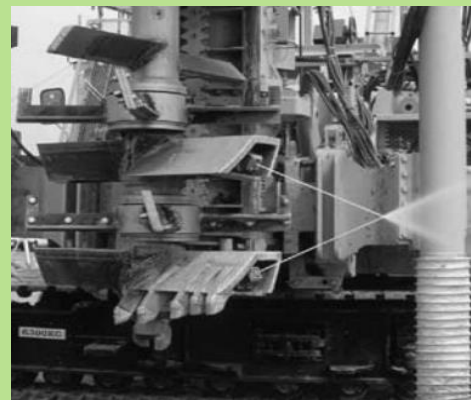
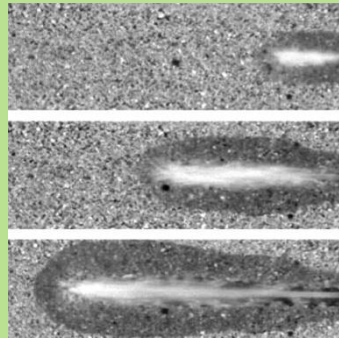




CICLO DI SEMINARI SUL MIGLIORAMENTO DEI TERRENI



UNIVERSITÀ DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE
AULA MAGNA DI INGEGNERIA
DAL 9 AL 11 MARZO 2016

Il Master

- [Presentazione](#)
- [Obiettivi](#)
- [Organismi di gestione](#)
- [Sponsor e Sostenitori](#)

Attività Didattica

- [Percorso formativo](#)
- [Docenti](#)
- [Moduli didattici](#)
- [Orari lezioni](#)
- [Seminari](#)
- [Visite tecniche](#)
- [Stage](#)
- [Esame finale](#)
- [Studenti 2012](#)

Il master in Progettazione Geotecnica si propone di contribuire alla diffusione della cultura geotecnica nel nostro Paese, fornendo l'occasione a giovani ingegneri civili e ambientali che abbiano già acquisito una formazione sia nelle materie di base, sia in quelle applicative nel settore, di aggiungere importanti elementi formativi rispetto a quanto appreso nei loro studi universitari, per potere affrontare con consapevolezza la progettazione di opere a prevalente componente geotecnica quali fondazioni, scavi, gallerie, opere in terra ed interventi di stabilizzazione di versanti in frana. Il master è aperto anche a giovani ingegneri che hanno già avuto esperienze lavorative e che sentono l'esigenza di ampliare le loro conoscenze in questo campo.

Il Master integra l'offerta formativa della Sapienza con l'obiettivo di preparare professionisti di alto livello in grado di rispondere alle esigenze delle Amministrazioni, degli Enti, delle Imprese e delle Società di Ingegneria che operano nel settore della progettazione, realizzazione, manutenzione e gestione delle opere di ingegneria civile a prevalente contenuto geotecnico.

Per lo svolgimento dei corsi e per l'organizzazione delle attività formative, il Master si avvale:

1. delle competenze didattiche e scientifiche, nei campi di base ed applicativi delle discipline inerenti gli obiettivi del Master, presenti nella Facoltà di Architettura e di Ingegneria Civile e Industriale della Sapienza;
2. delle competenze didattiche e scientifiche, nei campi di base ed applicativi delle discipline inerenti gli obiettivi del Master, presenti in altre università italiane;
3. degli specifici apporti di esperti ed operatori di provata e documentata esperienza che svolgono la loro attività in strutture di ricerca pubbliche e private, in imprese di costruzione di opere di ingegneria civile, in imprese di opere specialistiche, in società e studi di consulenza e progettazione.

Al fine di perseguire gli obiettivi individuati, nell'ambito del master vengono sviluppate sia attività che mirano al consolidamento del quadro di conoscenze acquisito negli studi universitari, sia attività finalizzate all'acquisizione di nuovi elementi conoscitivi indispensabili per lo sviluppo di una corretta progettazione. Nello specifico, sono rilevanti i seguenti aspetti:

- **tecnologia:** la conoscenza delle tecnologie costruttive è un elemento fondamentale per la progettazione (campi di utilizzo, spazi necessari, tempi di esecuzione, ecc.); troppo spesso, infatti, la non corretta scelta della tecnologia esecutiva conduce a progetti di scarsa qualità, dai costi elevati e a volte non realizzabili;

- **articolazione del progetto:** si approfondiscono i contenuti di un progetto in relazione ai differenti livelli di progettazione, i tempi ed i costi per la realizzazione delle opere, i capitolati, le specifiche tecniche, ecc.;

Notizie

09/12/2013
Inaugurazione della III Edizione del Master

Giovedì 12 Dicembre 2013, presso l'Aula del Chiostro della Facoltà di Ingegneria della Sapienza, si terrà l'inaugurazione della III Edizione del Master in Progettazione Geotecnica.
Avrà inizio alle [...]

28/10/2013
GRADUATORIA - MASTER IN PROGETTAZIONE GEOTECNICA

E' stata pubblicata la Graduatoria di Merito del Master di secondo livello in progettazione geotecnica - III Edizione. La graduatoria può essere consultato qui

20/10/2013
Convocazione ammissione orali

Le selezioni per l'ammissione al Master si terranno nei giorni 22 e 23 Ottobre 2013 presso l'aula didattica della Sezione Geotecnica del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica della Sapienza [...]

Altre Notizie

- Pubblicazione bando aa 2013-2014
- Cerimonia di chiusura dell'edizione 2011/2012 con consegna dei diplomi
- 13-14 Aprile 2012 Convegno ITACET
- Inaugurazione II edizione
- Esami di ammissione II edizione aa 2011-2012

- **tecnologia:** la conoscenza delle tecnologie costruttive è un elemento fondamentale per la progettazione (campi di utilizzo, spazi necessari, tempi di esecuzione, ecc.); troppo spesso, infatti, la non corretta scelta della tecnologia esecutiva conduce a progetti di scarsa qualità, dai costi elevati e a volte non realizzabili;

IL CONSOLIDAMENTO NELLA NORMATIVA

D.M. 14 gennaio 2008

6.9 MIGLIORAMENTO E RINFORZO DEI TERRENI E DELLE ROCCE

Le presenti norme riguardano la progettazione, la costruzione e il controllo degli interventi di miglioramento e rinforzo dei terreni e delle rocce, realizzati per diverse finalità applicative.

6.9.1 SCELTA DEL TIPO DI INTERVENTO E CRITERI GENERALI DI PROGETTO

La scelta del tipo di intervento deve derivare da una caratterizzazione geotecnica dei terreni da trattare e da un'analisi dei fattori tecnici, organizzativi e ambientali.

Gli interventi devono essere giustificati, indicando i fattori geotecnici modificabili e fornendo valutazioni quantitative degli effetti meccanici connessi con tali modificazioni.

Le indagini geotecniche devono riguardare anche l'accertamento dei risultati conseguiti, avvalendosi di misure ed eventualmente di appositi campi prova. Questi ultimi sono necessari nei casi in cui la mancata o ridotta efficacia degli interventi possa comportare il raggiungimento di uno stato limite ultimo o possibili danni a persone o cose.

Nel progetto devono essere definiti il dimensionamento degli interventi, le caratteristiche degli elementi strutturali e degli eventuali materiali di apporto, le tecniche necessarie e le sequenze operative, nonché le indicazioni per poter valutare l'efficacia degli interventi realizzati.

6.9.2 MONITORAGGIO

Il monitoraggio ha lo scopo di valutare l'efficacia degli interventi e di verificare la rispondenza dei risultati ottenuti con le ipotesi progettuali. Ha inoltre lo scopo di controllare il comportamento nel tempo del complesso opera-terreno trattato.

Il monitoraggio deve essere previsto nei casi in cui gli interventi di miglioramento e di rinforzo possano condizionare la sicurezza e la funzionalità dell'opera in progetto o di opere circostanti.

CONTROLLI E CAMPI PROVA

D.M. 14 gennaio 2008

6.2.4 IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE

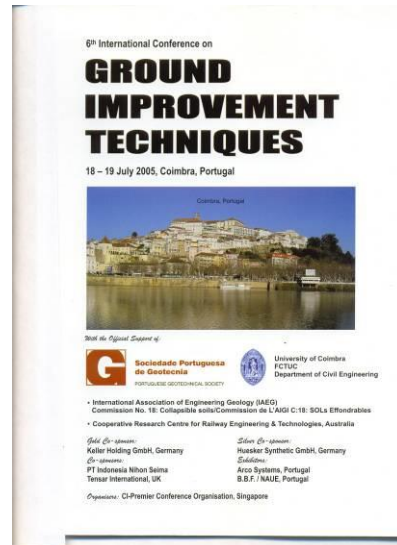
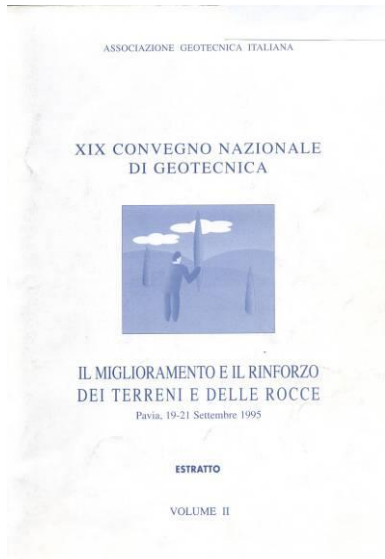
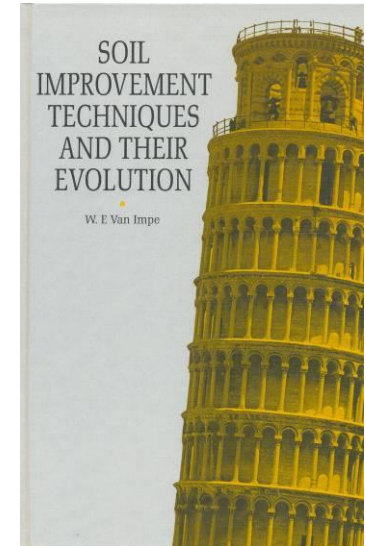
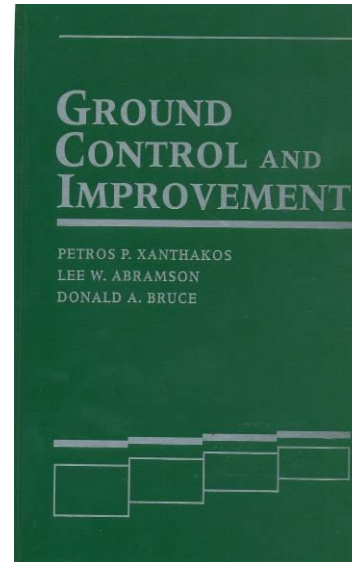
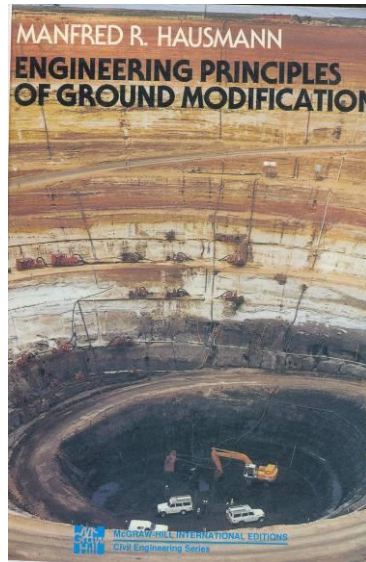
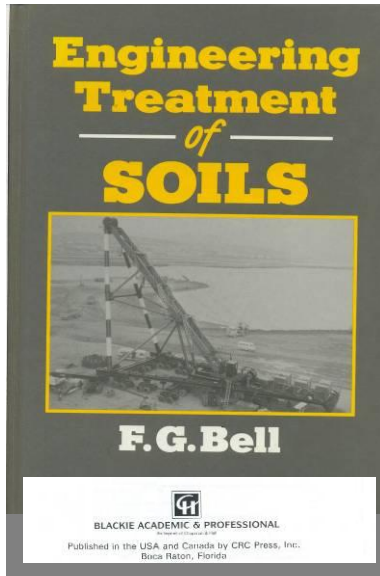
Nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini, permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione può essere basata sul metodo osservazionale.

- stabilire i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
- dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
- prevedere soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
- istituire un adeguato sistema di monitoraggio in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.

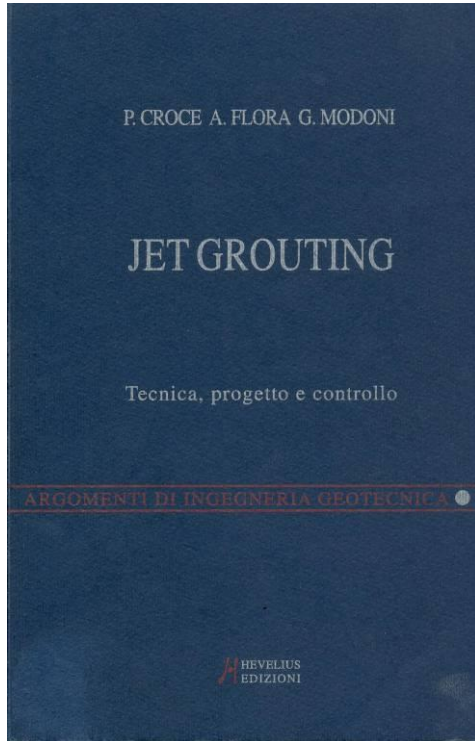
Geotechnical Uncertainty	Example
Geological	Complex Geology & Hydrogeology
Parameter and Modelling	Undrained vs Drained Behaviour
Ground Treatment	Grouting, Dewatering
Construction	Complex Temporary Work

Patel et al.
(2007)

BIBLIOGRAFIA SUL CONSOLIDAMENTO



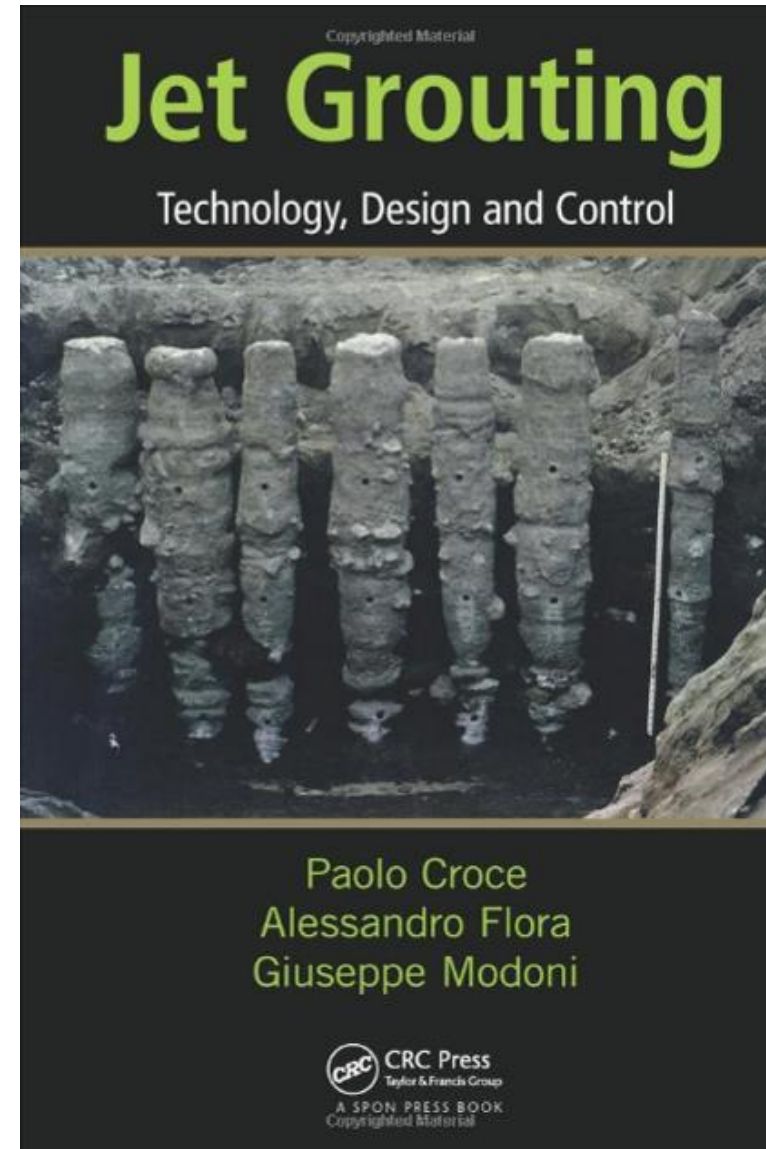
BIBLIOGRAFIA SUL JET GROUTING



2005



2012

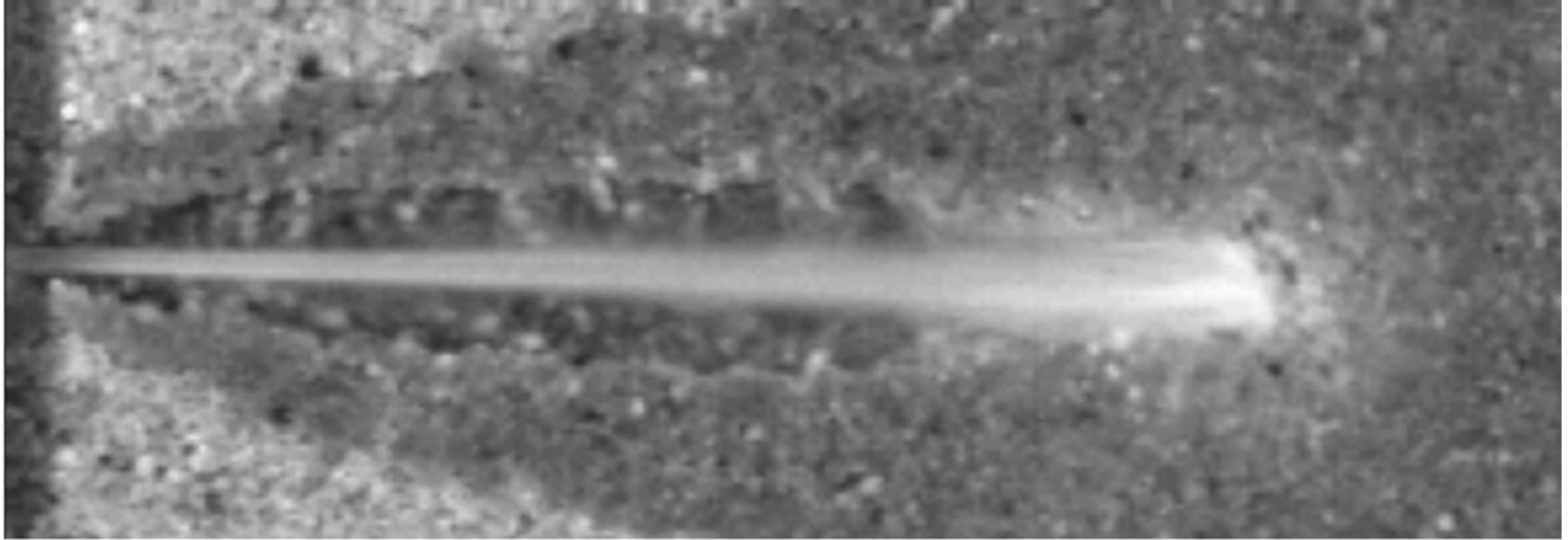


2014

MERCOLEDI' 9 MARZO		
10.00 - 10.15	Saluti ai partecipanti	
10.15 - 11.15	Introduzione sui metodi di consolidamento	Prof. Salvatore Miliziano
	Coffee break	
11.30 - 12.30	Interventi di consolidamento dei terreni: tecnologie e scelte di progetto	Prof. Alessandro Flora
12.30 - 13.15	Iniezioni di consolidamento: principi di funzionamento ed effetti	Prof. Giuseppe Modoni
13.15 - 15.00	Pausa pranzo	
15.00 - 18.00	Consolidamenti dei terreni con iniezioni a bassa pressione	Dott. Geol. Ilario Bridi
GIOVEDI' 10 MARZO		
9.00 - 11.00	Soil Mixing: Tecnologie esecutive, applicazioni, progetto e controlli	Dott. Ing. Paolo Marzano
	Coffee break	
11.15 - 13.15	Wet Deep Soil Mixing e Jet Grouting : esempi applicativi	Dott. Ing. Luca Pingue (Trevi)
13.15 - 15.00	Pausa pranzo	
15.00 - 15.45	Normativa europea sul consolidamento	Prof. Paolo Croce
16.00 - 18.00	Consolidamenti colonnari: vibrocompattazione e jet grouting	tt. Ing. Alessandro Monteferrante (Keller Fondazio
VENERDI' 11 MARZO		
9.00 - 10.00	Trattamento a calce dei materiali di dragaggio	Prof. Giacomo Russo
10.00 - 11.00	Aspetti geotecnici nella progettazione delle casse di colmata marine	Prof. Salvatore Miliziano
	Coffee break	
11.15 - 12.15	Illustrazione del progetto della vasca di colmata di Gaeta	Dott. Ing. Armando de Lillis
12.15 -14:30	Pausa pranzo e partenza per Gaeta in autobus	
14.30 - 17.30	Visita al cantiere del Porto di Gaeta (illustrazione del sistema di monitoraggio e primi risultati sperimentali)	Prof. Salvatore Miliziano / Prof. Alessandro Flora
17.30 - 18.30	Ritorno a Cassino in autobus	



Cassino, 10 marzo 2015



Iniezioni di consolidamento: principi di funzionamento ed effetti

Giuseppe Modoni - Università di Cassino e del Lazio Meridionale



GROUTING

Grouting per filtrazione:
Permeation grouting

il fluido riempie i pori del terreno ed i giunti della roccia per filtrazione

Grouting per compattamento
Compaction grouting

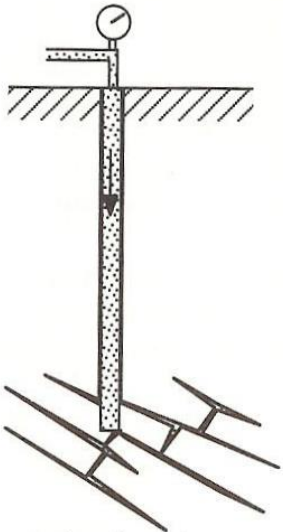
il fluido iniettato comprime il terreno circostante addensandolo

Grouting per fratturazione
Fracture grouting

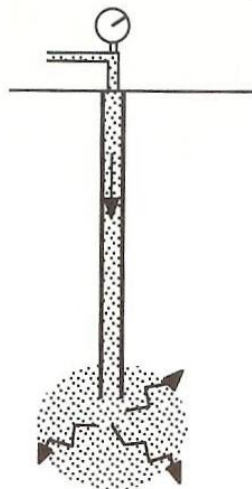
il fluido si incunea nel terreno circostante fratturandolo

Jet Grouting

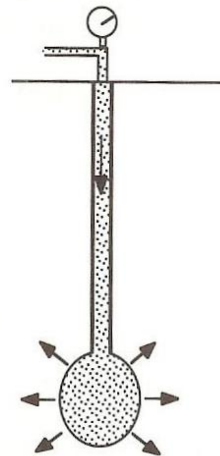
il fluido iniettato dilava il terreno miscelandosi con esso



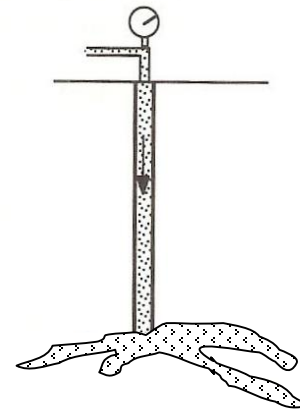
Penetration (intrusion)



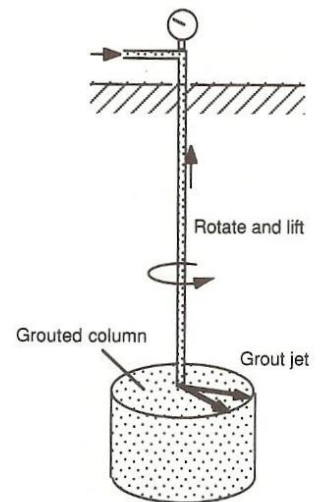
Penetration (permeation)



Displacement
(compaction grouting)



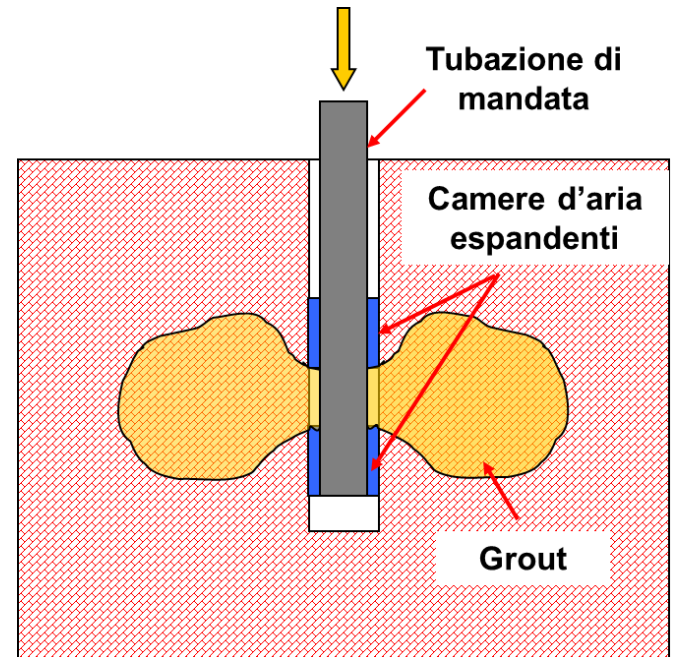
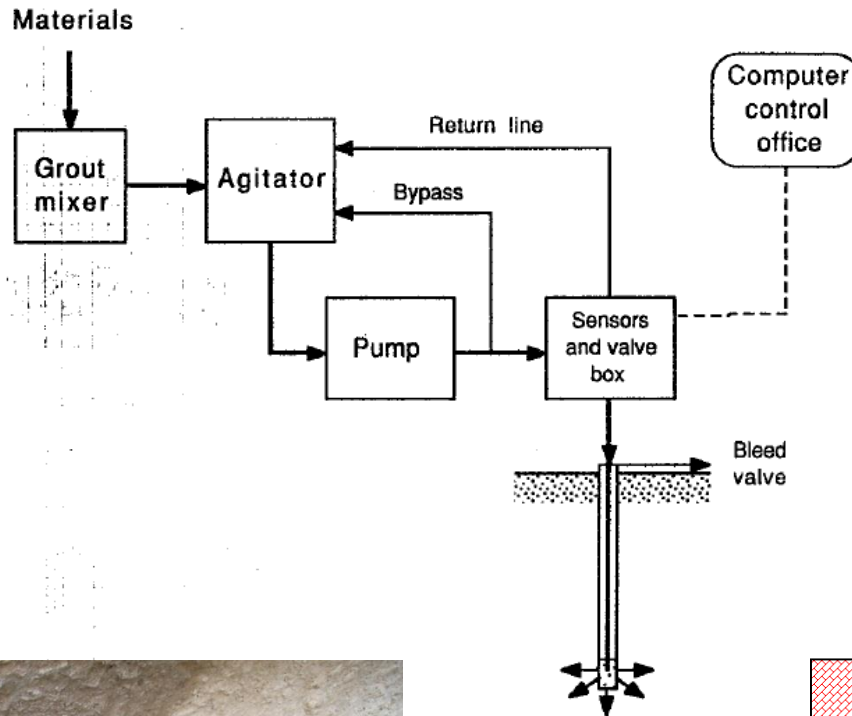
Hydrofracturing



Jet grouting
(displacement, replacement)

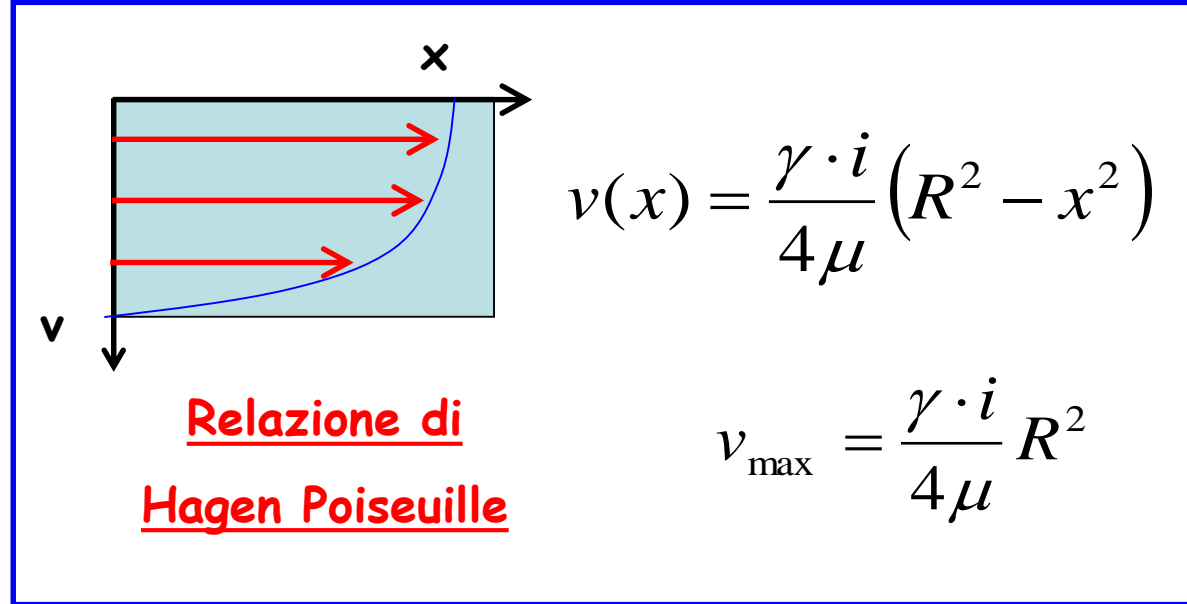
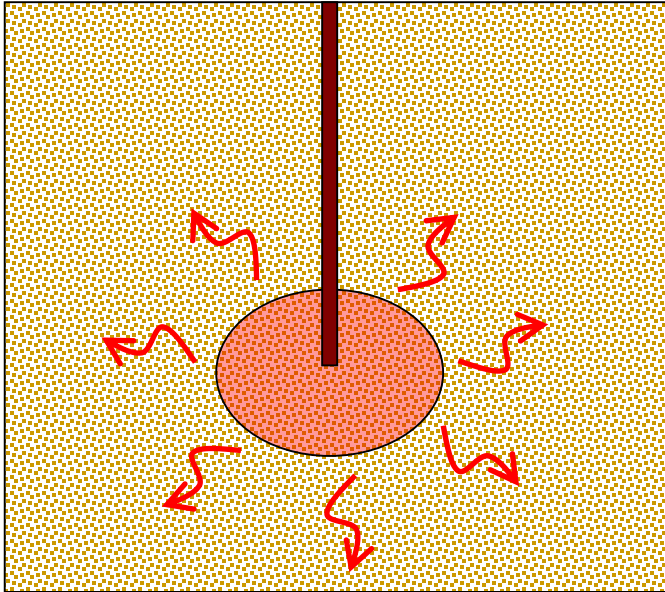
PERMEATION GROUTING

MODALITA' ESECUTIVE



PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

Fluido newtoniano: $\tau = \mu \frac{dv}{dx}$



$$\bar{v} = \frac{\gamma \cdot R^2 \cdot i}{8\mu} = k \cdot i$$
$$k = \frac{\gamma \cdot R^2}{8\mu}$$

La permeabilità K dipende da:

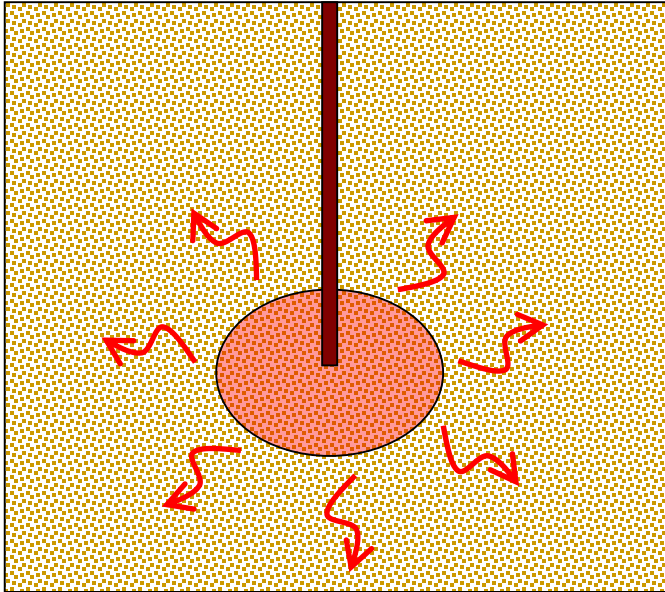
Dimensione dei pori

es. Hazen: $K(\text{cm/s}) = 100 \cdot D_{10\%}^2(\text{mm})$

Caratteristiche del fluido: peso unitario e viscosità

PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

RELAZIONI EMPIRICHE



$$k = \frac{1}{100 \div 150} \cdot d_{10}^2$$

(Hazen - 1911)

$$k = 0,617 \cdot 10^{-2} \cdot d_{10}^2$$

(Krumbein & Monk - 1942)

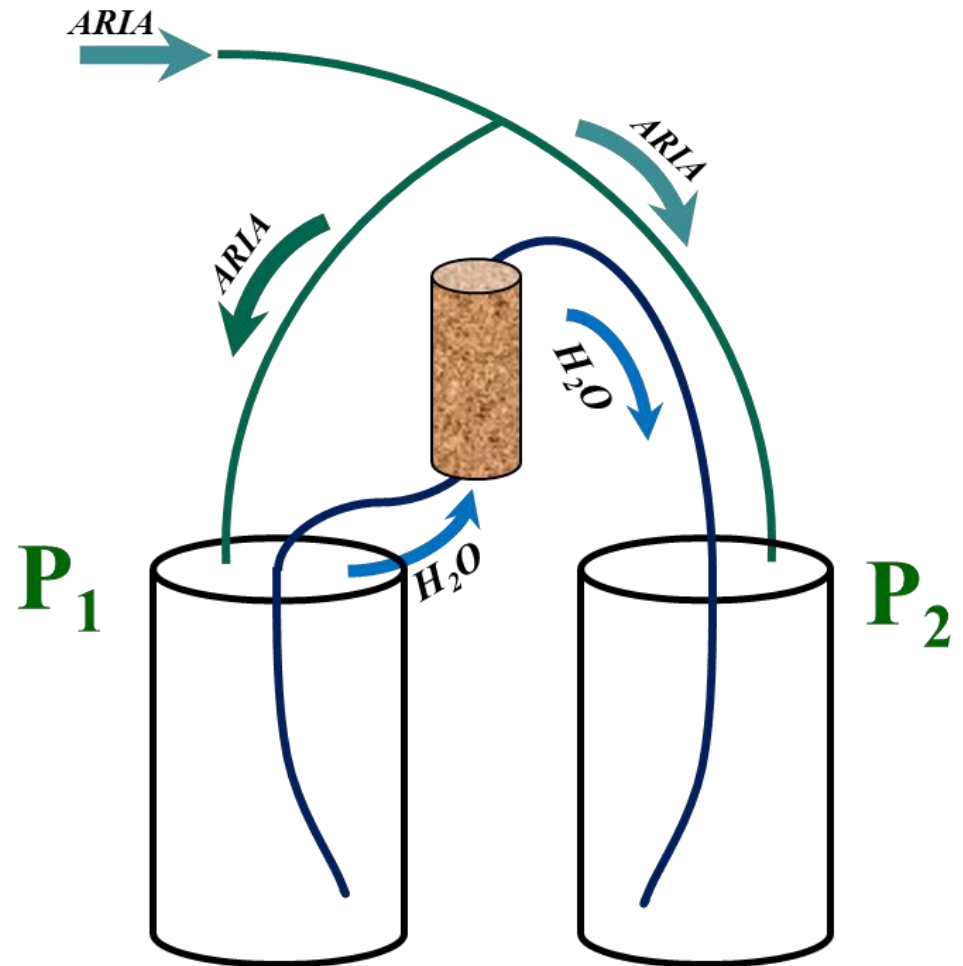
$$k = [\text{m/s}]$$

$$d_{10} = [\text{mm}]$$

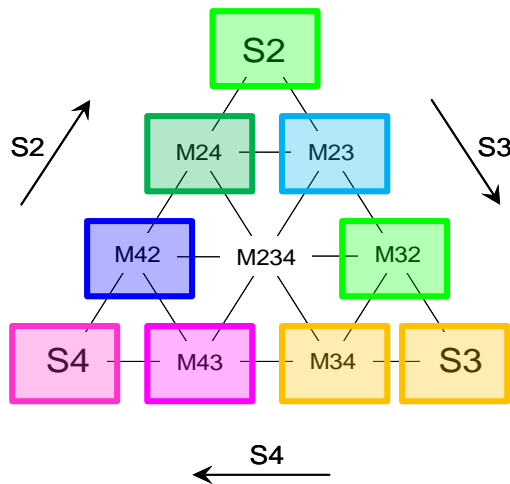
$$k = \frac{d_{10}^2}{180} \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

Kozeny - Karman (1937)

PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento



PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento



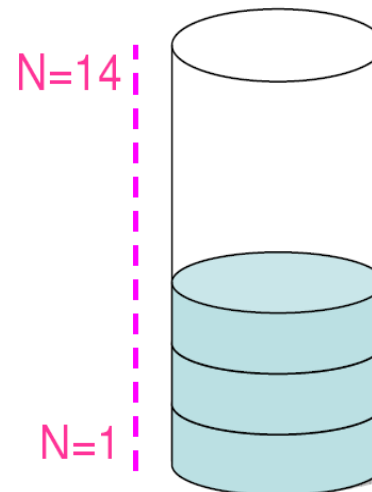
		CAMPIONI									
		S2	S3	S4	M23	M32	M24	M42	M34	M43	M234
TERRENO SCIOLTO	γ_d [kN/m ³]	14,638	14,589	14,058	15,103	15,206	15,760	15,279	15,167	14,977	15,617
	e	0,810	0,816	0,885	0,755	0,743	0,681	0,734	0,747	0,769	0,697
	D_r	0,230	0,323	0,334	0,263	0,242	0,301	0,253	0,342	0,322	0,345
TERRENO DENSO	γ_d [kN/m ³]	17,496	17,518	17,710	18,174	18,063	18,439	18,038	17,440	17,145	18,159
	e	0,515	0,513	0,496	0,458	0,467	0,437	0,469	0,519	0,546	0,459
	D_r	0,710	0,799	0,812	0,739	0,732	0,827	0,764	0,831	0,816	0,835

PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

Campioni sciolti



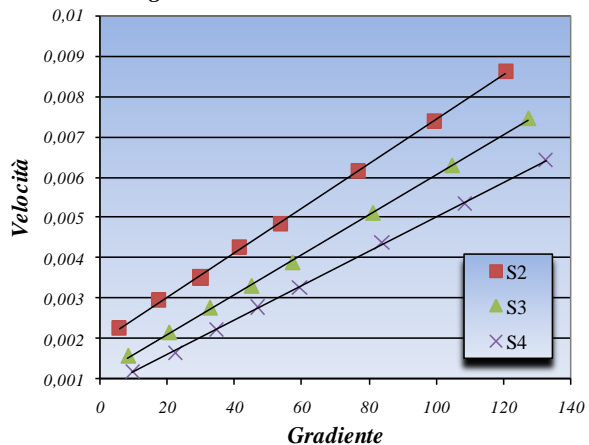
Campioni densi



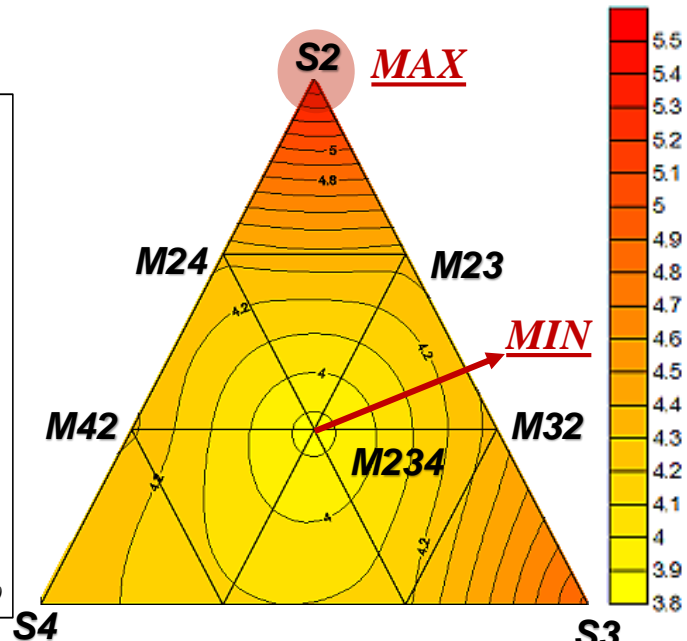
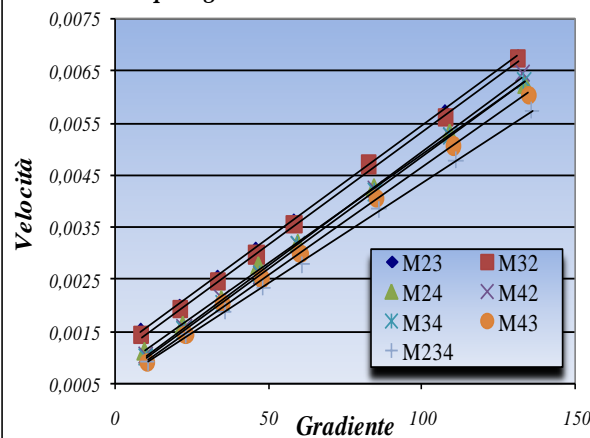
PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

Terreno sciolto

Confronto della permeabilità tra i campioni monogranulari S2-S3-S4 a densità minima

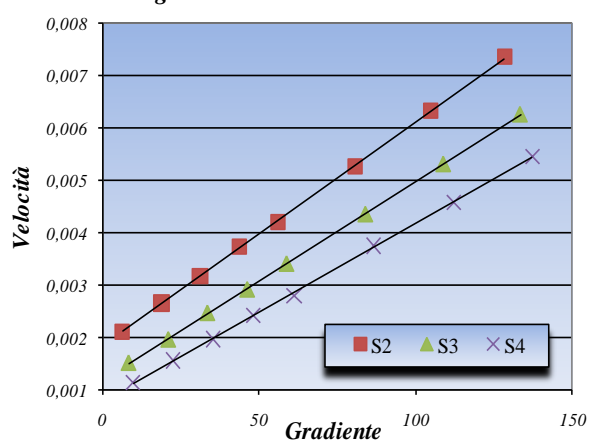


Confronto della permeabilità tra le miscele plurigranulari a densità minima

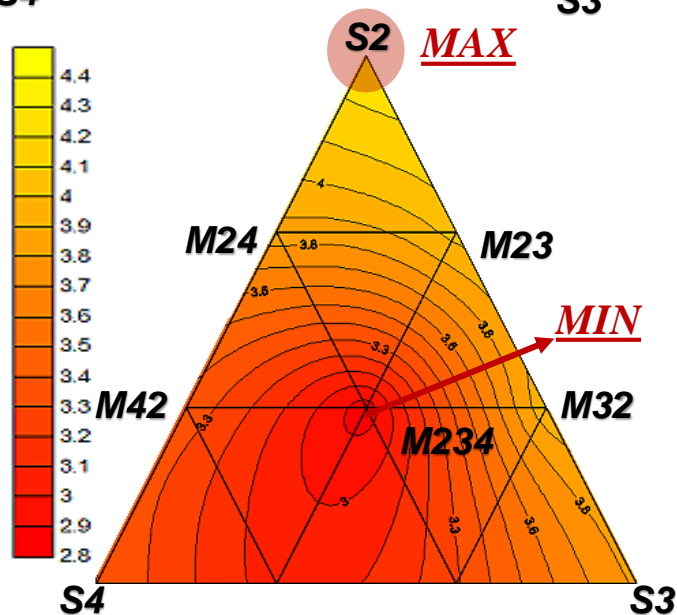
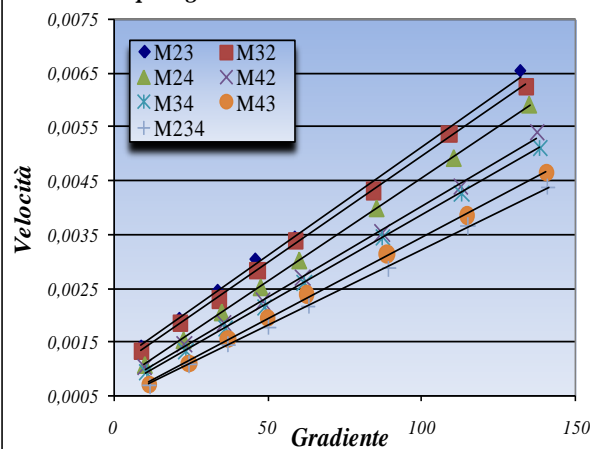


Terreno denso

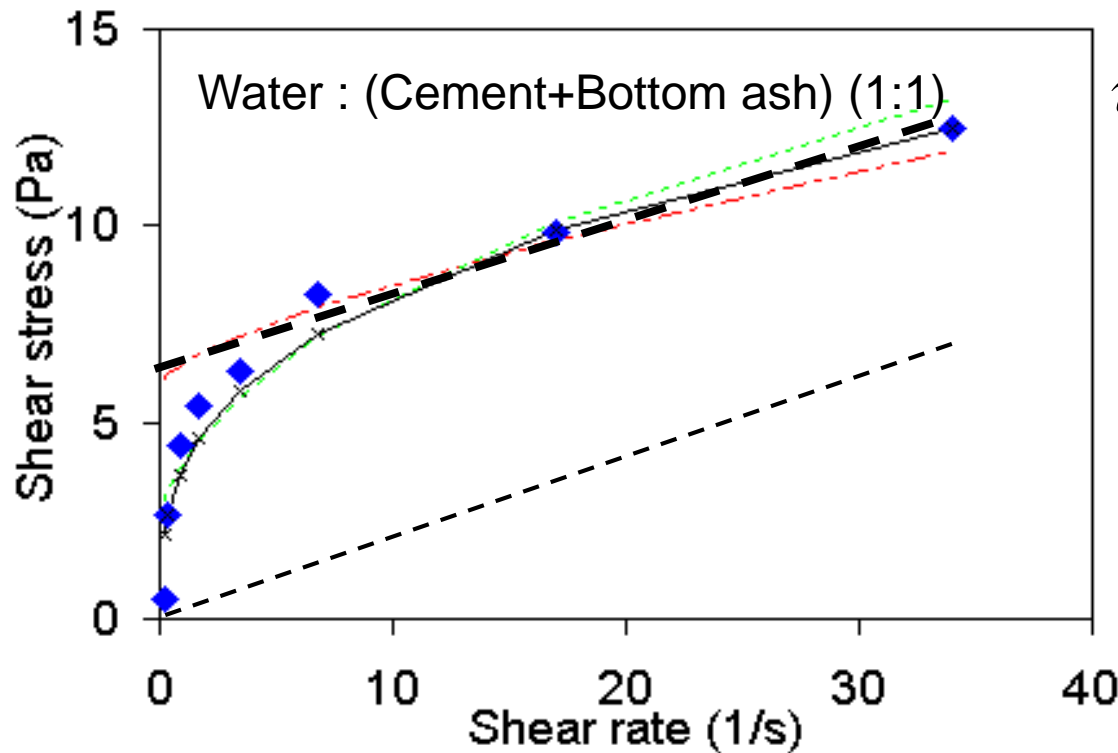
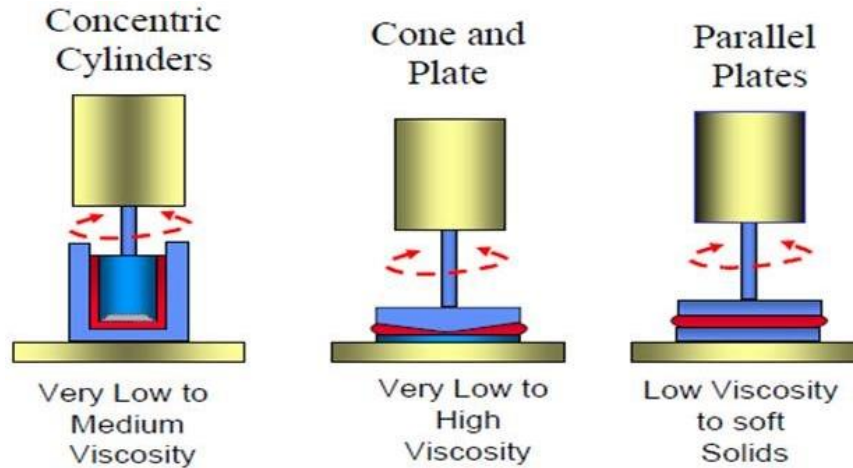
Confronto della permeabilità tra i campioni monogranulari S2-S3-S4 a densità massima



Confronto della permeabilità tra le miscele plurigranulari a densità massima



PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento



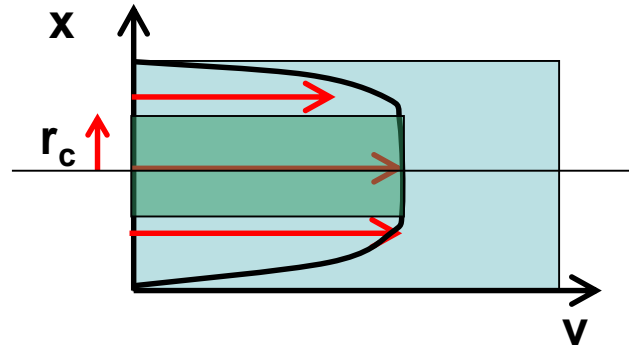
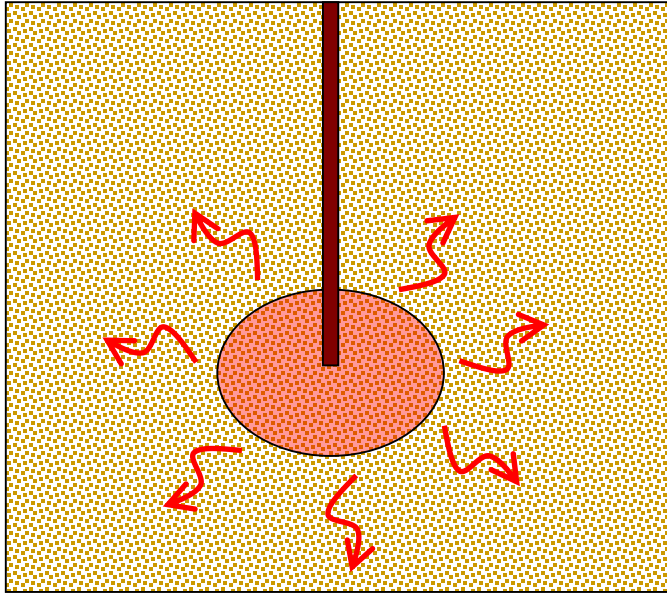
$$\tau = \tau_o + \mu \frac{dv}{dx}$$

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx}$$

PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

Fluido di Bingham:

$$\tau = \tau_o + \mu \frac{dv}{dx}$$



$$r_c = \frac{2 \cdot \tau_o}{i \cdot \gamma}$$

Perché ci sia moto occorre che

$$i > \frac{2 \cdot \tau_o}{R \cdot \gamma}$$

$$\bar{v} = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot i}{8\mu} \left[1 - \frac{4r_c}{3r} + \frac{\left(\frac{r_c}{r}\right)^4}{3} \right] = k \cdot i$$

$$k = \frac{\gamma \cdot r^2}{8\mu} \left[1 - \frac{4r_c}{3r} + \frac{\left(\frac{r_c}{r}\right)^4}{3} \right]$$

La permeabilità K dipende da:

Dimensione dei pori

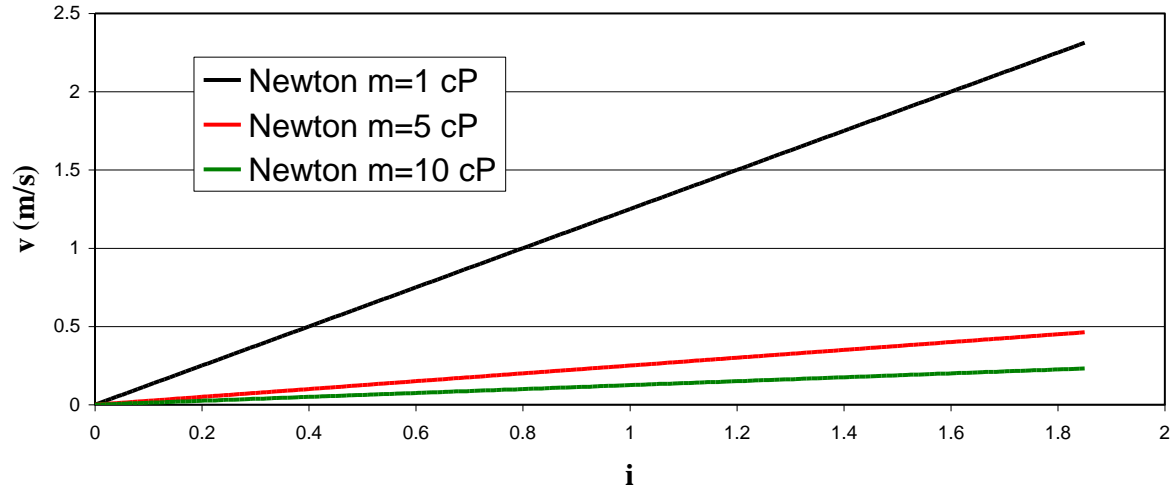
Caratteristiche del fluido: peso unitario, viscosità, coesione

PERMEATION GROUTING: principio di funzionamento

Fluido di Newton

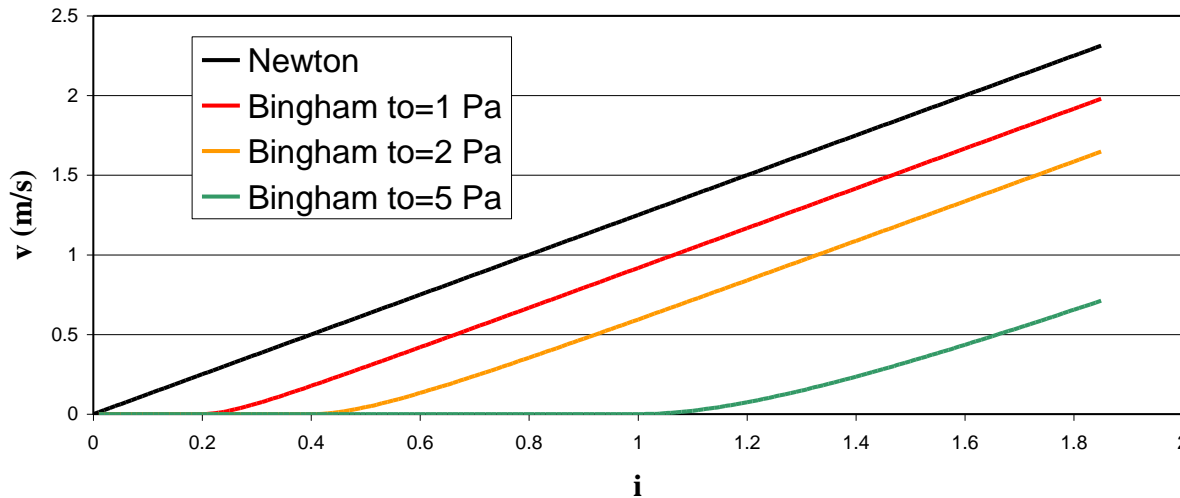
$$K \propto 1/\mu$$

Al crescere di μ si riduce la permeabilità del terreno nei confronti del fluido iniettato



$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3 \quad R = 0.001 \text{ m}$$

Fluido di Bingham



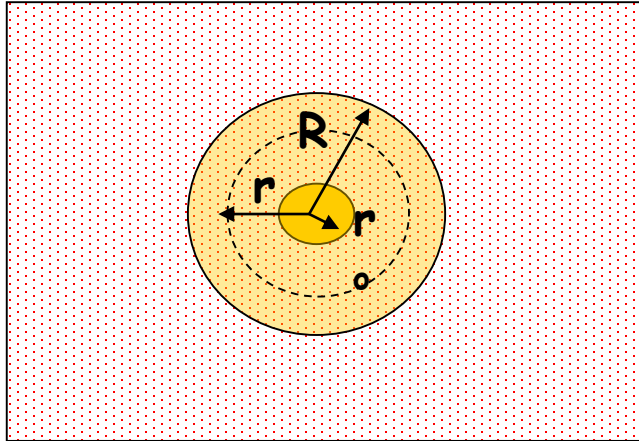
$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3 \quad \mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s} \quad R = 0.001 \text{ m}$$

$$K \propto 1/\mu - 1/\tau_0$$

Al crescere di t_0 si riduce la permeabilità del terreno al fluido iniettato

PERMEATION GROUTING: effetti

MODELLO DI FILTRAZIONE SFERICA



$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi r^2} = -k \cdot \frac{dh}{dr}$$

Perdite di carico

$$Q \cdot dt = 4\pi r^2 \cdot n \cdot dr$$

Continuità

FLUIDO NEWTONIANO IN TERRENO ASCIUTTO

dalla prima relazione:

dalla seconda:

$$p = \frac{\gamma \cdot Q}{4\pi k} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{R} \right)$$

$$t = \frac{4\pi \cdot n}{Q} (R^3 - r_0^3)$$

**RICAVANDO Q DA ENTRAMBE,
UGUAGLIANDO E PONENDO $K = K_w \cdot \mu_w / \mu_f$**

$$\frac{\left[\left(\frac{R}{r_0} \right)^3 - 1 \right] \cdot \left(\frac{R}{r_0} - 1 \right)}{\frac{R}{r_0}} = \frac{3 \cdot k_w \cdot \mu_w \cdot p \cdot t^*}{n \cdot \gamma_f \cdot \mu_f \cdot r_0^2} \cdot \frac{t}{t^*}$$

Q = PORTATA INIETTATA

P = PRESSIONE DI INIEZIONE

h = CARICO IDRAULICO

n = POROSITA' DEL TERRENO

K = PERMEABILITA' TERRENO - FLUIDO

K_w = PERMEABILITA' TERRENO - ACQUA

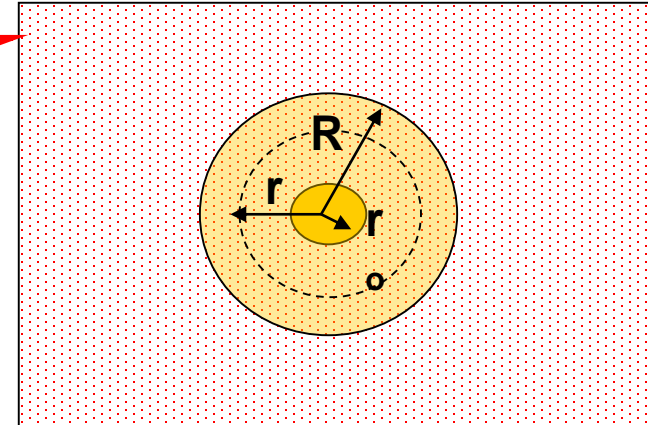
μ_f = VISCOSITA' DEL FLUIDO INIETTATO

γ_f = PESO SPECIFICO DEL FLUIDO
INIETTATO

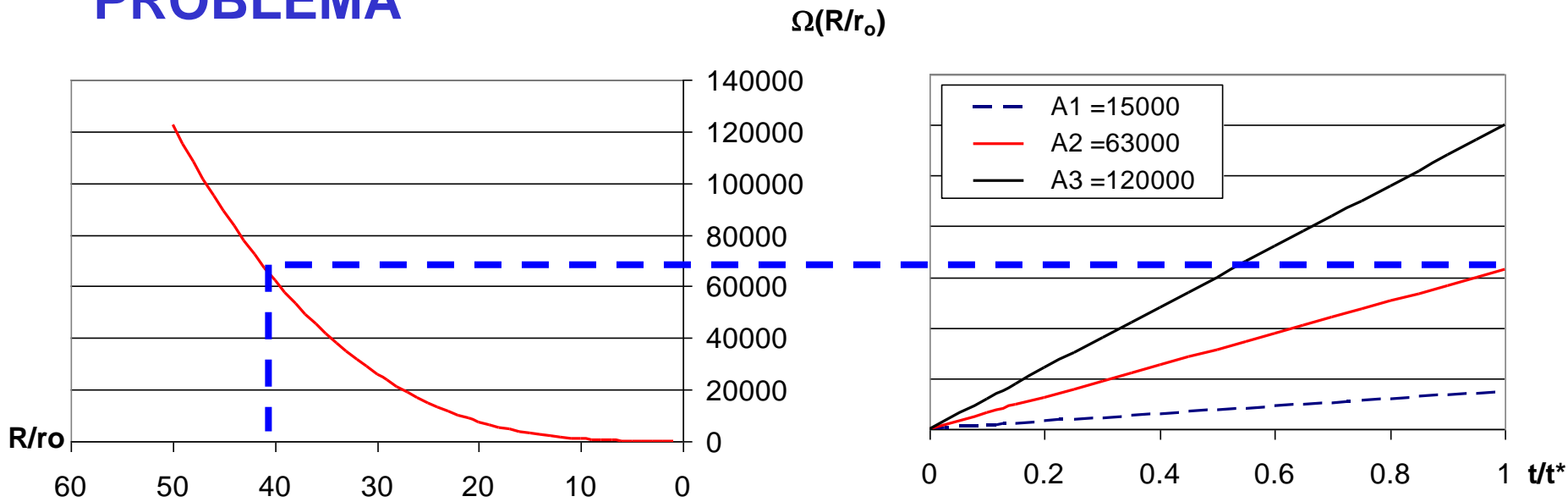
t^* = TEMPO DI INDURIMENTO DEL FLUIDO

PERMEATION GROUTING: effetti

$$\Omega\left(\frac{R}{r_o}\right) = \frac{\left[\left(\frac{R}{r_o}\right)^3 - 1\right] \cdot \left(\frac{R}{r_o} - 1\right)}{\frac{R}{r_o}} = \frac{3 \cdot k_w \cdot \mu_w \cdot p \cdot t^*}{n \cdot \gamma_f \cdot \mu_f \cdot r_o^2} \cdot \frac{t}{t^*} = A \cdot \frac{t}{t^*}$$



PROBLEMA



SI RICAVA R_{max}

DATI:

$P, n, K_w, \mu_f/\mu_w, \gamma_f, t^*, r_o$

PERMEATION GROUTING: effetti

	State							
	Suspensions			Liquids			Aerated emulsions	
	Unstable		Stable	Chemical products				
Grout type	Cement	Bentonite + cement	Deflocculated bentonite	Sodium silicate hard gels	Sodium silicate diluted gels	Organic resins	Cement foams	Organic foams
Range of uses	Fissures	Sands and gravels, k m/s					Cavities	High water flows
		$>5 \times 10^{-4}$	$>10^{-4}$	$>10^{-4}$	$>10^{-5}$	$>10^{-6}$		
Grouting control	Refusal pressure	Limited quantities					Filling	
Relative cost for the products to fill 1-m^3 voids	4.2 (deposit with $\gamma_d = 1.5$)	1 (cement 200 kg; bentonite 30 kg)	0.8-1	6	2-4	10-500	1.2	10

JET GROUTING: principio di funzionamento

Tecnica

• perforazione

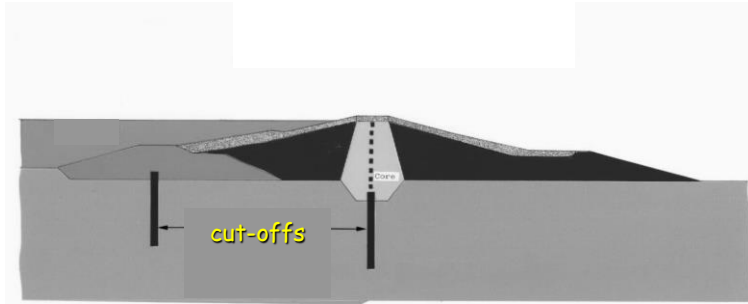


• estrazione ed iniezione

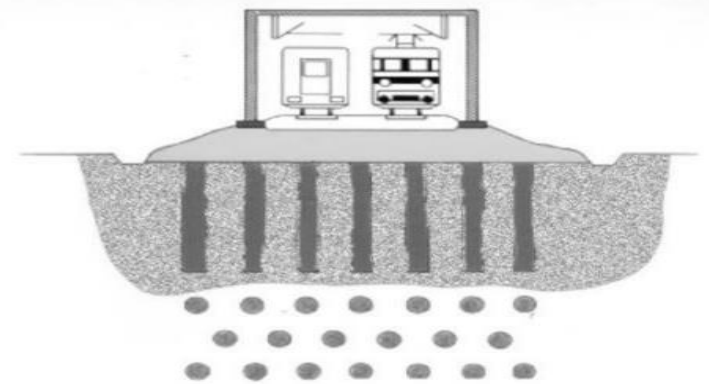


JET GROUTING: principio di funzionamento

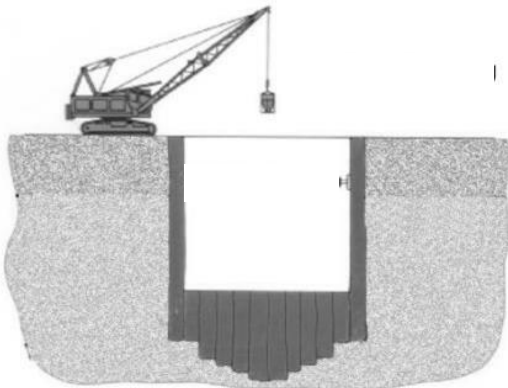
Seepage cut-off



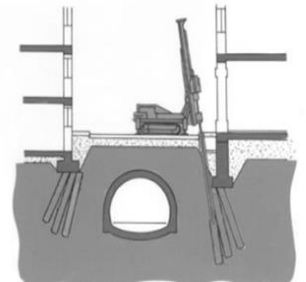
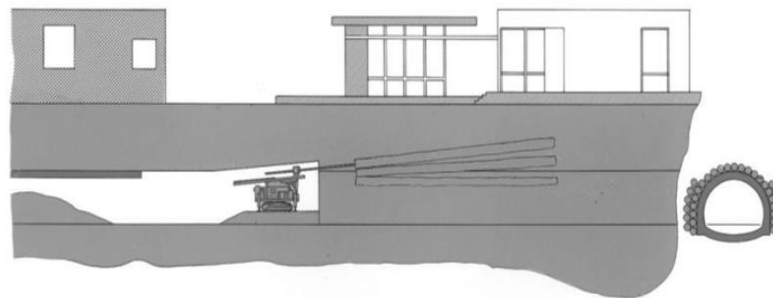
Settlements reduction - Bearing capacity



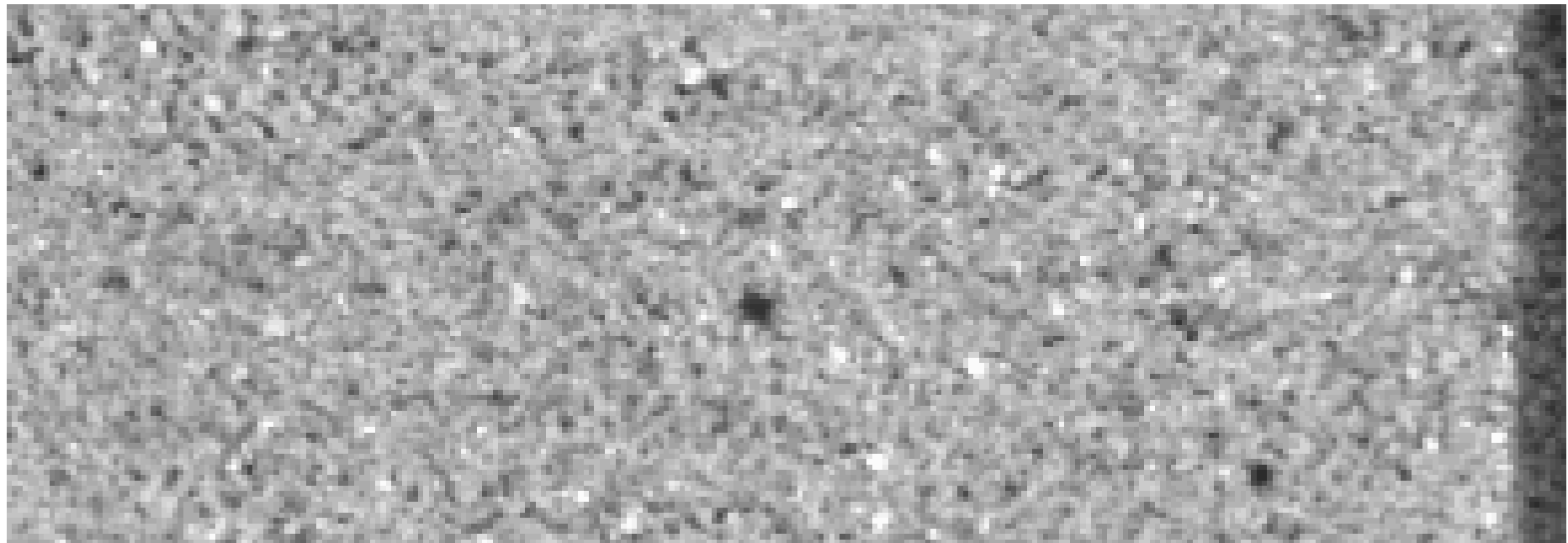
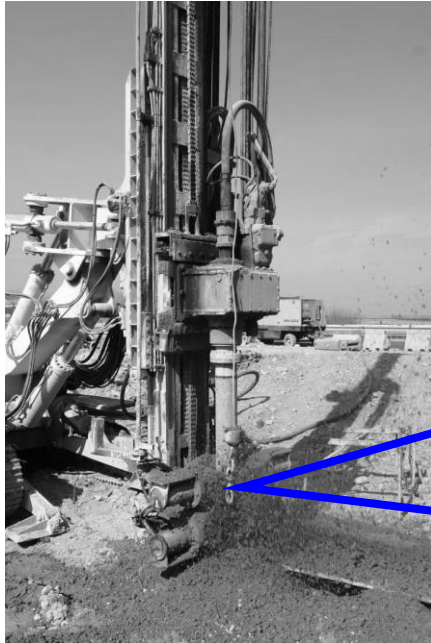
Excavation support



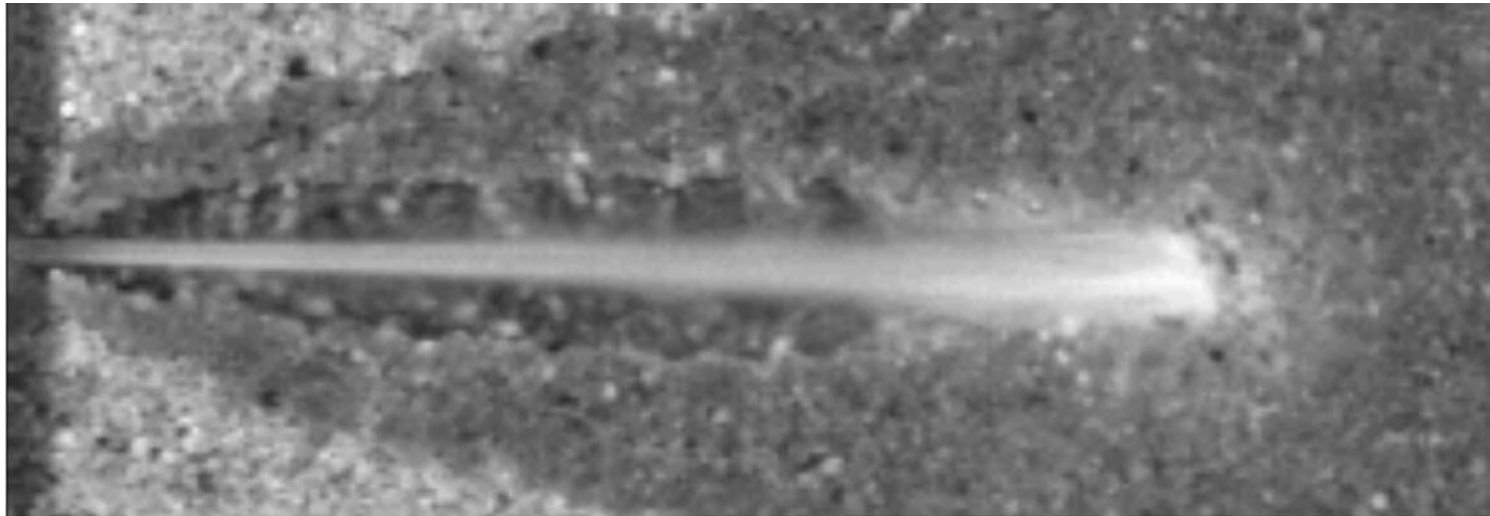
Tunnelling support



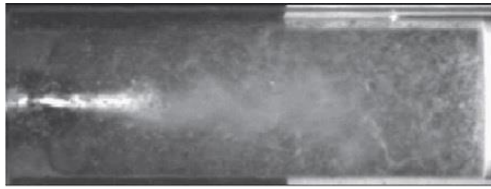
JET GROUTING: principio di funzionamento



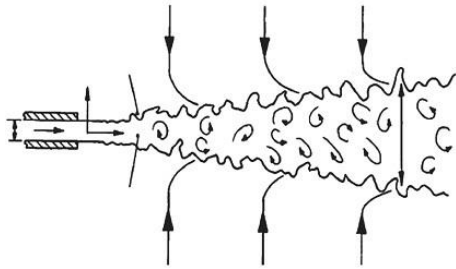
JET GROUTING: principio di funzionamento



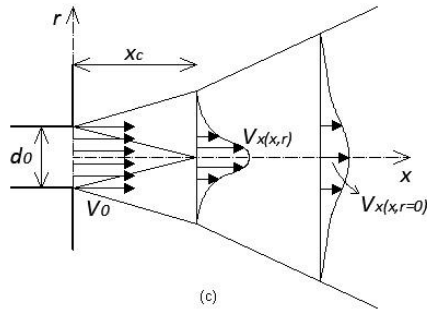
JET GROUTING: principio di funzionamento



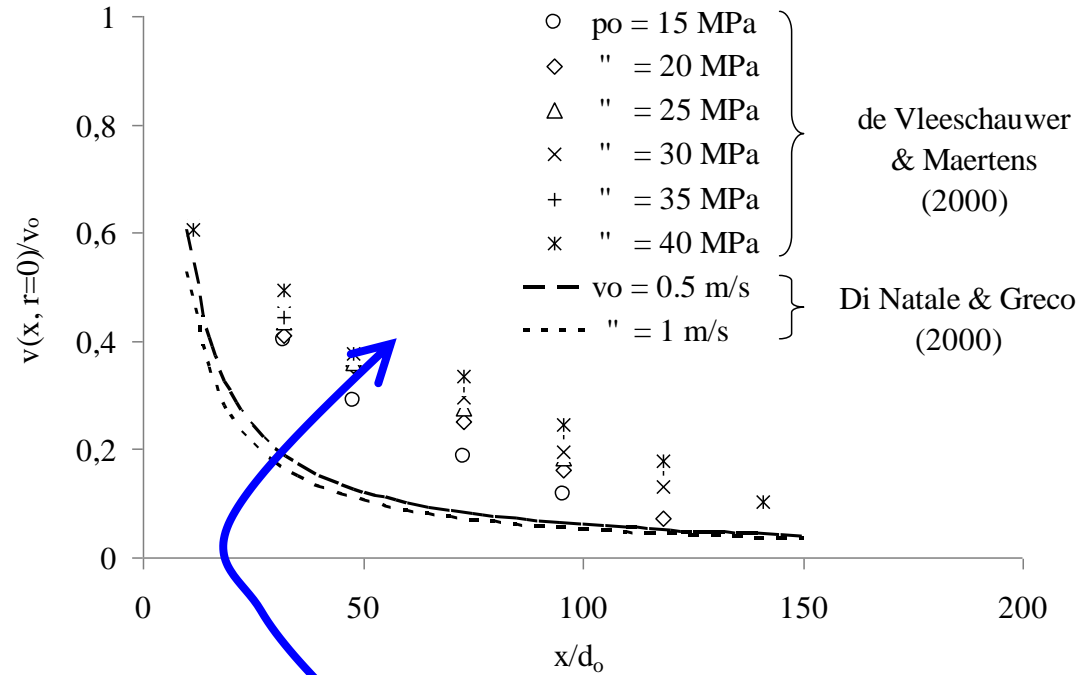
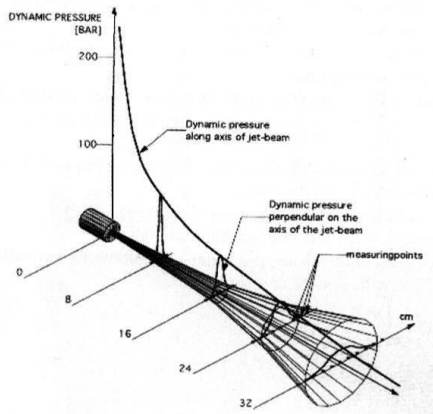
(a)



(b)

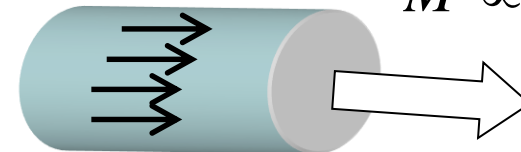


(c)



$$Re = \frac{M}{S} = \frac{\rho \cdot v_0 \cdot d_0}{\mu}$$

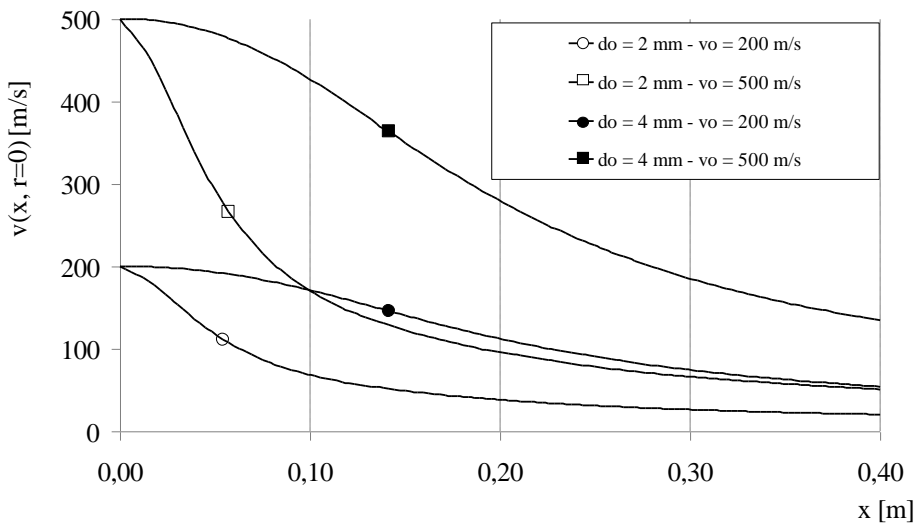
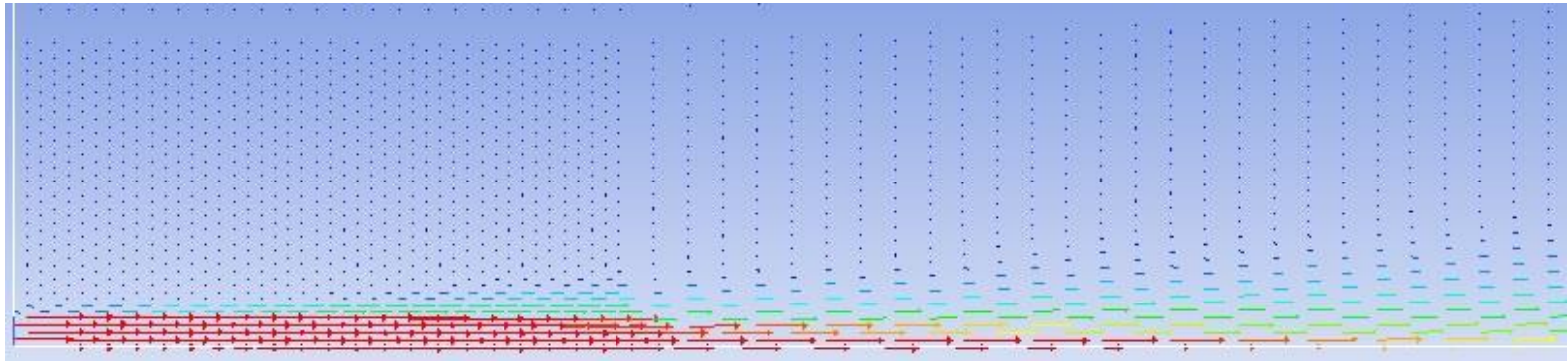
$$M \propto \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot v_0^2$$



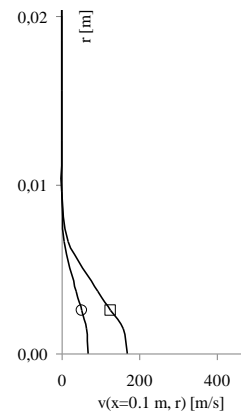
$$S \propto \mu \cdot \pi \cdot d_0 \cdot v_0$$

JET GROUTING: principio di funzionamento

Jet monofluido

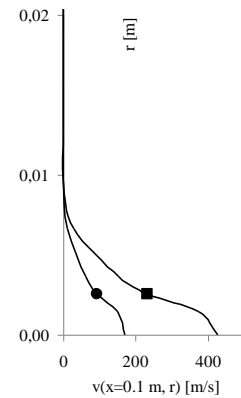


$d_o = 2$ mm

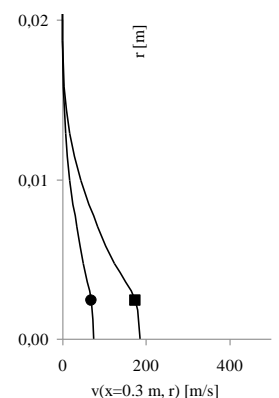
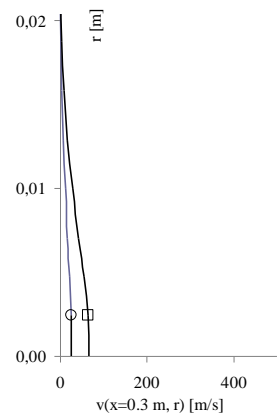


(c)

$d_o = 4$ mm



(d)

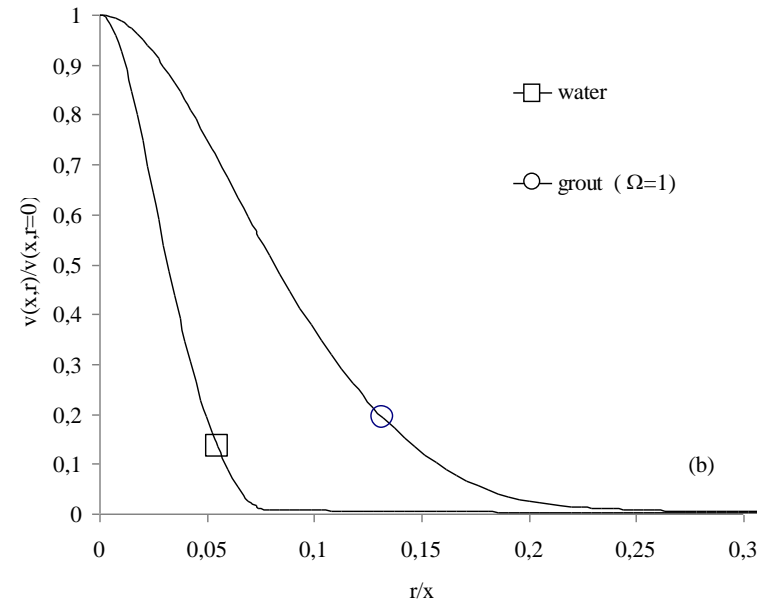
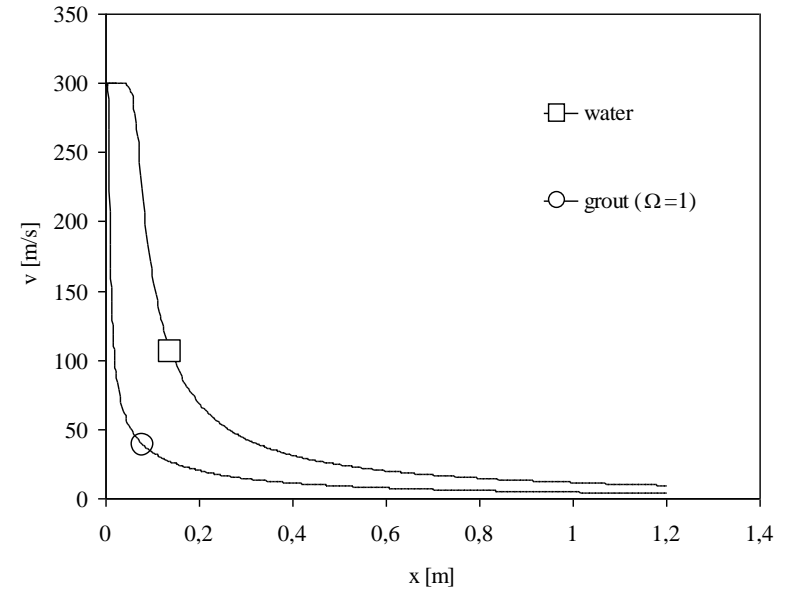
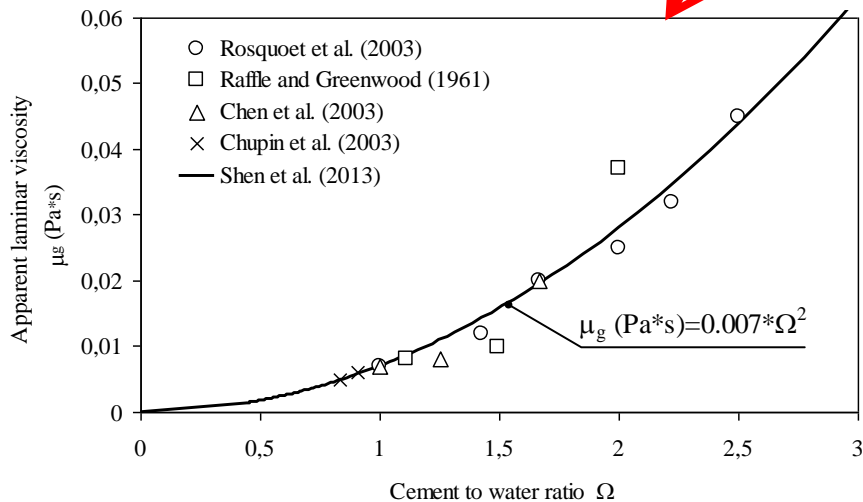


JET GROUTING: principio di funzionamento

Jet monofluido

$$Re = \frac{M}{S} = \frac{\rho \cdot v_o \cdot d_o}{\mu}$$

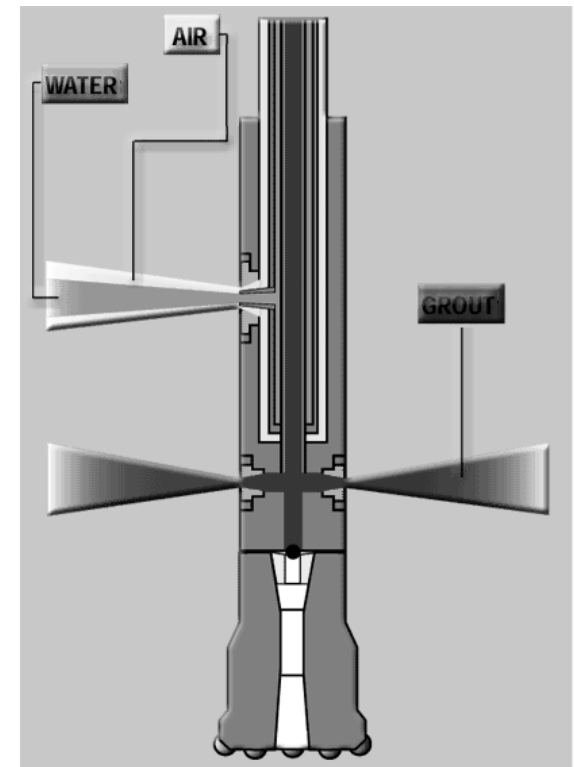
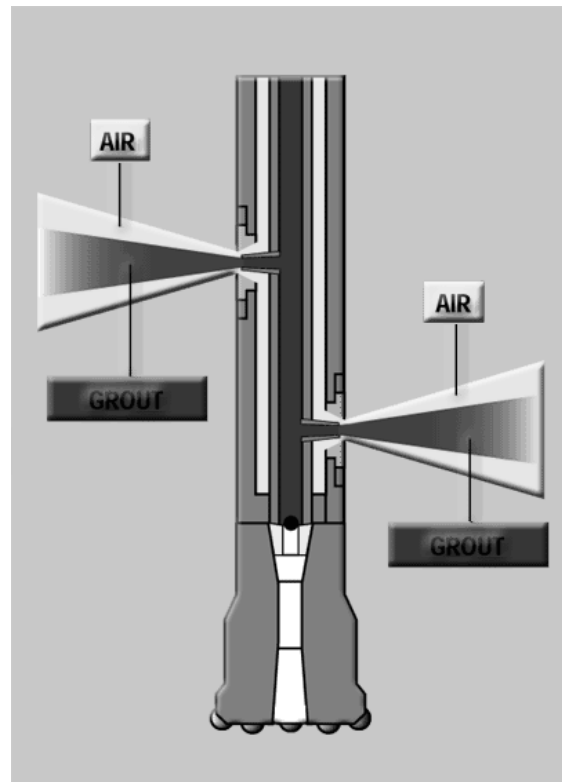
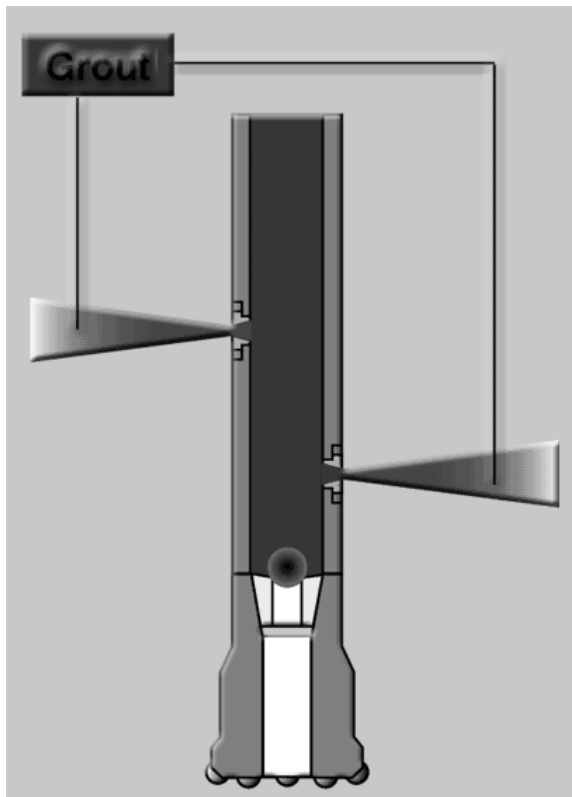
$$\rho_g = \frac{\rho_c \cdot (1 + \Omega)}{\Omega + \frac{\rho_c}{\rho_w}}$$



JET GROUTING: principio di funzionamento

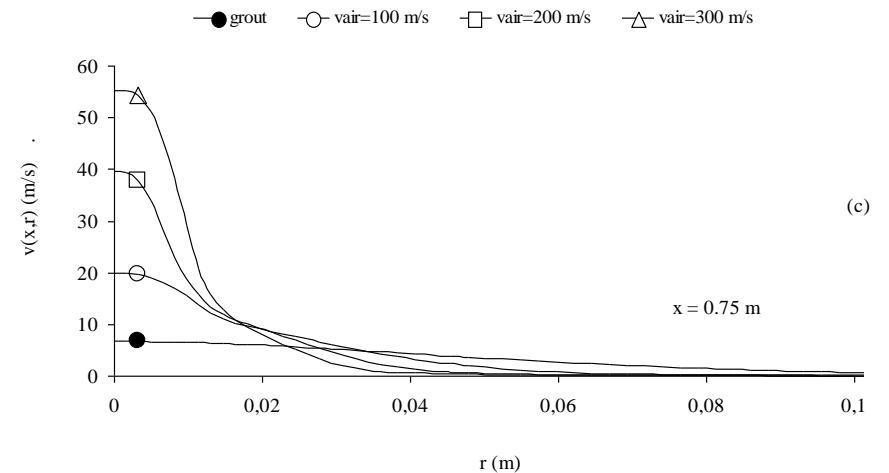
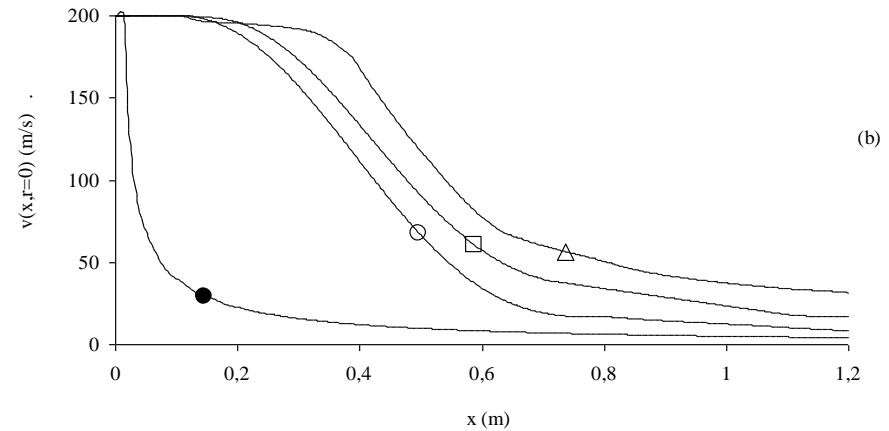
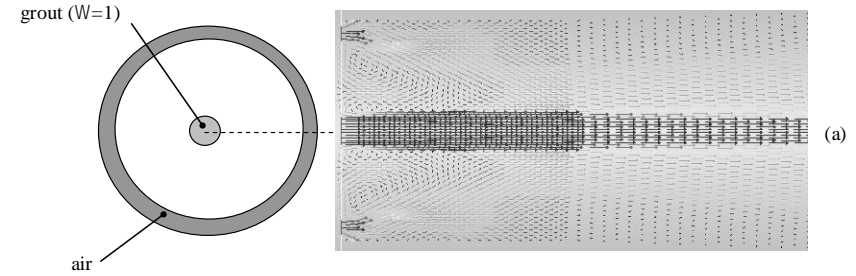
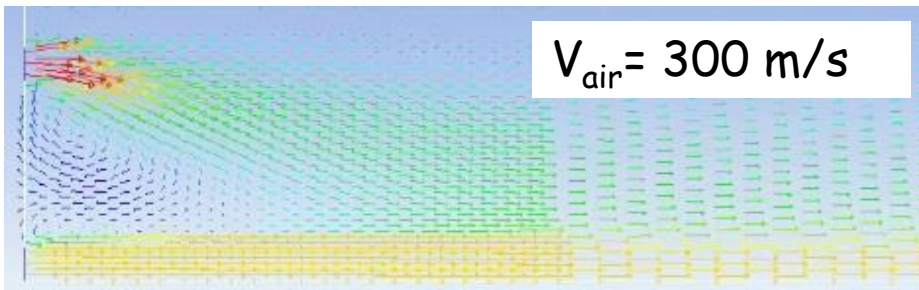
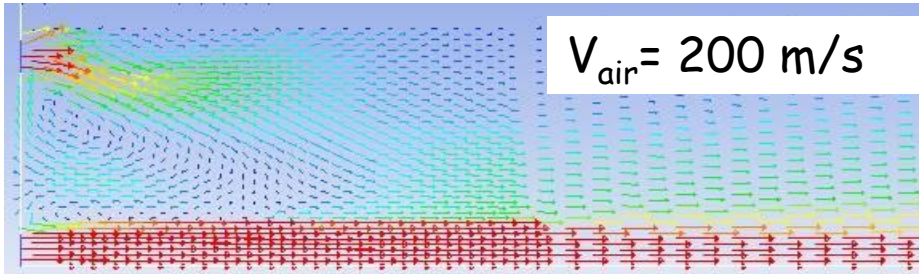
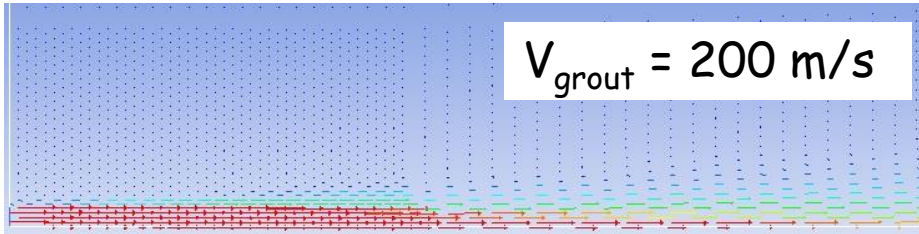
Sistemi di trattamento

1. monofluido: iniezione di una miscela acqua-cemento con funzione disgregante e cementante: *C.C.P. (Chemical Churning Pile)*.
2. bifluido: iniezione contemporanea di aria e miscela, con funzione disgregante e cementante: *J.S.G. (Jumbo Jet Special Grout)*
3. trifluido: azione disgregante prodotta da getti coassiali di acqua + aria e successiva azione cementante prodotta da getti di miscela: *Kajima*



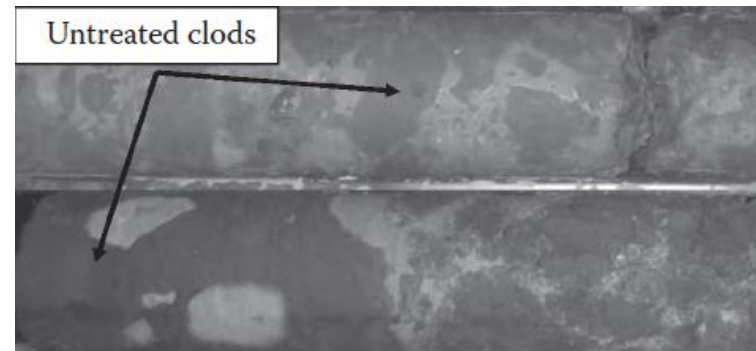
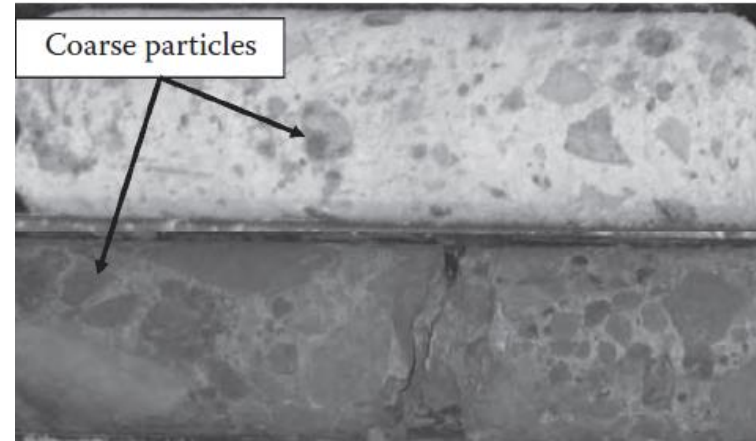
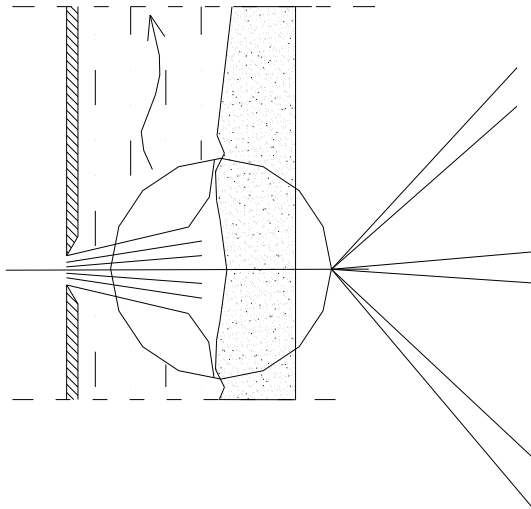
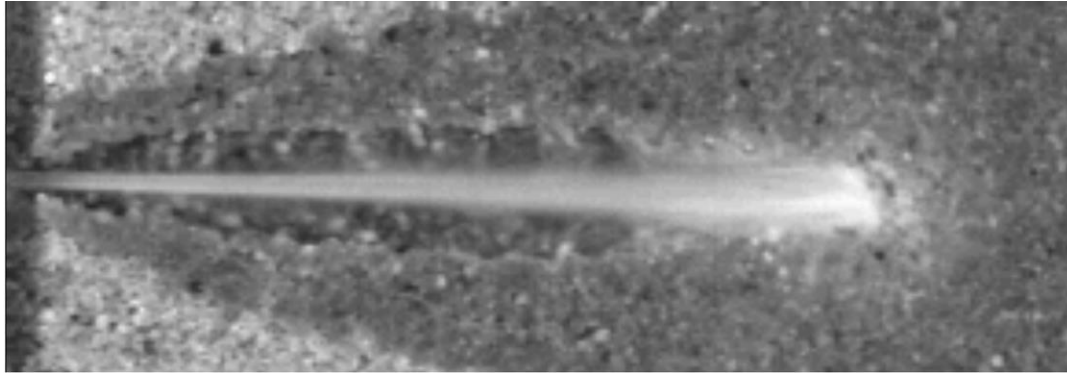
JET GROUTING: principio di funzionamento

Jet bifluido



JET GROUTING: principio di funzionamento

Interazione getto-terreno



JET GROUTING: effetti

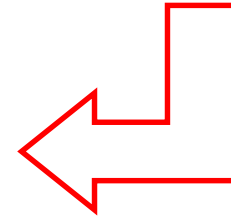
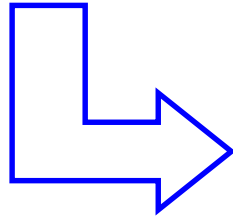
MISCELE DI INIEZIONE

Acqua (W)

priva di cloruri e solfati

Cemento (C)

Portland o pozzolanico (in ambienti aggressivi)



Rapporto C/W (Ω)

0.8

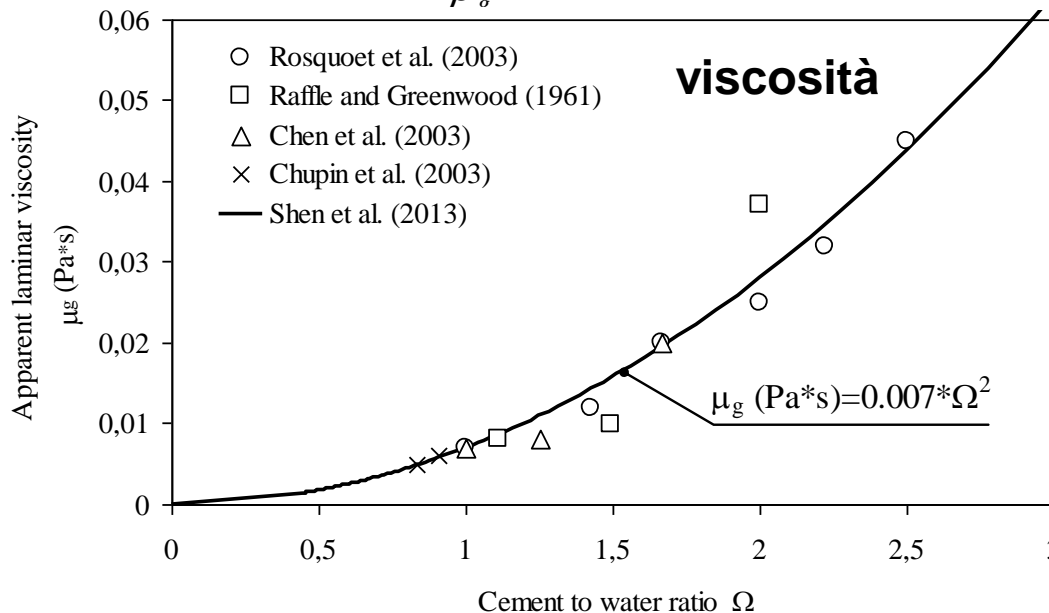
2

$$\rho_g = \frac{\rho_c \cdot (1 + \Omega)}{\Omega + \frac{\rho_c}{\rho_o}}$$

densità

Scadenti
resistenze
meccaniche
del materiale
consolidato

Elevata
efficienza
idrodinamica



Elevate
resistenze
meccaniche
del materiale
consolidato

Bassa
efficienza
idrodinamica

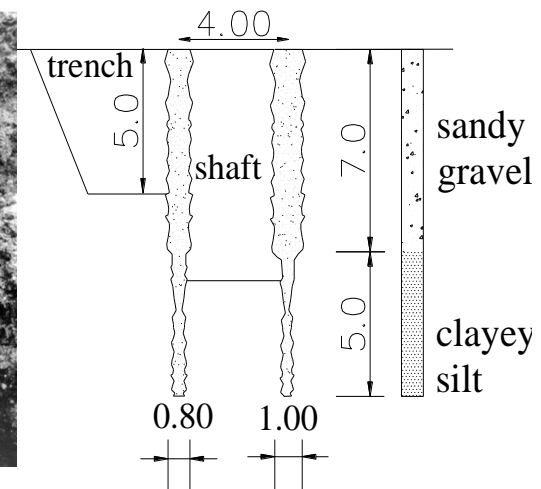
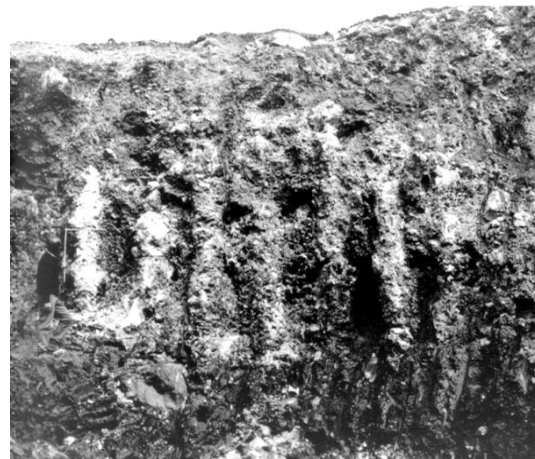
JET GROUTING: effetti

DIAMETRO DELLE COLONNE: fattori influenti

Modalità di trattamento
(sistema e parametri)

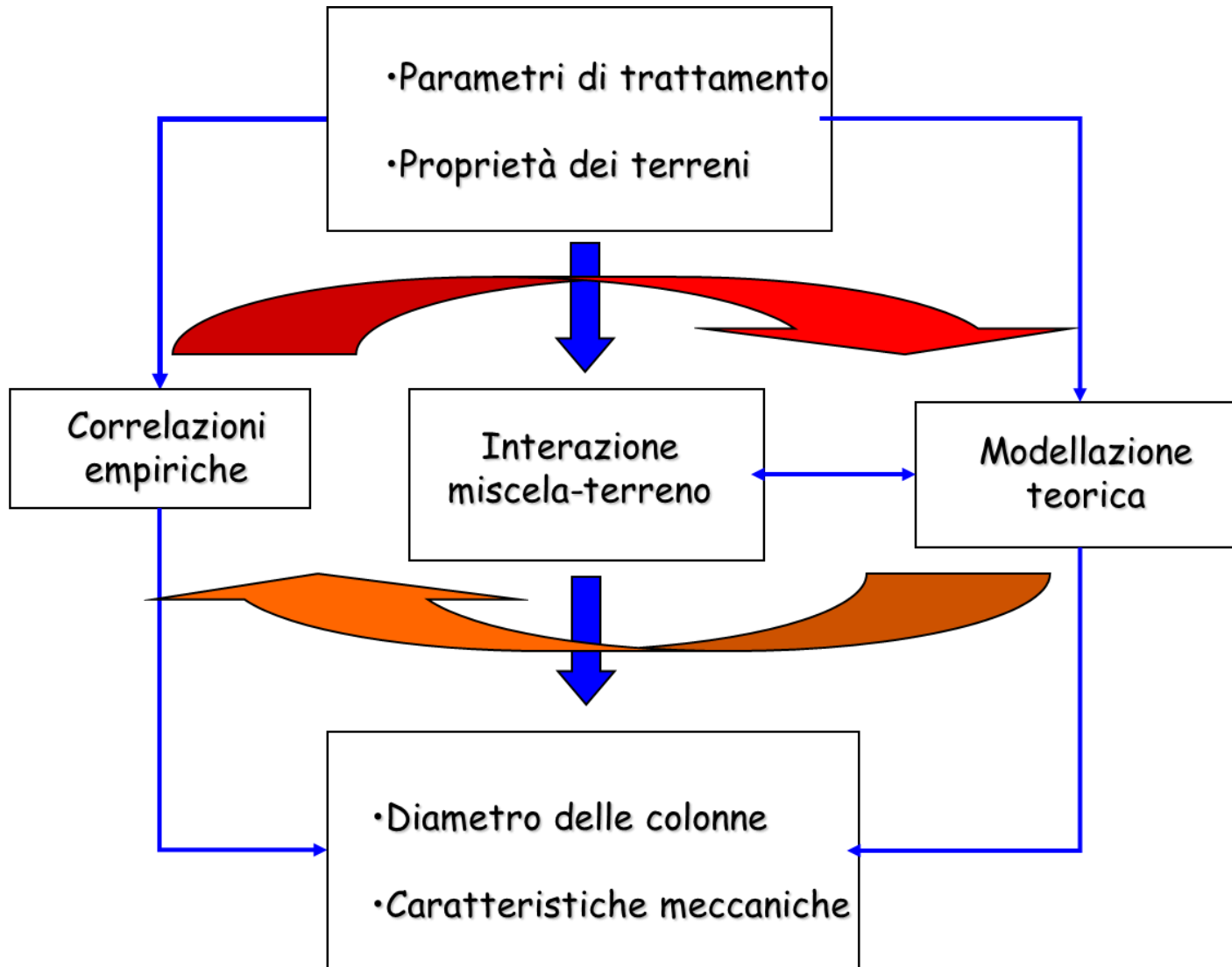


Tipo di terreno
(composizione e stato)



JET GROUTING: effetti

DIAMETRO MEDIO DELLE COLONNE: ricerca delle correlazioni



JET GROUTING: effetti

DIAMETRO MEDIO DELLE COLONNE: relazione empirica (reti neurali artificiali)

Parametri di trattamento

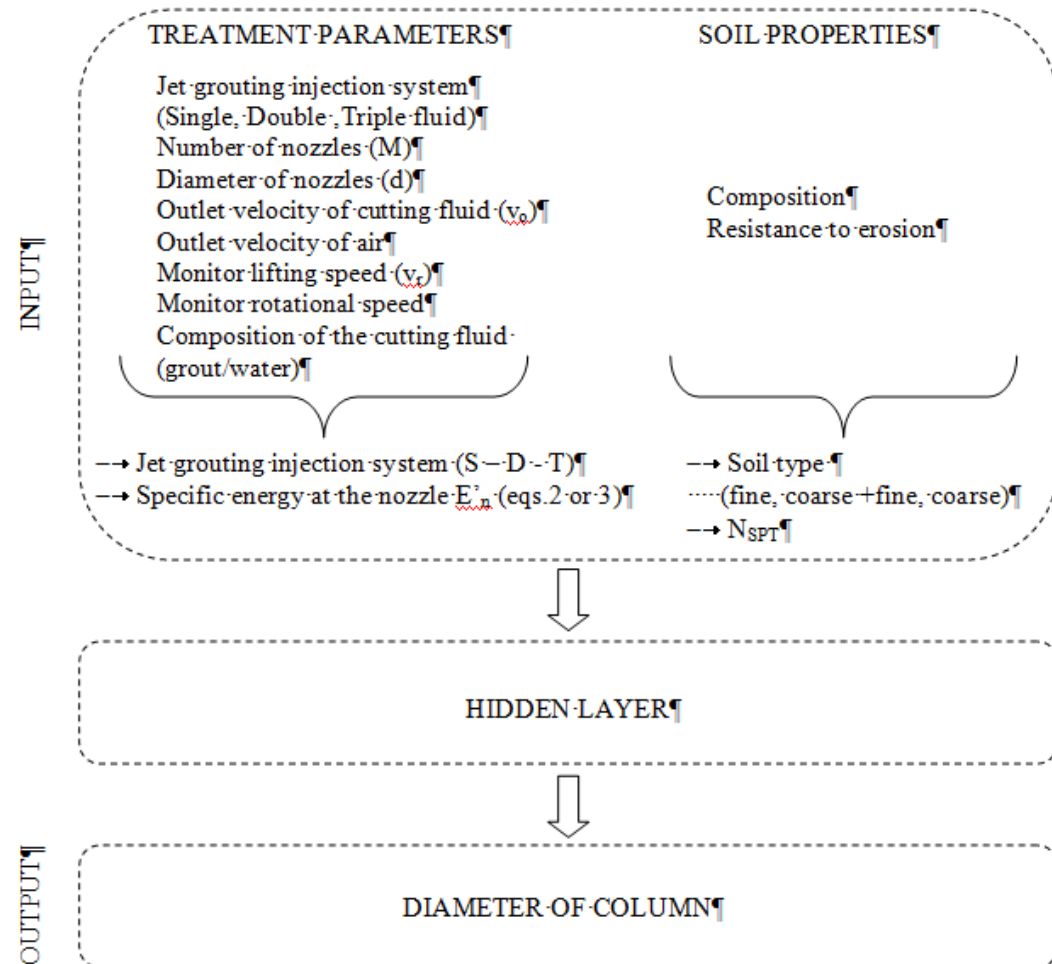
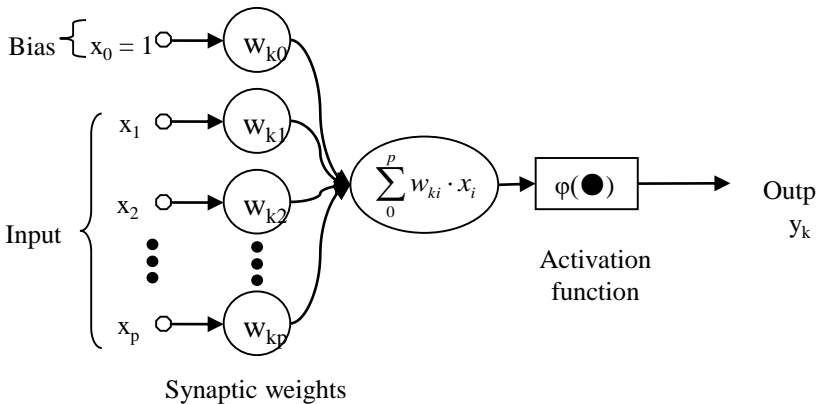
Mono, Bi, Trifluido

$$E'_n = \frac{1}{2} \frac{m \cdot v_0^2}{L} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{M \cdot \rho \cdot d^2 \cdot v_o^3}{v_r}$$

Terreno

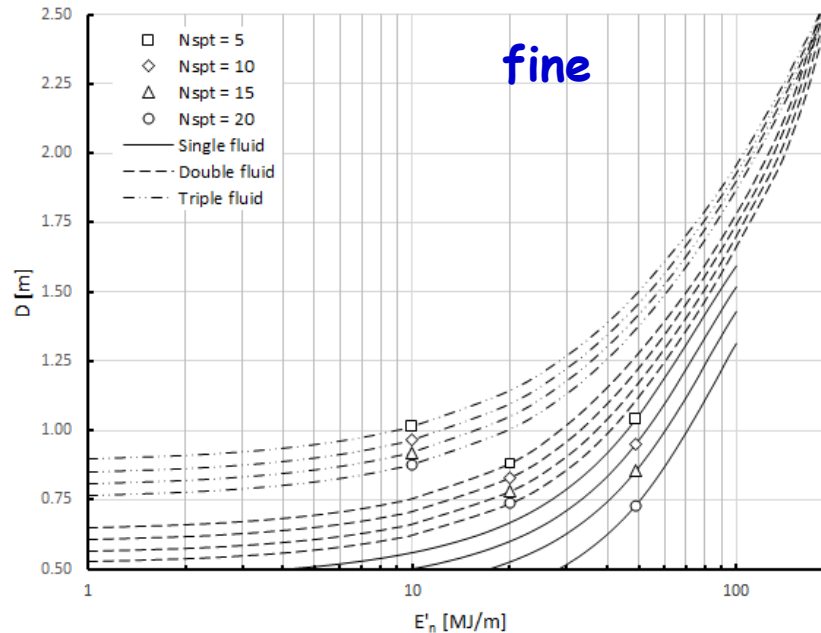
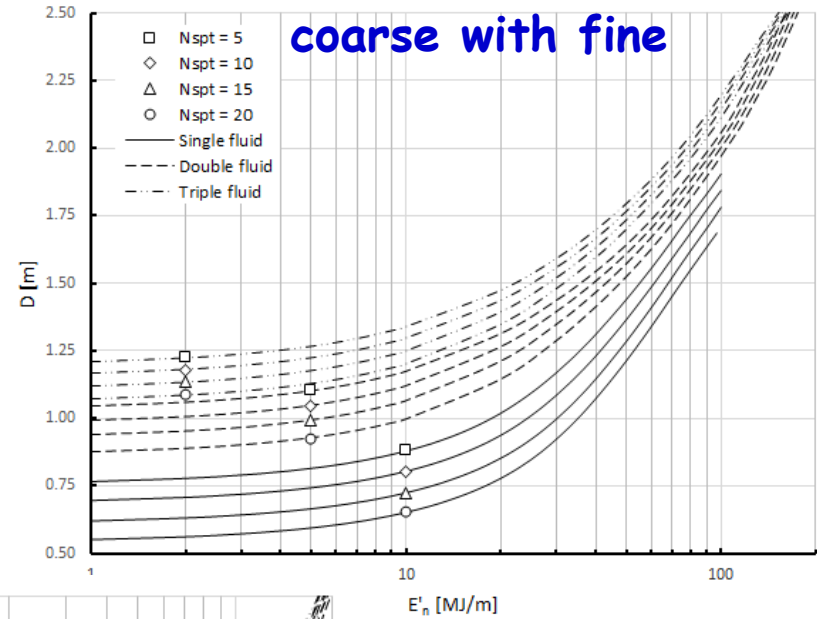
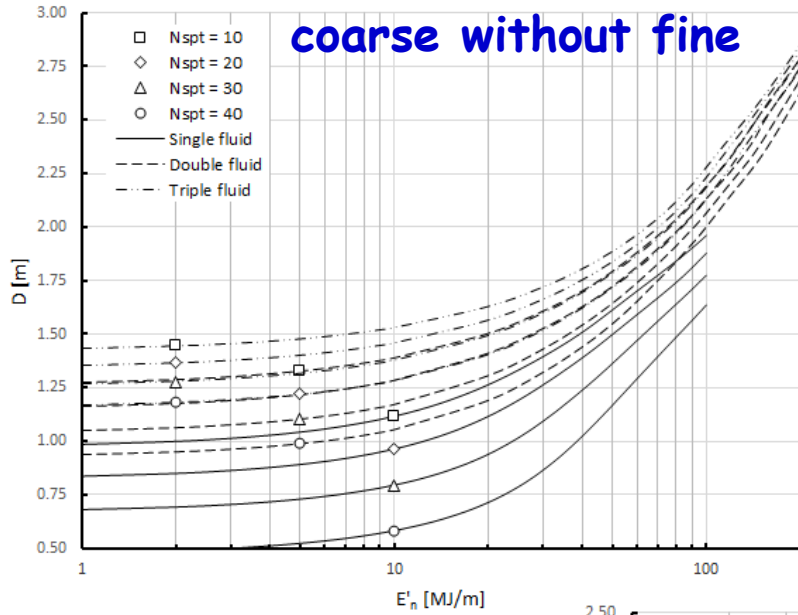
Grana fine, grossa+fine, grossa

N_{spt}



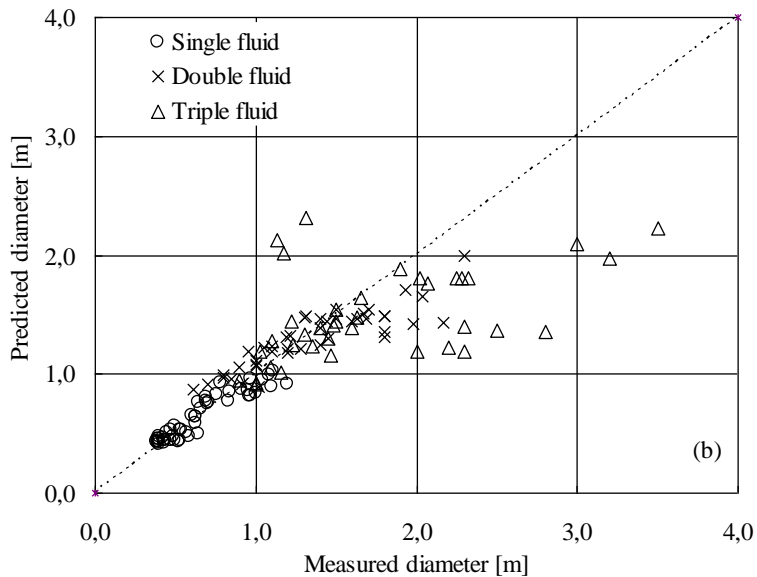
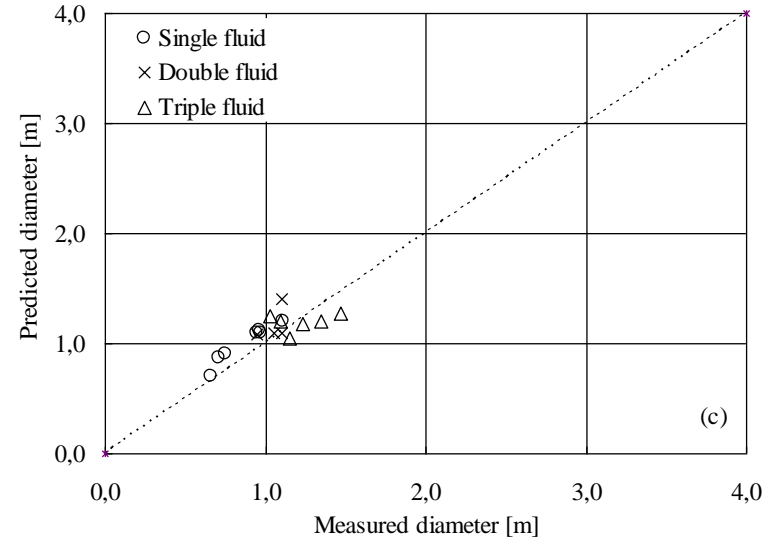
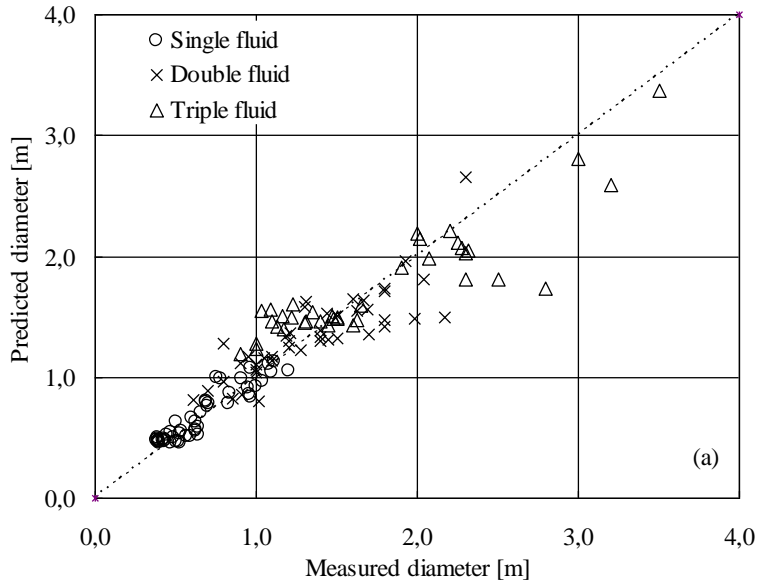
JET GROUTING: effetti

DIAMETRO MEDIO DELLE COLONNE: relazione empirica (reti neurali)



JET GROUTING: effetti

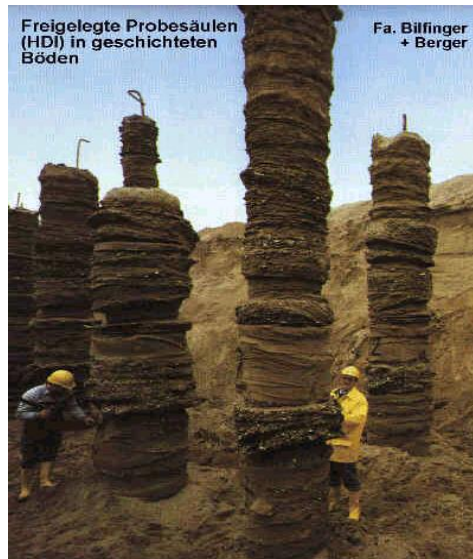
DIAMETRO MEDIO DELLE COLONNE: relazione empirica (reti neurali)



Measurement vs prediction with
- ANN (a) (Ochmanski et al., 2014)
- Flora et al. (2013) (b)
- Shen et al. (2013) (c).

JET GROUTING: effetti

DIAMETRO DELLE COLONNE: osservazioni



Piano campagna

Sabbia poco addensata

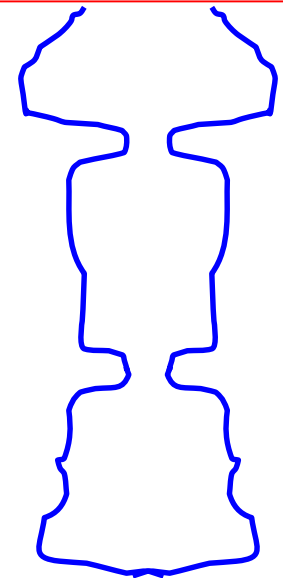
Sabbia cementata

Sabbia molto addensata

Limo sabbioso

Limo argilloso consistente

Sabbia poco addensata

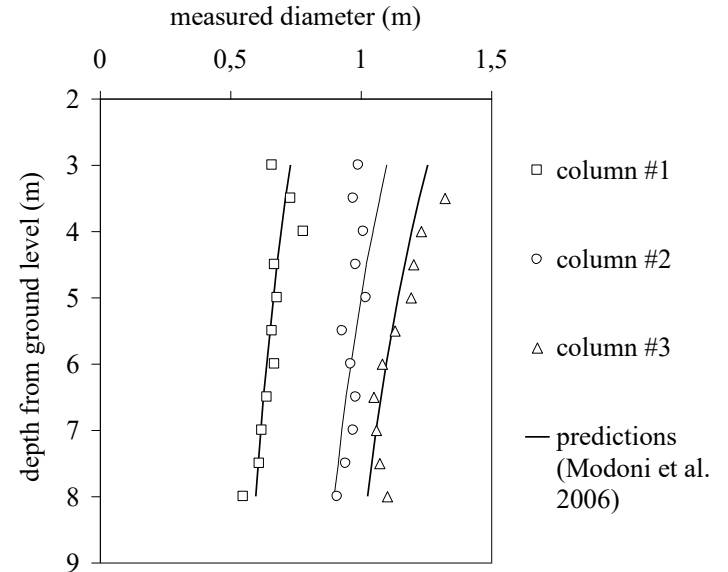
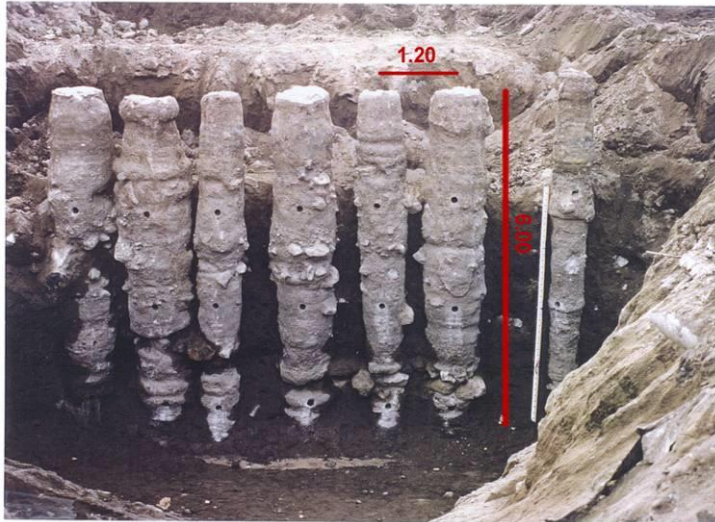


Il diametro delle colonne è una proprietà decisamente "variabile"

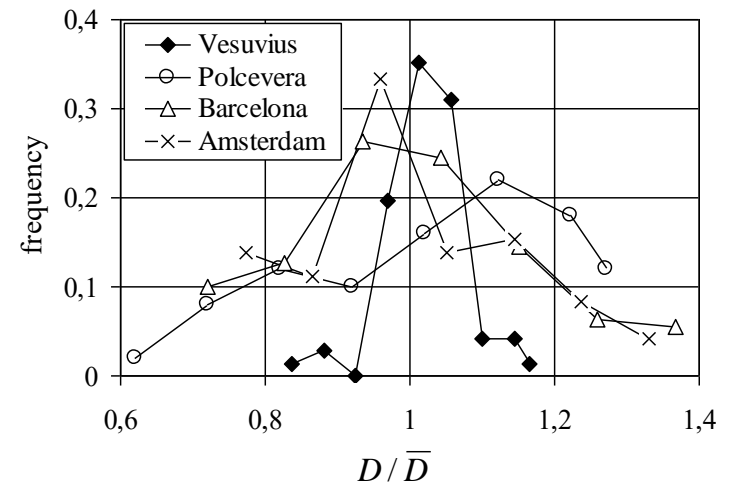
JET GROUTING: effetti

DIAMETRO DELLE COLONNE: variabilità

Variabilità sistematica

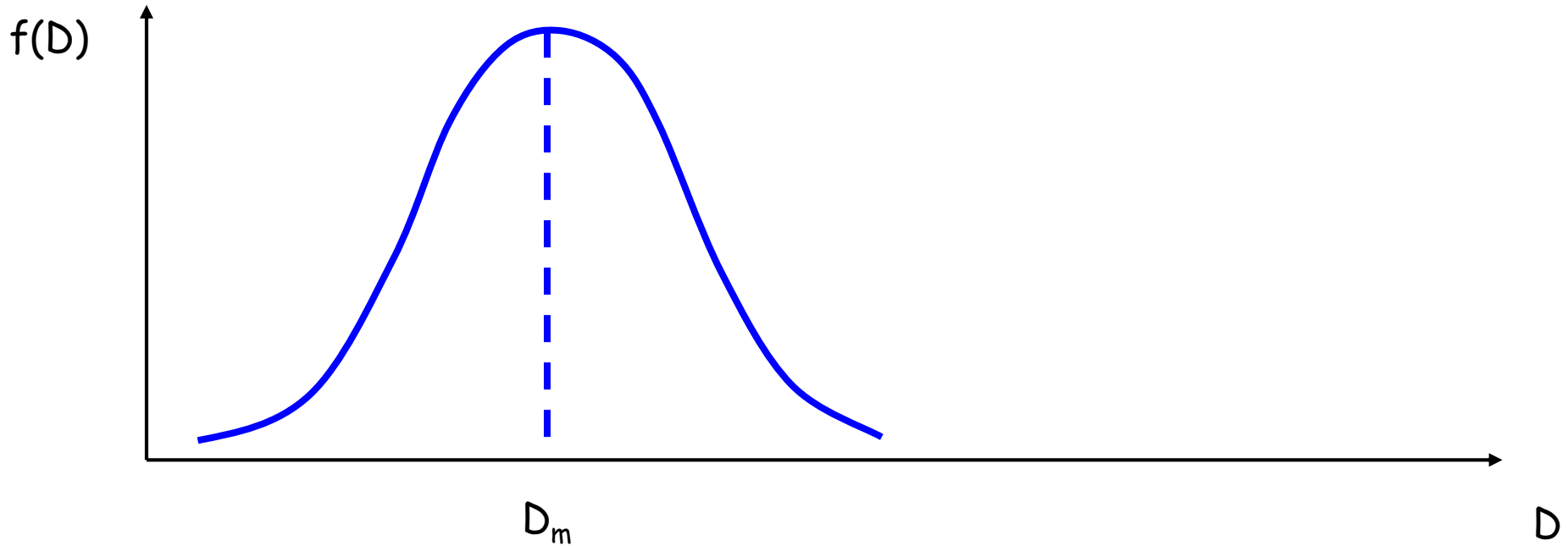


Variabilità casuale



JET GROUTING: effetti

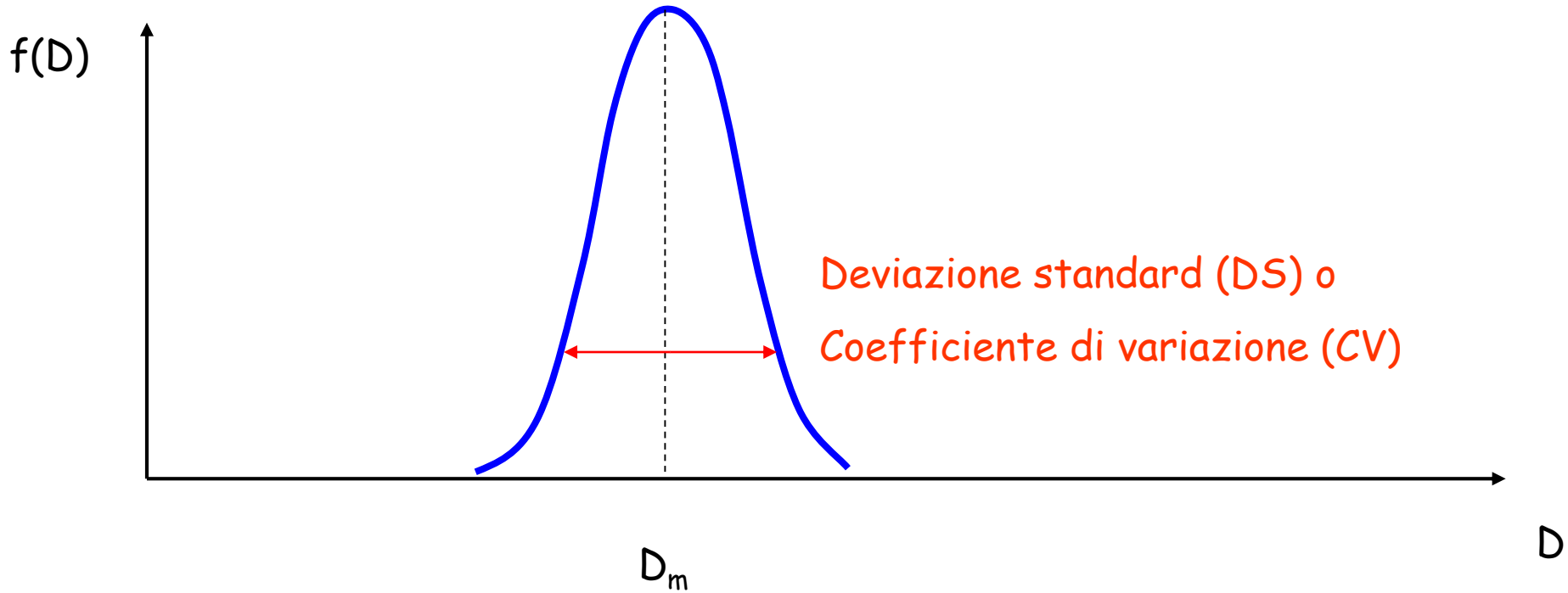
DIAMETRO DELLE COLONNE: variabilità sistematica



$$D_m = f(\text{treatment}, \text{soil properties})$$

JET GROUTING: effetti

DIAMETRO DELLE COLONNE: variabilità casuale



Dati sperimentali

Valori suggeriti

Table 4.8 Statistical analysis of column diameters

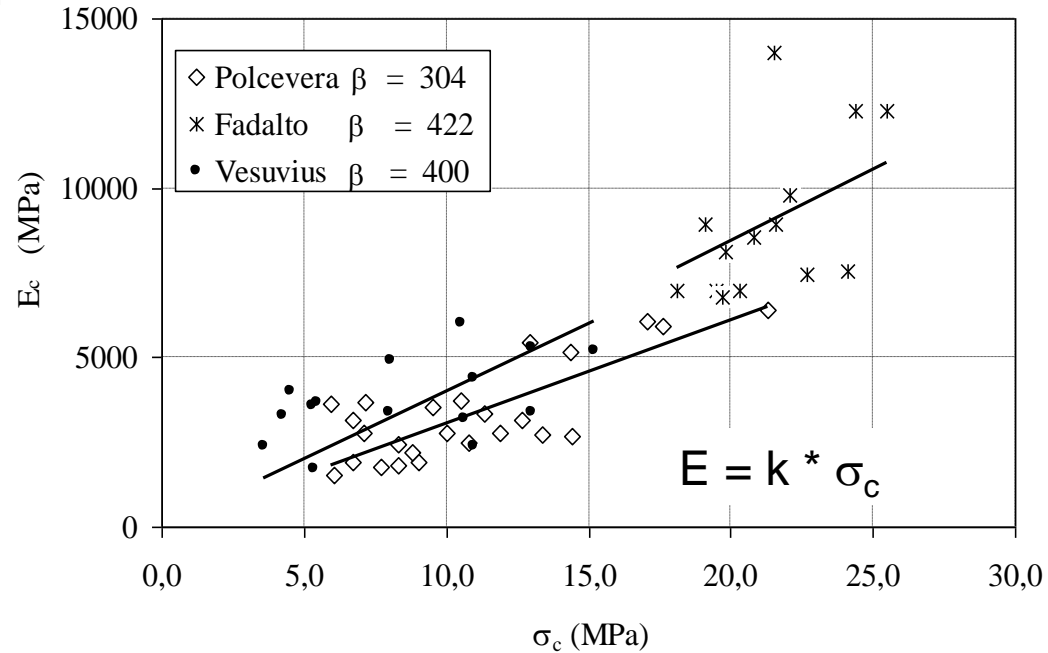
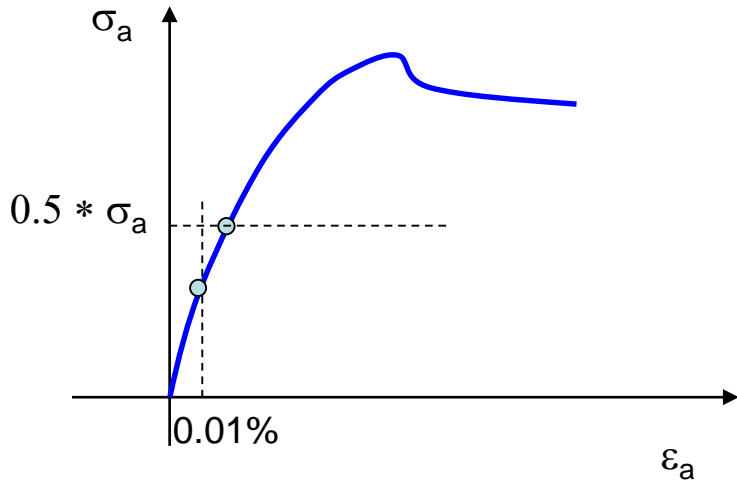
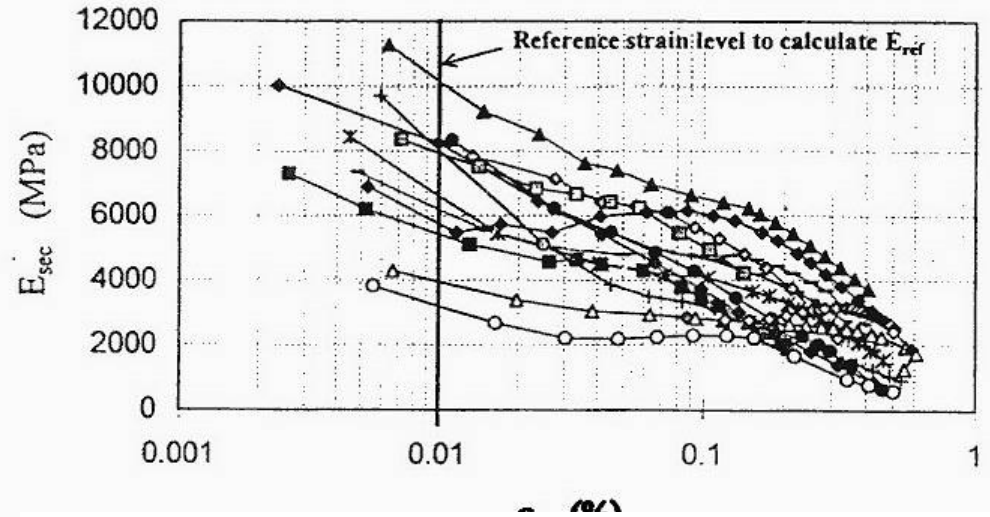
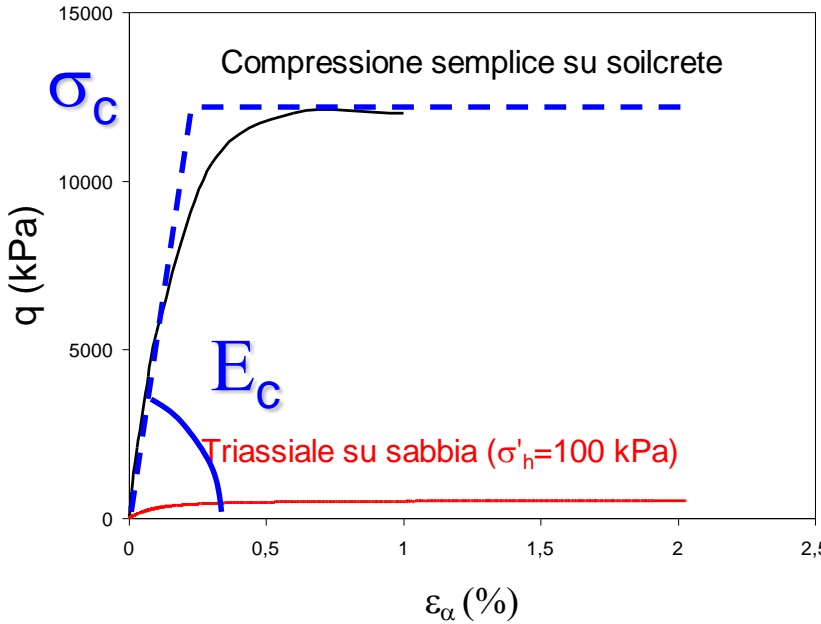
Case study	Soil	Number of data	$\bar{D}_{min} - \bar{D}_{max}$ (m)	$CV(D/D_m)$	Kolmogorov-Smirnov test
Vesuvius	Pyroclastic silty sand	71	0.55–1.35	0.06	0.09 (0.13)
Polcevera	Alluvial sandy gravel	50	1.06–1.20	0.19	0.12 (0.15)
Barcelona	Alluvial sandy clay	97	0.35–0.64	0.18	0.06 (0.11)
Amsterdam	Stratified sandy clay and clay	72	0.72–1.37	0.16	0.10 (0.13)

Table 4.9 Coefficients of variation $CV(D)$ of the diameter of columns for soils without significant discontinuities

	Soil heterogeneity		
	Low	Medium	High
$CV(D)$	0.02–0.05	0.05–0.10	0.05–0.20

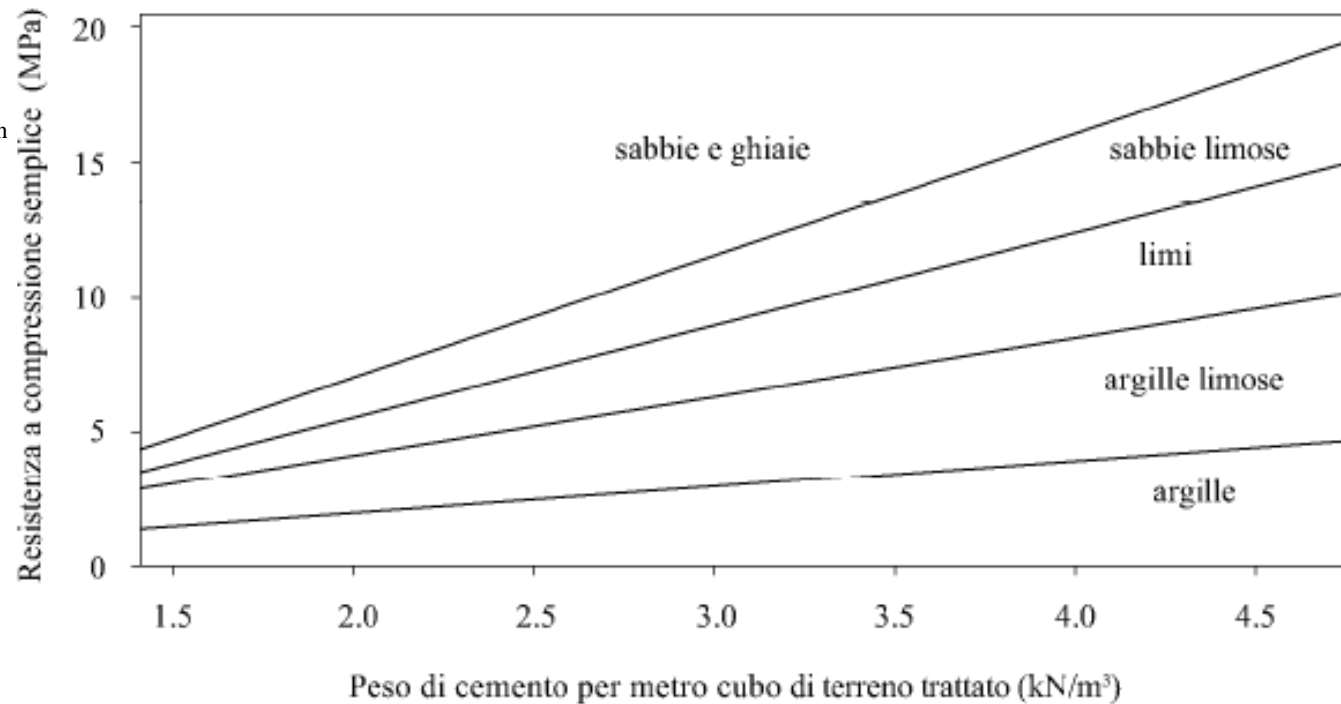
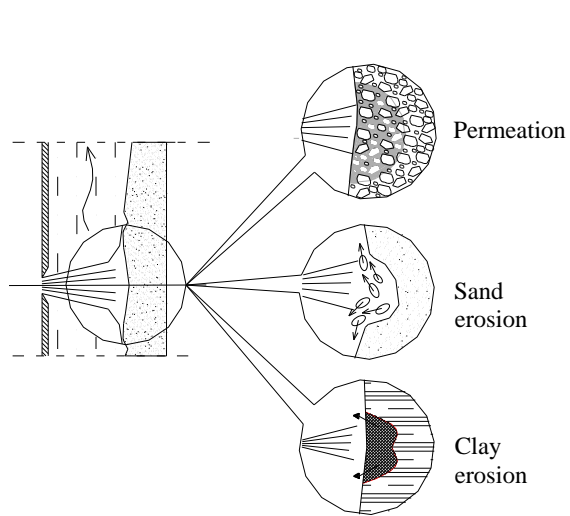
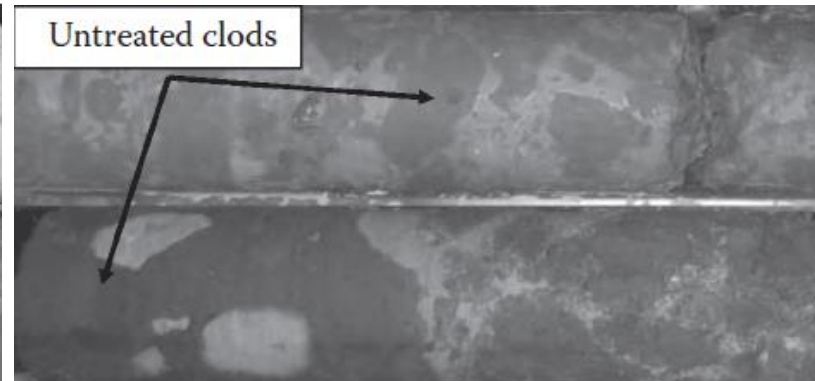
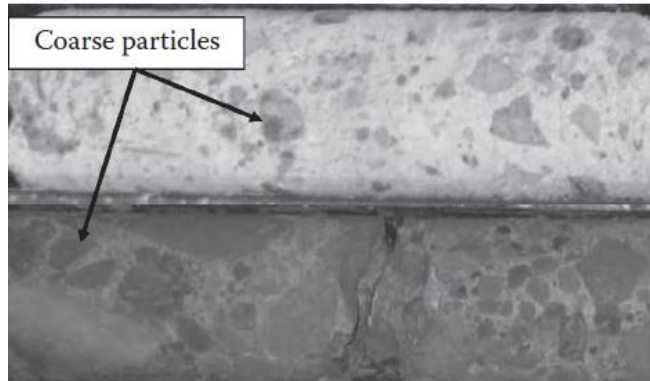
JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: rigidezza



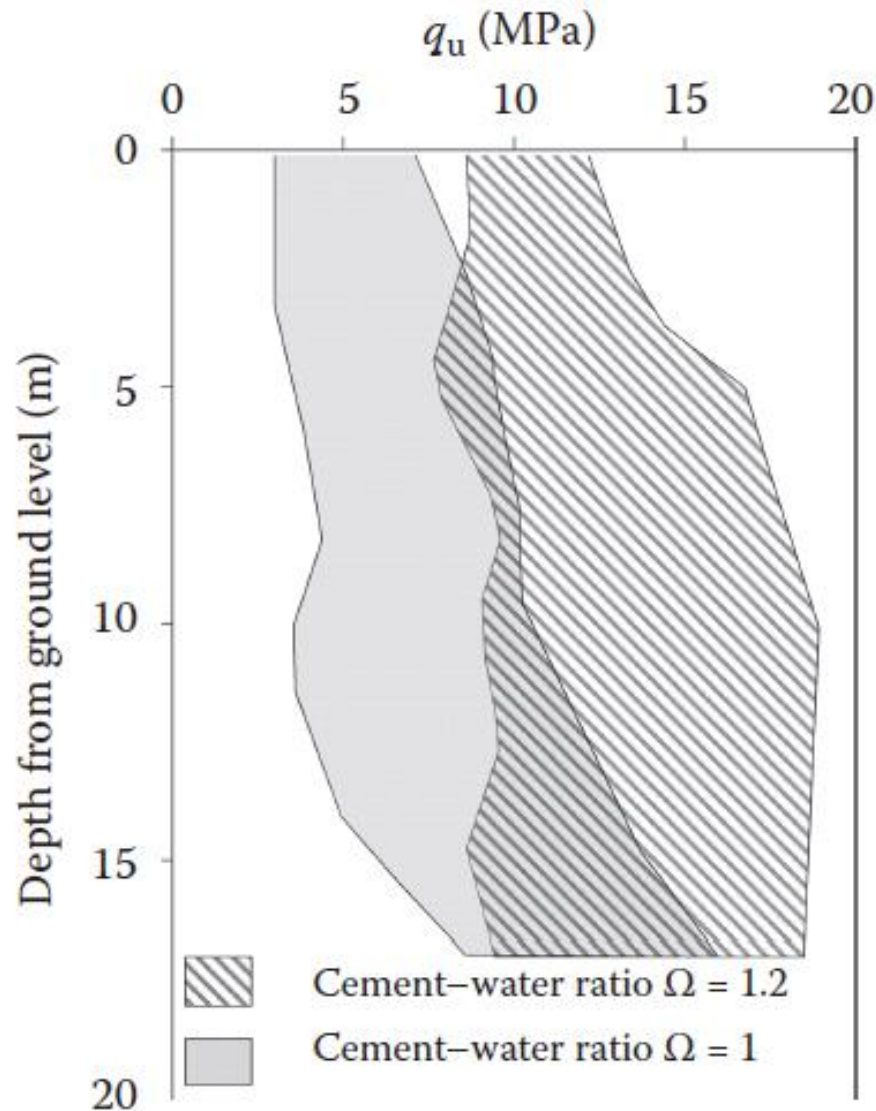
JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: resistenza a compressione uniassiale



JET GROUTING: effetti

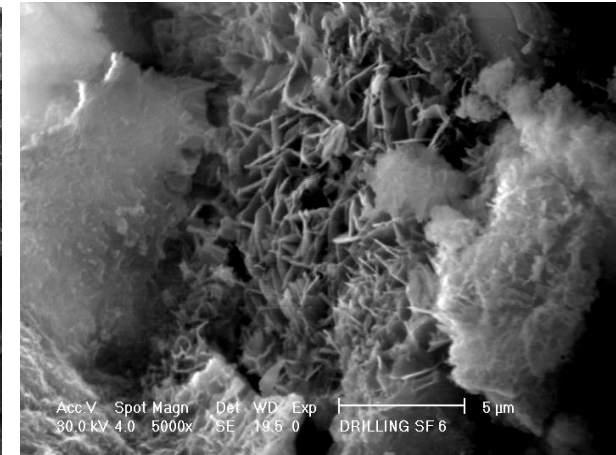
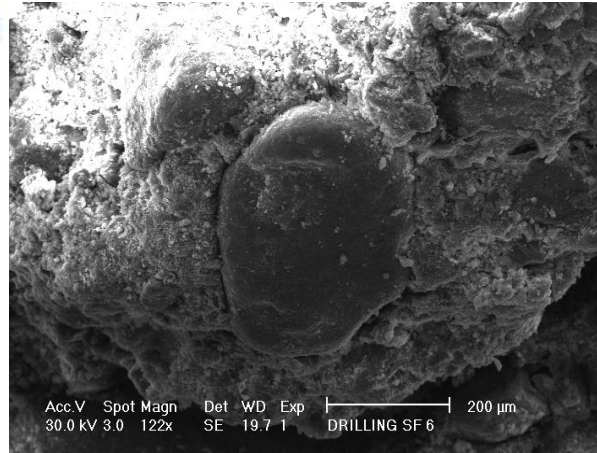
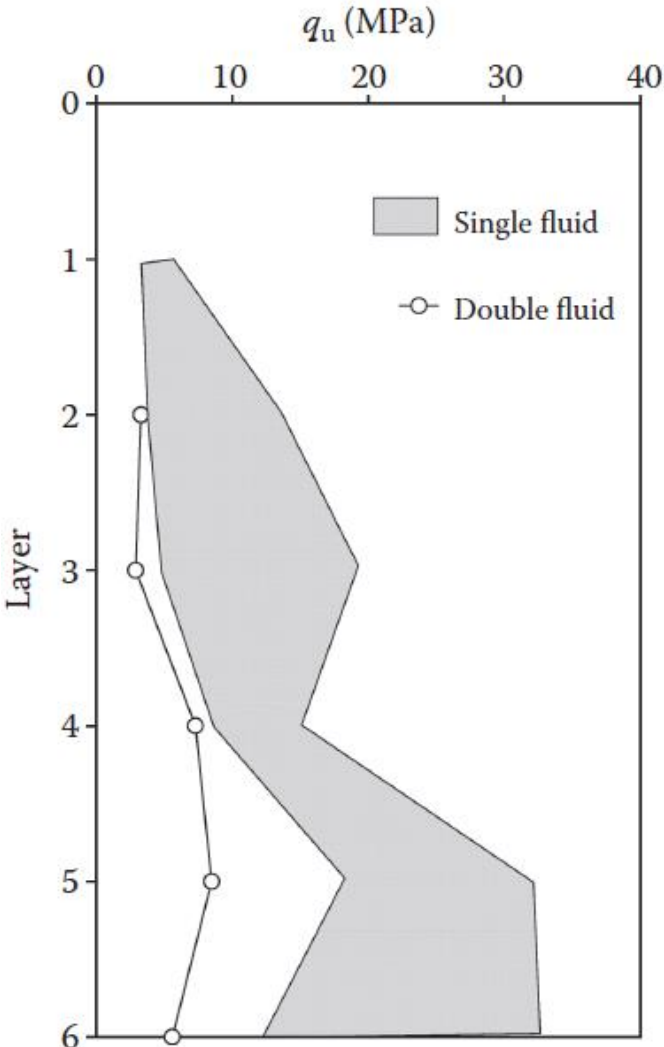
PROPRIETÀ MECCANICHE: resistenza a compressione uniassiale



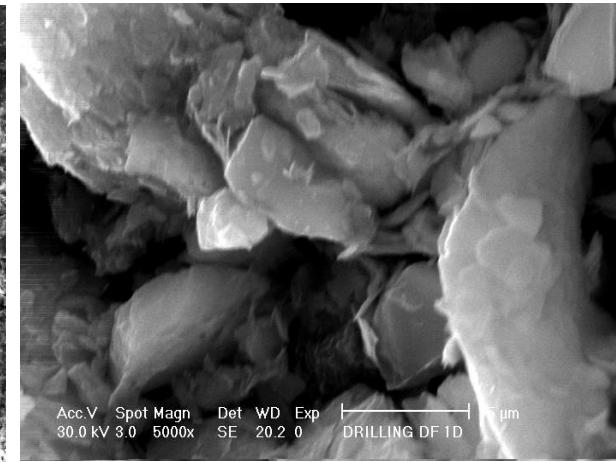
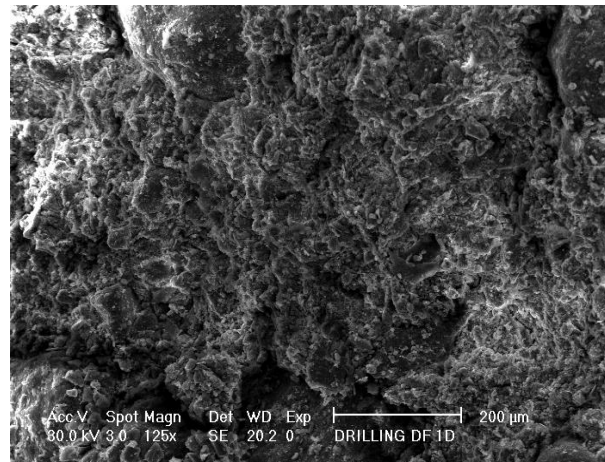
JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: resistenza a compressione uniassiale

Single fluid



Double fluid



JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: variabilità delle proprietà meccaniche

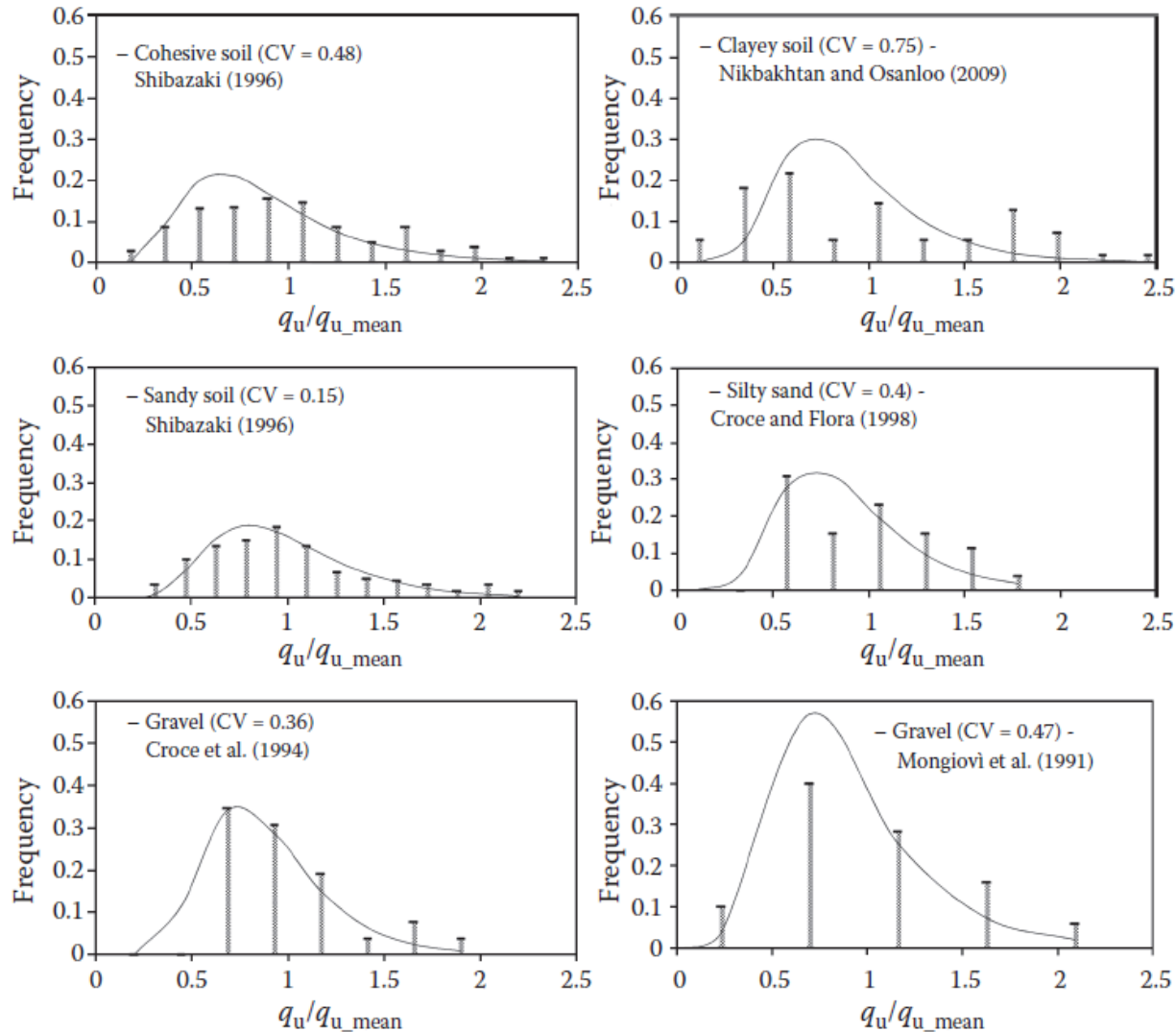


Figure 4.27 Frequency distribution of the uniaxial compression strength from six different case studies.

JET GROUTING: effetti

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

FINAL DRAFT
prEN 1997-1

**Stima cautelativa
del valor medio?**

Par.2.4.3 Group

(5) When establishing
parameters, the

the variation of the geotechnical parameters
relevant to the design;

Par.2.4.5 Characteristic values of the geotechnical
parameters

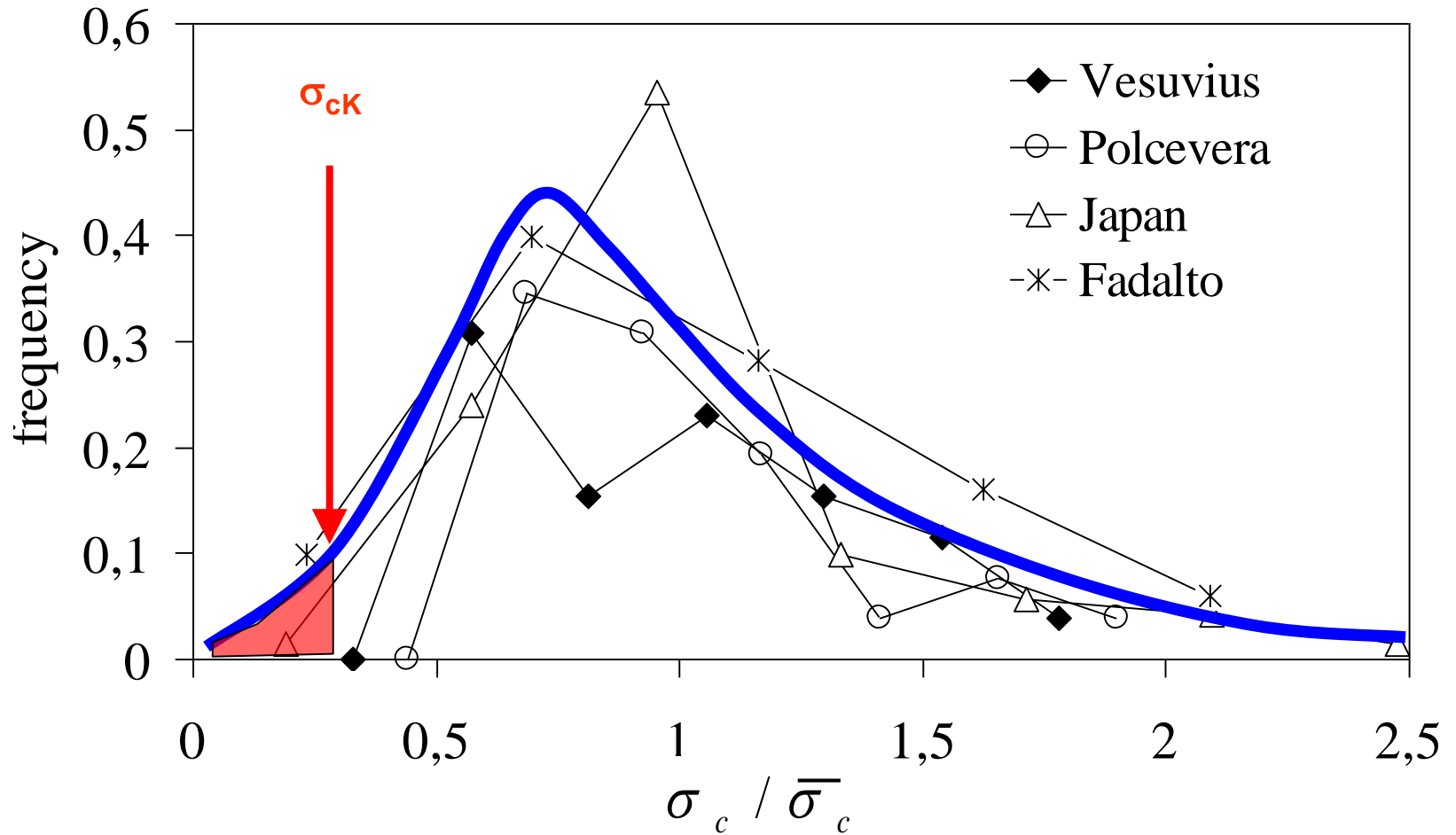
(7) The zone of ground governing the behaviour of a
geotechnical structure at a limit state is usually
much larger than a test sample or the zone of ground
affected in an in situ test. Consequently the value of
the governing parameter is often the mean of a range
of values covering a large surface or volume of the
ground. The characteristic value should be a
cautious estimate of this mean value.



Croce

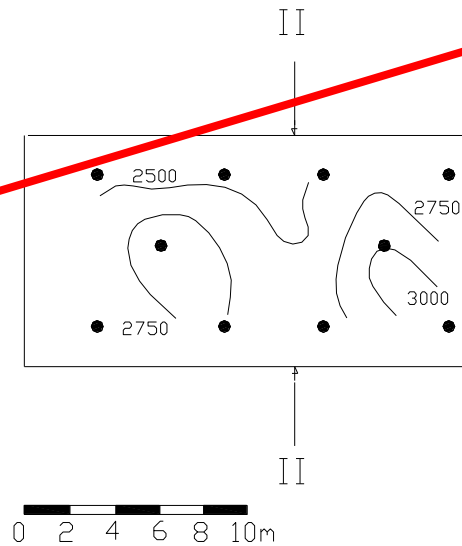
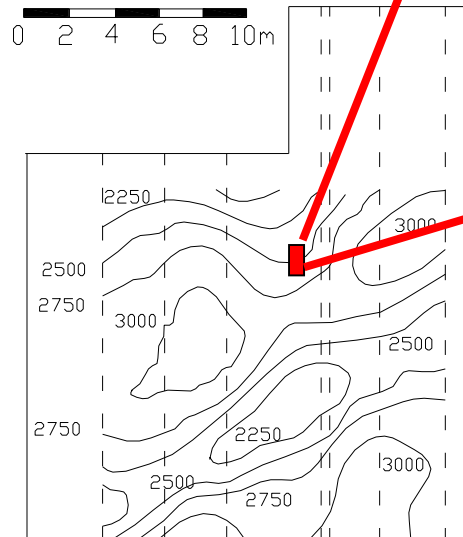
JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: variabilità delle proprietà meccaniche



JET GROUTING: effetti

PROPRIETÀ MECCANICHE: variabilità delle proprietà meccaniche

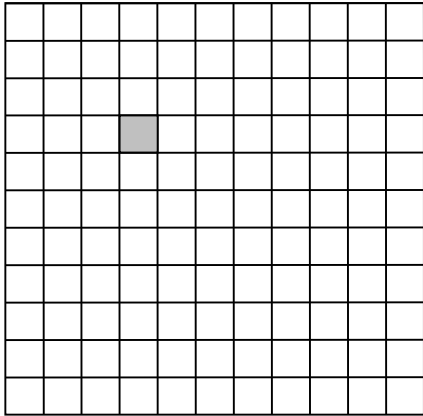


I (a)

II (b)

JET GROUTING: effetti

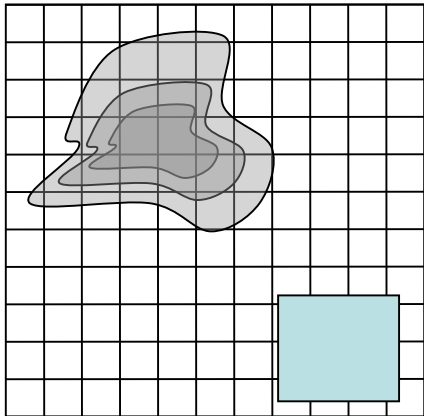
PROPRIETÀ MECCANICHE: variabilità delle proprietà meccaniche



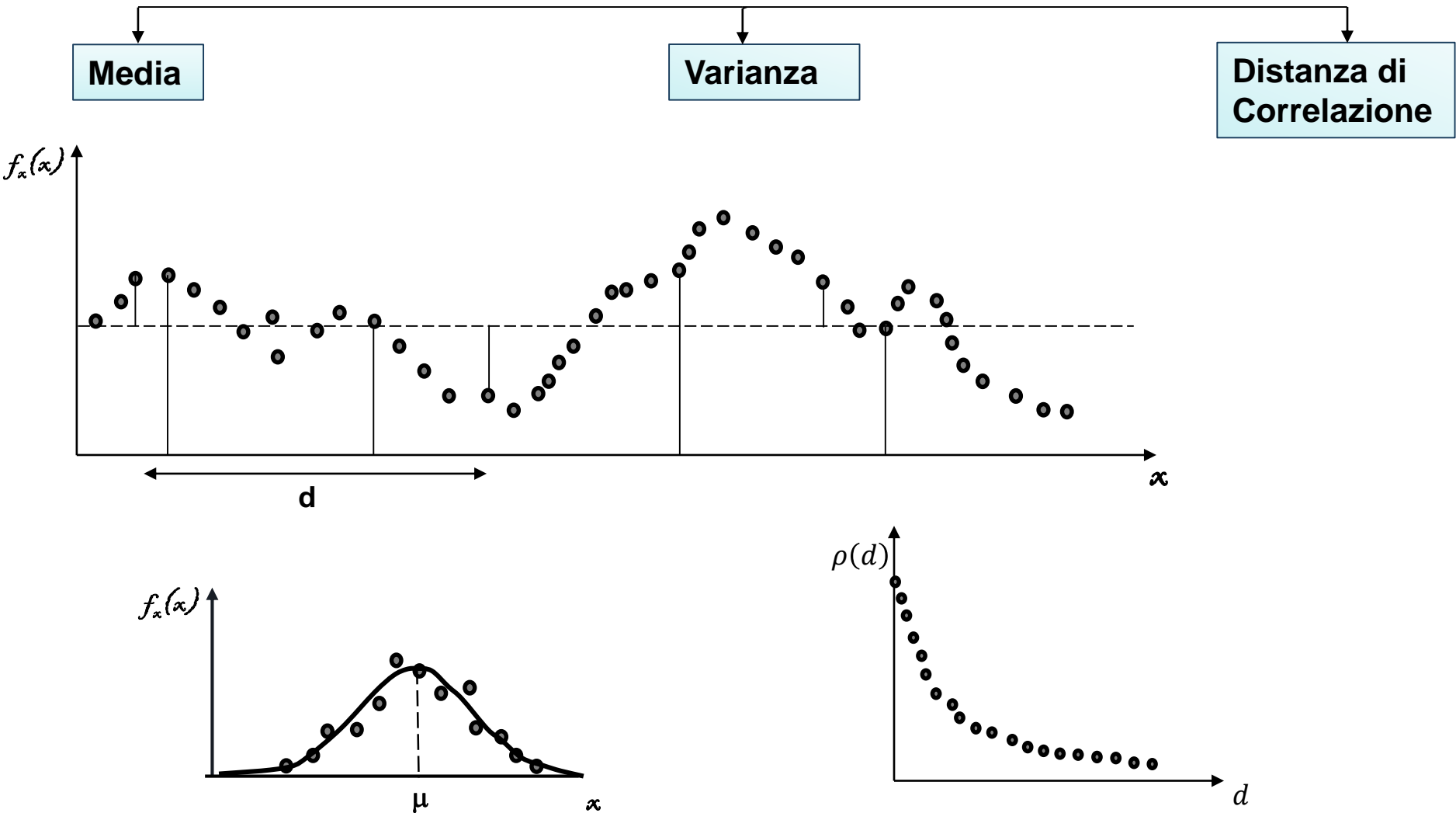
$$s = \frac{R}{A} = \frac{\sum_n s_{c_i} \cdot a_{c_i}}{\sum_n a_{c_i}}$$

$$S.D.(s) = \frac{S.D.(s_c)}{\sqrt{n}}$$

Variabilità spaziale/Effetto vicinanza ?



JET GROUTING: effetti



(Vanmarcke, 1977)

$$\rho(d) = \frac{C(d)}{C(0)} = \frac{C(d)}{\sigma_x^2} = \frac{1}{\sigma_x^2(n-d)} \sum_{i=1}^{n-d} (X(i) - \mu_x(i)) (X(i+d) - \mu_x(i+d))$$

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLA VARIABILITÀ

Per terreni cementati

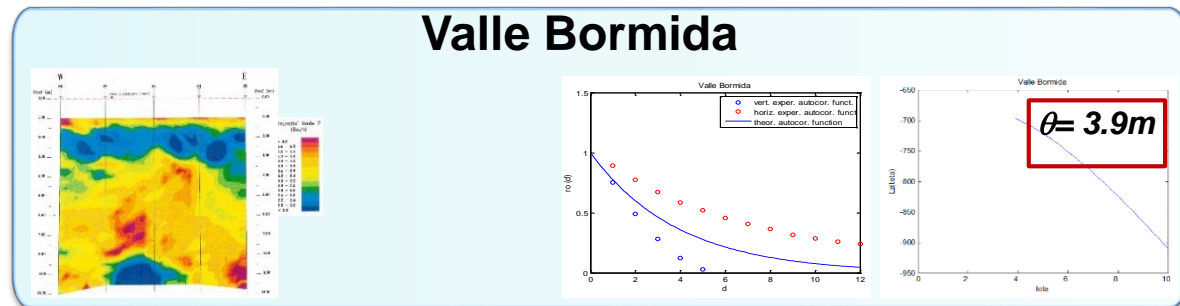
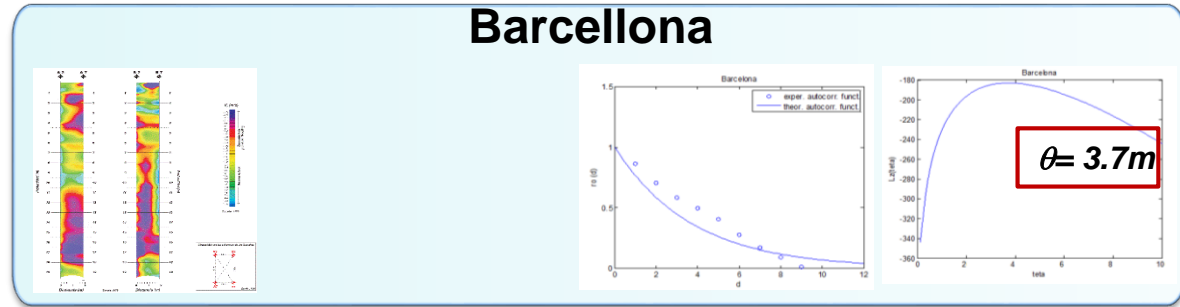
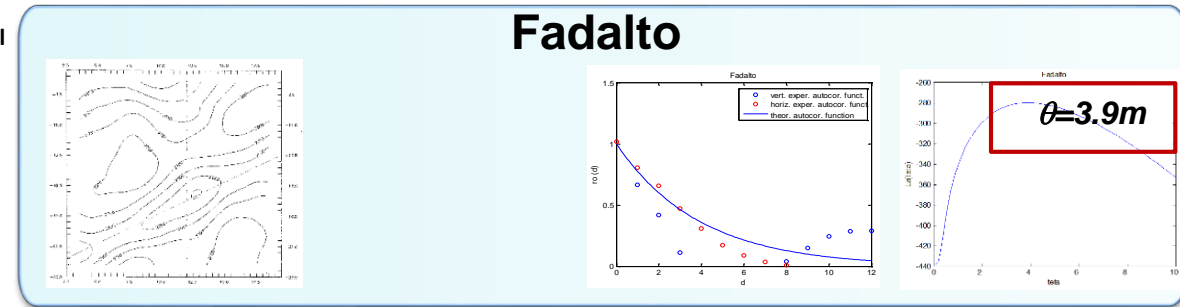
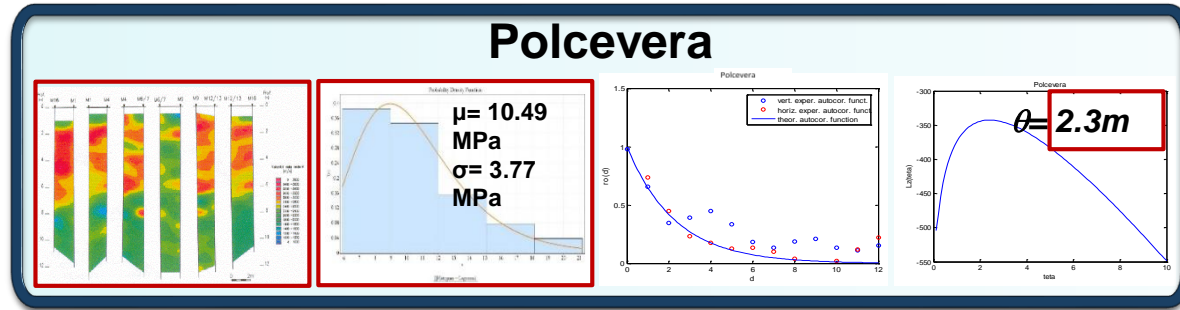
Optimum values for autocorrelation distance θ in cement-treated soil

Data set	Sand θ [m]	Clay θ [m]	Reference
No.1	2.2	0.4	Namikawa and Koseki (2012)
No.2	1.2	0.3	
No.3	2.1	1.1	

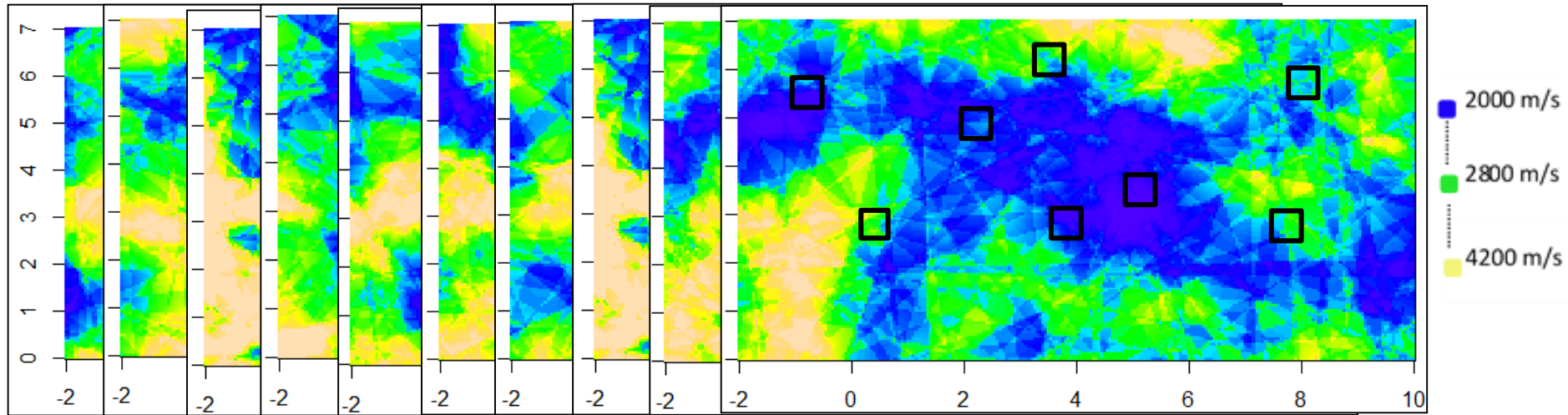
$$0.3m < \theta < 2.2m$$

Honjo (1982)

$$0.4m < \theta < 4m$$



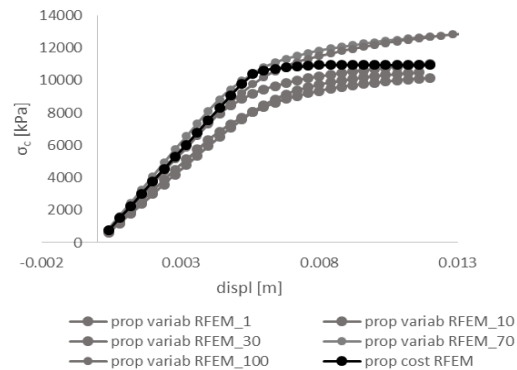
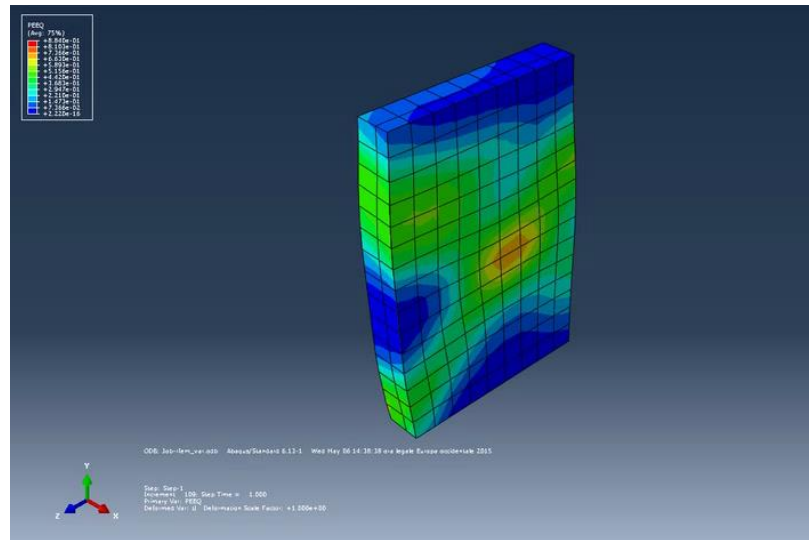
JET GROUTING: effetti



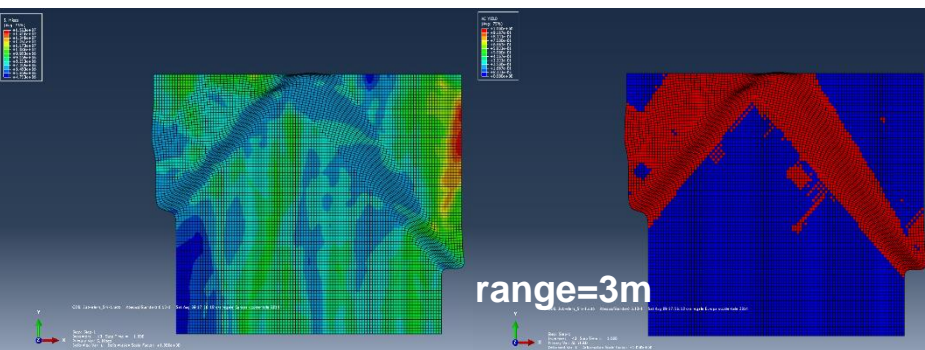
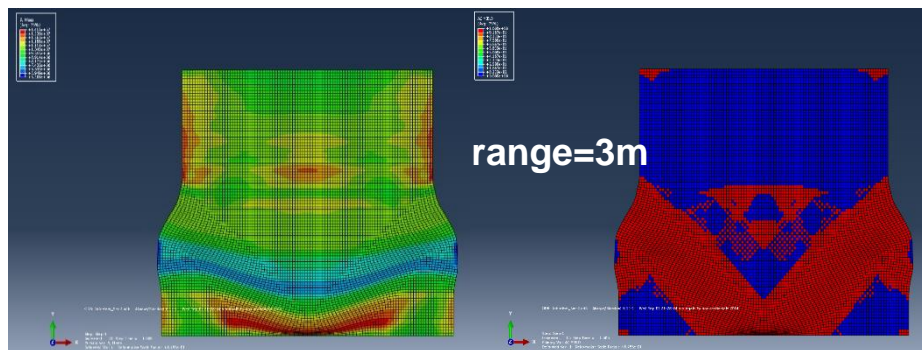
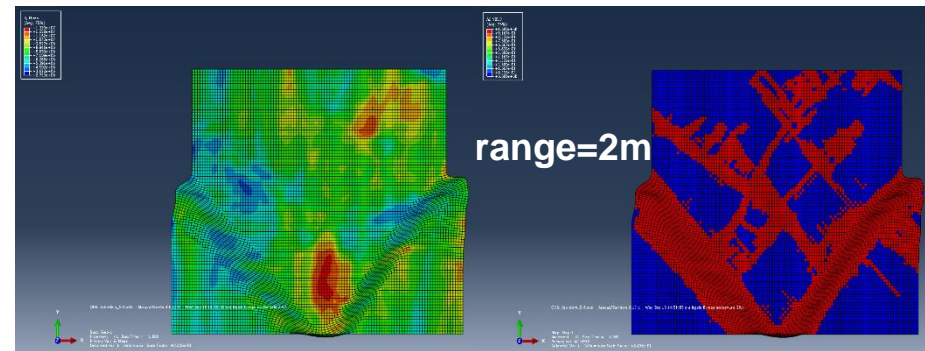
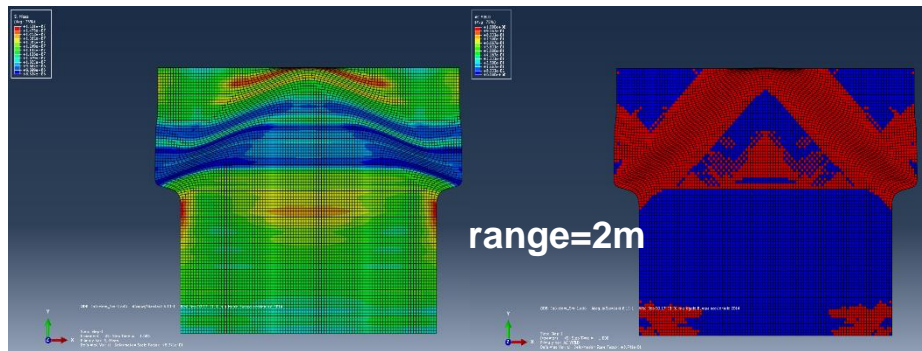
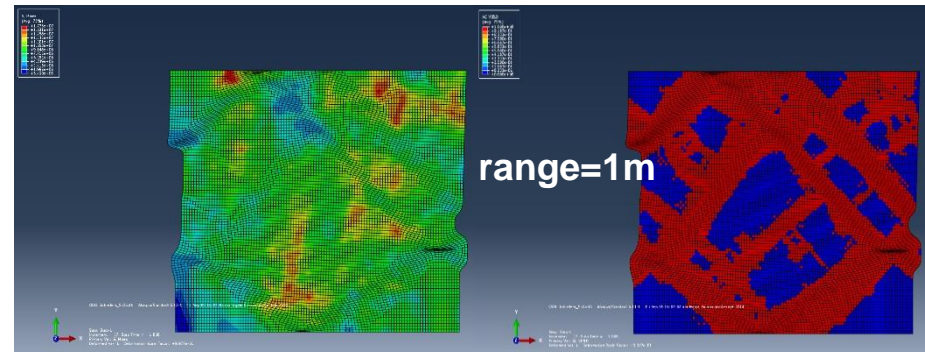
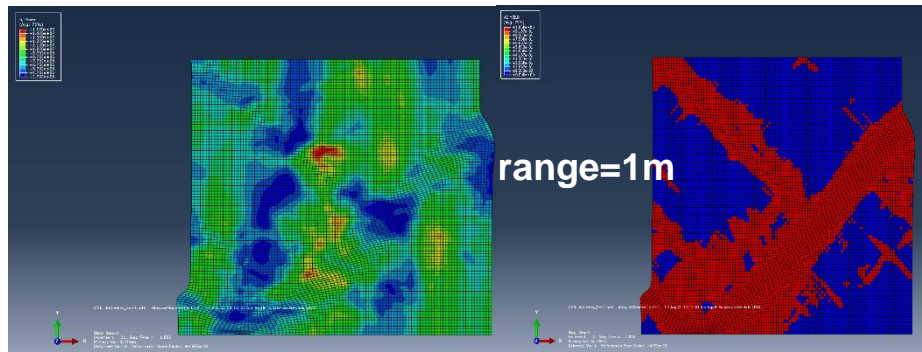
JET GROUTING: *effetti*

**RFEM (Fenton & Griffiths,
2000)**

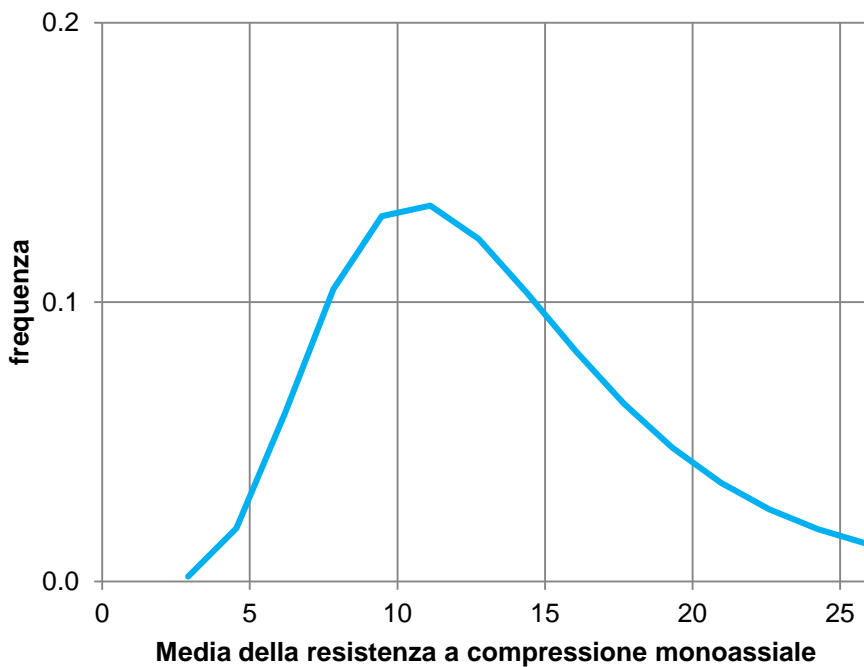
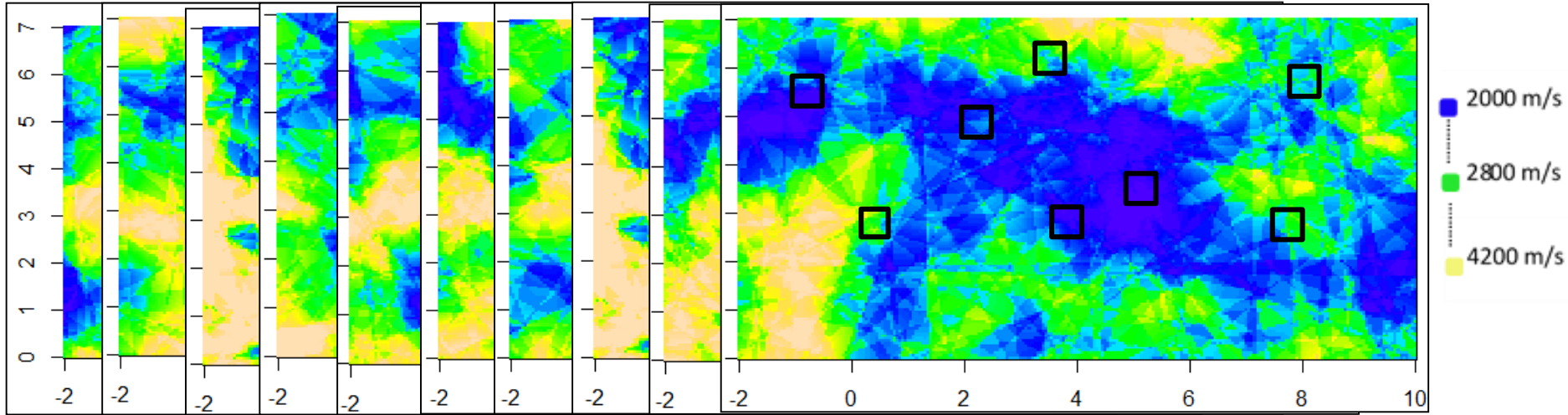
**ABAQUS (Abaqus v6.13,
2013)**



JET GROUTING: effetti

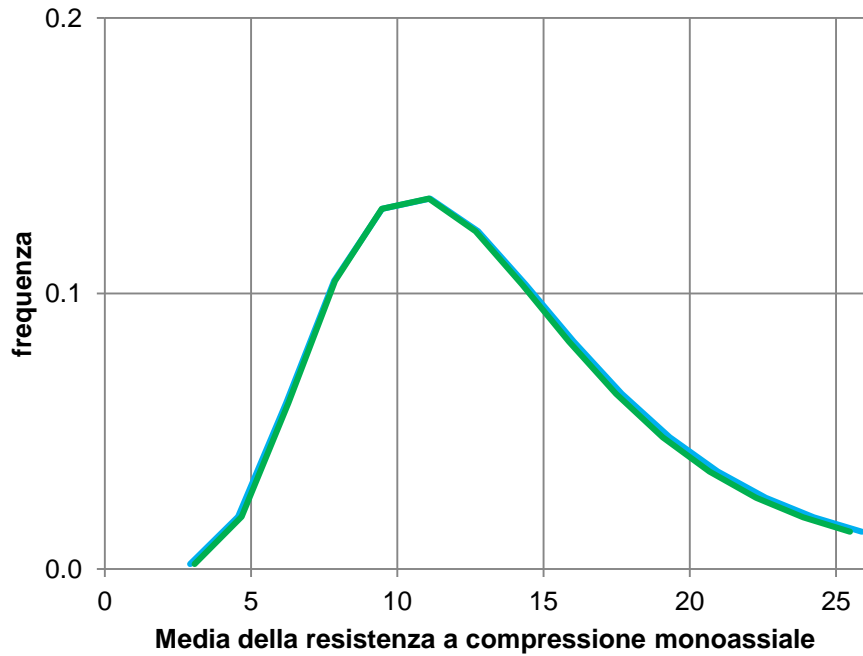
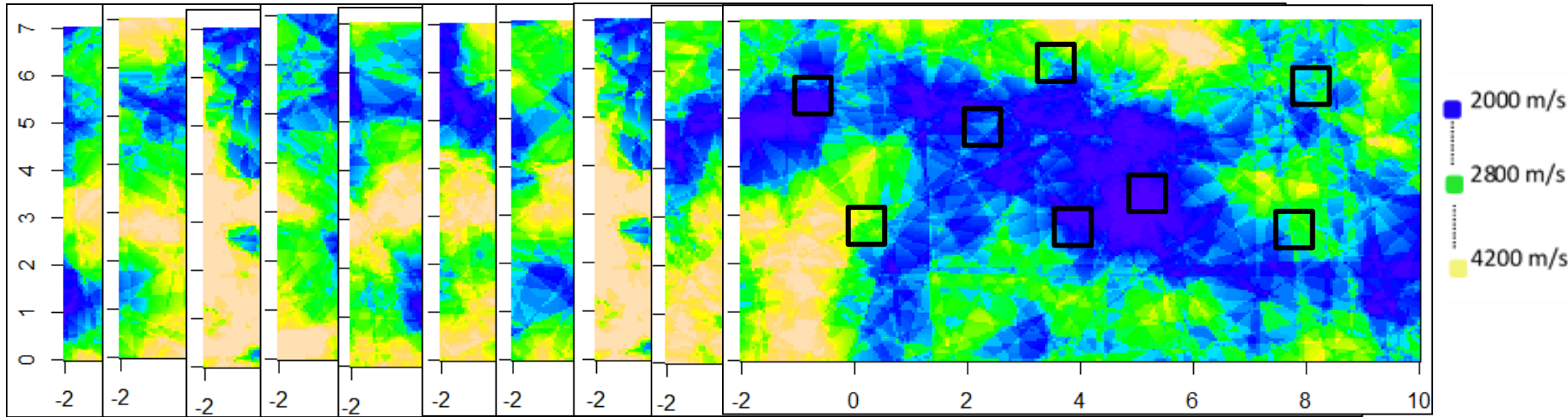


JET GROUTING: effetti



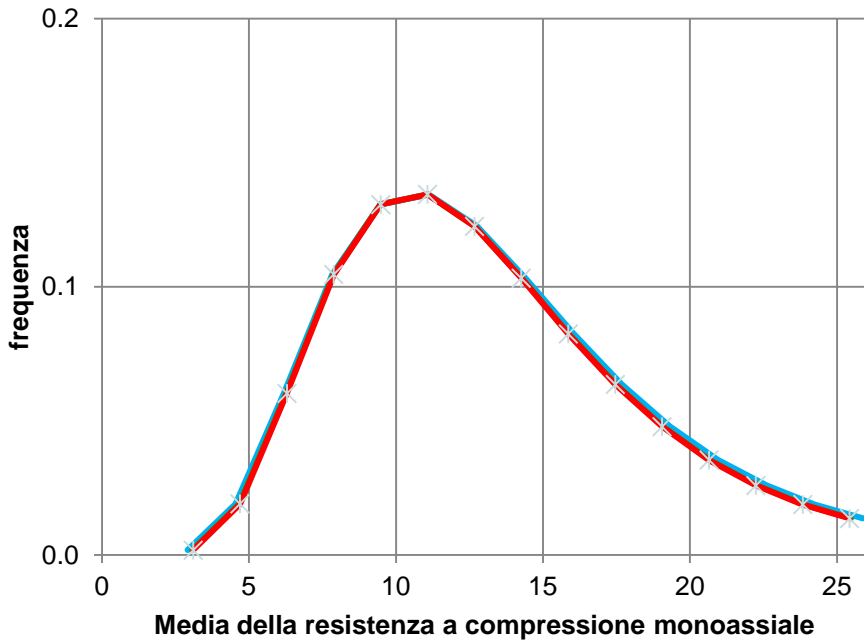
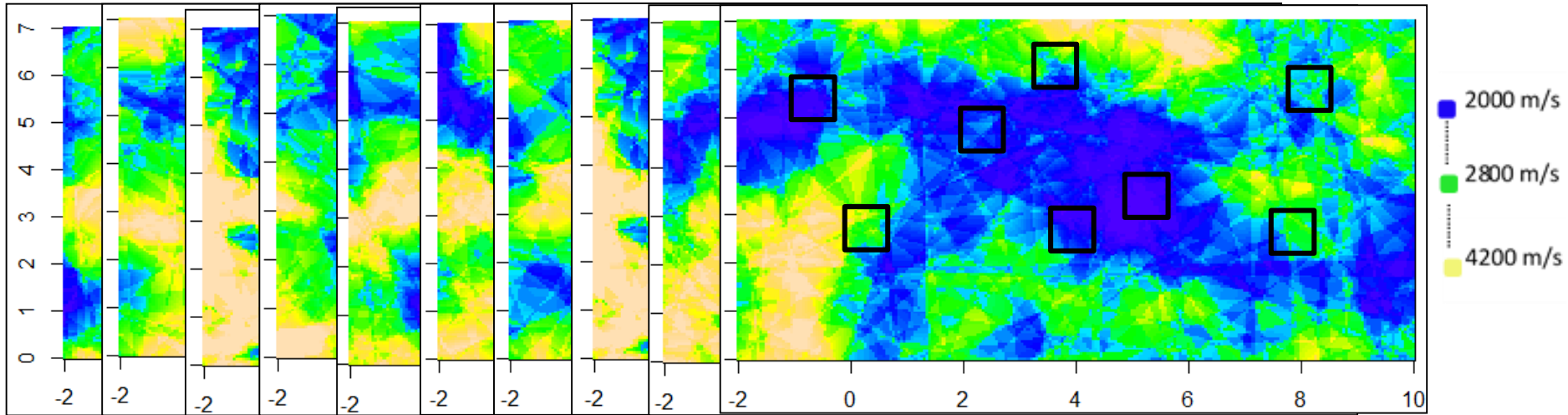
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5

EFFETTI



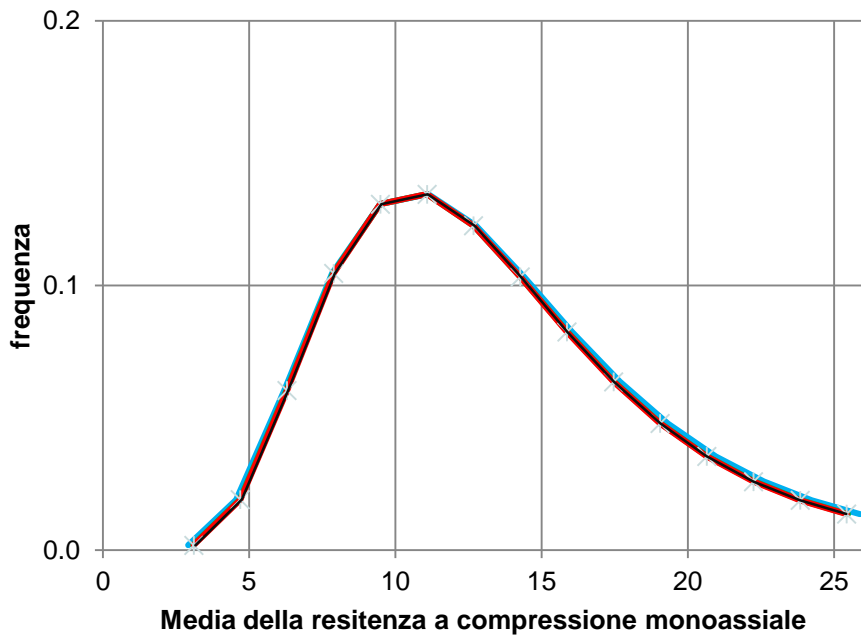
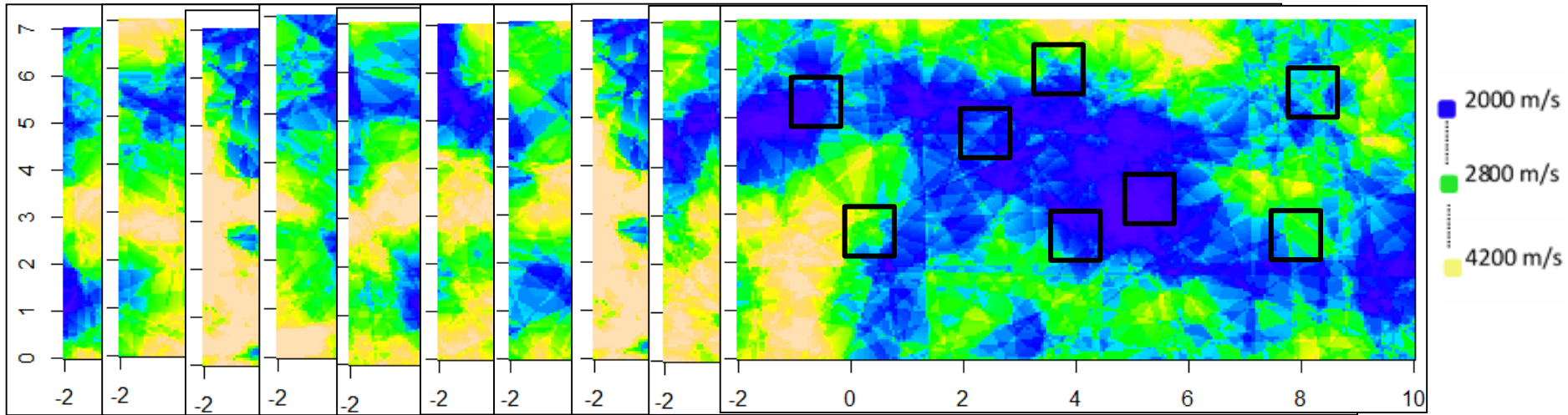
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.2

EFFETTI



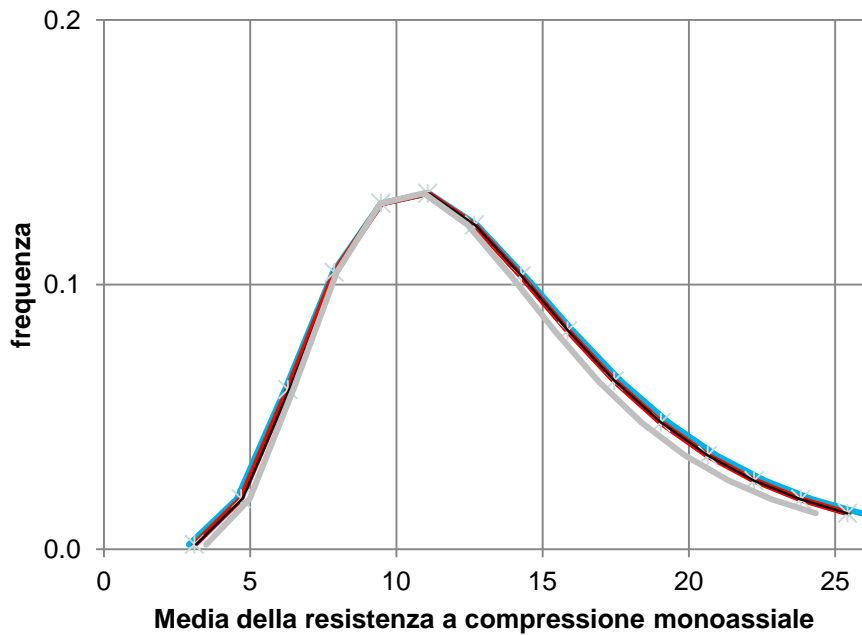
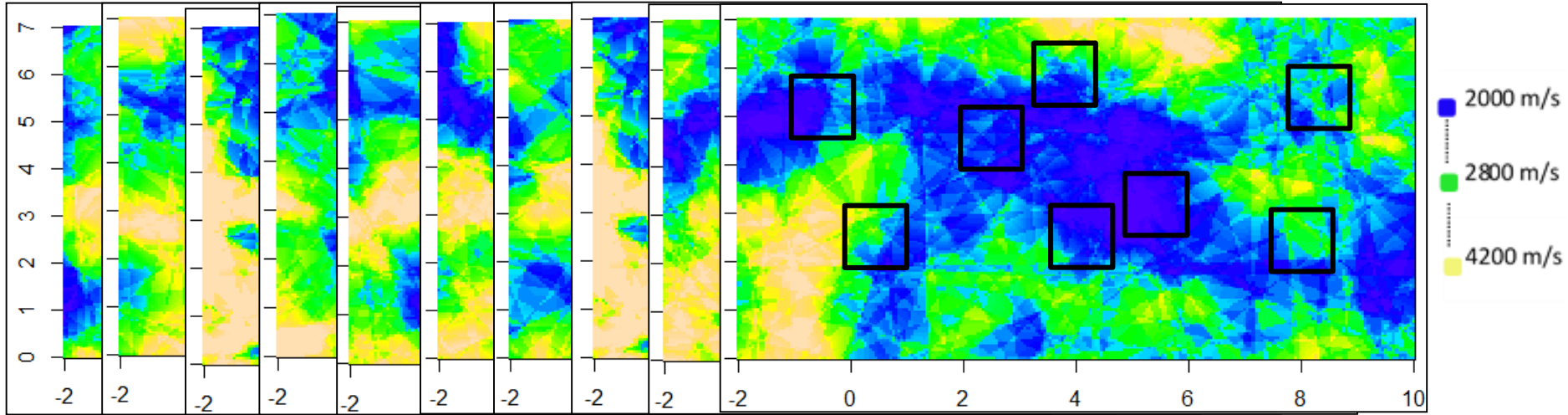
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.2
0.3	12.6	5.0

EFFETTI



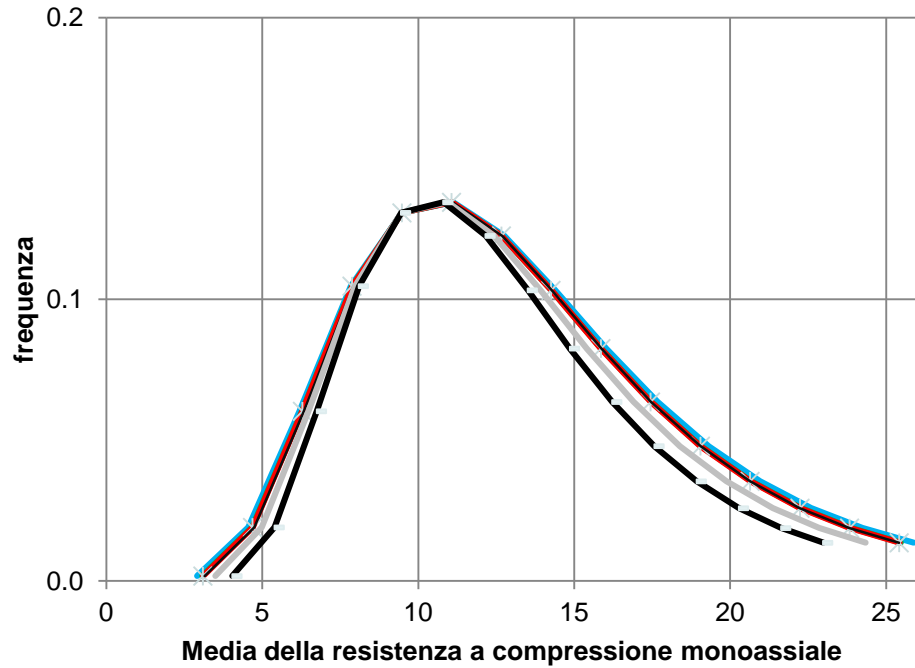
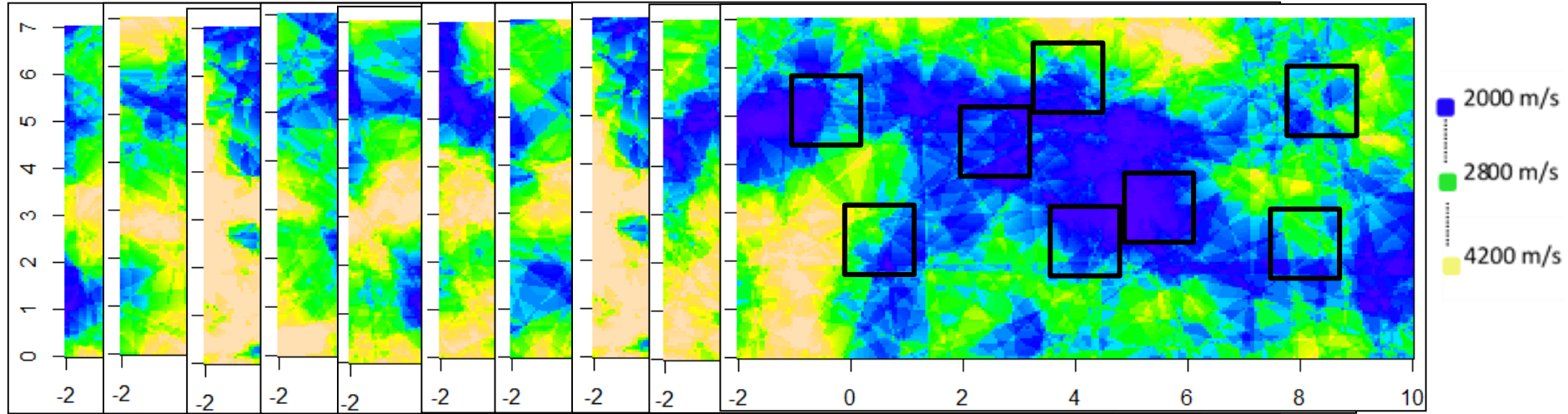
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0

EFFETTI



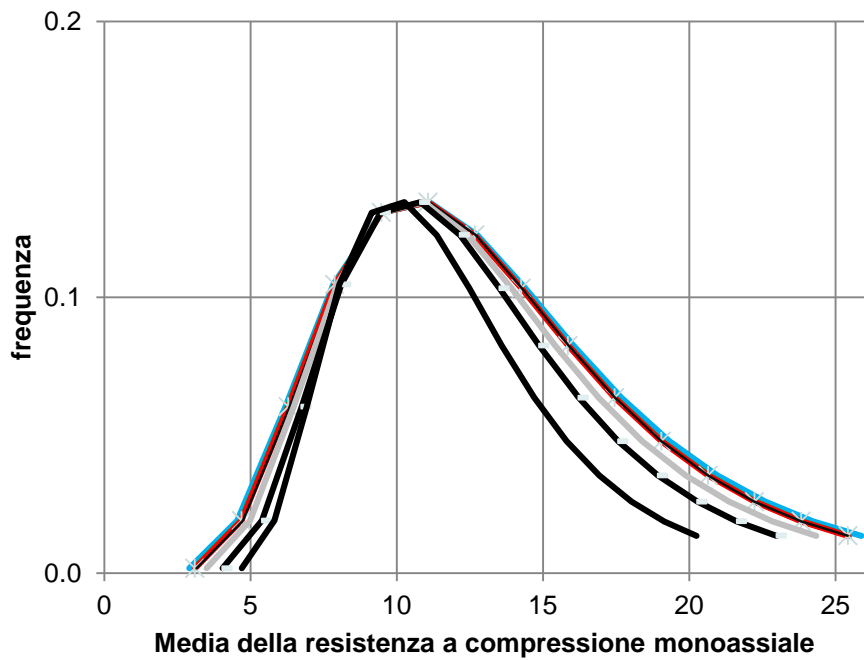
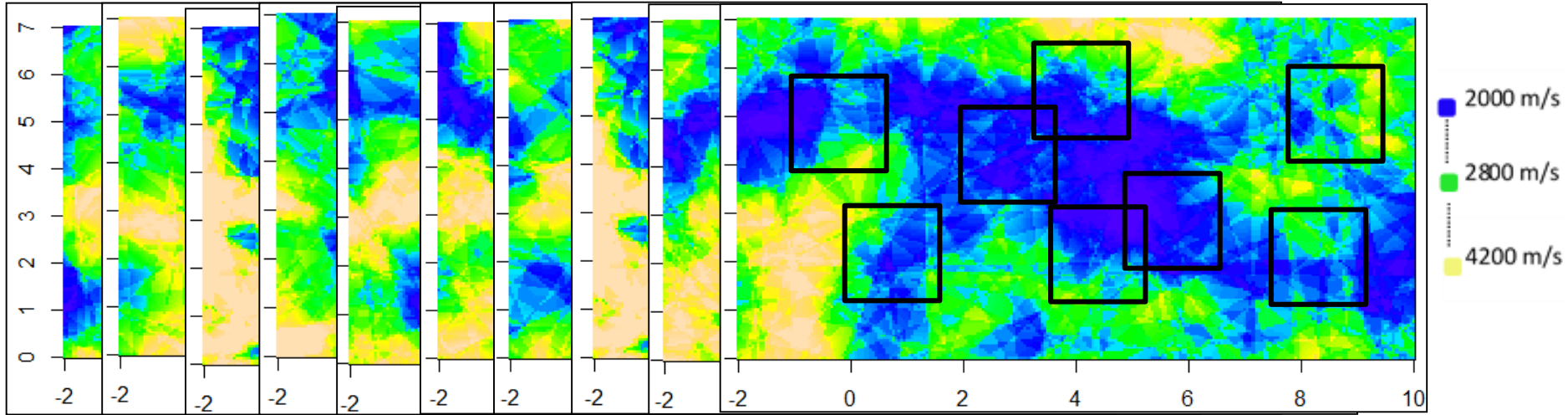
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8

EFFETTI



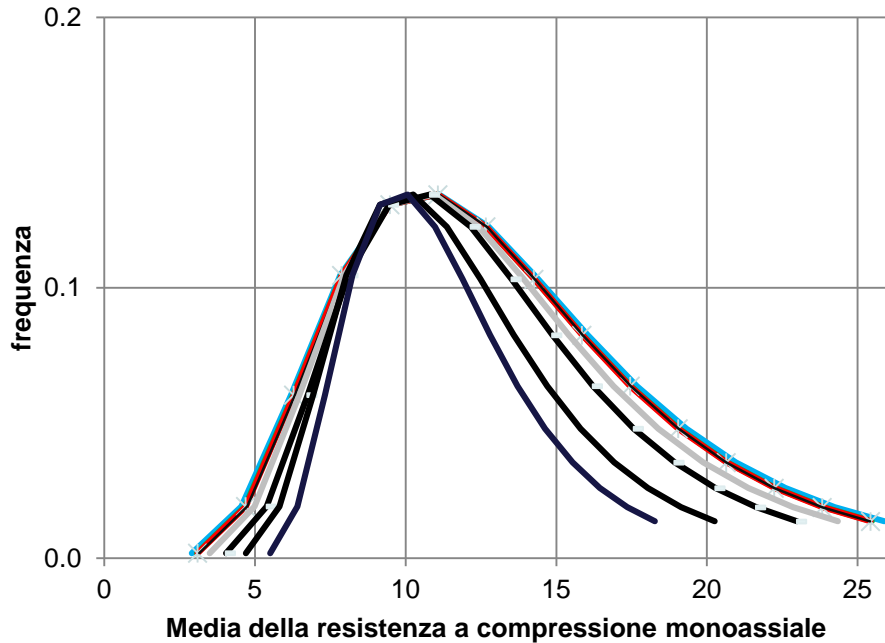
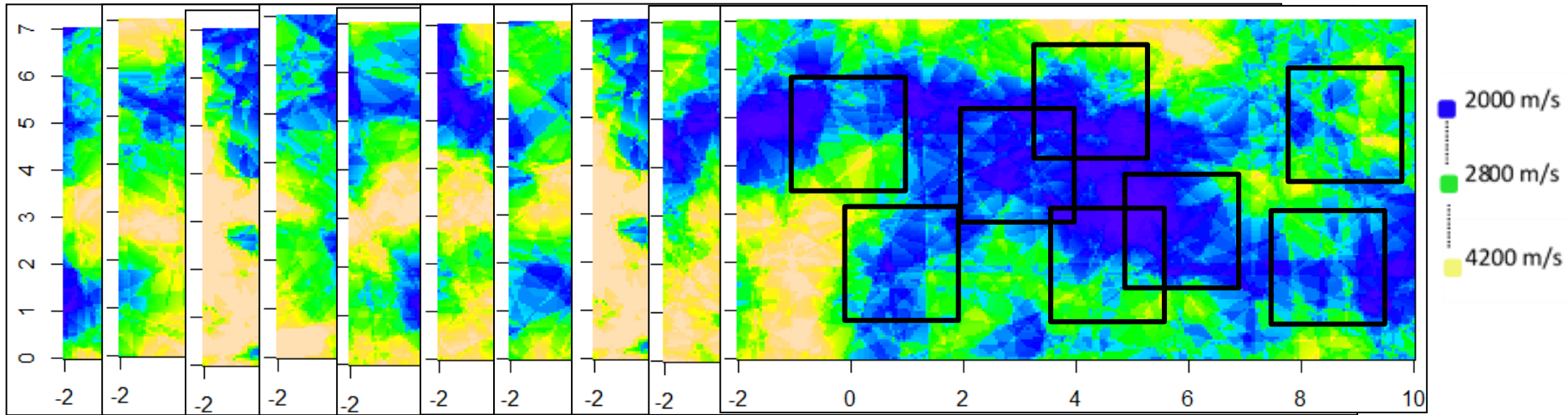
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8
2.0	12.7	4.1

EFFETTI



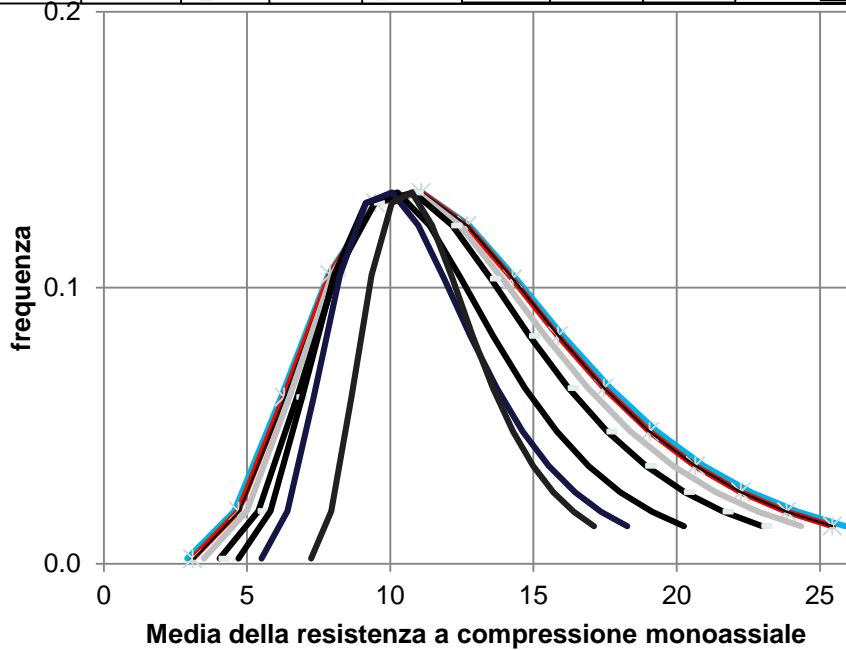
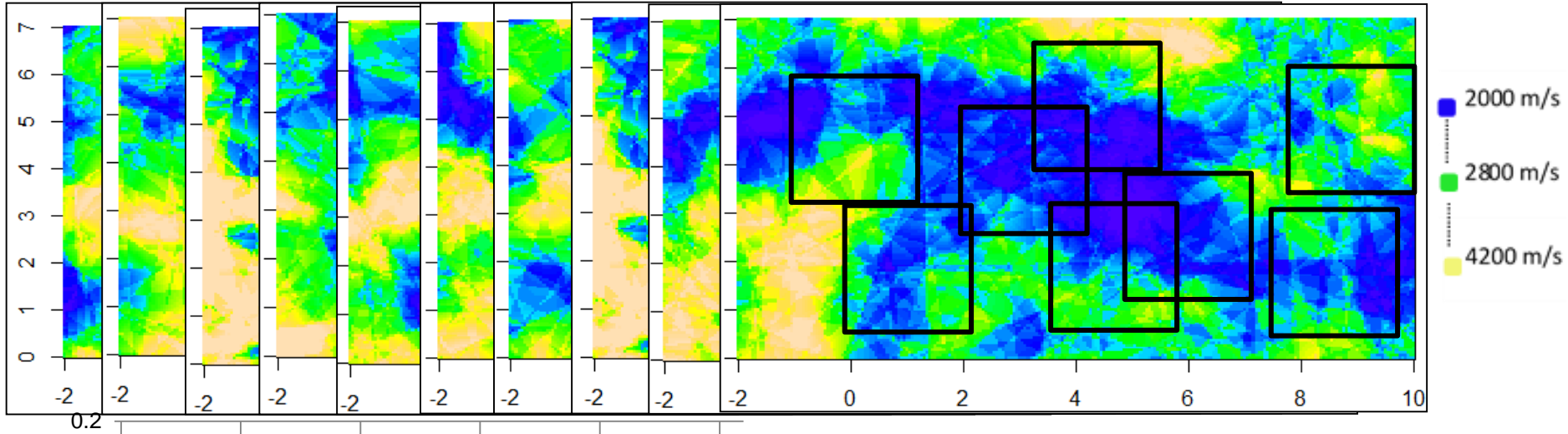
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8
2.0	12.7	4.1
3.0	12.1	3.3

EFFETTI



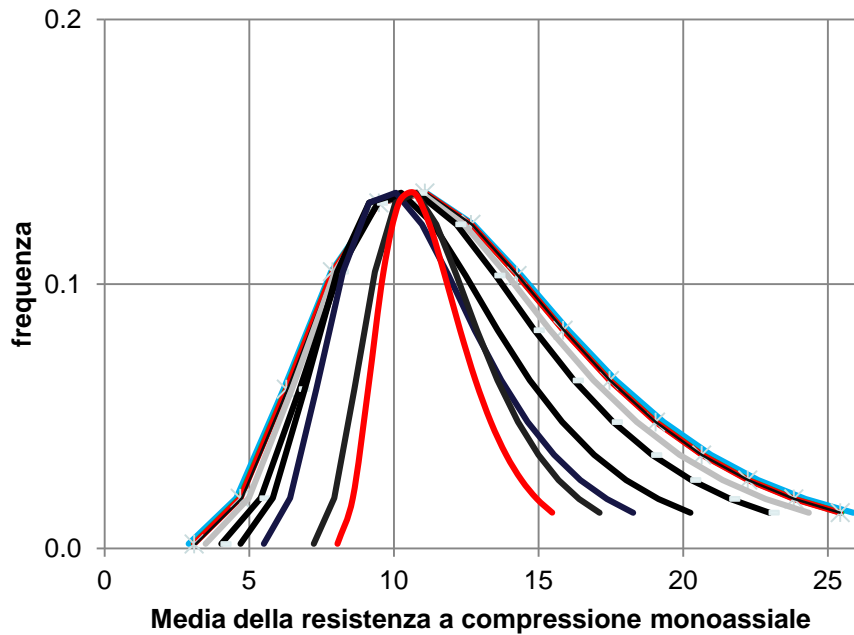
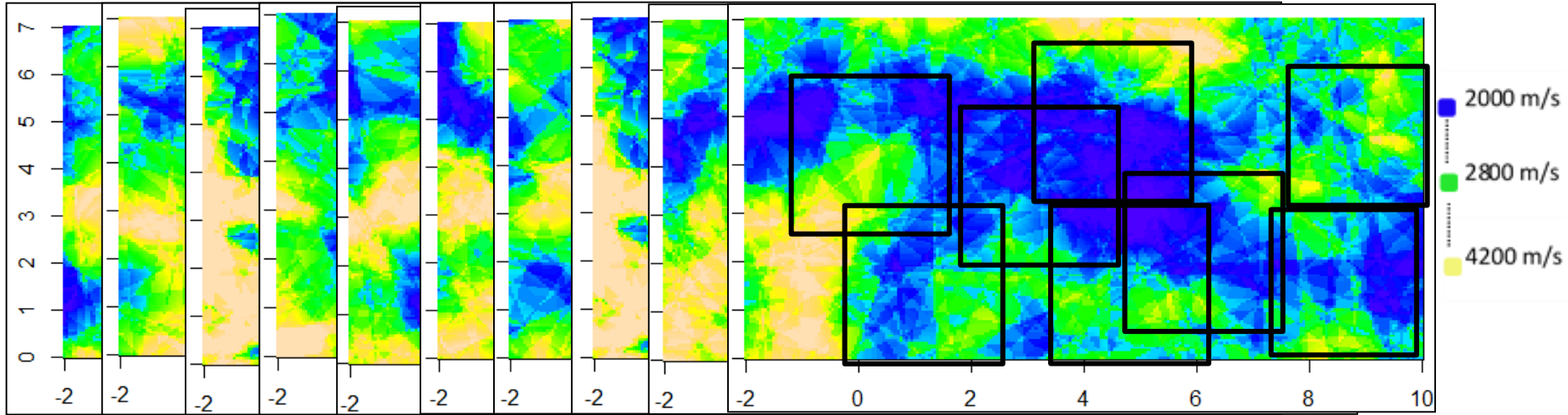
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8
2.0	12.7	4.1
3.0	12.1	3.3
4.0	12.1	2.7

EFFETTI



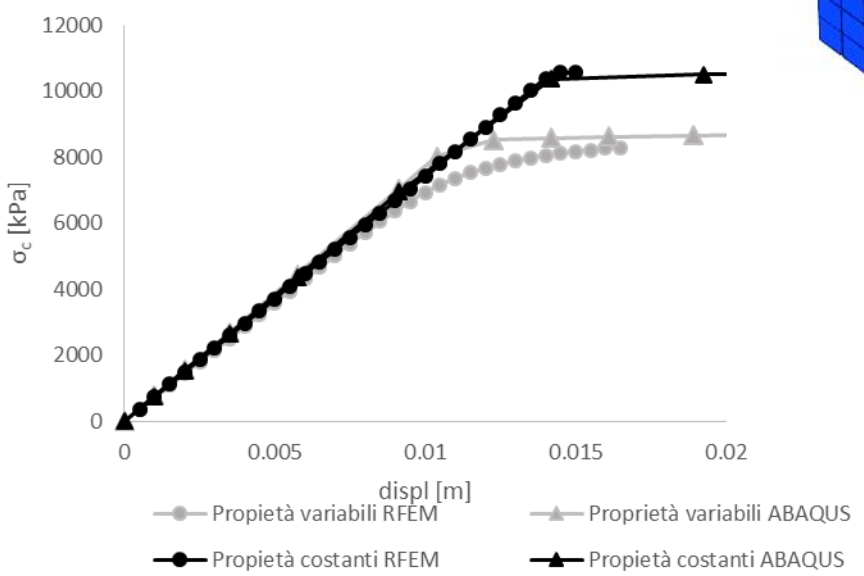
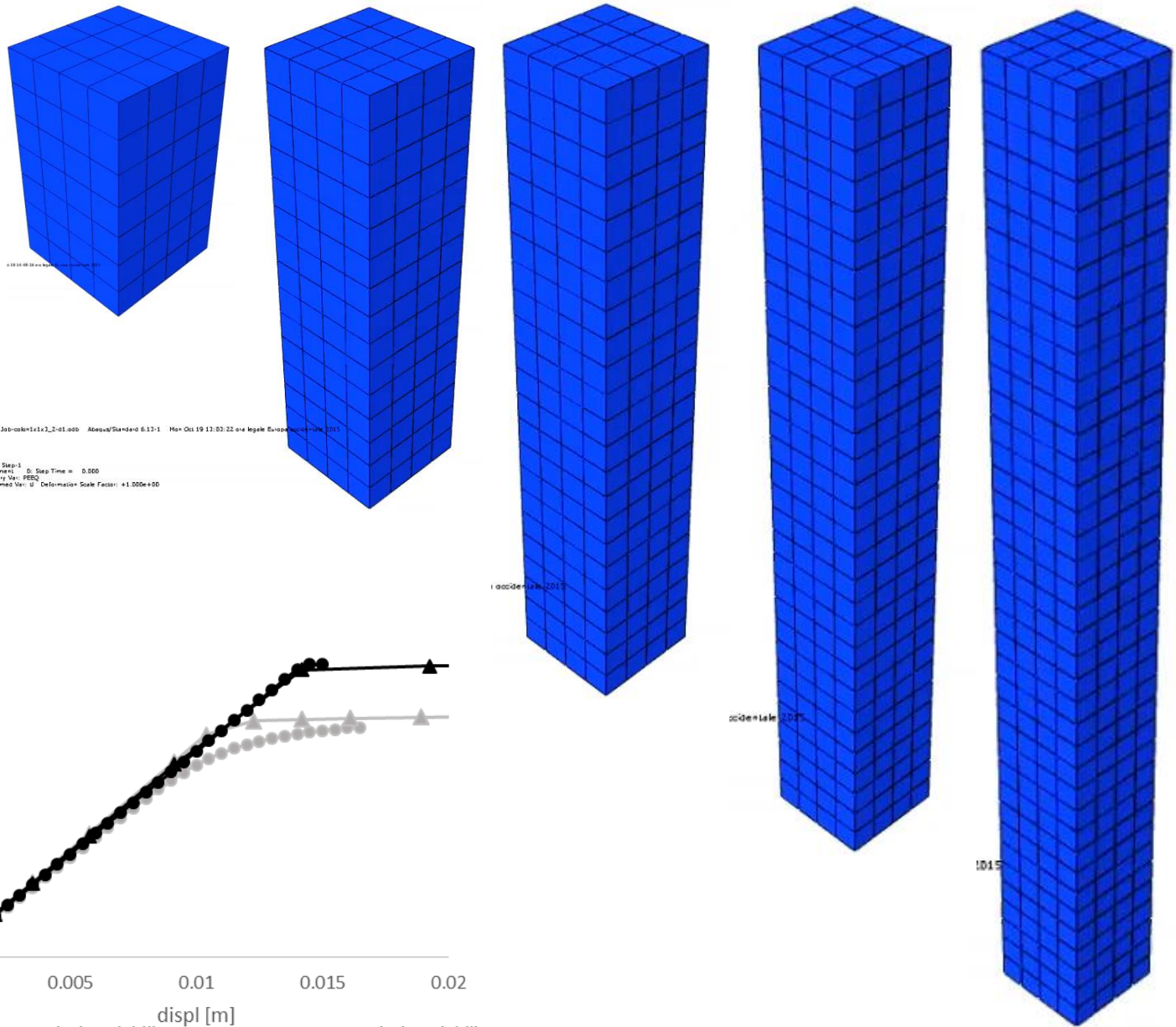
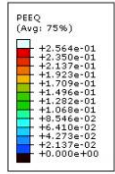
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8
2.0	12.7	4.1
3.0	12.1	3.3
4.0	12.1	2.7
5.0	12.1	2.0

EFFETTI



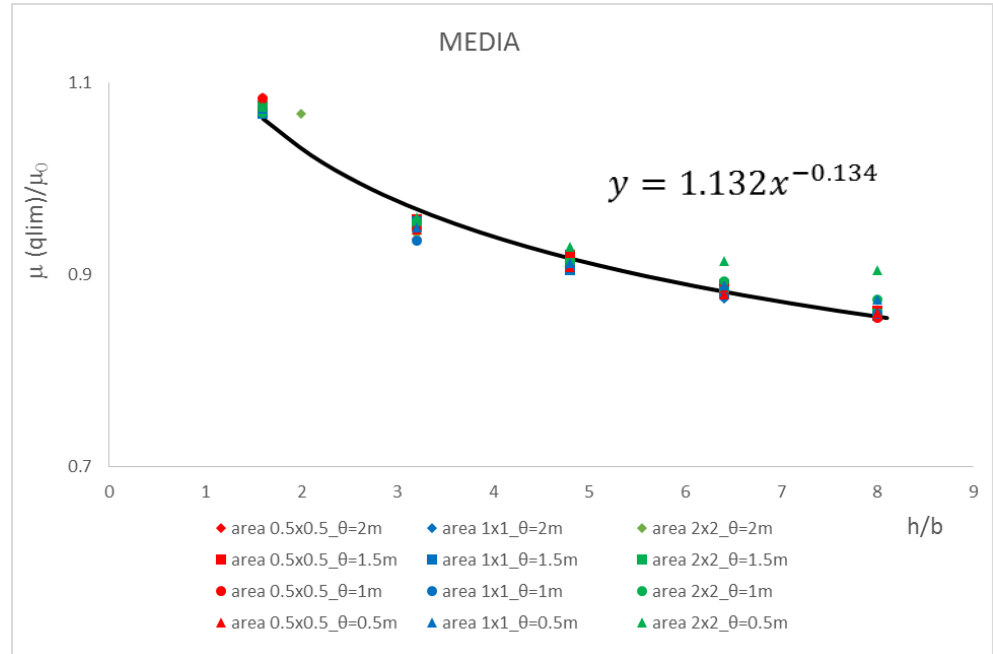
d [m]	Media [Mpa]	Dev.st.[Mpa]
0.1	12.6	5.5
0.2	12.6	5.4
0.3	12.6	5.2
0.5	12.6	5.0
1.0	12.7	4.8
2.0	12.7	4.1
3.0	12.1	3.3
4.0	12.1	2.7
5.0	12.1	2.0
6.0	12.1	1.6

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI



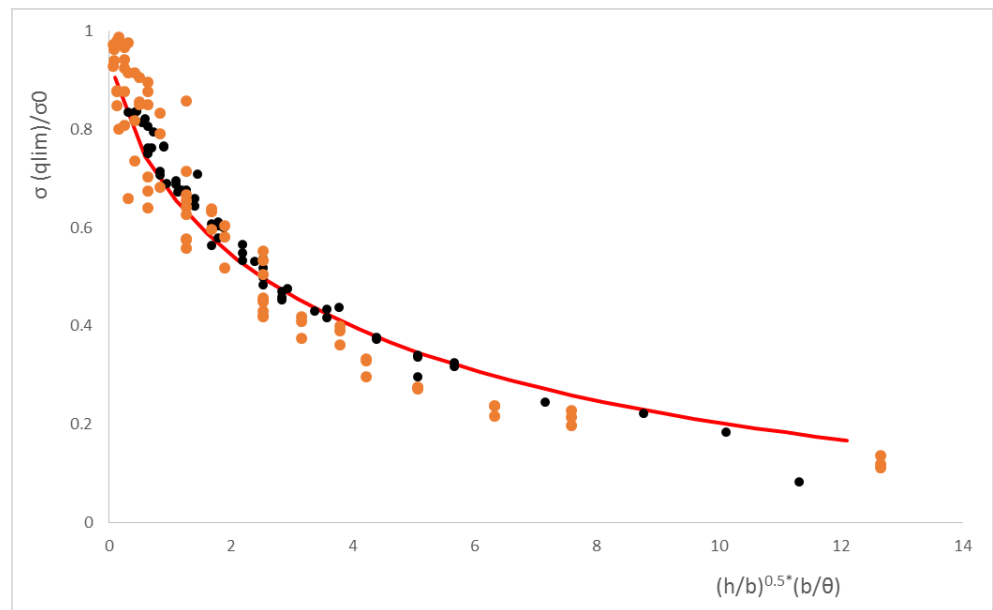
JET GROUTING: effetti

AREA 0.5x0.5 m ²				
h \ θ	0.5	1	1.5	2
0.8	θ0.5_A0.5_h0.8	θ1_A0.5_h0.8	θ1.5_A0.5_h0.8	θ2_A0.5_h0.8
1.6	θ0.5_A0.5_h1.6	θ1_A0.5_h1.6	θ1.5_A0.5_h1.6	θ2_A0.5_h1.6
2.4	θ0.5_A0.5_h2.4	θ1_A0.5_h2.4	θ1.5_A0.5_h2.4	θ2_A0.5_h2.4
3.2	θ0.5_A0.5_h3.2	θ1_A0.5_h3.2	θ1.5_A0.5_h3.2	θ2_A0.5_h3.2
4	θ0.5_A0.5_h4	θ1_A0.5_h4	θ1.5_A0.5_h4	θ2_A0.5_h4
AREA 1x1 m ²				
h \ θ	0.5	1	1.5	2
1.6	θ0.5_A1_h1.6	θ1_A1_h1.6	θ1.5_A1_h1.6	θ2_A1_h1.6
3.2	θ0.5_A1_h3.2	θ1_A1_h3.2	θ1.5_A1_h3.2	θ2_A1_h3.2
4.8	θ0.5_A1_h4.8	θ1_A1_h4.8	θ1.5_A1_h4.8	θ2_A1_h4.8
6.4	θ0.5_A1_h6.4	θ1_A1_h6.4	θ1.5_A1_h6.4	θ2_A1_h6.4
8	θ0.5_A1_h8	θ1_A1_h8	θ1.5_A1_h8	θ2_A1_h8
AREA 2x2 m ²				
h \ θ	0.5	1	1.5	2
3.2	θ0.5_A2_h3.2	θ1_A2_h3.2	θ1.5_A2_h3.2	θ2_A2_h3.2
6.4	θ0.5_A2_h6.4	θ1_A2_h6.4	θ1.5_A2_h6.4	θ2_A2_h6.4
9.6	θ0.5_A2_h9.6	θ1_A2_h9.6	θ1.5_A2_h9.6	θ2_A2_h9.6
12.8	θ0.5_A2_h12.8	θ1_A2_h12.8	θ1.5_A2_h12.8	θ2_A2_h12.8
16	θ0.5_A2_h16	θ1_A2_h16	θ1.5_A2_h16	θ2_A2_h16



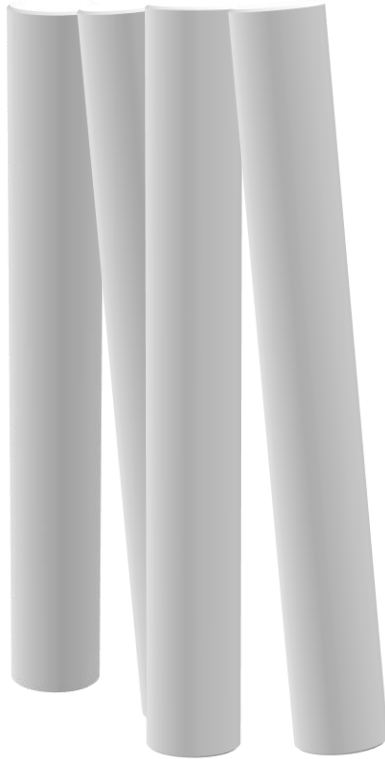
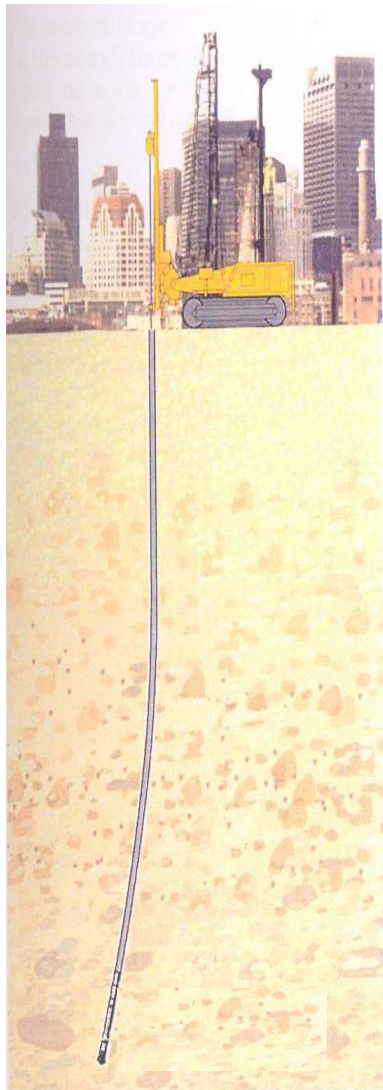
$$\frac{\mu_{qlim}}{\mu_0} = 1.132 \left(\frac{h}{b} \right)^{-0.134}$$

$$\frac{\sigma_{qlim}}{\sigma_0} = \exp \left\{ -0.4 \left[\left(\frac{h}{b} \right)^{0.5} \cdot \frac{b}{\theta} \right]^{0.6} \right\}$$



JET GROUTING: effetti

ORIENTAMENTO DELL'ASSE DELLE COLONNE



	Single elements	Single row	Double row
(a)			
(b)			

	Tunnel canopy	Circular shaft	Massive element
(a)			
(b)			

Figure 6.6 (a) Typical layouts of jet-grouted elements: (a) no variability (ideal condition); (b) with variability ($SD(\beta) = 1^\circ$; $CV(D) = 0.2$).

JET GROUTING: effetti

ORIENTAMENTO DELL'ASSE DELLE COLONNE

Colonne sub-verticali

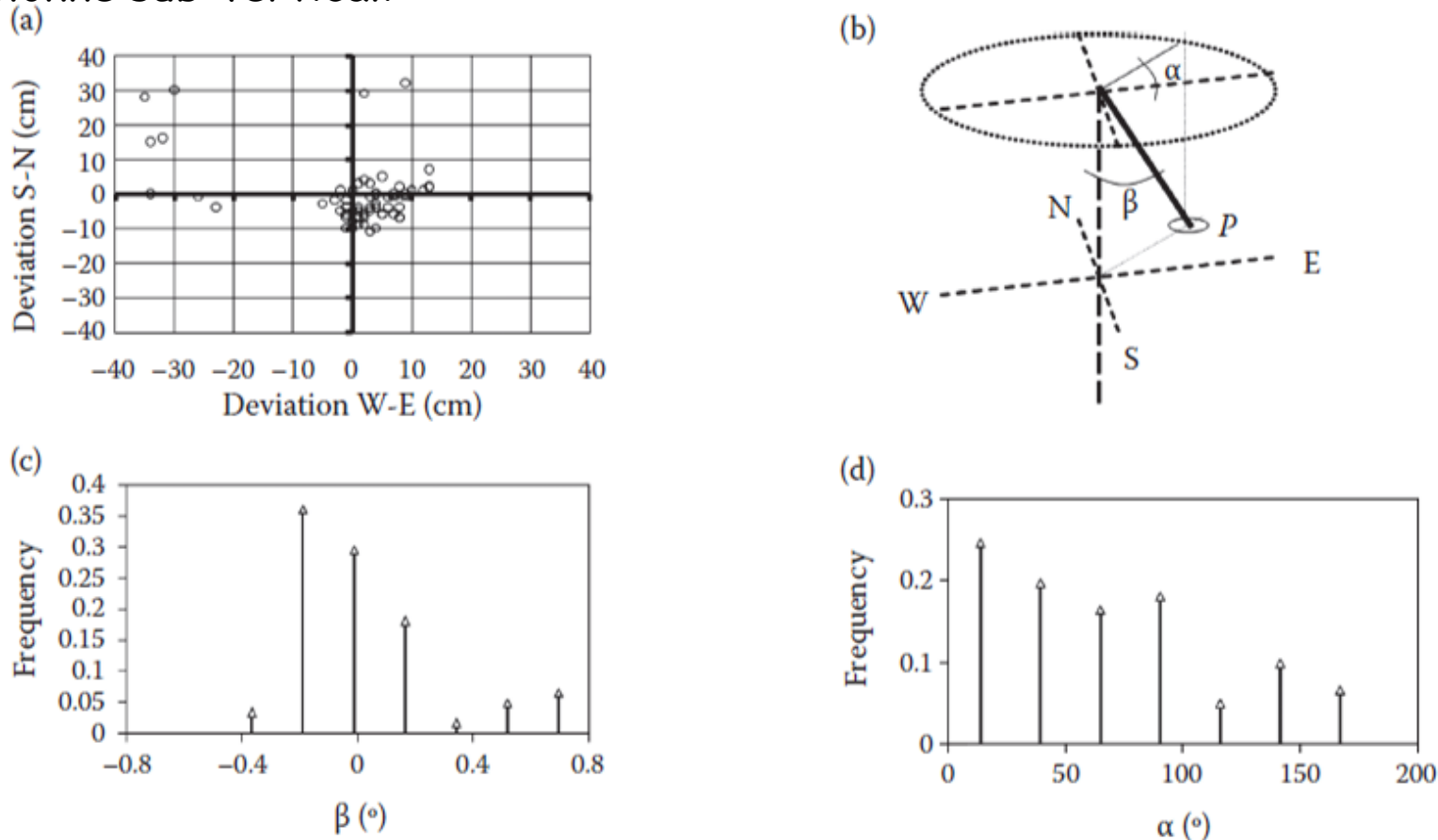
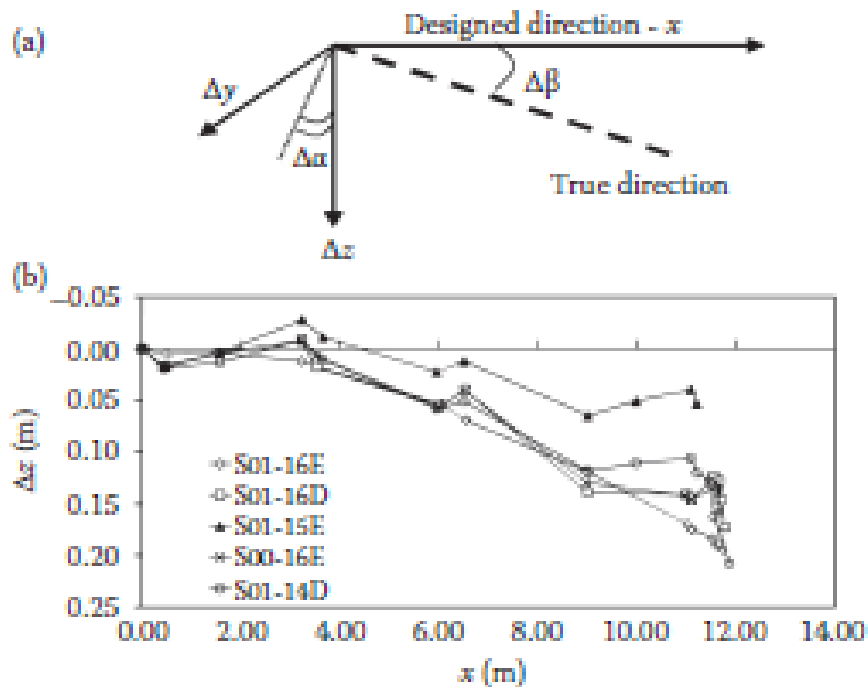


Figure 4.11 Deviation from the verticality of columns. (a) Position of the tip of the monitor at the bottom end of the column, (b) definition of the inclination β and the azimuth α , (c) and (d) values of β and α calculated from the data reported in plot a. (Modified from Croce, P. and G. Modoni, *Ground Improvement* 10(1): pp. 1–9, 2005; Croce, P. and G. Modoni, *Ground Improvement* 13(1): pp. 47–50, 2008.)

JET GROUTING: effetti

ORIENTAMENTO DELL'ASSE DELLE COLONNE

Colonne sub-orizzontali



$$\beta = 0.2 - 0.6^\circ$$

$$\tan\beta = 0.3 - 1\%$$

In funzione del controllo
sull'esecuzione

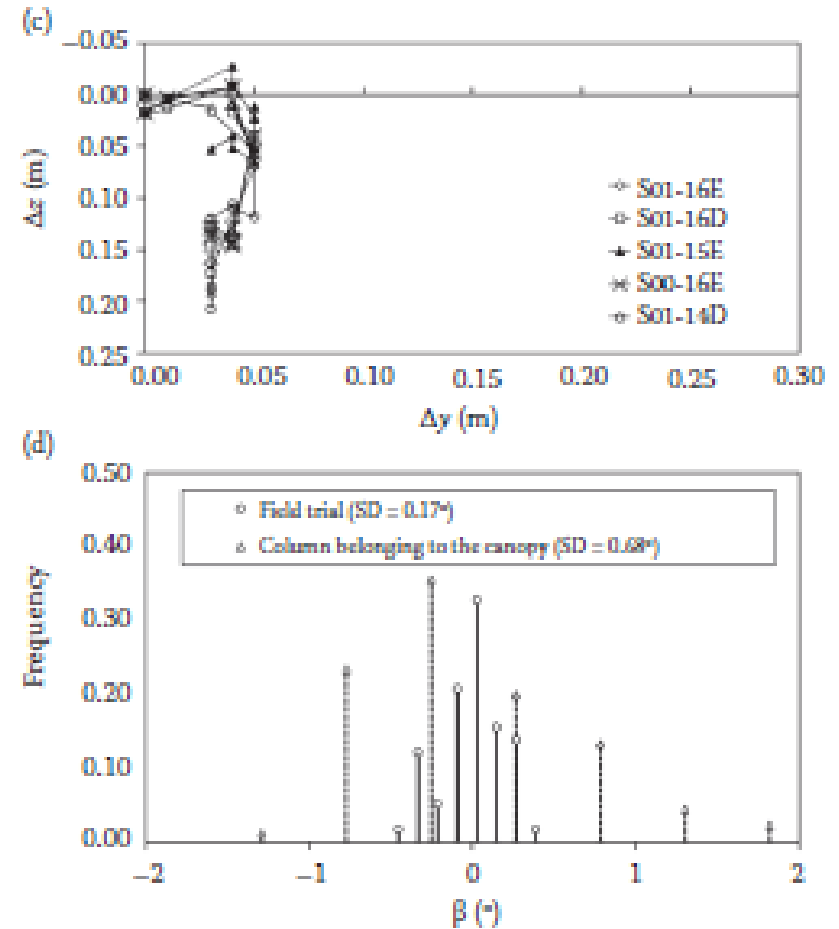


Figure 4.12 Orientation of column axes in tunnel canopies. (Modified from Arroyo, M. et al., Design of jet grouting for tunnel waterproofing, In Viggiani, ed., Proceedings of the 7th International Symposium on the Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: TC28-IS Rome: London, United Kingdom: Taylor & Francis Group: pp.181-188, 2012.)