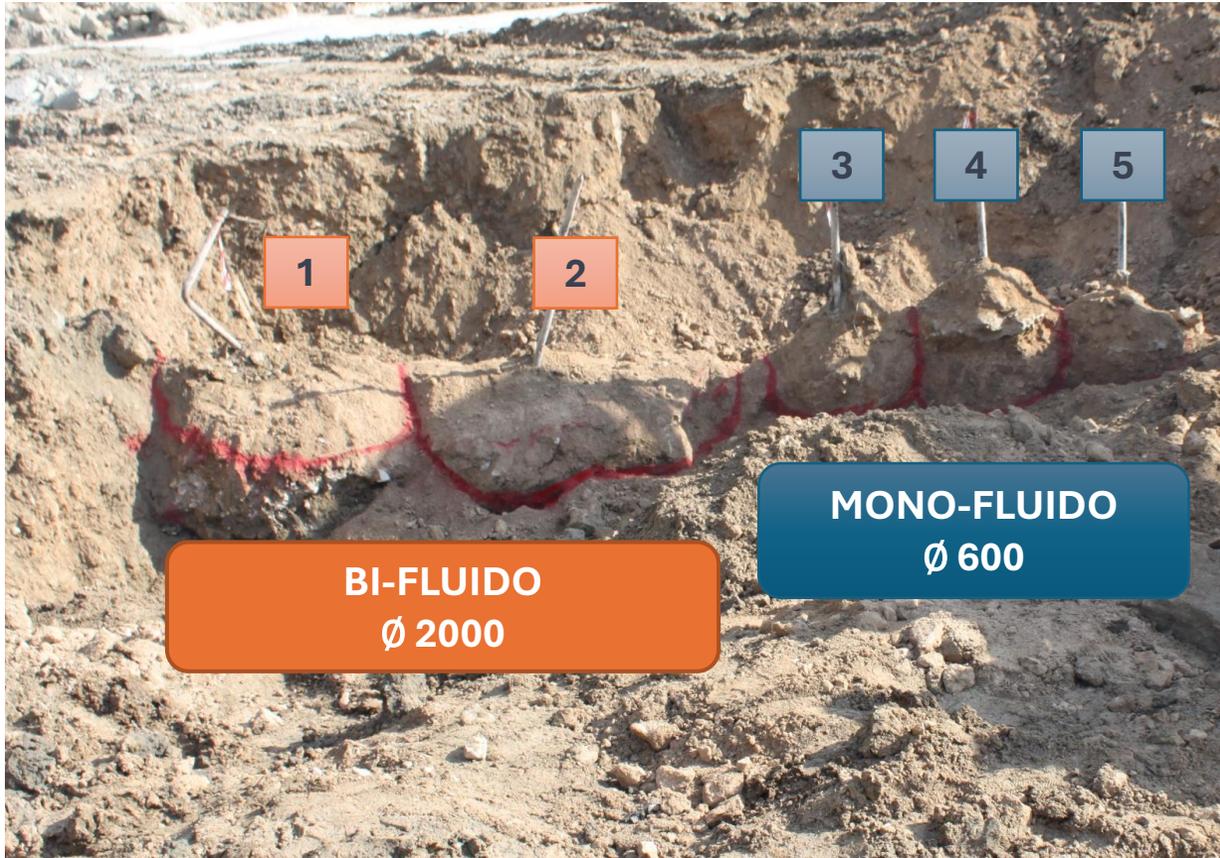
**Nr. 3 colonne MONO-FLUIDO Ø 600**

UGELLI (nr)	DIAM. UGELLI (mm)	Pressione iniezione boiaccia (bar)	Portata boiaccia (l/min)
2	2,5	380-420	120-140
Velocita' di risalita (cm/min)	Velocita' di rotazione (giri/min)	Pressione aria (bar)	Portata aria (l/min)
118-122 (4ec - 8cm)	28-32	NA	NA

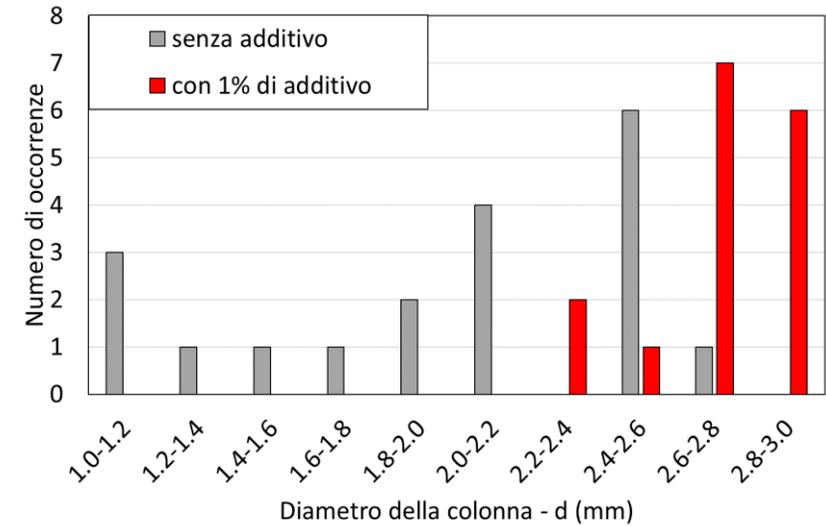
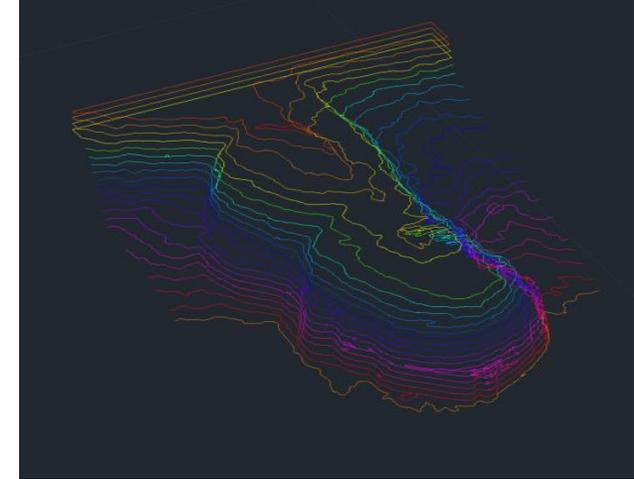
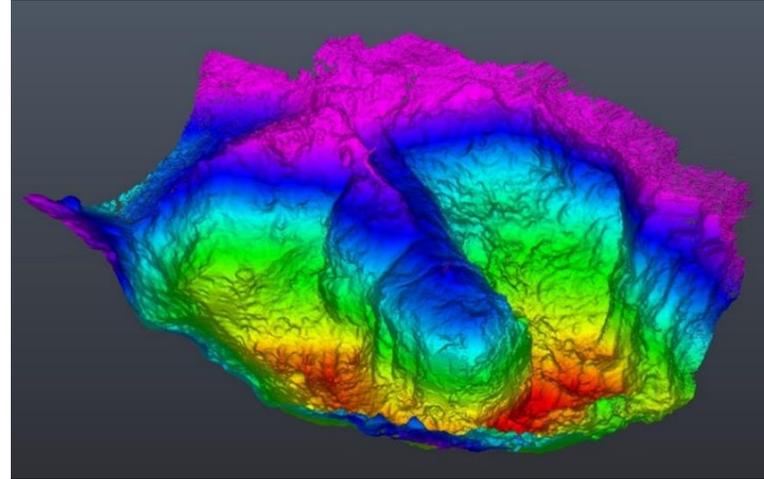
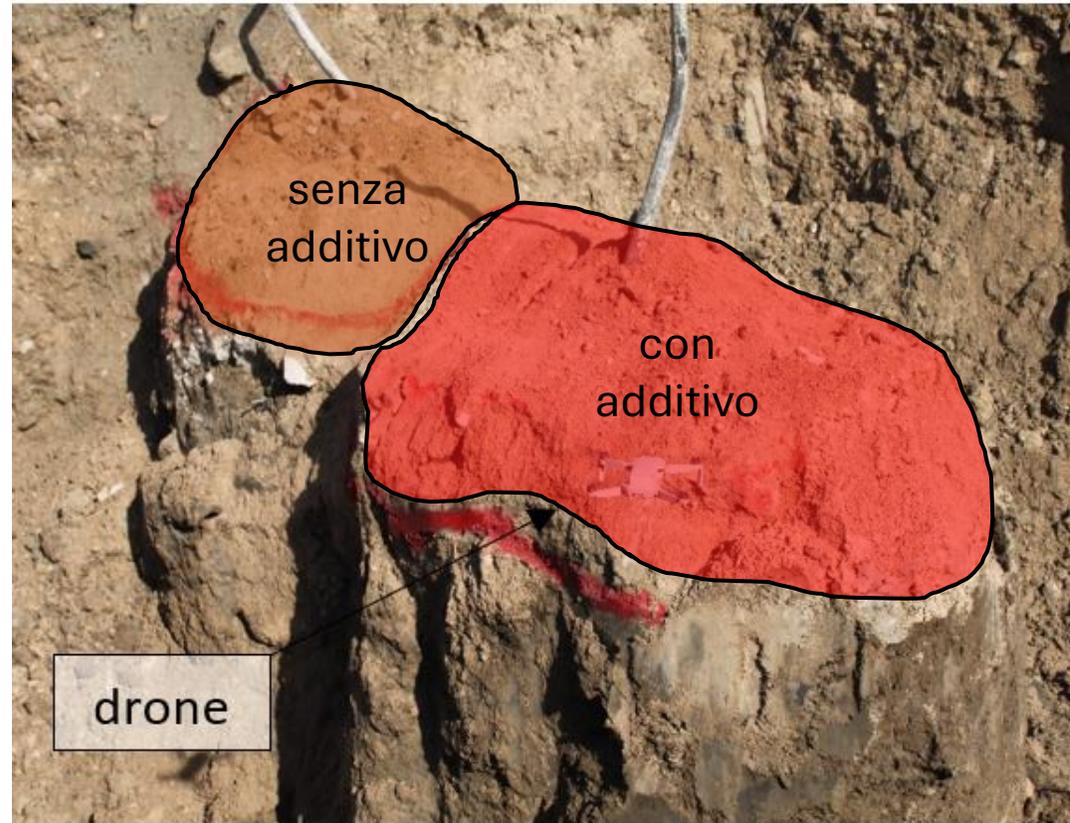
Esecuzione del trattamento



Estrazione delle colonne



Misura dei diametri – colonne bi-fluido

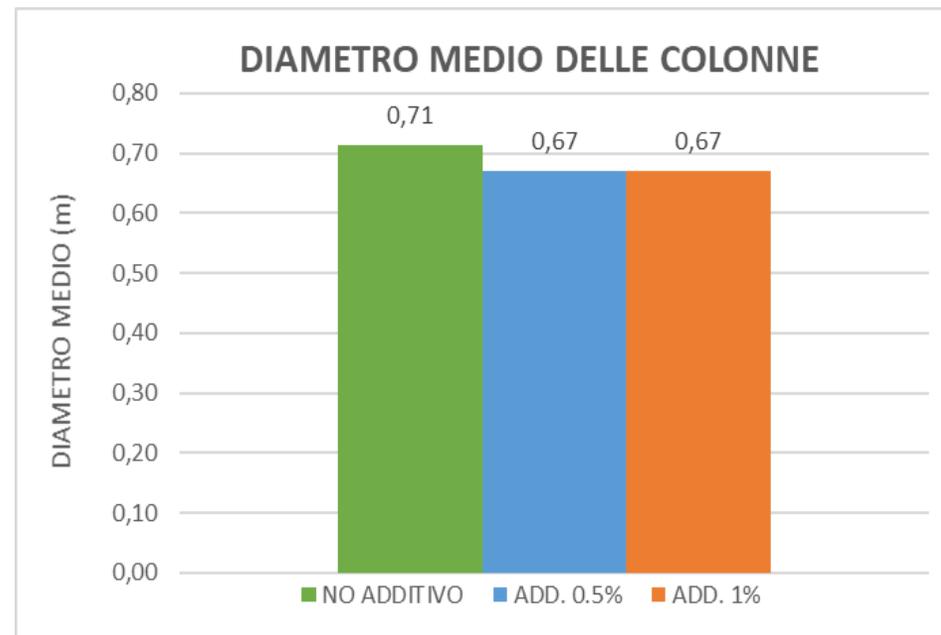
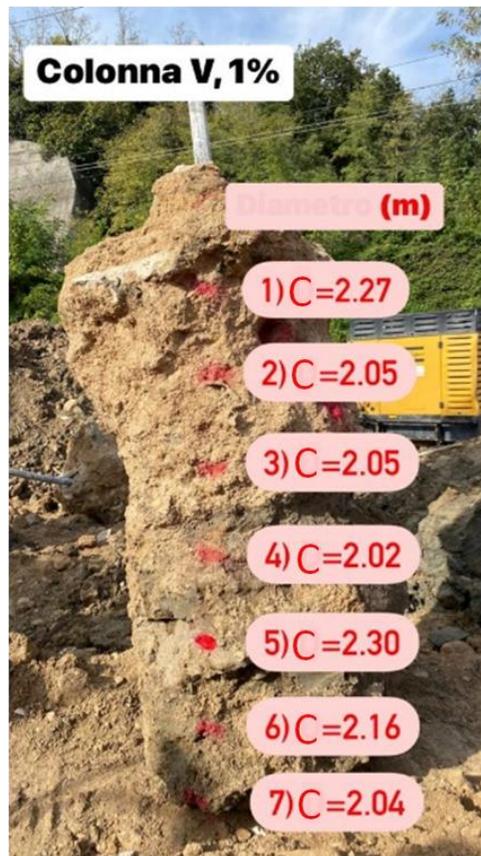


## Misura dei diametri – colonne mono-fluido

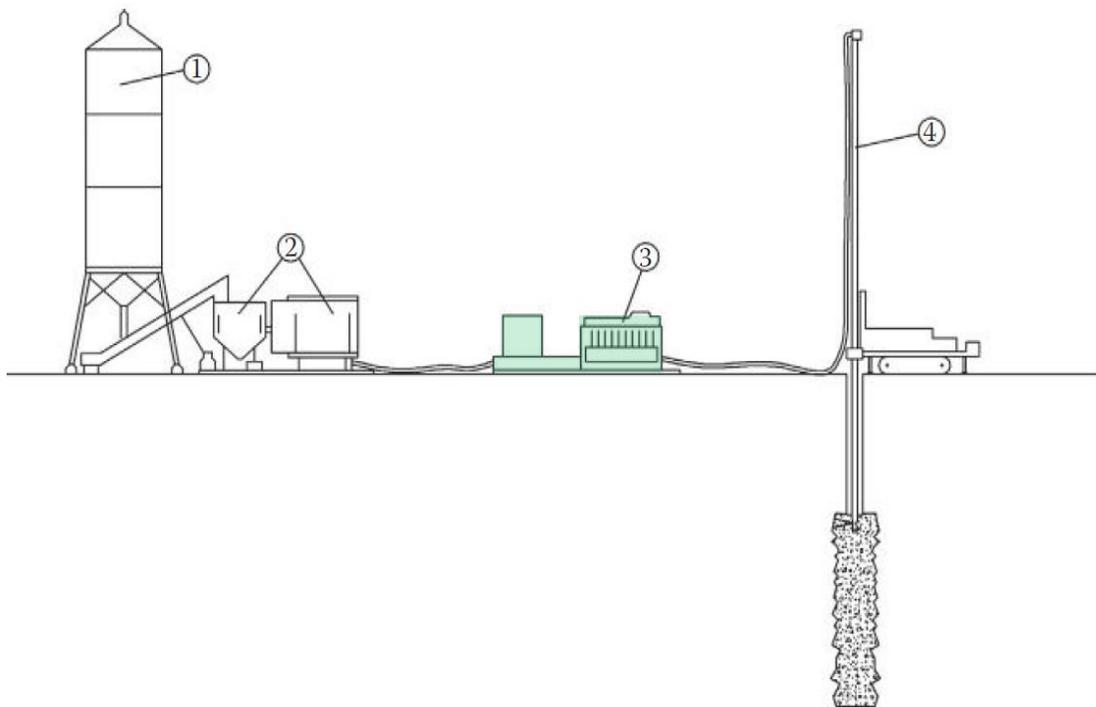
Colonna III – NO ADD.

Colonna IV – ADD. 0,5%

Colonna V – ADD. 1%

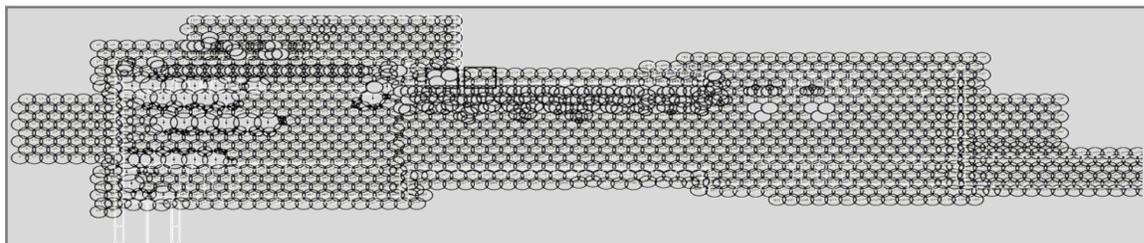


## Misure di pressione alla pompa



<b>MONO-FLUIDO</b>	<b>Pressione iniezione boiaccia (bar)</b>	<b>Portata boiaccia (l/min)</b>
<b>NO ADDITIVO</b>	424	139
<b>con. ADDITIVO 0,5%</b>	420	131
<b>con. ADDITIVO 1%</b>	345	148

## Esempio applicativo: colonne di bi-fluido delle dimensioni del campo prove



UGELLI (nr)	DIAM. UGELLI (mm)	Pressione iniezione boiaccia (bar)	Portata boiaccia (l/min)
1	5,5	380-420	305-340
Velocita' di risalita (cm/min)	Velocita' di rotazione (giri/min)	Pressione aria (bar)	Portata aria (l/min)
28-32 (8sec - 4cm)	13-17	7-9	7000-9000

### Incidenza del materiale sul costo complessivo

Costo additivo per unità di lunghezza della colonna:

$$3.3\text{min} \times 300 \text{ l/min} \times 1.5 \text{ kg/l} \times 0.5 \text{ (A/C)} * 0.01 + 1.1 \text{ €/l} = 8.3 \text{ €}$$

Costo colonna per metro lineare: 250 €/ml

**Incidenza del costo dell'additivo= 3,5%**

### Risparmio complessivo

Nr. colonne con additivo = Nr. colonne senza additivo  $/(D_{\text{add}}/D_{\text{ini}})^2 = \text{Nr. Colonne senza additivo} / 1,56$

**Riduzione costi per esecuzione colonne = 36%**

**+ Minore consumo di energia e minori costi per usura apparecchiature**

**Il campo prove ha mostrato che l'additivo MasterRoc GE15 con una concentrazione dell'1% in peso rispetto al cemento ha prodotto un incremento in termini di diametro della colonna del 2000mm pari al 25%.**

**Le prove di resistenza UCS hanno mostrato che il prodotto non inficia in modo alcuno la resistenza del grout. Si è osservato infatti che la resistenza dei provini di boiaccia prelevati in situ aumenta al crescere della concentrazione di additivo.**

**Grazie alla minore viscosità del fluido iniettato, l'additivo riduce le perdite di energia lungo l'impianto di adduzione ed iniezione e l'usura delle componenti (testina, ugelli).**

**Queste evidenze dovranno essere confermate con apposite misure di pressione e portata, sia alla pompa che alla macchina, in un futuro campo prove.**