



PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

CONVENZIONE

per l'esecuzione di prove di laboratorio su campioni di terreno nell'ambito della "Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori della linea ferroviaria Napoli-Bari raddoppio Tratta Apice-Orsara, 1° Lotto funzionale Apice-Hirpinia tra le pk 0+310 e pk 18+715.205 comprensiva di armamento ferroviario, degli impianti di trazione elettrica, delle altre tecnologie ferroviarie, di un impianto di fermata e uno di stazione"

(N. interno consorzio HIRPINIA AV: 6400027507)

Committente: Consorzio Hirpinia AV

Potenza, Febbraio 2020

La Responsabile del laboratorio - Prof.ssa Caterina Di Maio

Caterina Di Maio



INDICE

Premessa	7
Attrezzature e modalità delle prove	10
Simboli	13
Sondaggio Sn-01	
Campione Sn-01 C4	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	14
<i>Granulometria</i>	15
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	16
Campione Sn-01 C5	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	19
<i>Granulometria</i>	20
<i>Prova Huder- Amberg modificata</i>	21
Campione Sn-01 C6	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	23
<i>Granulometria</i>	24
<i>Prova Huder – Amberg modificata</i>	25
<i>Pressione di rigonfiamento in acqua</i>	27
<i>Pressione di rigonfiamento in sol. simile a quella di porosità</i>	28
Campione Sn-01 C7	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	29
<i>Granulometria</i>	30
Campione Sn-01 C8	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	31
<i>Granulometria</i>	32
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	33
<i>Prova Huder – Amberg modificata</i>	37
<i>Pressione di rigonfiamento in acqua</i>	39
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento</i>	40
Sondaggio Sn-02	
Campione Sn-02 C2	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	42
<i>Granulometria</i>	43
<i>Prova di compressione triassiale UU</i>	44
<i>Prova di compressione triassiale CiD</i>	46
<i>Prova di creep deviatorico in cella triassiale</i>	48
Sondaggio Sn-03	
Campione Sn-03 C3	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	50
<i>Granulometria</i>	51
Campione Sn-03 C4	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	52
<i>Granulometria</i>	53
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	54



Campione Sn-03 C6	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	58
<i>Granulometria</i>	59
Campione Sn-03 C7	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	60
<i>Granulometria</i>	61
<i>Compressione a dilatazione trasversale libera (ELL)</i>	62
Campione Sn-03 C8	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	63
<i>Granulometria</i>	64
<i>Prova di compressione triassiale CiU</i>	65
<i>Pressione di rigonfiamento in soluzione simile a quella di porosità</i>	67
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento</i>	68
Sondaggio Sn-04	
Campione Sn-04 C3	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	70
<i>Granulometria</i>	71
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	72
<i>Prova di creep deviatorico in cella triassiale</i>	76
<i>Prova Huder – Amberg</i>	78
Campione Sn-04 C4	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	80
<i>Granulometria</i>	81
<i>Prova di compressione triassiale UU</i>	82
<i>Prova Huder – Amberg</i>	84
Campione Sn-04 C5	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	86
<i>Granulometria</i>	87
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	88
<i>Prova di compressione triassiale UU</i>	92
<i>Prova di compressione edometrica</i>	94
<i>Prova Huder – Amberg</i>	96
Campione Sn-04 C6	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	98
<i>Granulometria</i>	99
<i>Prova di compressione triassiale UU</i>	100
<i>Prova di creep deviatorico in cella triassiale</i>	102
<i>Prova Huder – Amberg</i>	104
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento</i>	106

Sondaggio Sn-Me 01

Campione Sn-Me 01 C2	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	108
<i>Granulometria</i>	109
<i>Prova di compressione triassiale CiD</i>	110
<i>Prova di creep deviatorico in cella triassiale</i>	112
<i>Pressione di rigonfiamento in acqua</i>	114



<i>Pressione di rigonfiamento in sol. simile a quella di porosità</i>	115
<i>Prova di rigonfiamento libero</i>	116
<i>Prova di compressione edometrica</i>	118
<i>Prova di compressione edometrica con sol. 1 M KCl</i>	120

Sondaggio Sn-Me 05

Campione Sn-Me 05 C1	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	122
<i>Granulometria</i>	123
<i>Taglio diretto fino al residuo</i>	124
<i>Pressione di rigonfiamento in acqua</i>	128
<i>Pressione di rigonfiamento in sol. simile a quella di porosità</i>	129
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento 1</i>	130
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento 2</i>	132
Campione Sn-Me 05 C3	
<i>Descrizione</i>	134
Campione Sn-Me 05 C4	
<i>Descrizione</i>	135
Campione Sn-Me 05 C6	
<i>Descrizione</i>	136
<i>Granulometria</i>	137
Campione Sn-Me 05 C7	
<i>Descrizione</i>	138
<i>Granulometria</i>	139
<i>Compressione a dilatazione trasversale libera (ELL)</i>	140
Campione Sn-Me 05 C8	
<i>Descrizione</i>	141
Campione Sn-Me 05 C9	
<i>Descrizione</i>	142
Campione Sn-Me 05 C10	
<i>Descrizione</i>	143
Campione Sn-Me 05 C11	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg</i>	144
<i>Granulometria</i>	145
<i>Pressione di rigonfiamento in acqua</i>	146
<i>Pressione di rigonfiamento in sol. simile a quella di porosità</i>	147
<i>Prova di compressione edometrica</i>	148
<i>Effetti chimici sul rigonfiamento</i>	150
Campione Sn-Me 05 C12	
<i>Descrizione</i>	152
<i>Granulometria</i>	153

Sondaggio Sn-Me 06

Campione Sn-Me 06 C2	
<i>Descrizione, caratteristiche fisiche</i>	154
<i>Granulometria</i>	155
<i>Compressione a dilatazione trasversale libera (ELL)</i>	156



Sondaggio Sn-Me 07

Campione Sn-Me 07 C2	
Fotografia campione	157

Sondaggio Sn-Me 08

Campione Sn-Me 08 C3	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	158
Granulometria	159
Prova di compressione triassiale CiU	160
Campione Sn-Me 08 C4	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	162
Granulometria	163
Prova di compressione triassiale CiU	164
Prova Huder – Amberg modificata	166

Sondaggio Sn-Gr 03

Campione Sn-Gr 03 C3	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg.....	168
Granulometria	169
Pressione di rigonfiamento in acqua.....	170
Pressione di rigonfiamento in sol. simile a quella di porosità	171

Sondaggio Sn-Gr 06

Campione Sn-Gr 06 C1	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	172
Granulometria	173
Taglio diretto fino al residuo	174
Campione Sn-Gr 06 C2	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	177
Granulometria	178
Prova di compressione triassiale UU	179
Prova di compressione edometrica	181
Prova di compressione edometrica con sol. 1 M KCl	183
Campione Sn-Gr 06 C3	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	185
Granulometria	186
Taglio diretto fino al residuo	187
Valutazione degli effetti chimici sulla resistenza a taglio	187
Campione Sn-Gr 06 C4	
Descrizione, caratteristiche fisiche, compos. fluido pori, limiti di Atterberg	189
Granulometria	190
Prova di compressione triassiale CiU	191
Pressione di rigonfiamento in acqua	193
Effetti chimici sul rigonfiamento	194

Sondaggio S ROC 0

Campione S ROC 0 C2	
Fotografia campione	196

Sondaggio S ROC 7



Campione S ROC 7 C10

<i>Descrizione, caratteristiche fisiche</i>	197
<i>Granulometria</i>	198

Sintesi dei risultati delle prove

<i>Figure</i>	199
---------------------	-----



PREMESSA

Il Consorzio Hirpinia AV ha stipulato con l'Università della Basilicata una convenzione(N. interno consorzio HIRPINIA AV: 6400027507II) per l'esecuzione di prove di laboratorio su campioni di terreno estratti dal sottosuolo lungo la realizzanda linea ferroviaria Napoli-Bari raddoppio Tratta Apice-Orsara, 1° Lotto funzionale Apice-Hirpinia tra le pk 0+310 e pk 18+715.205.

Il consorzio ha chiesto di eseguire sui campioni inviati in laboratorio sia prove standard che prove non convenzionali, realizzate mettendo i provini a contatto con fluidi simili a quelli interstiziali naturali, previa determinazione della composizione dell'acqua di porosità.

Le prove richieste includono:

- identificazione con determinazione delle caratteristiche fisiche, dei limiti di Atterberg e della granulometria;
- valutazione della concentrazione ionica dei principali ioni presenti nel fluido di porosità;
- taglio diretto (TD);
- compressione in cella triassiale consolidate isotropicamente e non drenate (CIU) ;
- compressione in cella triassiale non consolidate non drenate (UU);
- creep in cella triassiale,
- prove Huder-Amberg,
- determinazione della pressione di rigonfiamento in cella edometrica;
- valutazione degli effetti chimici sulle proprietà meccaniche di compressibilità/rigonfiabilità e resistenza.

In fase preliminare, si è indicato il numero di prove da eseguire per ogni tipologia, ipotizzando che il programma potesse subire modifiche in funzione di natura e condizioni dei campioni estratti, fermo restando il tetto massimo di spesa.

Sono stati consegnati al responsabile di laboratorio 37 campioni prelevati da 13 fori, come riportato in tabella 1. Due campioni non sono stati estratti dalle fustelle perché è stato possibile osservare grazie alla trasparenza delle fustelle che erano molto rimaneggiati e pertanto non utilizzabili per le prove meccaniche.



Sugli altri campioni, quando non è stato possibile eseguire le prove ipotizzate in via preliminare sono state eseguite prove concordate con il consulente prof. Urciuoli e con il responsabile tecnico ing. Carriero.

In definitiva, per ogni campione sono state eseguite le prove riportate in Tab.2.

I risultati delle prove sono descritti in dettaglio nei singoli certificati sotto forma di tabelle e diagrammi. Il significato dei simboli e le modalità di prova sono riportati rispettivamente alle pagg. 10 e 13.

Nel paragrafo “Sintesi dei risultati delle prove” sono riportati alcuni diagrammi riassuntivi.



ATTREZZATURE E MODALITA' DELLE PROVE

a) *Granulometria*

L'analisi granulometrica è stata eseguita per via umida mediante stacciatura e successiva sedimentazione del passante allo staccio n° 200 ASTM ($d = 0,074$ mm) secondo le norme ASTM: D422/63, D1140/71, D421/85 e D22187/85.

b) *Limiti di Atterberg*

La determinazione dei limiti di Atterberg è stata eseguita sul passante allo staccio n° 40 ASTM ($d=0,420$ mm) secondo le norme ASTM D424/71 e D4318/84, e le norme CNR UNI 10014.

c) *Peso specifico del solido*

Il peso specifico del solido è stato determinato secondo le norme ASTM: D854/83, C127/84 e C128/84.

d) *Peso dell'unità di volume*

Il peso dell'unità di volume è stato determinato secondo le norme BS 1377:1975 Test 15, CNR Anno VII n. 40-1973.

e) *Contenuto di acqua*

Il contenuto di acqua è stato determinato secondo le norme ASTM D 2216-80, D2974-87, BS 1377:1975 Test 1, CNR-UNI 10008.

f) *Determinazione della composizione del fluido interstiziale*

La concentrazione degli ioni presenti nel fluido interstiziale naturale è stata determinata seguendo la procedura consigliata da Di Maio et al. (2015). Una quantità in peso secco di 30 g di terreno disgregato finemente e asciugato in stufa a 110°C viene re-idratata con acqua distillata e quindi usata per realizzare una sospensione di 500 cm³ che viene lasciata sedimentare. Il liquido supernatante viene omogeneizzato e analizzato. Per questa sperimentazione, l'analisi è stata eseguita con elettrodi ione-selettivi. Nell'ipotesi che gli ioni della soluzione supernatante fossero quelli presenti nella soluzione dei pori naturale, conoscendo il contenuto d'acqua naturale è possibile risalire alla concentrazione ionica naturale.

g) *Prove di taglio diretto per la determinazione della resistenza di picco e residua*

Le prove sono state eseguite con l'apparecchio di taglio diretto di Casagrande, a velocità di scorrimento costante e pari a $v = 0,005$ mm/min. Per ogni valore dello sforzo normale, sono stati eseguiti numerosi cicli di taglio, fino a raggiungere la resistenza residua. La norma di riferimento è : ASTM D 3080-72.

h) *Prove di compressione non confinate (prove di compressione semplice o ad espansione laterale libera ELL)*

Le prove sono state eseguite su provini aventi diametro pari al diametro delle fustelle utilizzate per il campionamento ed altezza pari a due volte il diametro. La compressione è stata condotta a una velocità compresa fra 0,5 e 2%/min. La norma di riferimento è: ASTM STANDARDS D 2166 – 00.

i) *Prove di compressione triassiale consolidate isotropicamente - drenate (prove CD)*

Le prove sono state eseguite su provini di forma cilindrica aventi diametro 33 mm ed altezza 72 mm. Norma di riferimento: ASTM D-7181.

j) *Prove di compressione triassiale consolidate isotropicamente - non drenate (prove CU)*

Le prove sono state eseguite su provini di forma cilindrica aventi diametro 33 mm ed altezza 72 mm. Norma di riferimento: ASTM D-4767.

k) *Prove di compressione triassiale non consolidate - non drenate (prove UU)*

Le prove sono state eseguite su provini di forma cilindrica aventi diametro 33 mm ed altezza 72 mm. Norma di riferimento: ASTM D-2850.

l) *Prova di creep deviatorico in cella triassiale*

Le prove sono state eseguite su provini cilindrici di campioni indisturbati. I provini sono stati montati in cella di compressione triassiale, consolidati isotropicamente, e caricati a velocità di deformazione controllata fino a predefiniti valori del deviatore degli sforzi q . Quindi si è passati alla modalità per carichi controllati, mantenendo il carico assiale costante per tempi variabili in funzione dei risultati ottenuti. Per eseguire la prova con un deviatore degli sforzi compatibile con la resistenza a rottura, è stata preventivamente eseguita una prova triassiale consolidata drenata (CiD) con uno stato tensionale radiale efficace uguale a quello da usare nella prova di *creep*. Determinato il deviatore a rottura in condizioni di deformazione controllata, è stato possibile svolgere le prove di creep con deviatori compresi fra il picco e il residuo.

m) *Prove di compressione edometrica*

Le prove di compressione edometrica sono state eseguite in edometro convenzionale su provini di forma cilindrica con diametro $d = 56$ mm e altezza iniziale $h = 20$ mm, secondo le norme AASHTO T213-83, ASTM D 2435-80, D 4186-82, D 4546-85, BS 1377.

n) *Prove Huder – Amberg e Huder Amberg modificata*

Le prove sono state eseguite in edometro su provini di forma cilindrica con diametro $d = 56$ mm e altezza iniziale $h = 20$ mm. Sono state eseguite prove secondo le indicazioni originarie (Huder e Amberg, 1970, Rauh et al., 2006) e in forma modificata, secondo le indicazioni ISRM che aboliscono le fasi di scarico e ricarico nella fase asciutta.

o) *Pressione di rigonfiamento*

La pressione di rigonfiamento è stata determinata in edometro seguendo il “Metodo C” dello standard ASTM D4546, su provini di forma cilindrica con diametro $d = 56$ mm e altezza iniziale $h = 20$ mm. La prova è stata eseguita usando come fluido di cella acqua distillata oppure una soluzione acquosa ionica simile a quella naturale interstiziale, preventivamente determinata. Il provino, posto a contatto con il liquido predefinito, è stato caricato per piccoli incrementi della tensione totale assiale in modo da impedire il rigonfiamento. Il valore della pressione di rigonfiamento ricade così nell’intervallo di tensioni assiali fra l’ultimo valore per il quale il provino manifestava tendenza al rigonfiamento e il primo per il quale mostrava tendenza alla consolidazione. Determinata p_s , il provino ha subito una normale prova di compressione edometrica.



p) *Rigonfiamento libero*

La misura di rigonfiamento libero è stata eseguita in edometro secondo lo standard ASTM D4546, su provini di forma cilindrica con diametro $d = 56$ mm e altezza iniziale $h = 20$ mm. Il provino, caricato con il solo pistoncino, equivalente ad un carico di 0,1 kPa è stato posto a contatto con acqua distillata e lasciato libero di rigonfiare.

q) *Influenza della composizione del fluido interstiziale sul comportamento meccanico*

E' stata determinata l'influenza su compressibilità, rigonfiamento, pressione di rigonfiamento, resistenza della composizione del fluido con il quale il terreno viene a contatto. Le procedure sperimentali, messe a punto presso il laboratorio di Geotecnica dell'Università della Basilicata (cfr bibliografia), sono sinteticamente descritte nel certificato delle prove.

Bibliografia

Di Maio C. (1996). Exposure of bentonite to salt solution: osmotic and mechanical effects. *Géotechnique* 46, No. 4, 695 - 707.

Di Maio C. (1996). The influence of pore fluid composition on the residual shear strength of some natural clayey soils. *Proceedings of the International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, 2*, 1189 - 1194.

Di Maio C., Fenelli G.B. (1994). Residual strength of kaolin and bentonite: the influence of their constituent pore fluid. *Géotechnique*, 44, No. 2, 217 - 226.

Di Maio C., Santoli L., Schiavone R. (2004). Volume change behaviour of clays: the influence of mineral composition, pore fluid composition and stress state. *Mechanics of materials*. Vol. 36, Issues 5-6, pp. 435-451.

Di Maio, C., Scaringi, G., Vassallo, R. (2015). Residual strength and creep behaviour on the slip surface of specimens of a landslide in marine origin clay shales: influence of pore fluid composition. *Landslides*, Vol. 12, No. 4, pp. 657-667.

Di Maio C., Scaringi G. (2016). Shear displacements induced by decrease in pore solution concentration on a pre-existing slip surface. *Engineering Geology*, 200, 1-9.

Huder J., Amberg G. (1970). Quellung im Mergel, Opalinuston un Anhydrit", *Schweizerische Bauzeitung*, 88 (43), 975-980 (in German).

Rauh F., Thuro K., Spaun G. (2006) The powder swelling test - advantages and limitations, in *Engineering Geology for Tomorrow's cities*, Geological Society London, Engineering Geology Special Publication, 22, IAEG2006 paper No. 472.



Simboli

c.f. :	frazione argillosa
w :	contenuto d'acqua
γ :	peso dell'unità di volume
γ_d :	peso dell'unità di volume del secco
γ_s :	peso dell'unità di volume del solido
Gs:	peso specifico del solido
n :	porosità
e :	indice di porosità
S_r :	grado di saturazione
w_L :	limite di liquidità
w_P :	limite di plasticità
I_P :	indice di plasticità
E_{ed} :	modulo di compressione edometrica
τ :	resistenza a taglio
τ_r :	resistenza residua a taglio
σ_n :	tensione totale assiale
σ'_n :	tensione efficace assiale
q:	tensione deviatorica
p' :	tensione media efficace
u:	pressione interstiziale
ε_a :	deformazione assiale
ε_v :	deformazione volumetrica
c_u :	coesione non drenata
φ' :	angolo d'attrito
φ'_r :	angolo d'attrito residuo
c' :	coesione
c_u :	coesione non drenata
p_s :	pressione di rigonfiamento
ELL:	prova di compressione ad espansione laterale libera
UCS:	unconfined compression strength
CID:	prova triassiale consolidata isotropicamente – drenata
CIU:	prova triassiale consolidata isotropicamente – non drenata
UU:	prova triassiale non consolidata – non drenata

Sondaggio: **Sn-01**

Campione: **C4**

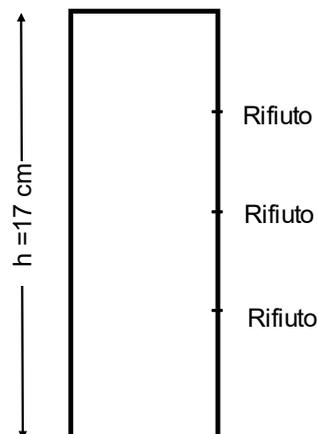
Profondità: **25,0 m – 25,3 m**

Data di apertura: 06/11/2019

Stato del campione: Parzialmente disturbato

Lunghezza campione: 17 cm

Descrizione del campione: Limo con argilla di colore grigio molto consistente.
Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intera altezza del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,73		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,19	17,12	18,10
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,96	20,65	20,40
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,20	17,63	17,15
porosità (%)	$n =$	39,51	34,18	35,97
indice di porosità	$e =$	0,653	0,519	0,562
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,91	90,01	92,32

**resistenza al
penetrometro tascabile**

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	9,9
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

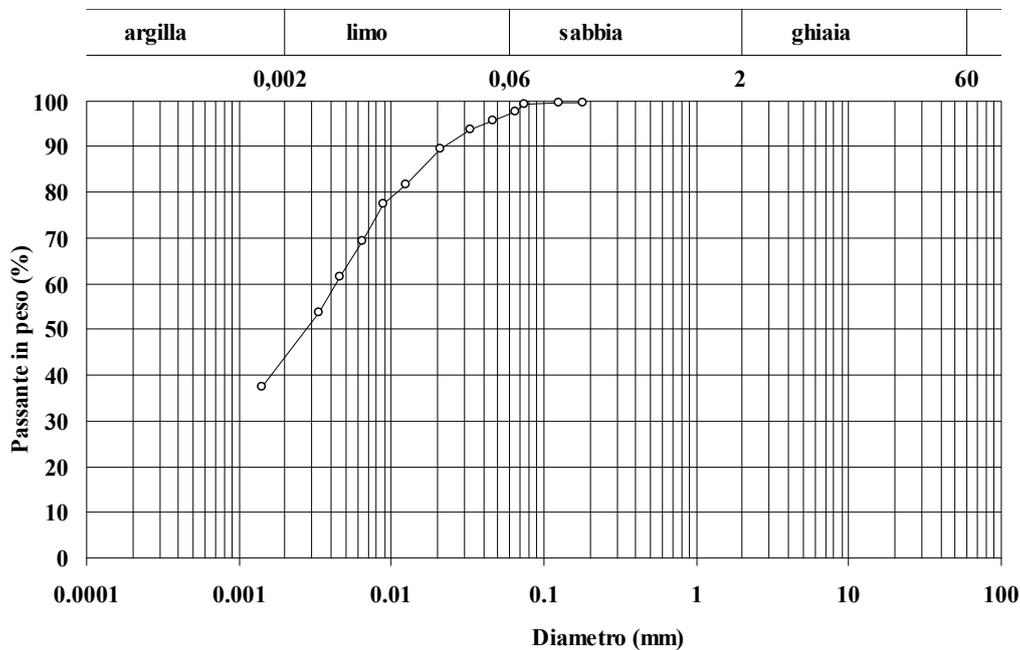
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	62,8
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	33,3
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	29,5

Sondaggio: Sn-01

Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)
99	0	3	53	44	0,85	0,0043

Sondaggio: Sn-01

Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

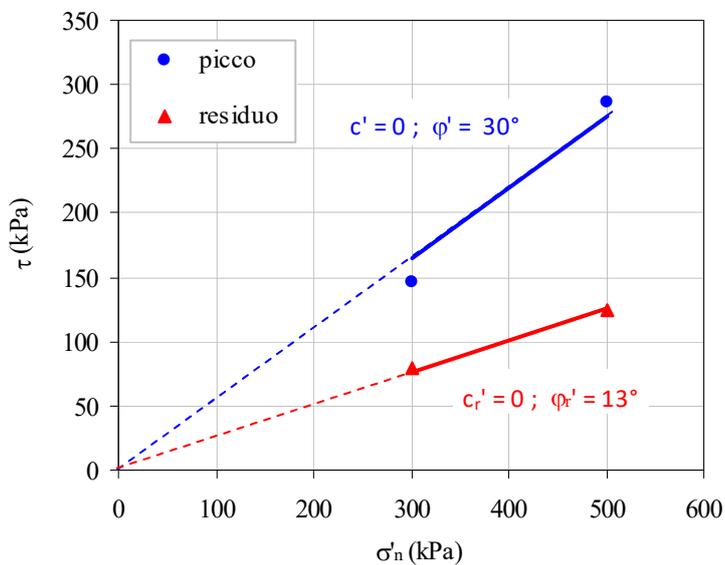
altezza iniziale: 25 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,96	20,65
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,19	17,12
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,20	17,63
porosità (%)	$n =$	39,51	34,18
indice di porosità	$e =$	0,653	0,519
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,91	90,01

$\sigma'_n = 500$ kPa



Sondaggio: Sn-01

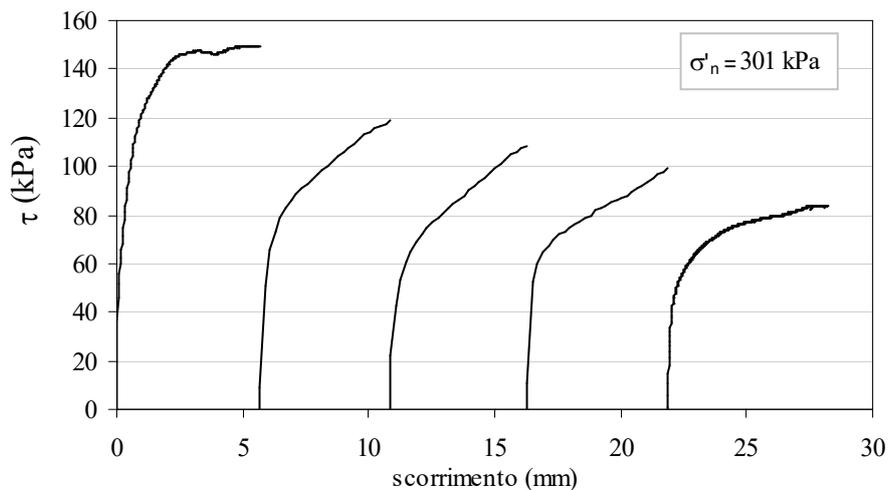
Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m

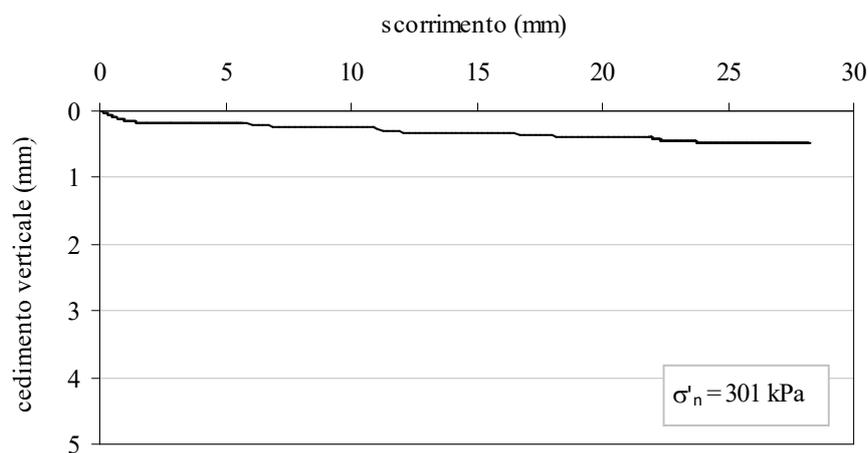
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

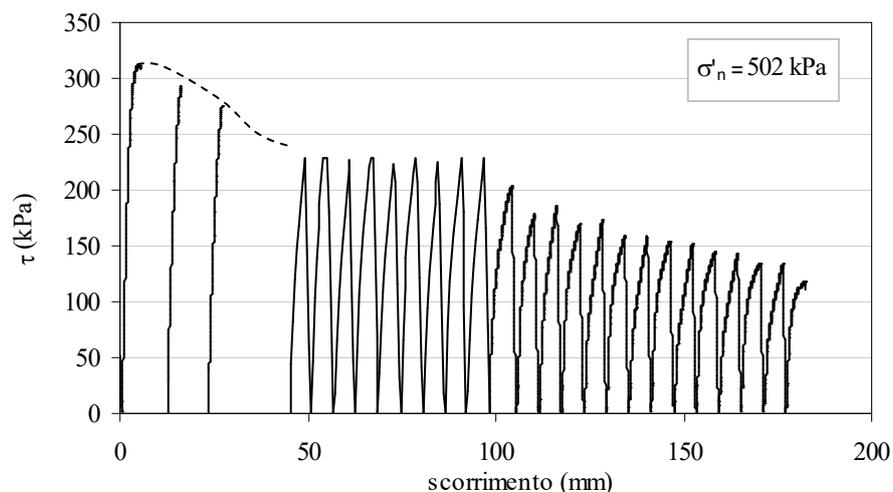
Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m

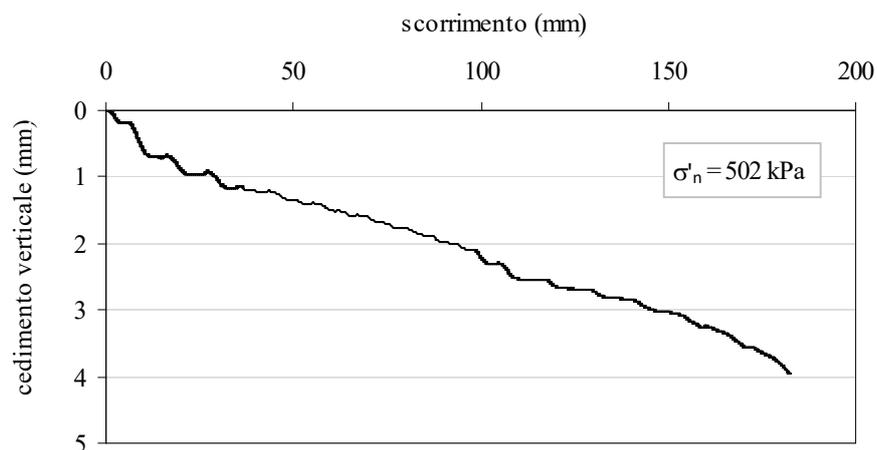
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

Campione: C5

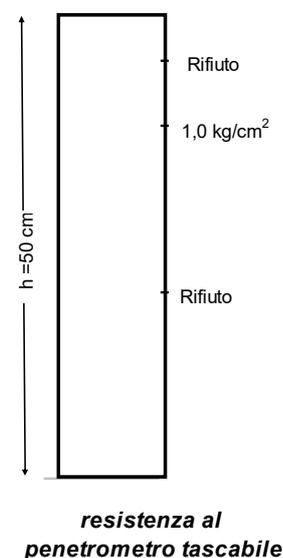
Profondità: 29,5 m – 30 m

Data di apertura: 05/11/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato

Lunghezza campione: 50 cm

Descrizione Limo con argilla di colore grigio scuro che all'estrazione si è lesionato secondo superfici sub perpendicolari all'asse. All'interno del campione sono presenti elementi di consistenza lapidea, litorelitti della stessa formazione.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,72
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,51
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,6
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,7
porosità (%)	$n =$	29,92
indice di porosità	$e =$	0,427
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,81

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	12,3
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

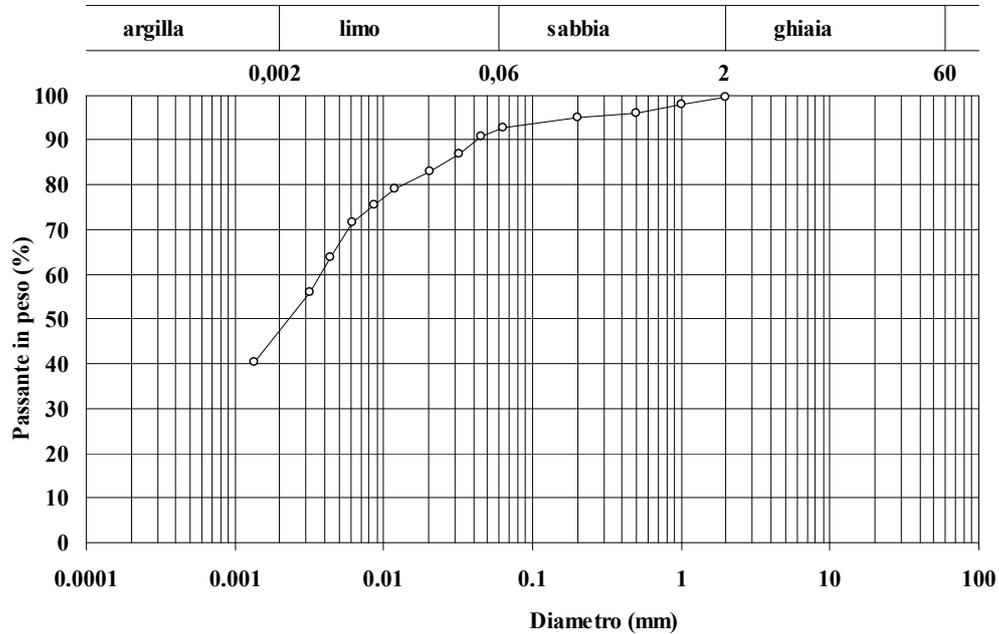
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	48,1
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	27,1
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	21,0

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-01

Campione: C5

Profondità: 29 – 29,5 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
98	0	5	47	48	4,75	0,0037	-

Sondaggio: **Sn-01**

Campione: **C5**

Profondità: **29,5 m – 30,0 m**

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

dimensioni iniziali del provino:

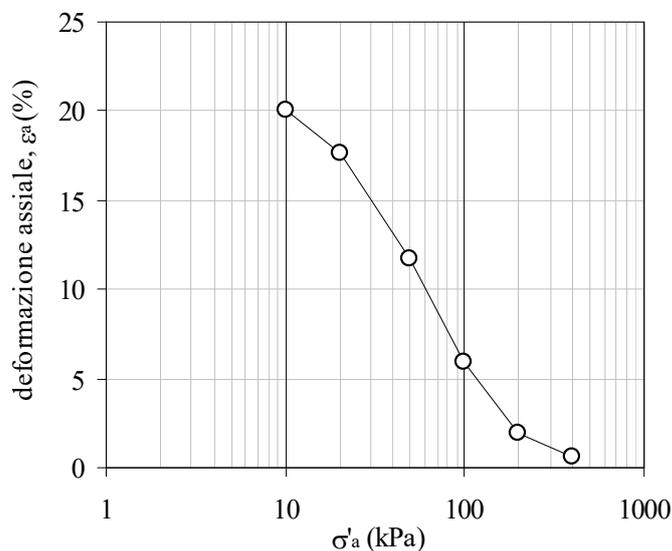
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,60
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,51
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,70
porosità (%)	$n =$	29,92
indice di porosità	$e =$	0,427
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,81

tensione assiale σ'_a (kPa)	400	400	200	100	50	20	10
altezza h (mm)	19,60	19,72	19,97	20,75	21,90	23,05	23,53
indice di porosità e	0,398	0,407	0,424	0,481	0,563	0,644	0,679



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-01

Campione: C5

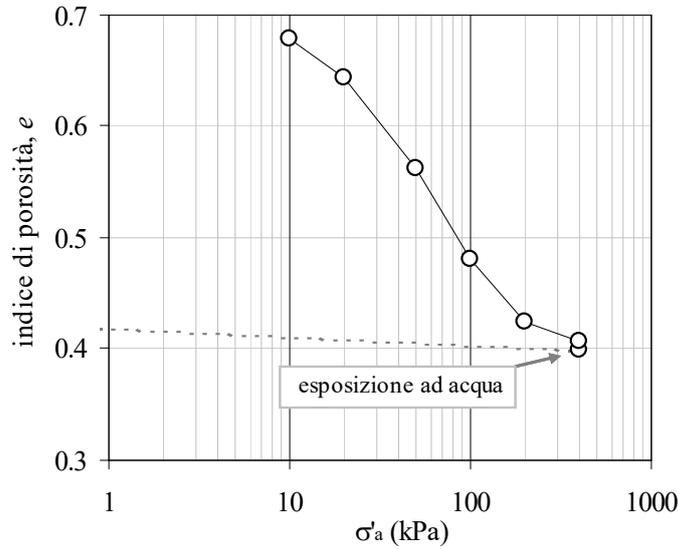
Profondità: 29,5 m – 30,0 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

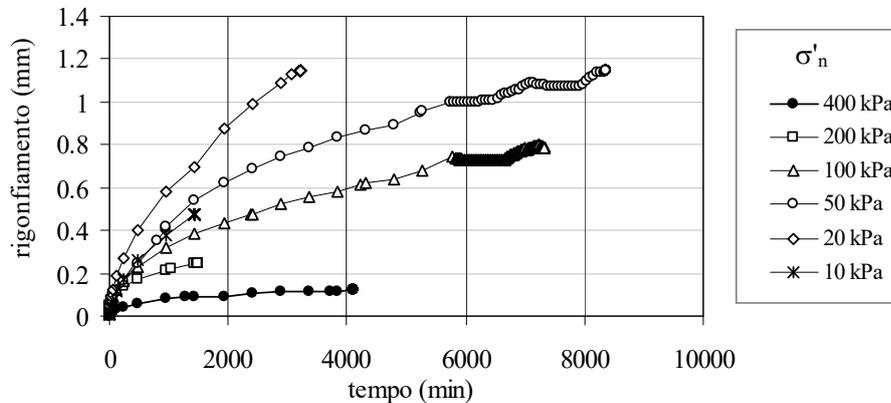
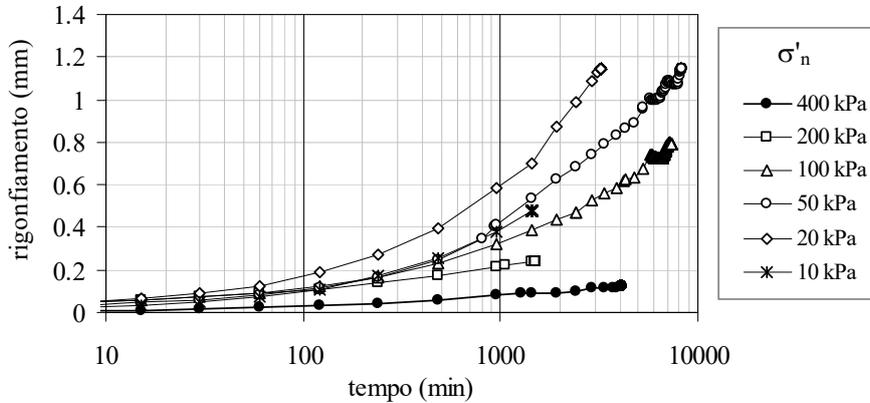
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

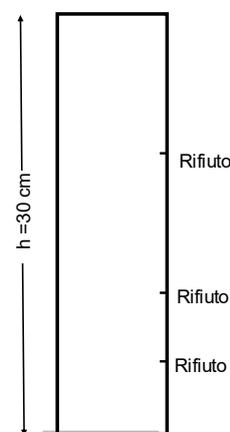
Profondità: 34,6 m – 35 m

Data di apertura: 05/11/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato

Lunghezza campione: 30 cm

Descrizione. Limo con argilla Il campione estratto consta di due parti: una superiore di altezza pari a circa 14 cm parzialmente rimaneggiata, caratterizzata da elementi lapidei di dimensioni variabili dal mm al cm ed una parte inferiore meno disturbata a grana più fine, di colore grigio, con sottili venature biancastre di calcite. Il terreno risulta molto consistente. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,75		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,72	17,02	15,96
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,77	20,88	21,80
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,81	17,84	18,80
porosità (%)	$n =$	30,26	33,87	30,32
indice di porosità	$e =$	0,434	0,512	0,435
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,62	91,38	100

resistenza al penetrometro tascabile

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	10,7
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

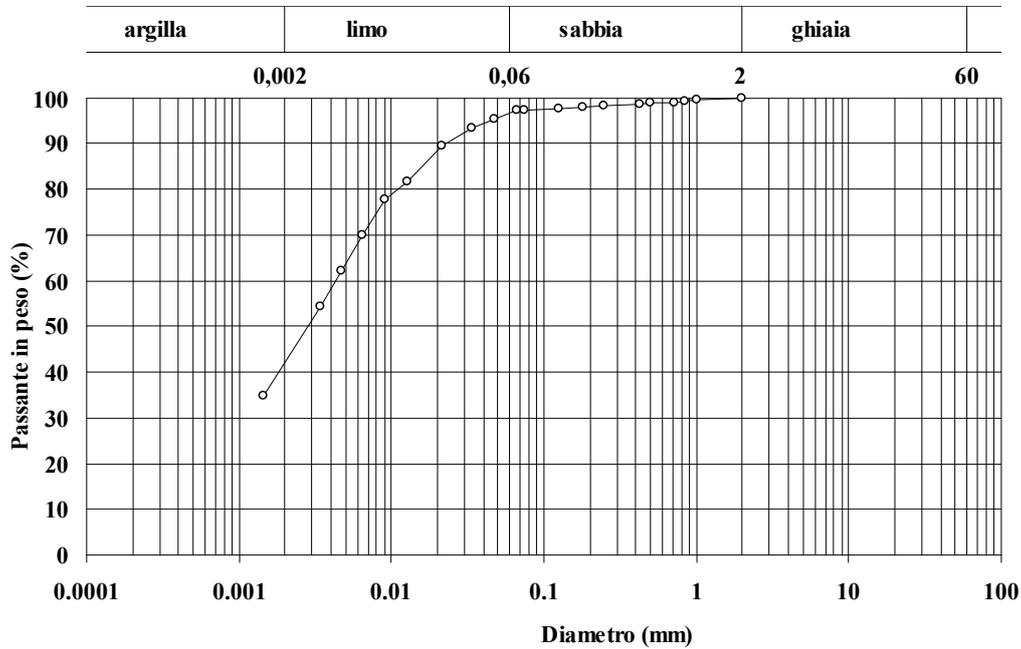
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	62,9
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	32,6
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	30,3

Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

Profondità: 34,6 – 35 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
97	0	4	53	43	4	0,0043	-

Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

Profondità: 34,6 m – 35,0 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

dimensioni iniziali del provino:

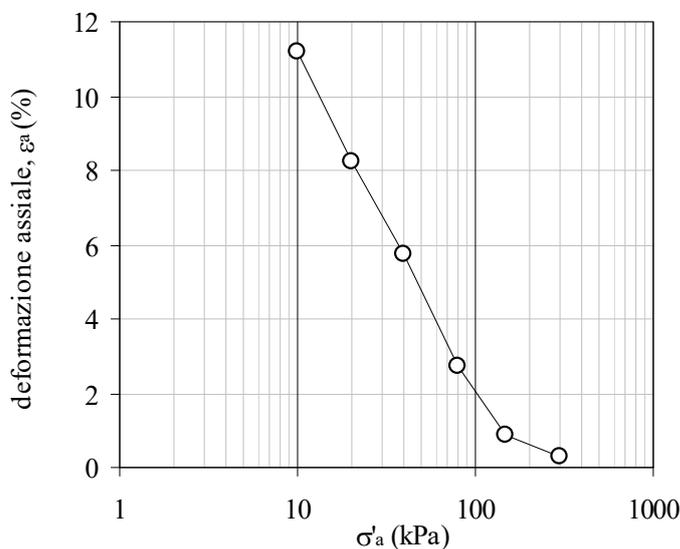
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,80
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,96
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,80
porosità (%)	$n =$	30,32
indice di porosità	$e =$	0,435
grado di saturazione (%)	$S_r =$	100

tensione assiale σ'_a (kPa)	300	300	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	19,60	19,66	19,77	20,14	20,72	21,21	21,79
indice di porosità e	0,391	0,395	0,403	0,429	0,471	0,505	0,546



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

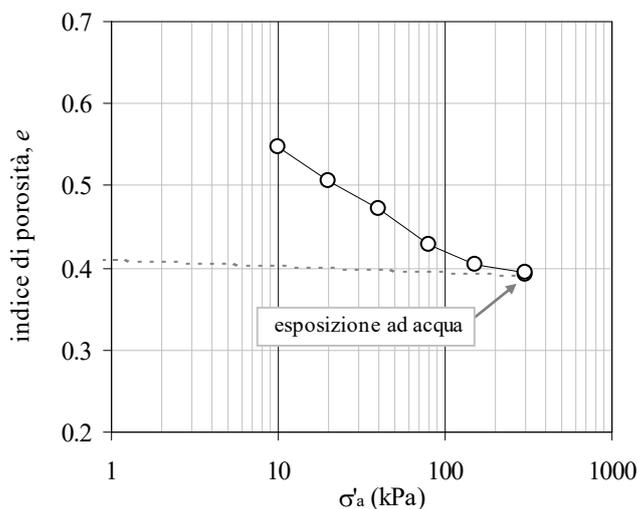
Profondità: 34,6 m – 35,0 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

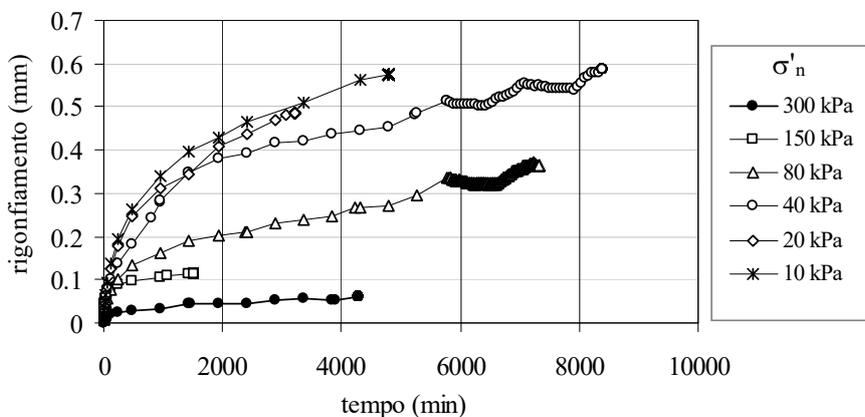
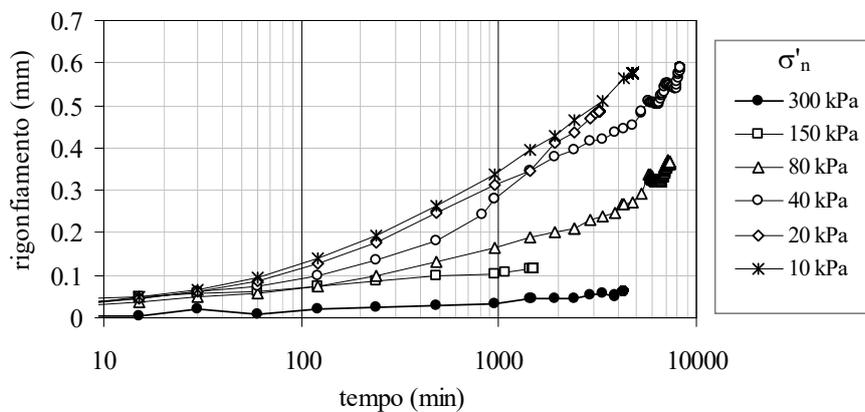
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

Profondità: 34,6 m – 35,0 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

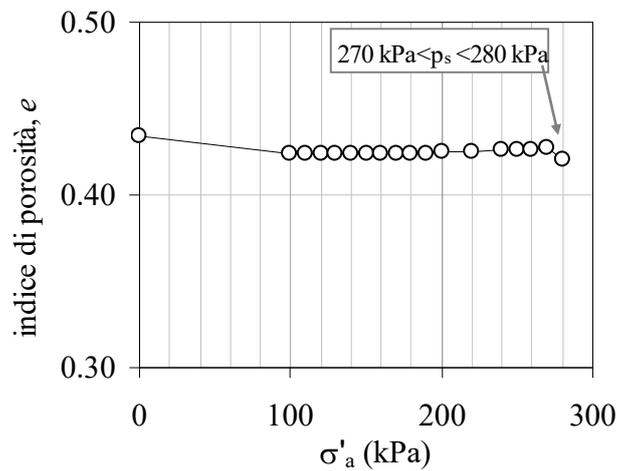
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

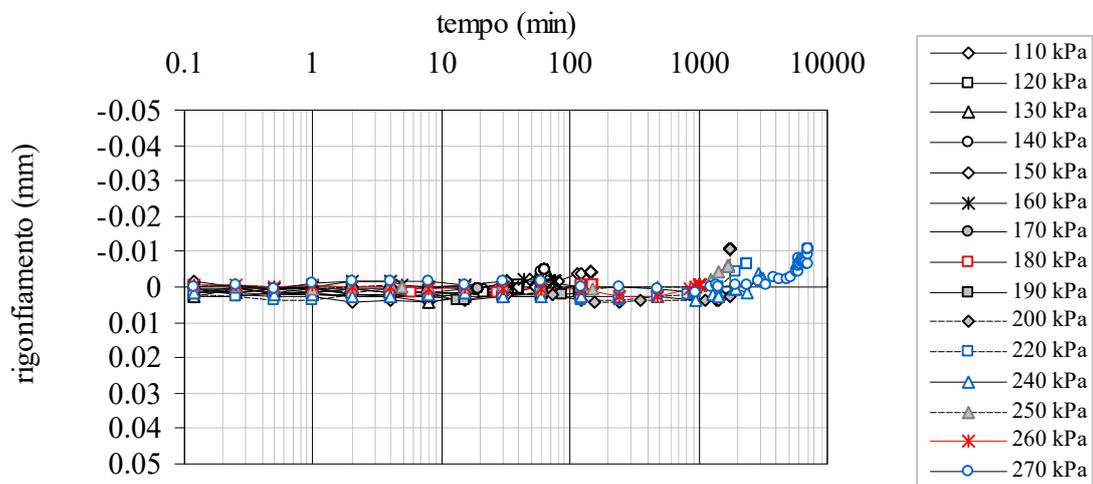
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,77
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,72
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,81
porosità (%)	$n =$	30,26
indice di porosità	$e =$	0,434
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,60



Pressione di rigonfiamento 270 kPa < p_s < 280 kPa



Sondaggio: Sn-01

Campione: C6

Profondità: 34,6 m – 35 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA'
($\text{Na}^+ = 6 \text{ g/l}$)

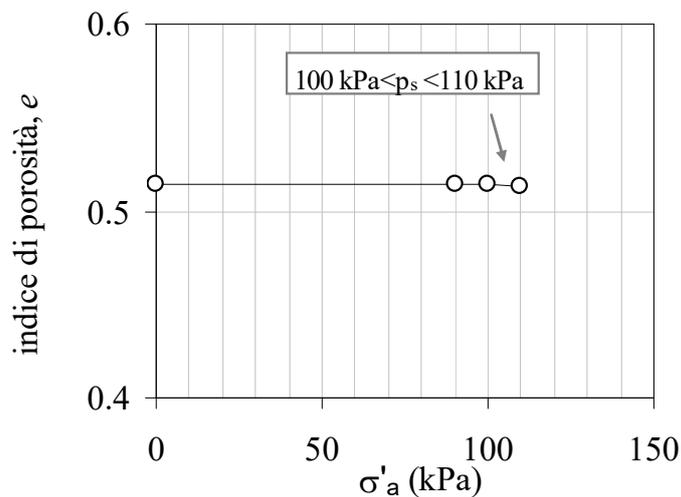
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

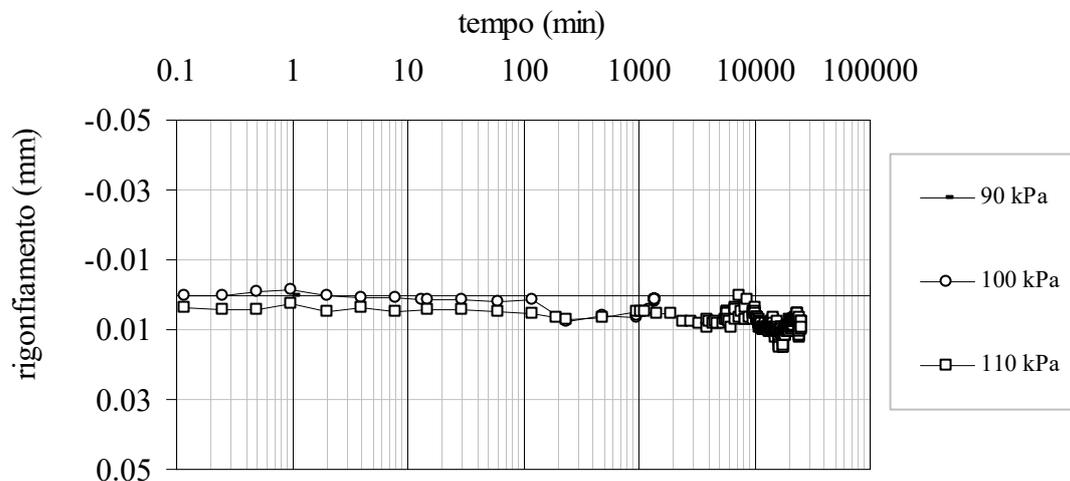
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,88
contenuto d'acqua (%)	$w =$	17,02
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,84
porosità (%)	$n =$	33,87
indice di porosità	$e =$	0,512
grado di saturazione (%)	$S_r =$	91,38



Pressione di rigonfiamento $100 \text{ kPa} < p_s < 110 \text{ kPa}$



Sondaggio: **Sn-01**

Campione: **C7**

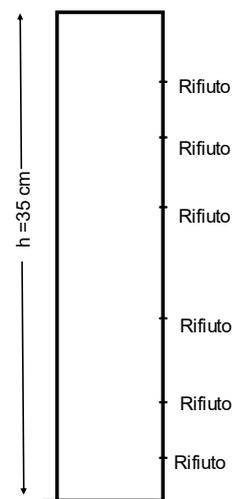
Profondità: **40,5 m – 41,0 m**

Data di apertura: 28/10/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato

Lunghezza campione :35 cm

Descrizione. Limo con argilla sabbioso di colore grigio, molto consistente, con vene di calcite biancastre. Il campione estratto consta di due parti. La superficie laterale è rivestita di paraffina lungo l'intero sviluppo del campione. Sono presenti litorelitti della stessa natura del terreno. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



resistenza al penetrometro tascabile

CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,72		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	13,08	14,36	15,28

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	9,8
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

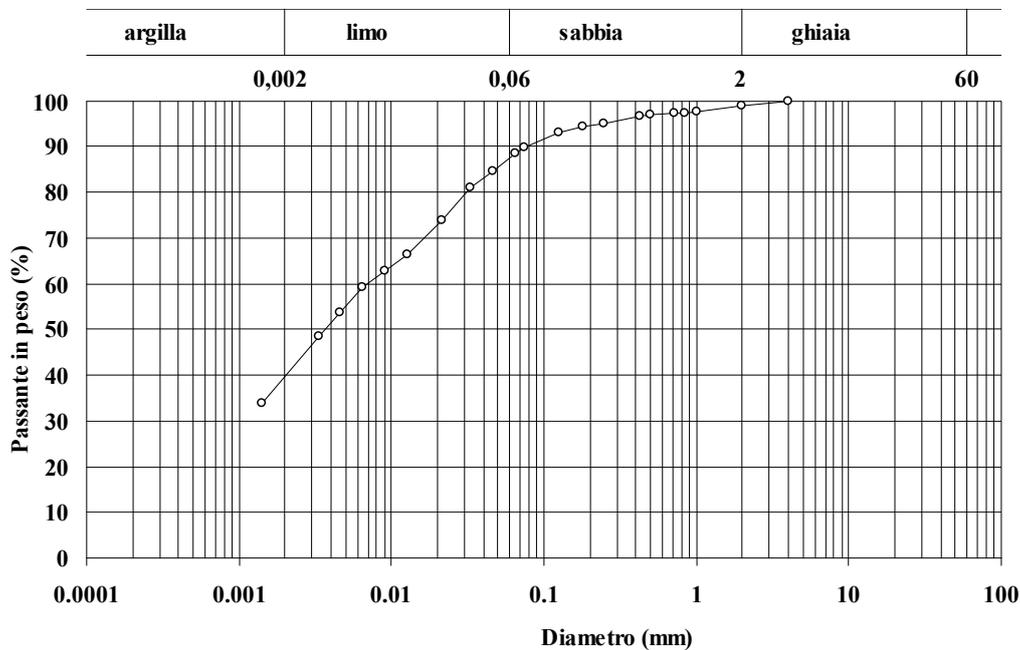
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	62,8
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	33,5
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	29,3

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-01

Campione: C7

Profondità: 40,5 – 41,0 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
90	1	12	47	40	4	0,0070	-

Sondaggio: **Sn-01**

Campione: **C8**

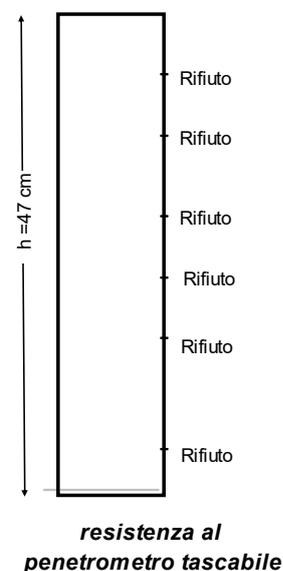
Profondità: **43,2 m – 43,7 m**

Data di apertura: 28/10/2019

Stato del campione: parzialmente indisturbato

Lunghezza del campione: 47 cm

Descrizione del campione: Limo con argilla di colore grigio con venature biancastre di calcite. Il terreno risulta molto consistente. Il campione è risultato ricoperto di paraffina per l'intera altezza. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,74		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,12	10,12	10,34
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	22,04	21,93	21,81
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	20,02	19,92	19,76
porosità (%)	$n =$	25,52	25,90	26,47
indice di porosità	$e =$	0,343	0,349	0,360
grado di saturazione (%)	$S_r =$	80,88	79,30	78,71

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	11,5
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

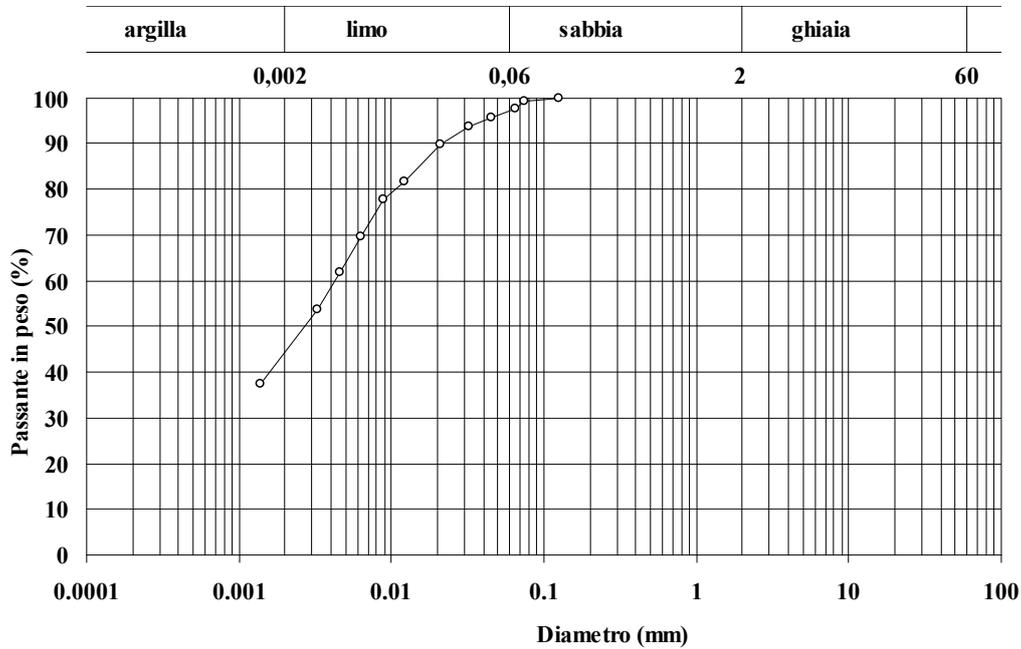
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	63,1
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	30,0
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	33,1

Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 – 43,7 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
99	0	3	52	45	0,08	0,0043	-

Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,7 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

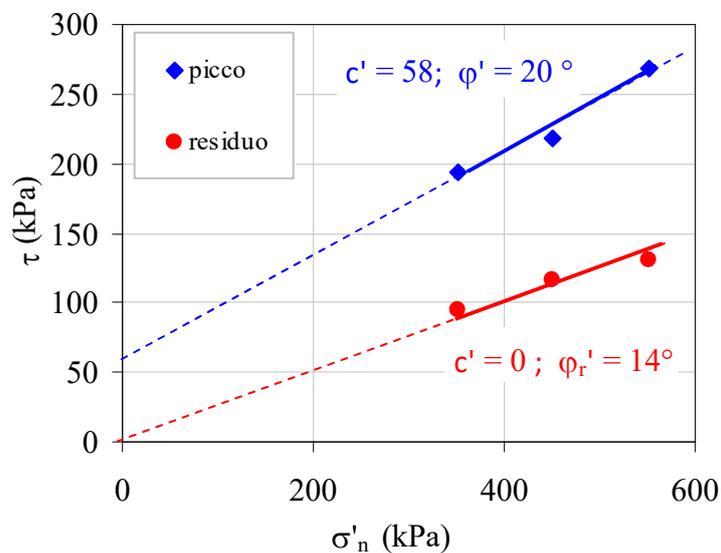
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 25 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	22,04	21,93	21,81
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,12	10,12	10,34
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	20,02	19,92	19,76
porosità (%)	$n =$	25,52	25,90	26,47
indice di porosità	$e =$	0,343	0,349	0,360
grado di saturazione (%)	$S_r =$	80,88	79,30	78,71



Sondaggio: Sn-01

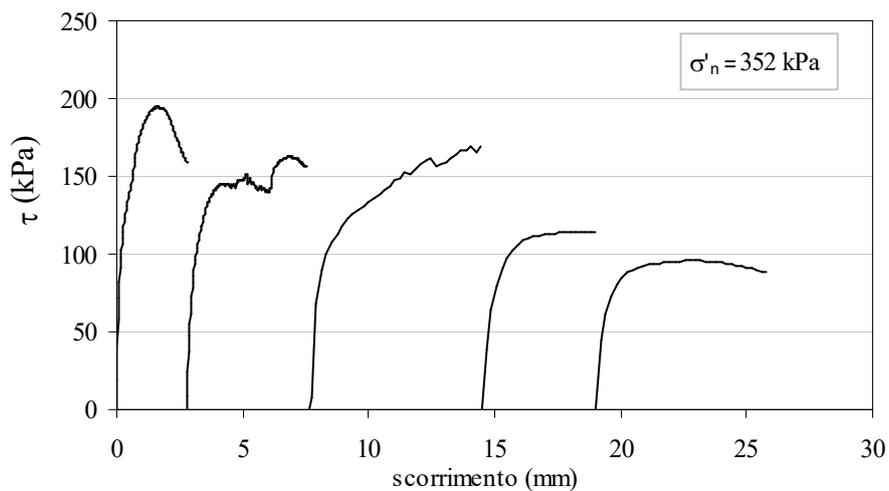
Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,7 m

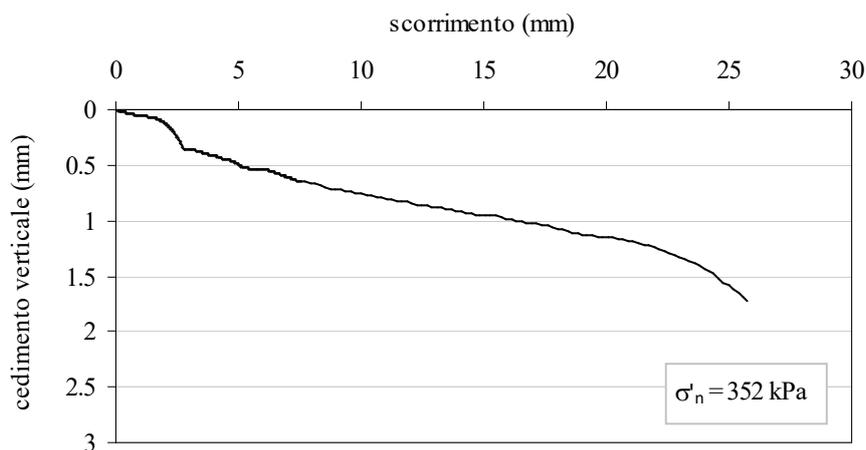
ROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



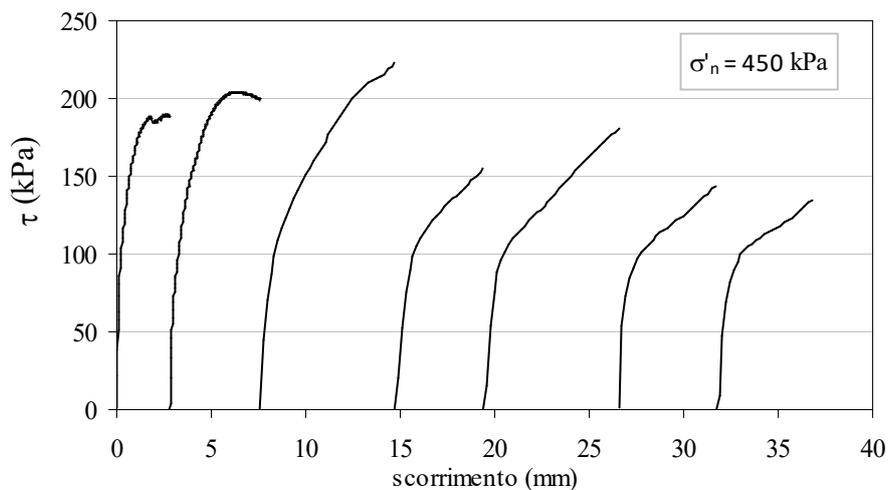
Curve cedimento verticale – scorrimento



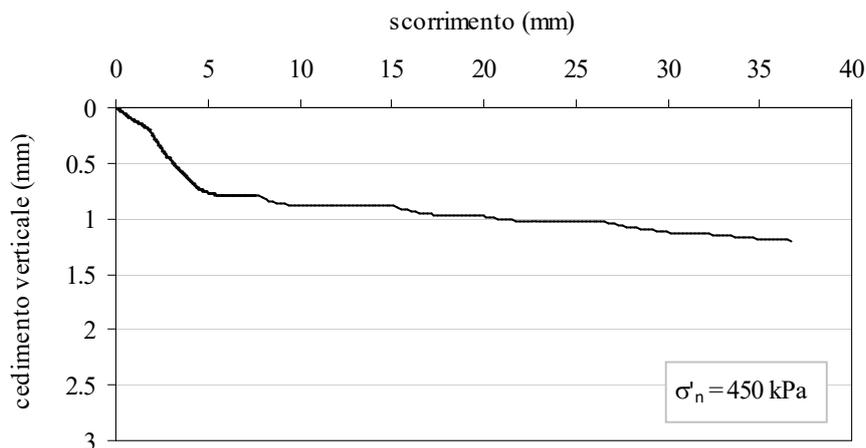
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

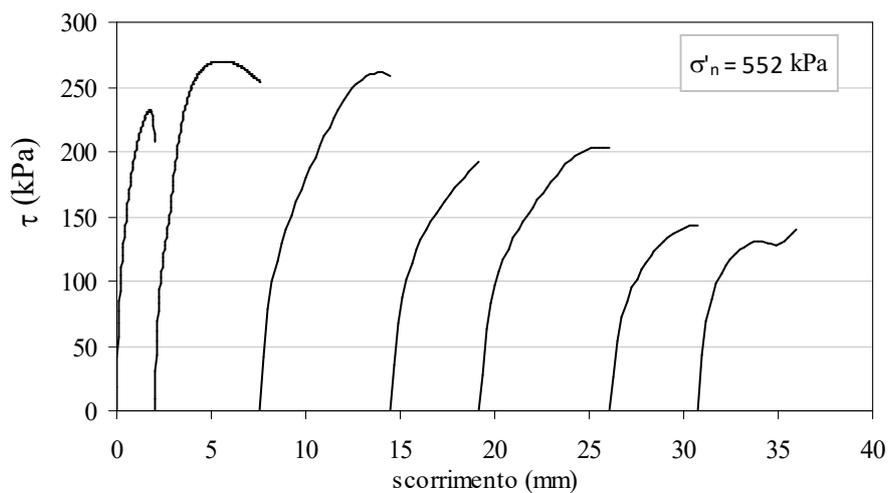
Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,7 m

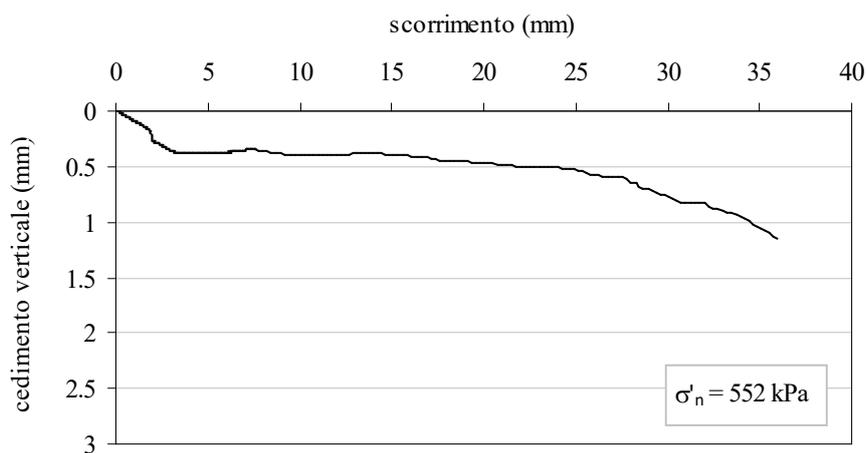
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 3

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,8 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

dimensioni iniziali del provino

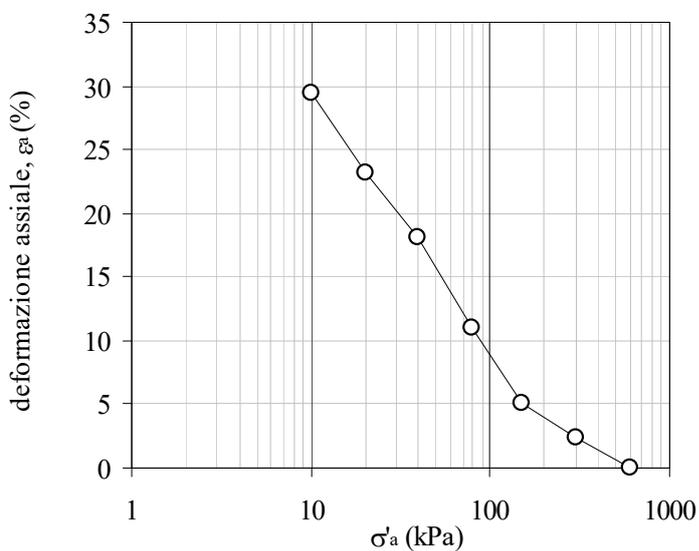
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	22,20
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,57
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	19,73
porosità (%)	$n =$	26,62
indice di porosità	$e =$	0,363
grado di saturazione (%)	$S_r =$	94,96

tensione assiale σ'_a (kPa)	600	600	300	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	19,06	19,06	19,50	20,02	21,14	22,50	23,48	24,67
indice di porosità e	0,298	0,298	0,328	0,364	0,440	0,533	0,600	0,681



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

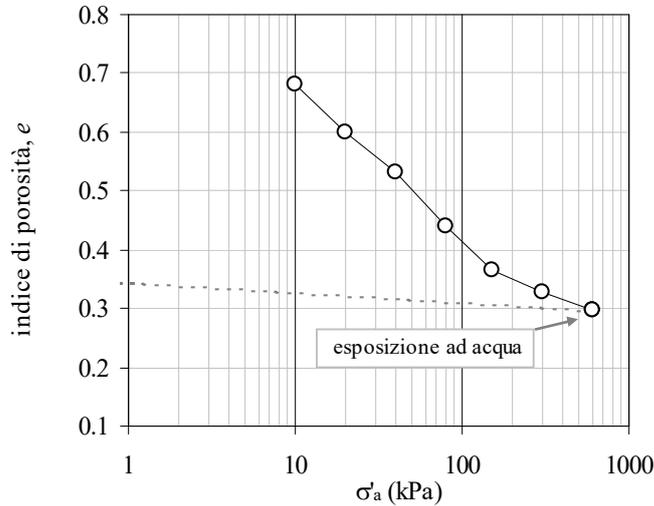
Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-01

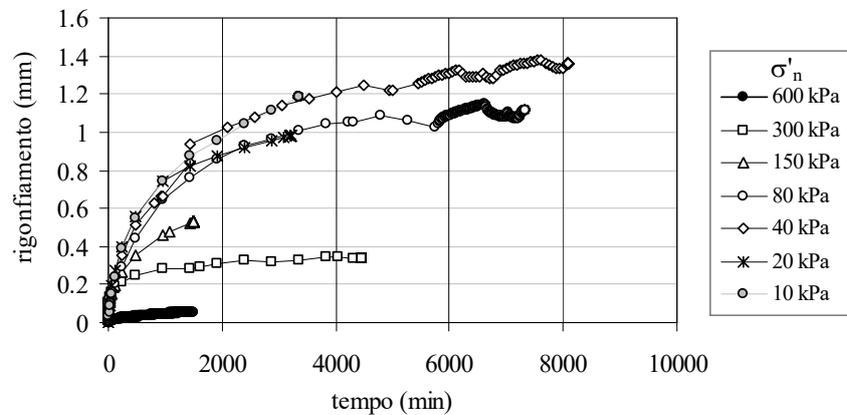
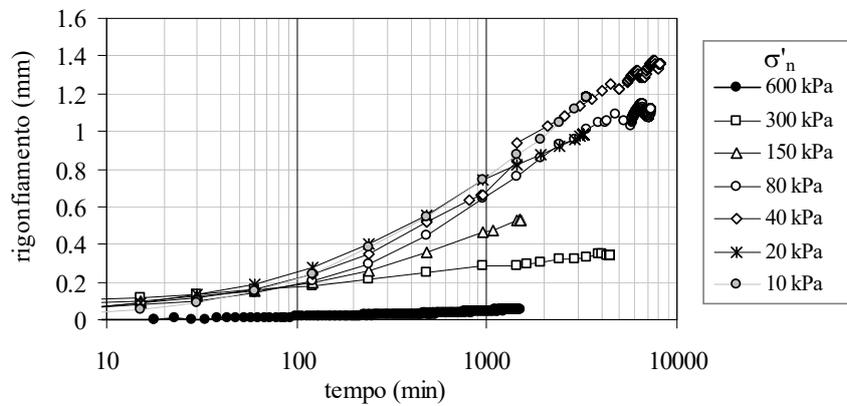
Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,8 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale dei tempi

Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,8 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

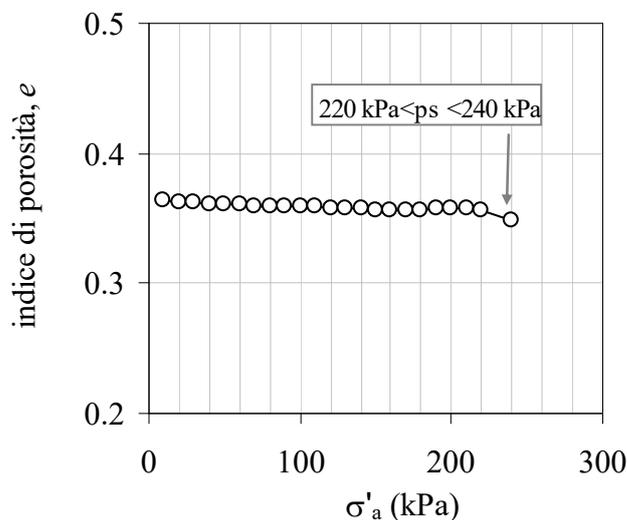
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

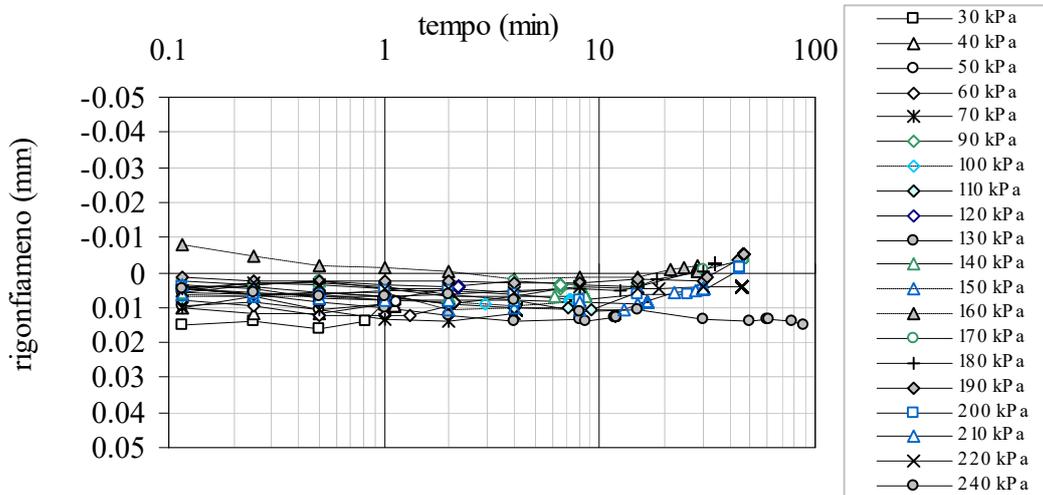
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,76
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,65
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,31
porosità (%)	$n =$	28,15
indice di porosità	$e =$	0,392
grado di saturazione (%)	$S_r =$	88,48



Pressione di rigonfiamento 220 kPa < p_s < 240 kPa



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,8 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN PROVE STANDARD

Descrizione sintetica della prova

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento mediante prove standard, il provino del campione Sn-01 C8 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto il rigonfiamento osmotico riportato in Fig. 1 e in Fig.3. Durante l'esposizione ad acqua distillata, l'acqua di cella era stata rinnovata frequentemente, determinando la quantità di ioni Na^+ rimossi (Fig. 2).

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,76
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,65
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,31
porosità (%)	$n =$	28,15
indice di porosità	$e =$	0,392
grado di saturazione (%)	$S_r =$	88,48

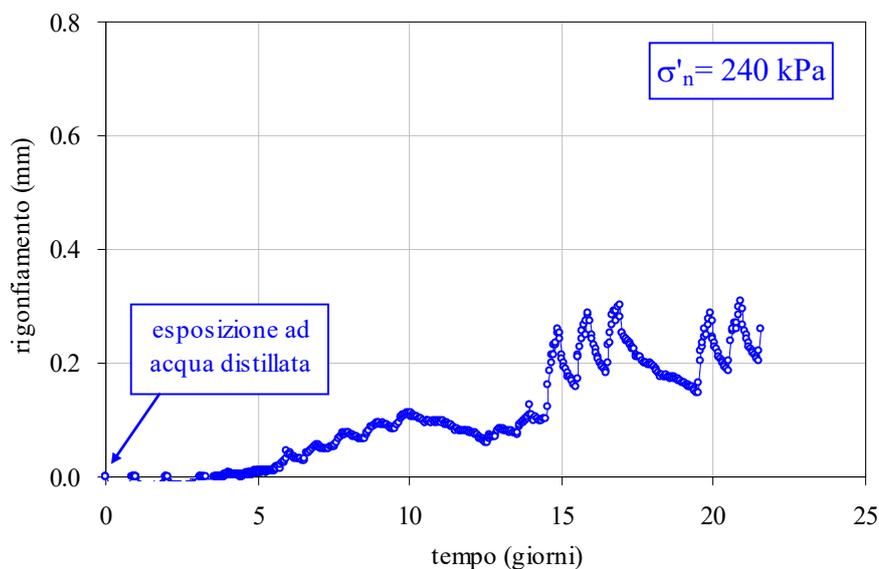


Fig. 1. Processo osmotico di rigonfiamento per esposizione ad acqua distillata

Sondaggio: Sn-01

Campione: C8

Profondità: 43,2 m – 43,8 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN PROVE STANDARD

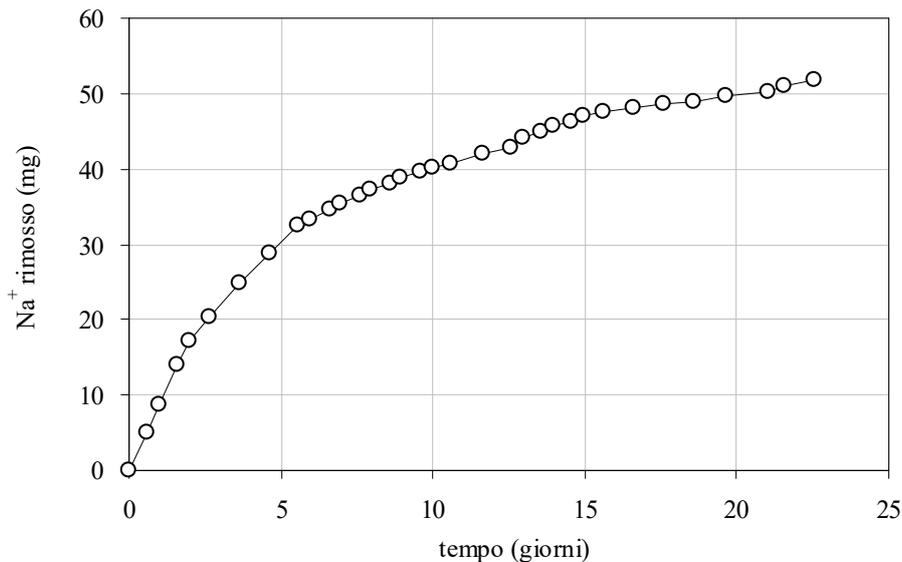


Fig. 2. Peso di Na⁺ rimosso dal fluido interstiziale durante la fase di rigonfiamento osmotico

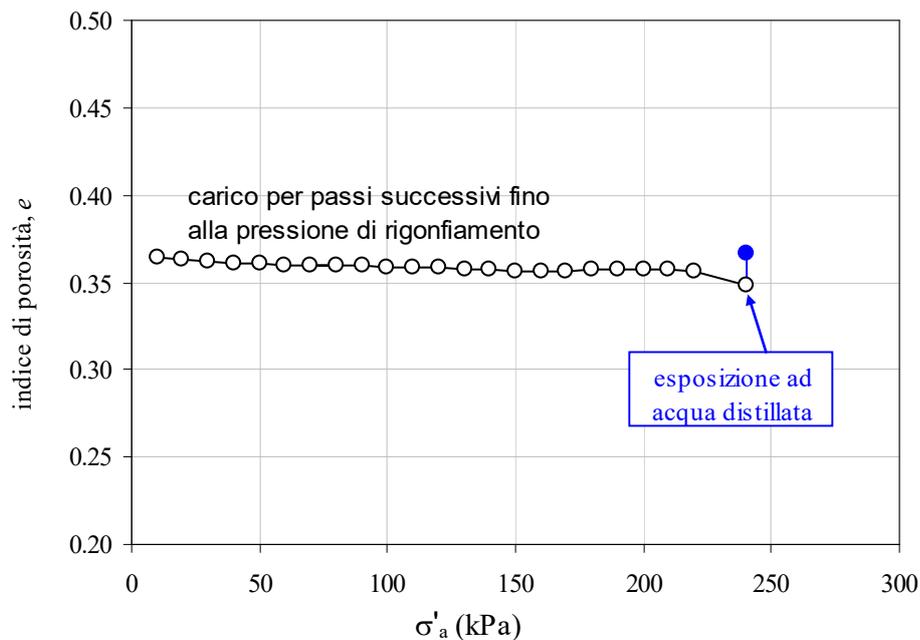


Fig. 3. Processi osmotici di rigonfiamento e consolidazione nel piano e - $\log \sigma'_n$

Sondaggio: **Sn-02**

Campione: **C2**

Profondità: **27 - 27,6 m**

Data di apertura: 07/11/2019

Stato del campione: parzialmente rimaneggiato

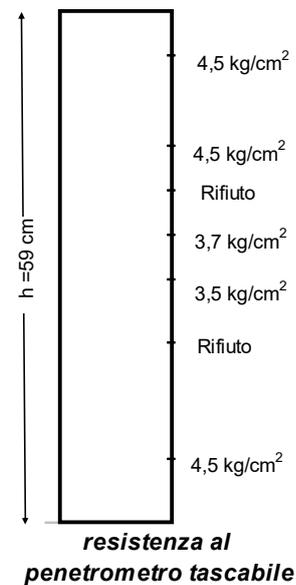
Lunghezza: 59 cm

Descrizione del campione: Il campione presenta due lesioni in corrispondenza delle quali si è spezzato: una meno profonda a 15 cm ed una più profonda a 40 cm. Terreno argilloso di colore grigio con presenza di piccole screziature biancastre (calcite). Campione piuttosto duro, solo nella parte centrale, tra 15 e 25 cm, il penetrometro tascabile oppone minore resistenza alla penetrazione.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,72		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	17,34	19,04	17,34
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,21	20,42	20,86
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,22	17,15	17,78
porosità (%)	$n =$	35,45	35,73	33,38
indice di porosità	$e =$	0,549	0,556	0,501
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,88	93,18	94,16



CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na ⁺ (g/l)	7,7
Ca ⁺⁺ (g/l)	0
K ⁺ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

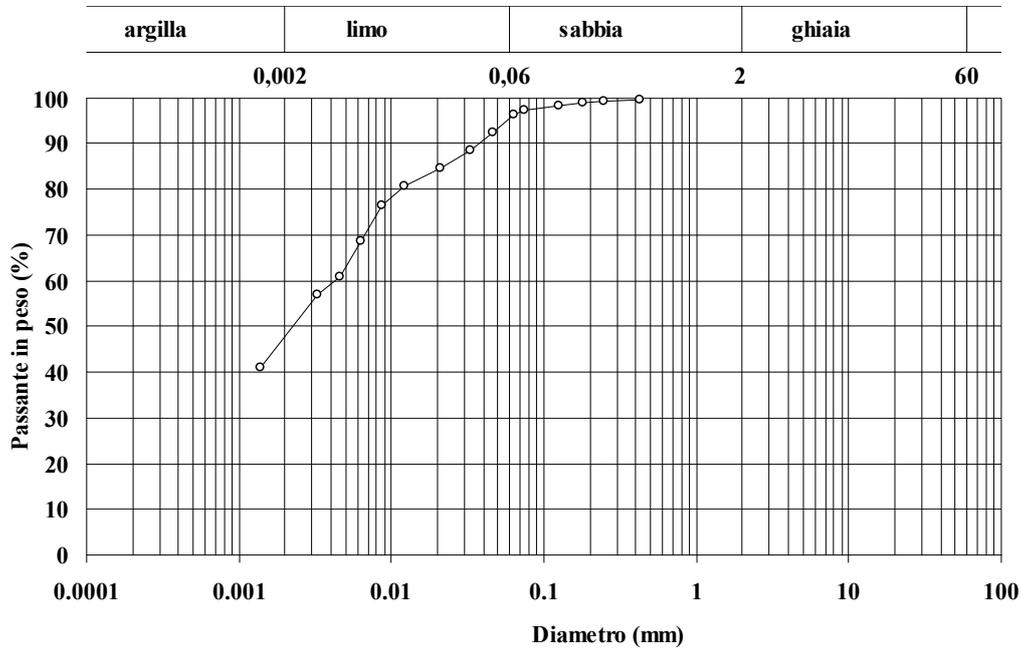
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	86,2
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	40,5
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	45,7

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-02

Campione: C2

Profondità: 27,0 – 27,6 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
97	0	4	49	47	0,4	0,0045	-



Sondaggio: **Sn-02**

Campione: **C2**

Profondità: **27,0 m – 27,6 m**

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 35 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,2 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,60	20,30	20,21
contenuto d'acqua (%)	$w =$	18,27	18,27	17,34
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,42	17,16	17,22
porosità (%)	$n =$	34,73	35,69	35,45
indice di porosità	$e =$	0,532	0,555	0,549
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,39	89,55	85,88
pressione di cella σ_c (kPa)		300	500	700

Condizioni a rottura

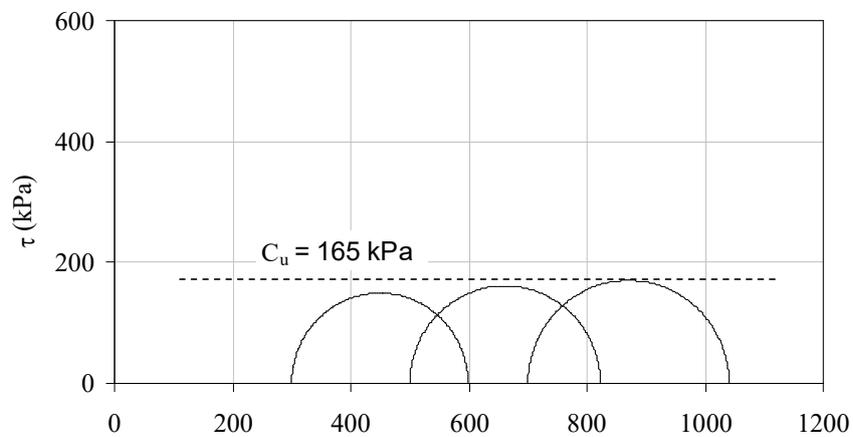
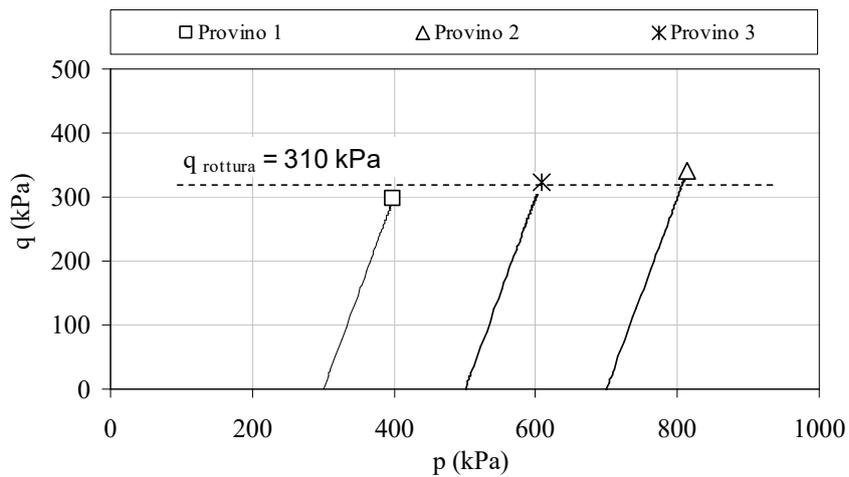
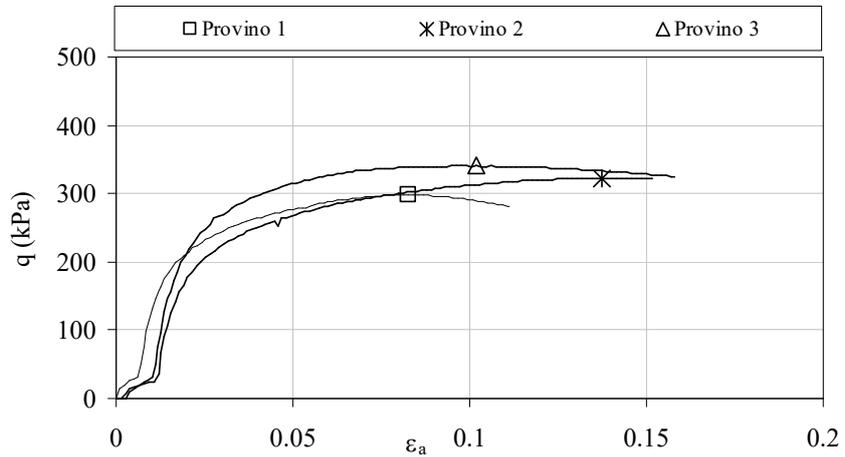
	provino 1	provino 2	provino 3
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	298	323	340
deformazione assiale ε_a (%)	8	14	10

Sondaggio: Sn-02

Campione: C2

Profondità: 27,0 m – 27,6 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA





Sondaggio: **Sn-02**

Campione: **C2**

Profondità: **27,0 - 27,6 m**

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA

(da confrontare alle prove di creep eseguite su provini dello stesso campione)

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,42
contenuto d'acqua (%)	$w =$	19,04
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,15
porosità (%)	$n =$	35,73
indice di porosità	$e =$	0,556
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,18
pressione di cella σ_c (kPa)		500
contropressione b.p. (kPa)		100

Condizioni a rottura

		provino 1
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)		466
deformazione assiale ε_a (%)		6

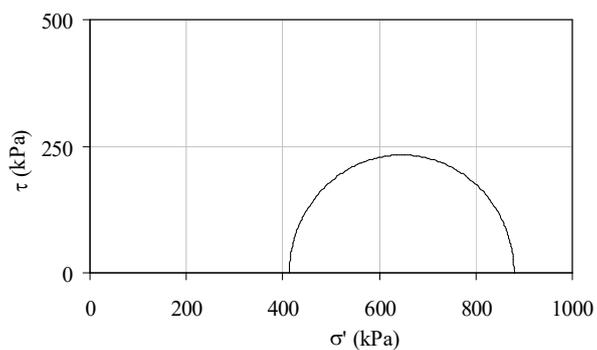
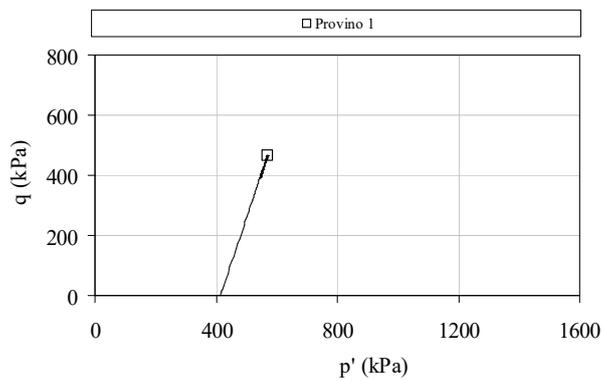
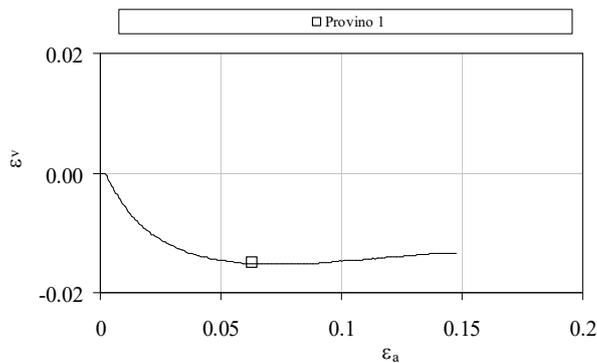
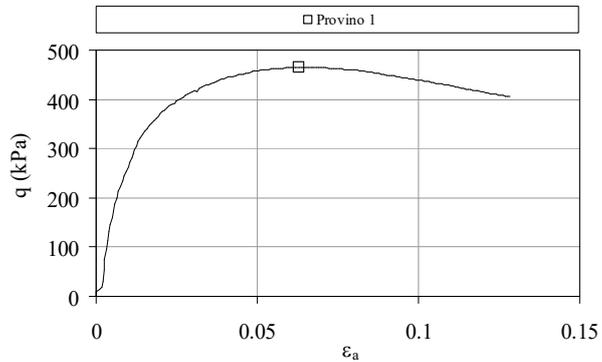
Sondaggio: Sn-02

Campione: C2

Profondità: 27,0 - 27,6 m

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA

(da confrontare alle prove di creep eseguite su provini dello stesso campione)



Sondaggio: Sn-02

Campione: C2

Profondità: 27,0 - 27,6 m

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE

dimensioni iniziali del provino

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

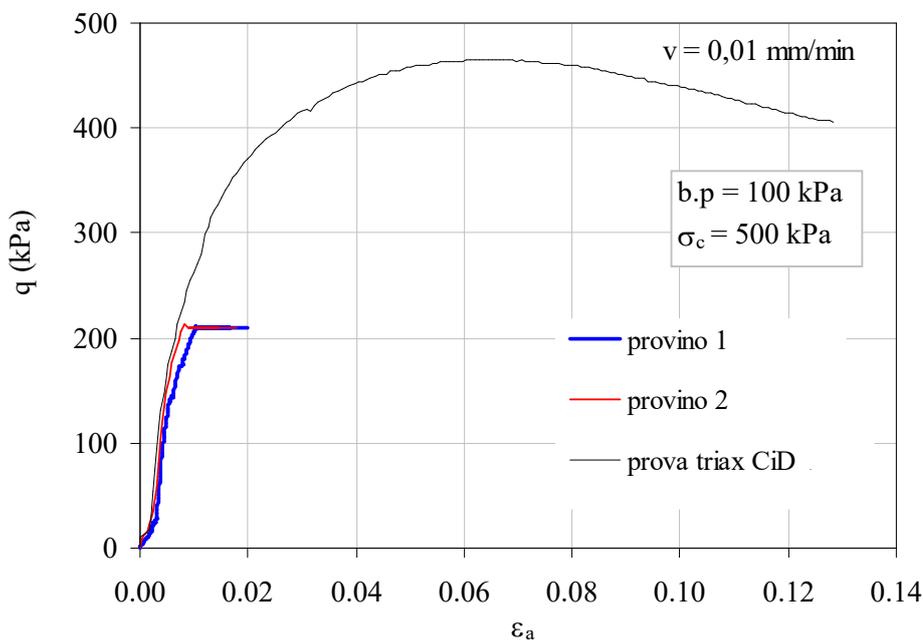
prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,39	20,40
contenuto d'acqua (%)	$w =$	19,04	19,99
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,13	17,00
porosità (%)	$n =$	35,81	36,29
indice di porosità	$e =$	0,558	0,570
grado di saturazione (%)	$S_r =$	92,82	95,46

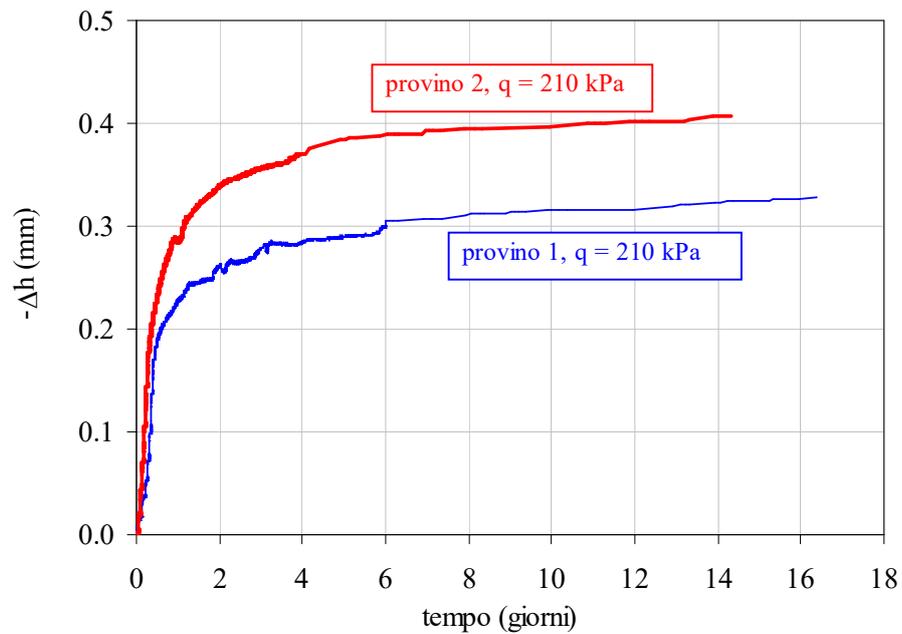
pressione di cella σ_c : 500 kPa

contropressione (b.p.) : 100 kPa



Deviatore degli sforzi in funzione della deformazione assiale delle due prove di creep e confronto con la curva ottenuta da una prova triassiale consolidata drenata (CD) condotta con velocità di deformazione assiale $v=0,01$ mm/min.

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE



Riduzione di altezza dei provini in funzione del tempo di applicazione del deviatore degli sforzi.

Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C3**

Profondità: **12,0 m – 12,3 m**

Data di apertura: 12/11/2019

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 27 cm

Descrizione del campione: Terreno di colore grigio fortemente rimaneggiato con elementi di paraffina lungo tutto lo sviluppo. Presenti elementi lapidei di natura calcarea di dimensioni variabili (in foto elemento calcareo di diametro 6 cm). Presenza di elementi di consistenza lapidea, della stessa natura del campione (litorelitti della formazione) con superficie lucida “vetrificata”.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,72	
contenuto d'acqua (%)	$w =$	22,40	28,58

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	5,1
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

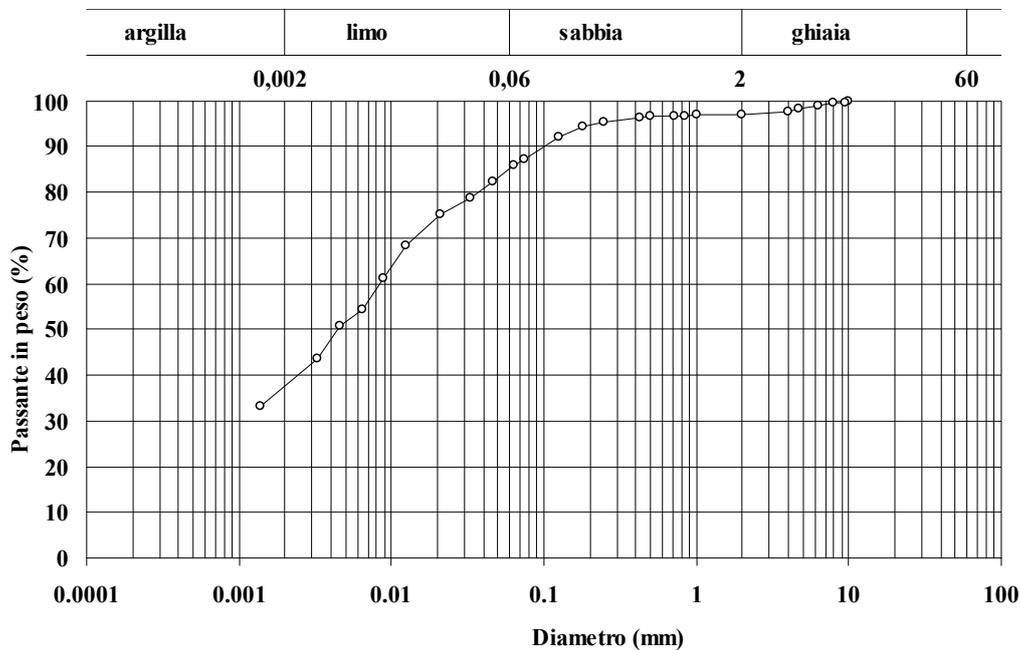
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	64,3
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	31,1
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	33,2

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-03

Campione: C3

Profondità: 12,0 m – 12,3 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
87	3	12	48	37	10	0,0083	-

Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C4**

Profondità: **20,0 m – 20,7 m**

Data di apertura: 12/11/2019

Stato del campione: Disturbato in corrispondenza delle basi

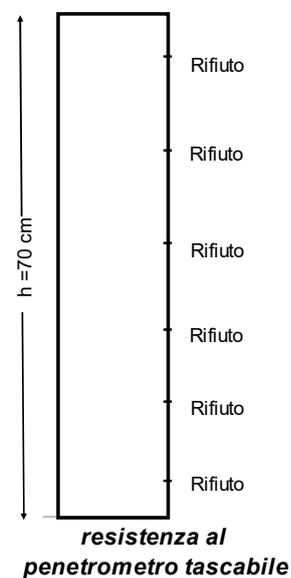
Lunghezza: 70 cm

Descrizione del campione. Limo con argilla debolmente sabbioso di colore grigio scuro con fasce oblique alternate più chiare nella parte centrale. Il terreno risulta molto consistente, il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

Peso specifico del solido	$G_s =$	2,75		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,59	15,34	16,99
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,66	21,28	21,35
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,74	18,45	18,25
porosità (%)	$n =$	30,53	31,61	32,36
indice di porosità	$e =$	0,439	0,462	0,478
grado di saturazione (%)	$S_r =$	97,60	91,31	97,64



CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	9,2
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

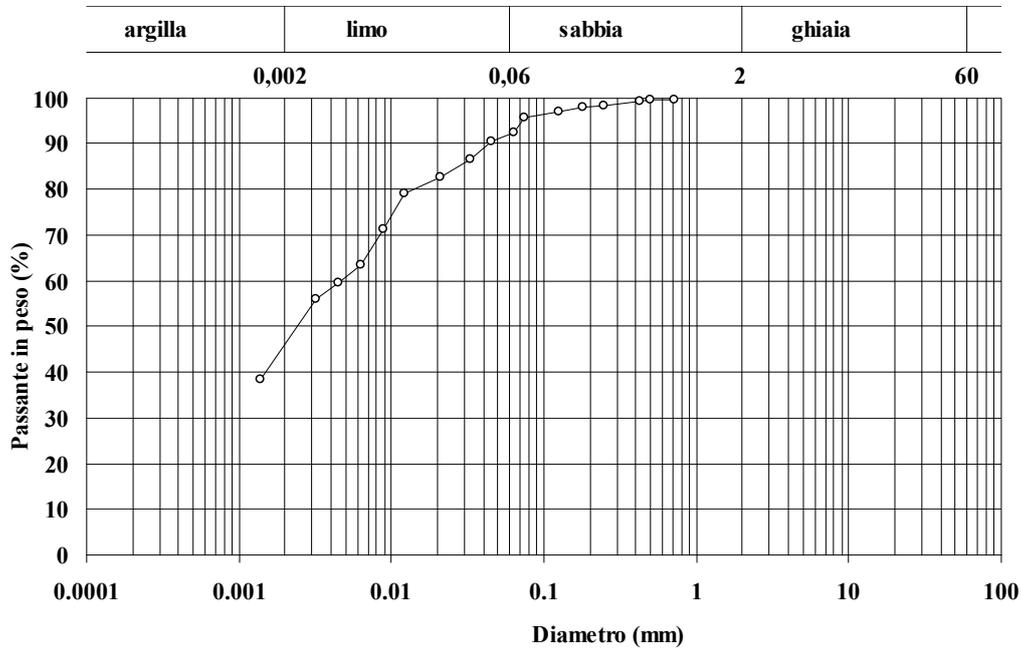
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	88,2
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	41,6
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	46,6

Sondaggio: Sn-03

Campione: C4

Profondità: 20,0 m – 20,7 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
96	0	8	46	46	1	0,0083	-

Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C4**

Profondità: **20,0 m – 20,7 m**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

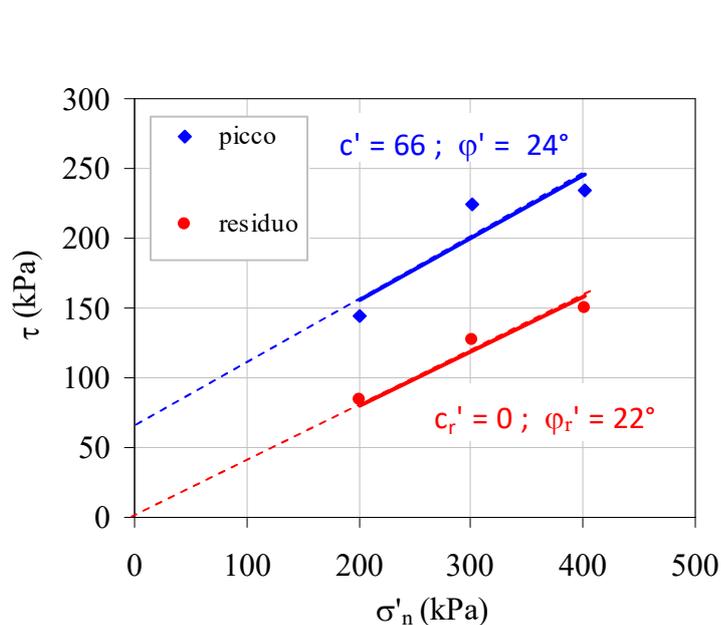
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 25 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,66	21,28	21,35
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,59	15,34	16,99
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,74	18,45	18,25
porosità (%)	$n =$	30,53	31,61	31,36
indice di porosità	$e =$	0,439	0,462	0,478
grado di saturazione (%)	$S_r =$	97,60	91,31	97,64



$\sigma'_n = 300$ kPa



Sondaggio: Sn-03

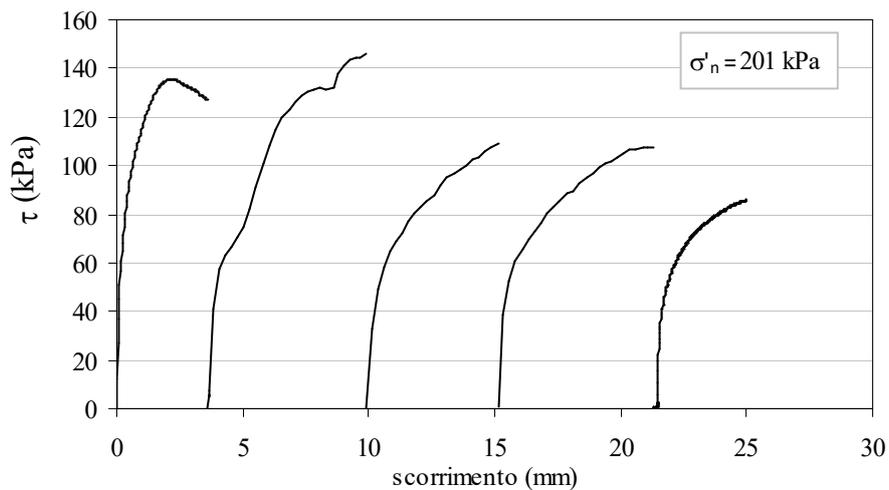
Campione: C4

Profondità: 20,0 m – 20,7 m

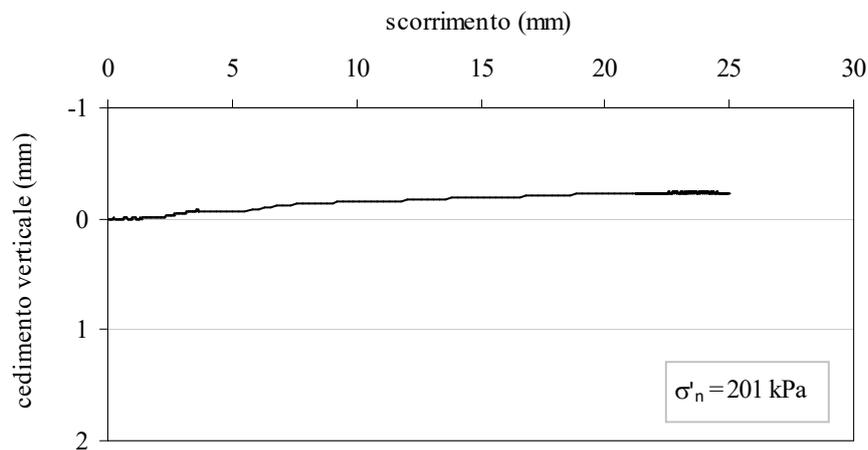
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

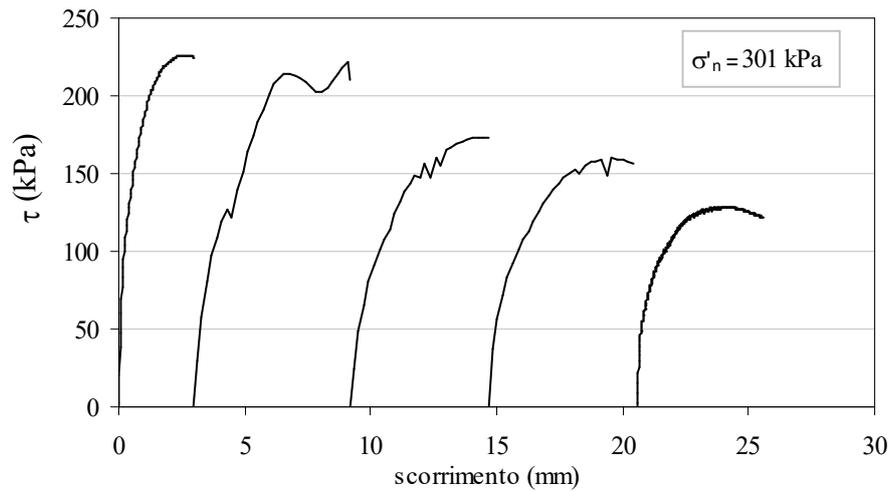
Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m

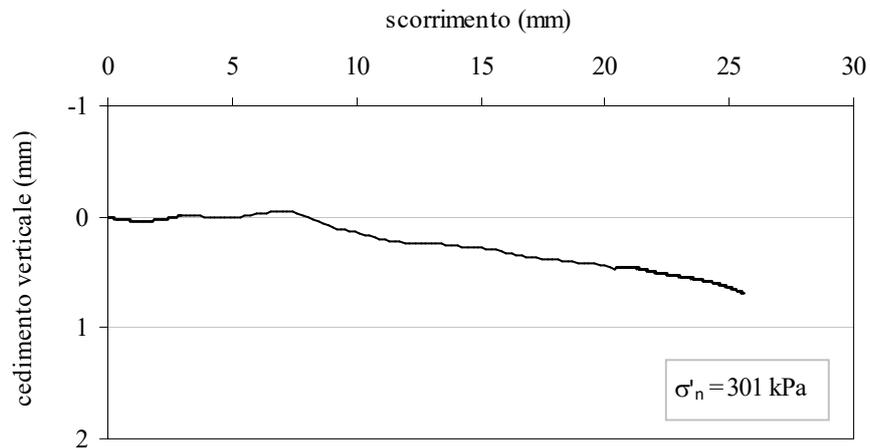
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: Sn-03

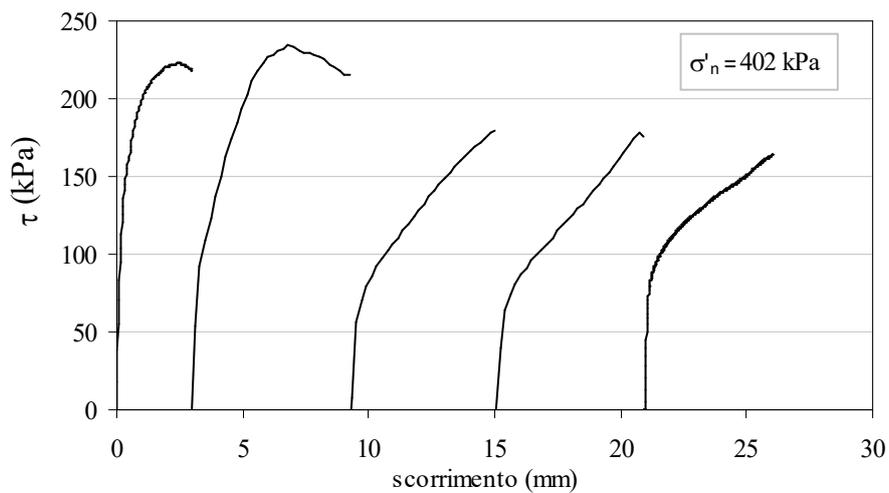
Campione: C4

Profondità: 20,0 m – 20,7 m

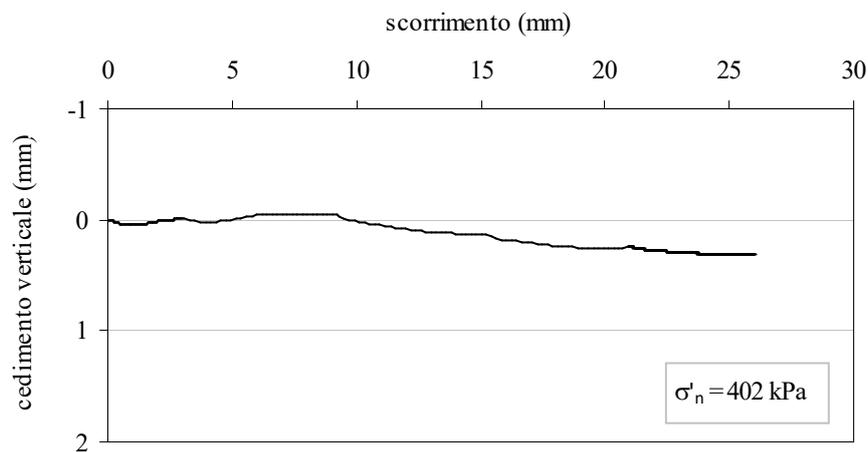
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 3

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C6**

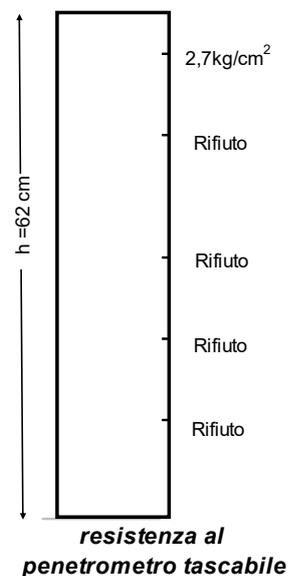
Profondità: **31,7 m – 32,35 m**

Data di apertura: 20/11/2019

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 62 cm

Descrizione. Il campione una volta estratto dalla fustella si è lesionato in più parti. Una parte corrisponde a un terreno argilloso grigio scuro, scaglioso, che si lesiona lungo piani lisci. In corrispondenza della base inferiore, 30 cm sono costituiti da roccia calcarea di colore biancastro.



CARATTERISTICHE FISICHE

Peso specifico del solido	$G_s =$	2,75	
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,55	10,35
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	23,05	22,27
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	20,85	20,18
porosità (%)	$n =$	22,70	25,20
indice di porosità	$e =$	0,294	0,337
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,79	84,51

LIMITI DI ATTERBERG

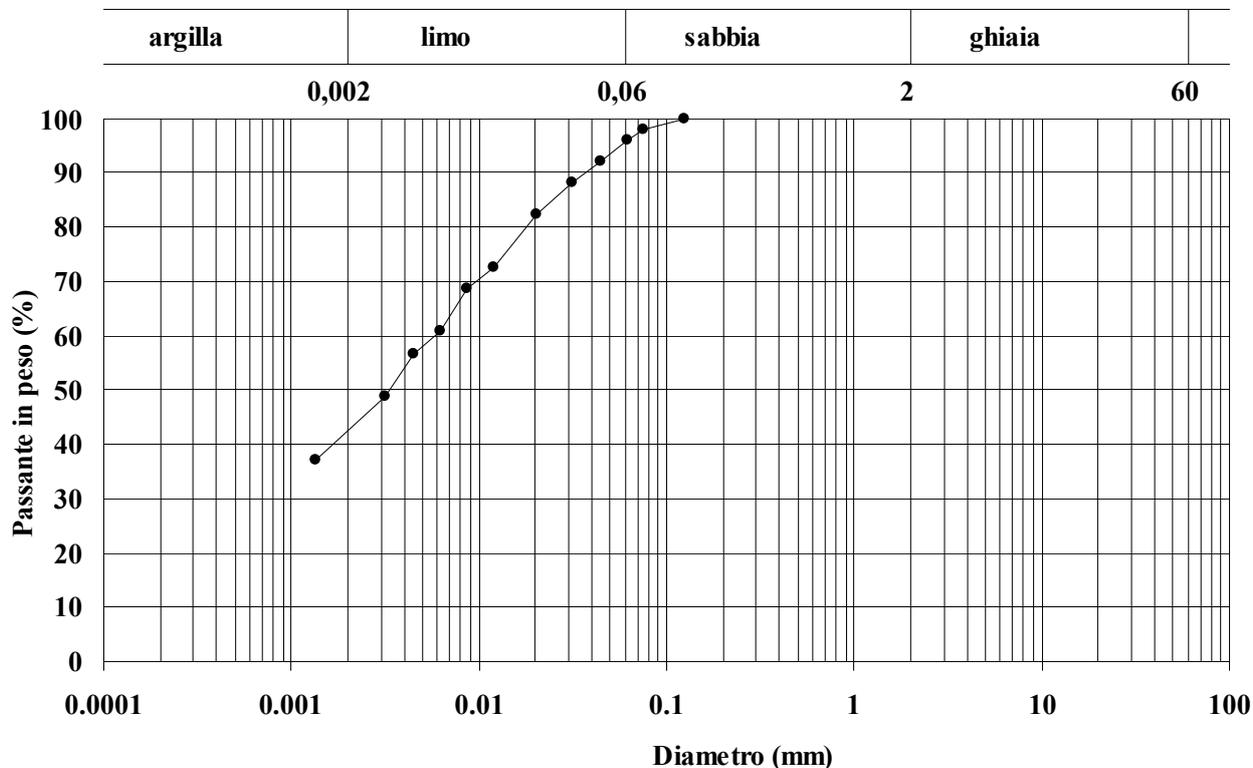
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	94,7
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	38,4
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	56,3

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-03

Campione: C6

Profondità: 31,7 – 32,35 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
95	0	4	54	42	0,125	0,006	-

Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C7**

Profondità: **38,05 m – 38,65 m**

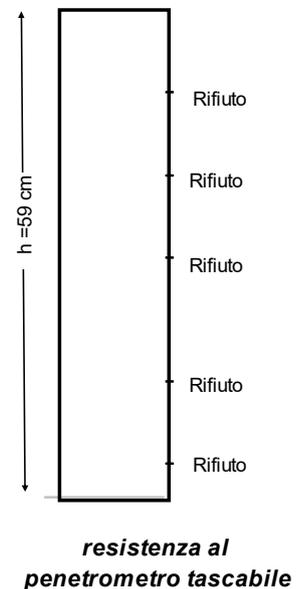
Data di apertura: 20/11/2019

Stato del campione: Parzialmente rimaneggiato

Lunghezza: 59 cm

Diametro: 7,6 cm

Descrizione. Il campione risulta formato da 2 parti: la parte alta molto rimaneggiata (probabilmente materiale caduto durante la manovra di precedente), e la parte bassa, di circa 27 cm, meno disturbata. Il terreno è un limo con argilla sabbioso di colore grigio scuro con vene biancastre. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ Kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

Peso specifico del solido	$G_s =$	2,74
contenuto d'acqua (%)	$w =$	
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	
porosità (%)	$n =$	
indice di porosità	$e =$	
grado di saturazione (%)	$S_r =$	

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	8,9
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

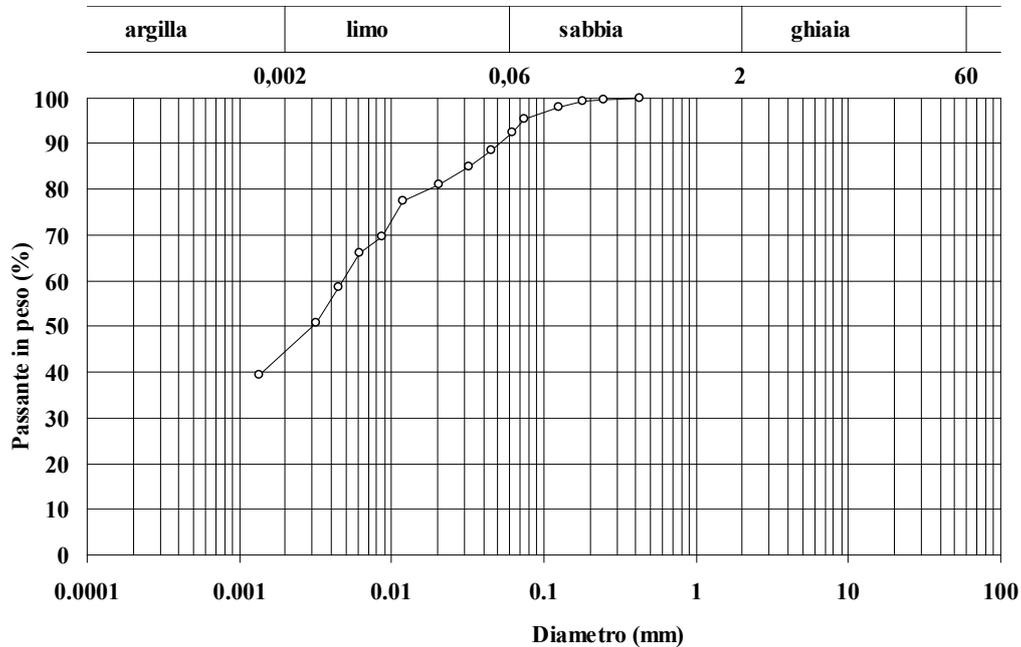
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	94,0
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	38,6
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	55,4

Sondaggio: Sn-03

Campione: C7

Profondità: 38,05 – 38,65 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)	D_{10} (mm)
95	0	7	48	45	1	0,0048	-

Sondaggio: Sn-03

Campione: C7

Profondità: 38,05 m – 38,65 m

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

dimensioni iniziali del provino

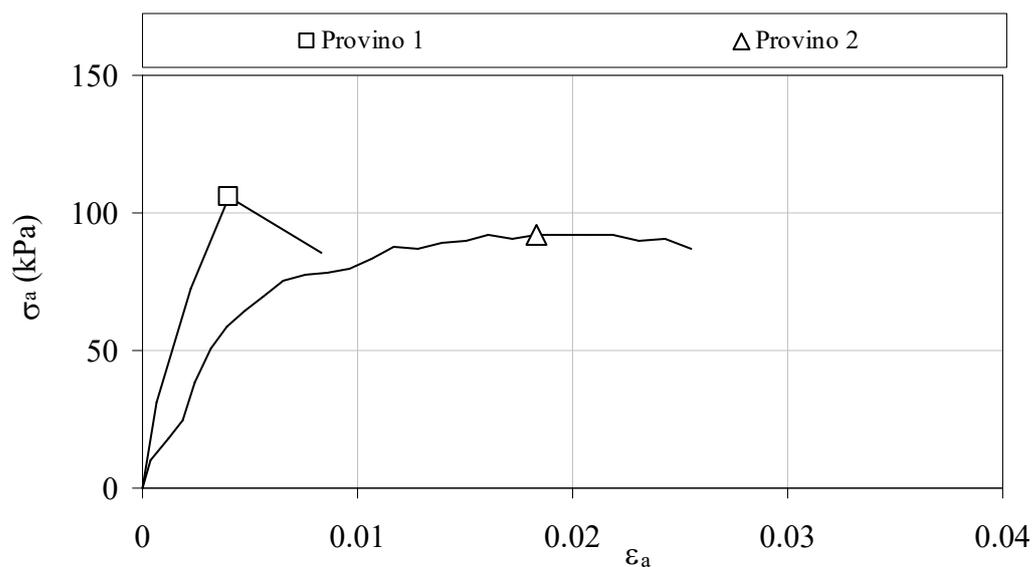
diametro: 68 mm

altezza: 126 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 1 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,97	21,01
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,94	19,44



Coesione non drenata $C_u = 50$ kPa;

Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C8**

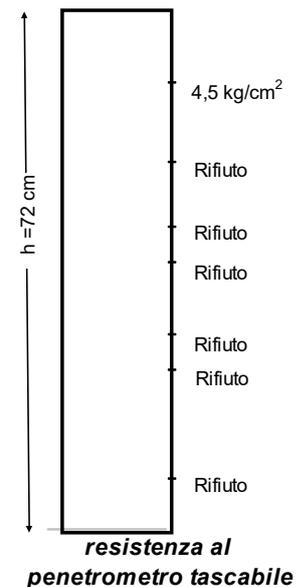
Profondità: **41,65 m – 42,4 m**

Data di apertura: 25/11/2019

Stato del campione: indisturbato

Lunghezza: 72 cm

Descrizione. Materiale di colore grigio a grana fine. All'apertura, il campione si è lesionato lungo due superfici. Il campione presenta una stratificazione abbastanza regolare, ad esclusione dei primi 10 cm di materiale rimaneggiato.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,73		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	18,32	15,51	14,63
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,26	20,70	21,81
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,12	17,92	19,02
porosità (%)	$n =$	36,06	33,08	28,99
indice di porosità	$e =$	0,564	0,494	0,408
grado di saturazione (%)	$S_r =$	88,67	85,64	98,16

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	10,7
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

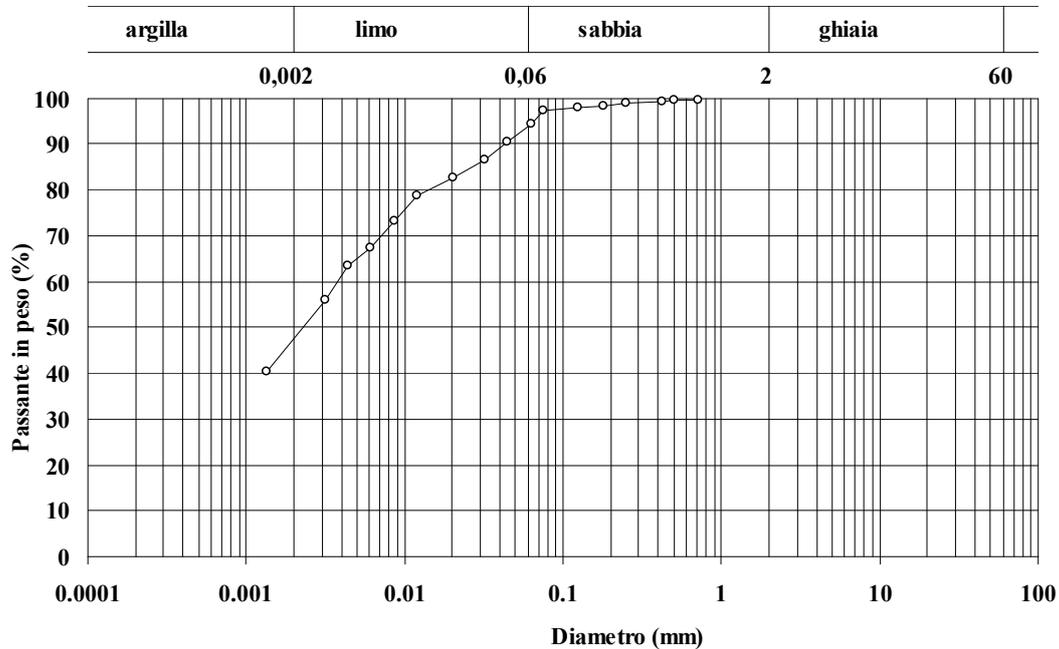
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	95,7
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	40,9
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	54,8

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-03

Campione: C8

Profondità: 41,65 – 42,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
97	0	5	48	47	0.8	0,0038	-



Sondaggio: **Sn-03**

Campione: **C8**

Profondità: **41,65 m – 42,40 m**

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,03 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,26	20,70
contenuto d'acqua (%)	$w =$	18,32	15,51
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,12	17,92
porosità (%)	$n =$	36,06	33,08
indice di porosità	$e =$	0,564	0,494
grado di saturazione (%)	$S_r =$	88,67	85,64
pressione di cella σ_c (kPa)		500	700
contropressione b.p. (kPa)		100	100

Condizioni a rottura

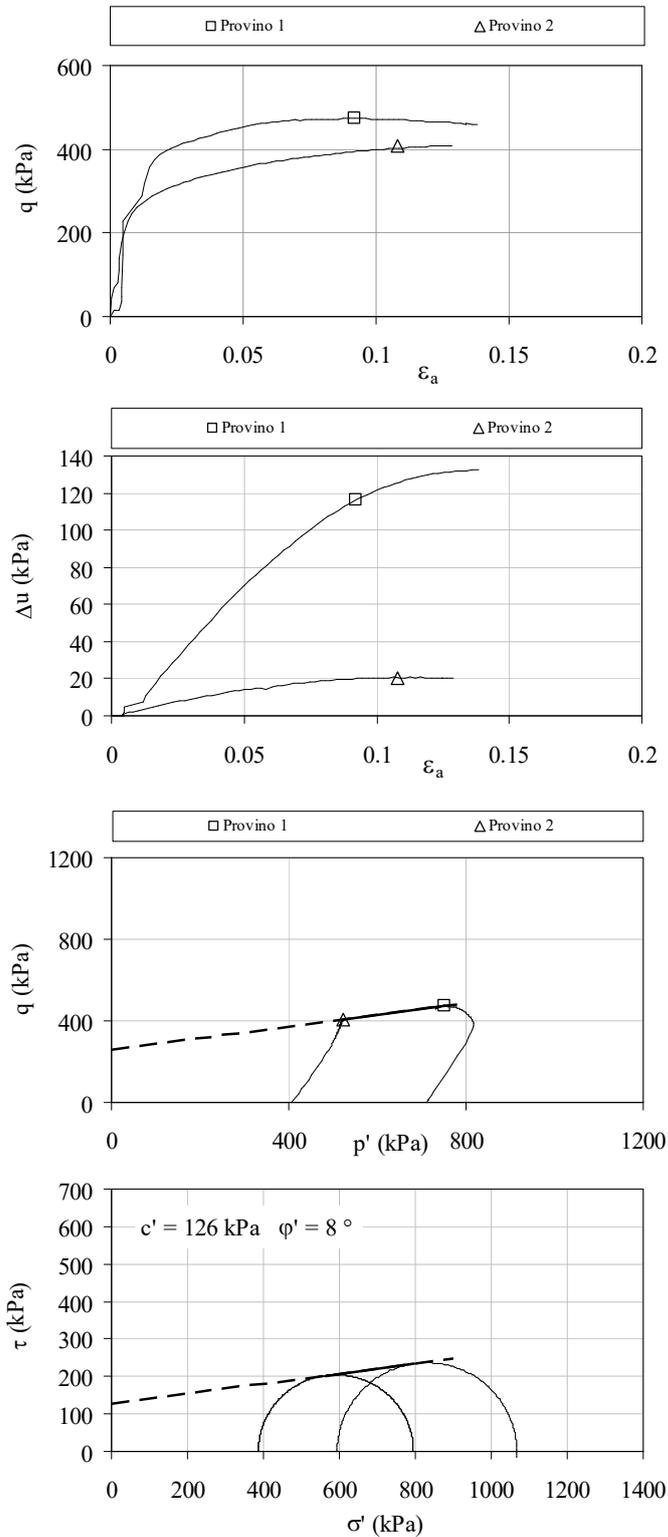
	provino 1	provino 2
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	408	473
deformazione assiale ϵ_a (%)	13	11
incremento di pressione interstiziale Δu (kPa)	21	116

Sondaggio: Sn-03

Campione: C8

Profondità: 41,65 m – 42,40 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-03

Campione: C8

Profondità: 41,65 m – 42,4 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA'
($\text{Na}^+ = 9 \text{ g/l}$)

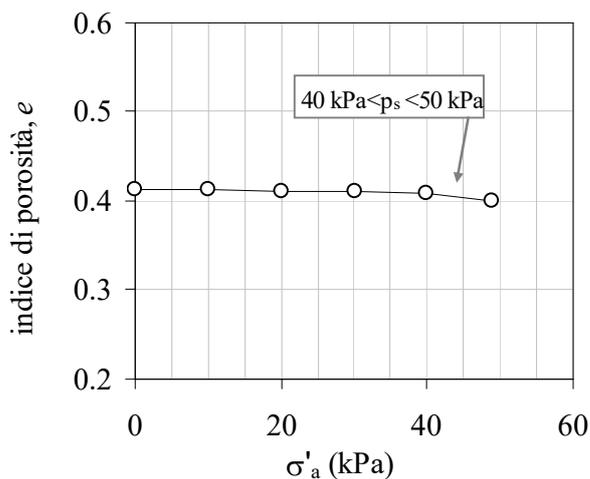
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

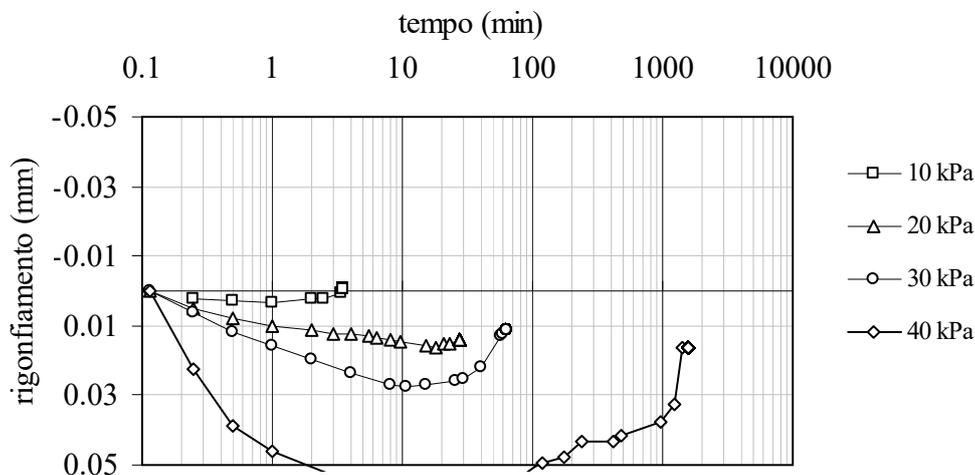
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,81
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,99
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,97
porosità (%)	$n =$	29,18
indice di porosità	$e =$	0,412
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,30



Pressione di rigonfiamento $40 \text{ kPa} < p_s < 50 \text{ kPa}$



Sondaggio: Sn-03

Campione: C8

Profondità: 41,65 m – 42,4 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA NATURALE

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento con la soluzione simile a quella naturale di porosità (9 g/l Na^+), il provino del campione Sn-03 C8 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto il rigonfiamento osmotico riportato in figura 1. Durante l'esposizione ad acqua distillata, l'acqua di cella era stata analizzata e rinnovata frequentemente, determinando la quantità di ioni Na^+ rimossi (Fig.2).

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,81
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,99
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,97
porosità (%)	$n =$	29,18
indice di porosità	$e =$	0,412
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,30

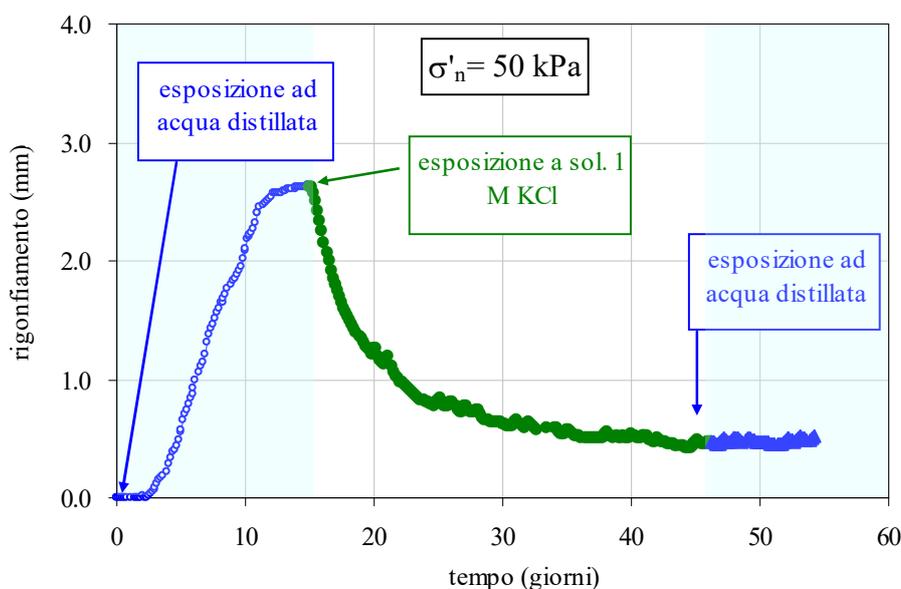


Fig. 1. Processi osmotici di rigonfiamento per esposizione ad acqua distillata e consolidazione per esposizione a soluzione 1 M KCl

Sondaggio: Sn-03

Campione: C8

Profondità: 41,65 m – 42,4 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA NATURALE

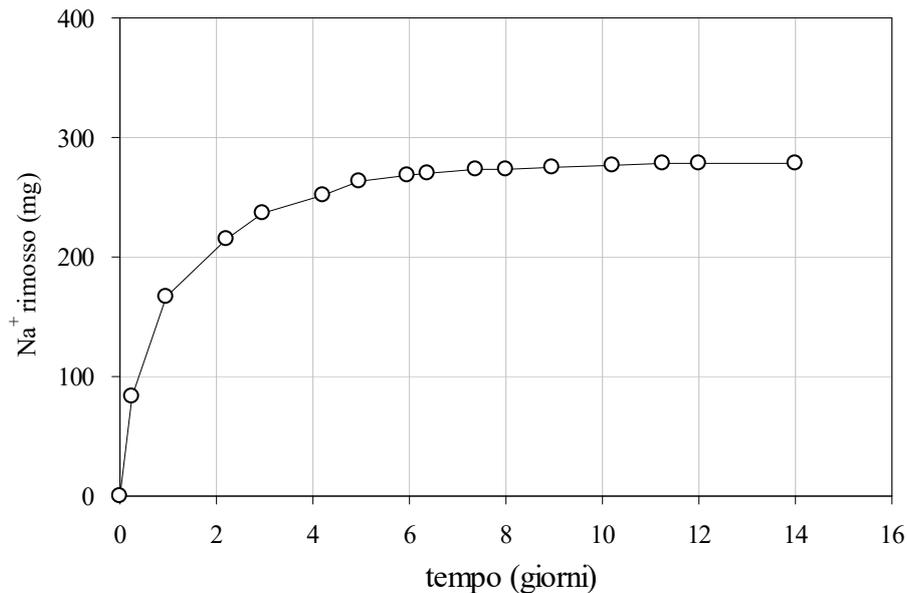


Fig. 2. Peso di Na⁺ rimosso dal fluido interstiziale durante la fase di rigonfiamento osmotico

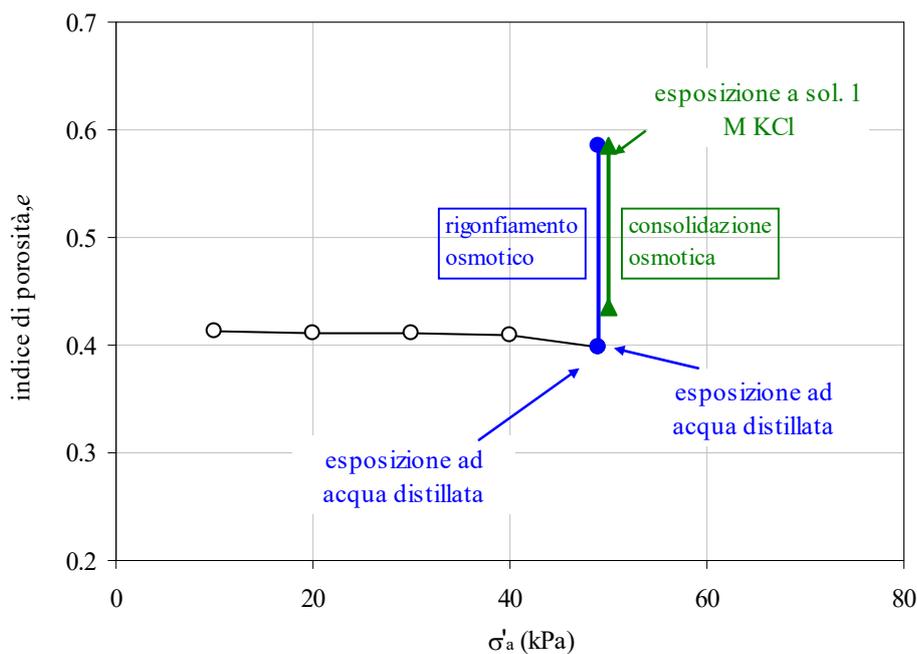


Fig. 3. Processi osmotici di rigonfiamento e consolidazione nel piano e -log σ'_n

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn 04

Campione: C3

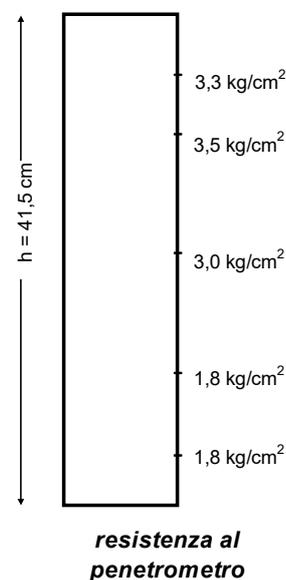
Profondità: 14,0 m – 14,5 m

Data di apertura: 21/10/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato

Lunghezza: 41,5 cm

Descrizione del campione: Terreno argilloso di colore grigio a stratificazione perpendicolare all'asse, con alternanza di strati limosi e sabbiosi. Presenza di elementi a consistenza lapidea, della stessa natura del campione (litorelitti della formazione).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,75		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,65	19,24	19,56
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,72	21,03	20,88
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,92	17,63	17,46
porosità (%)	$n =$	33,57	34,64	35,27
indice di porosità	$e =$	0,505	0,530	0,545
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,13	99,14	98,72

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	7,8
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	53,3
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	29,1
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	24,2

Sondaggio: Sn-04

Campione: C3

Profondità: 14,0 m – 14,5 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

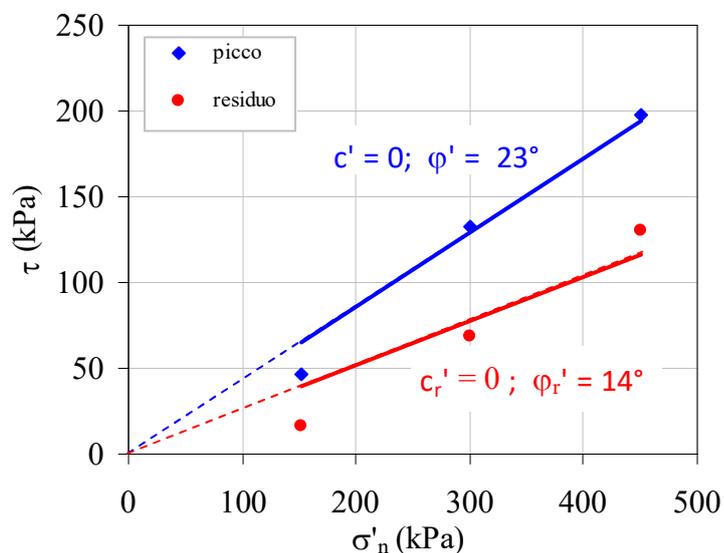
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 25 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,22	20,72	21,03
contenuto d'acqua (%)	$w =$	17,82	15,65	19,84
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,16	17,92	17,63
porosità (%)	$n =$	36,40	33,57	34,64
indice di porosità	$e =$	0,572	0,505	0,530
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,64	85,13	99,84



$\sigma'_n = 300 \text{ kPa}$



Sondaggio: Sn-04

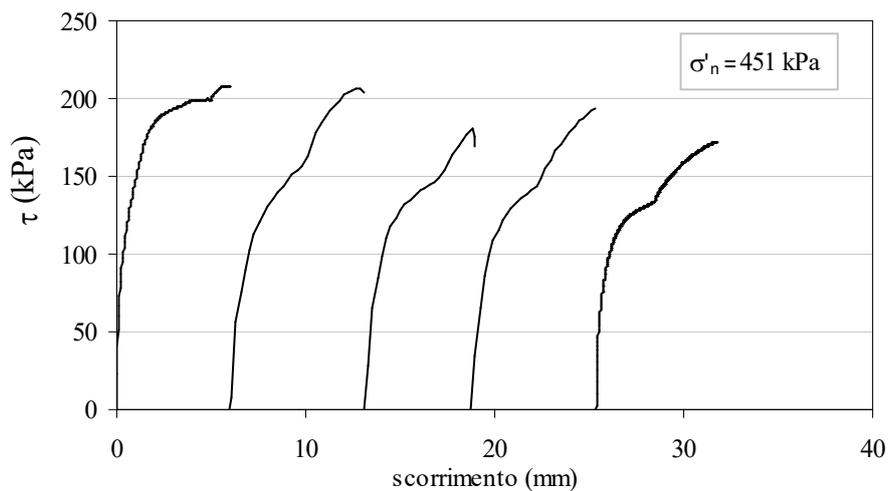
Campione: C3

Profondità: 14,0 m – 14,5 m

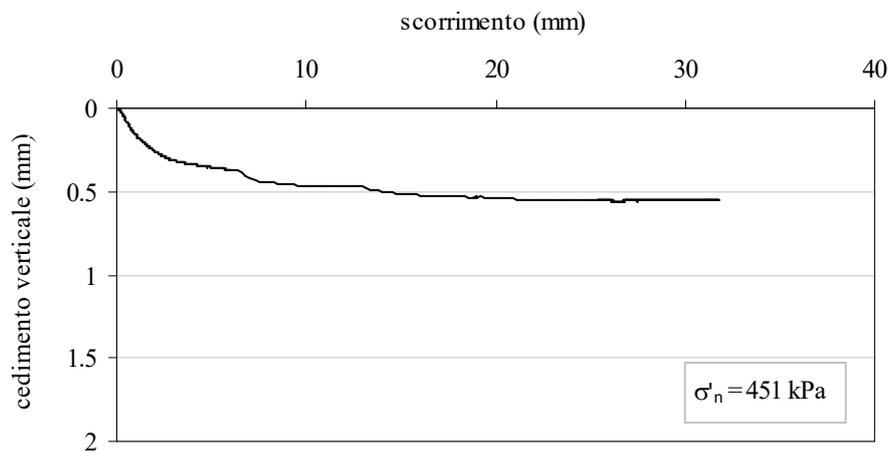
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Sondaggio: Sn-01

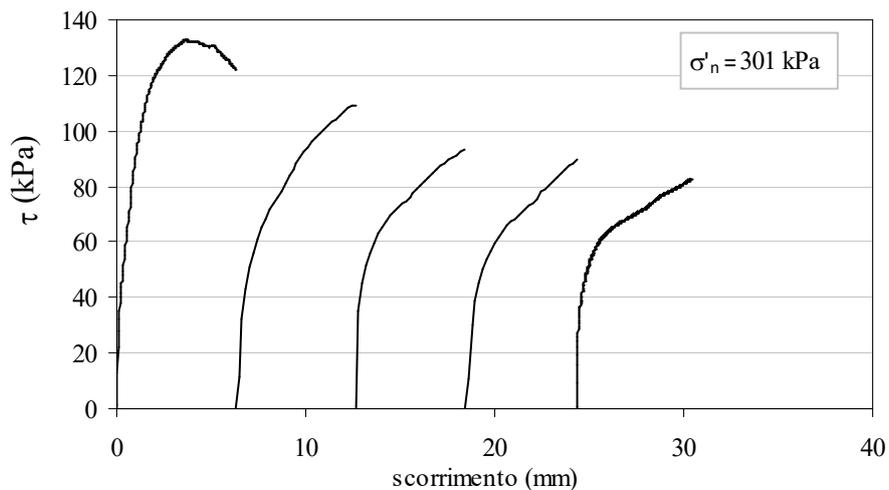
Campione: C4

Profondità: 25,0 m – 25,3 m

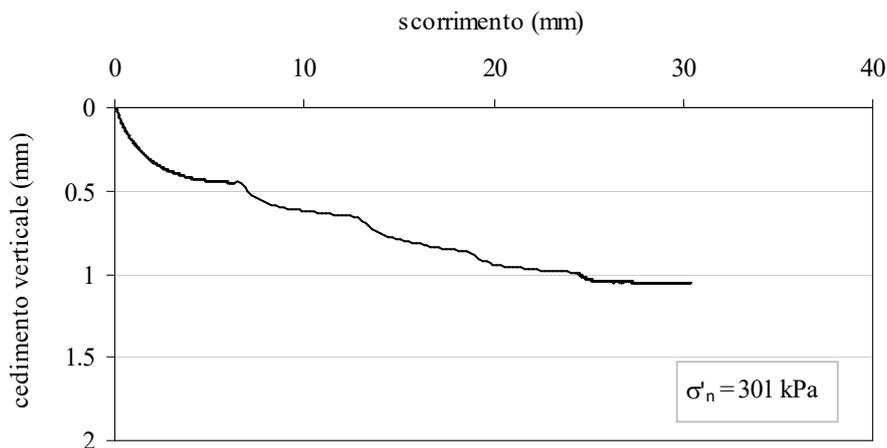
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: Sn-03

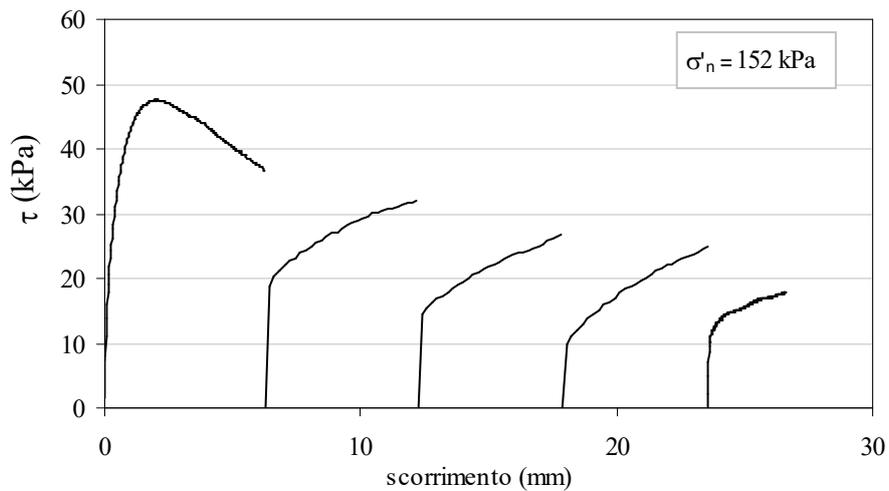
Campione: C4

Profondità: 20,0 m – 20,7 m

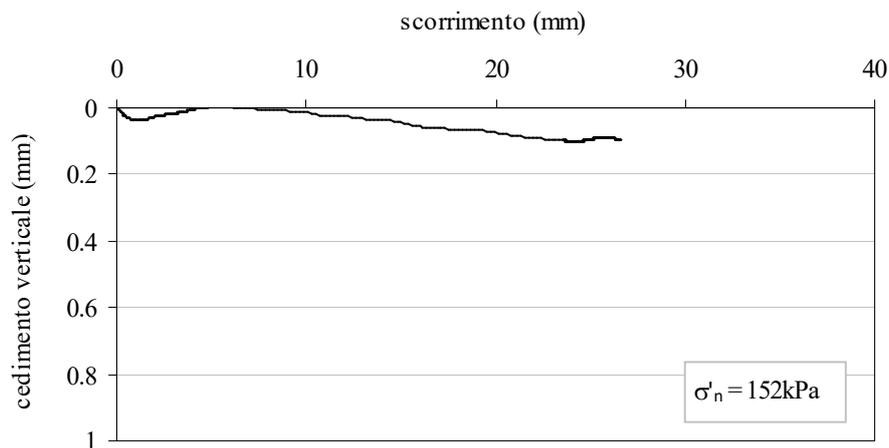
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 3

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: Sn-04

Campione: C3

Profondità: 14,0 - 14,5 m

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

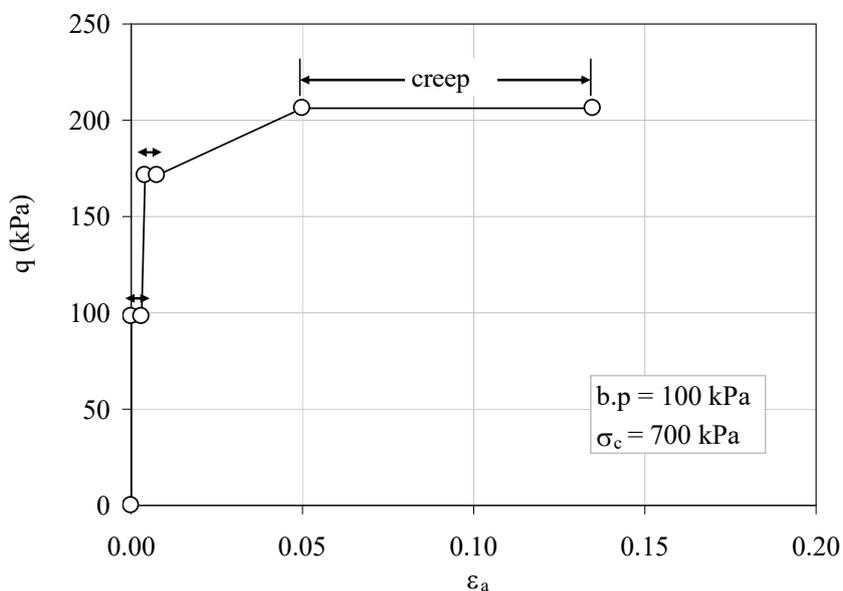
prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,26
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,56
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,67
porosità (%)	$n =$	38,21
indice di porosità	$e =$	0,618
grado di saturazione (%)	$S_r =$	95,88

pressione di cella $\sigma_c = 700$ kPa

contropressione b.p. 100 kPa



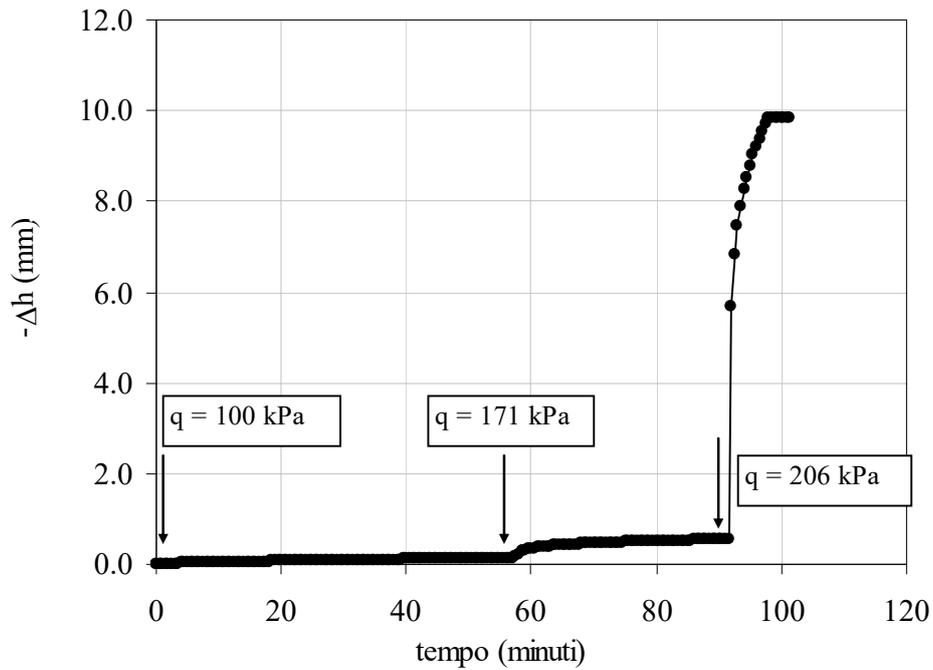
Deviatore degli sforzi in funzione della deformazione assiale

Sondaggio: Sn-04

Campione: C3

Profondità: 14,0 - 14,5 m

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE



Riduzione di altezza del provino in funzione del tempo di applicazione dei deviatori degli sforzi.

Sondaggio: Sn-04

Campione: C3

Profondità: 14,0 m – 14,5 m

PROVA HUDER-AMBERG

dimensioni iniziali del provino

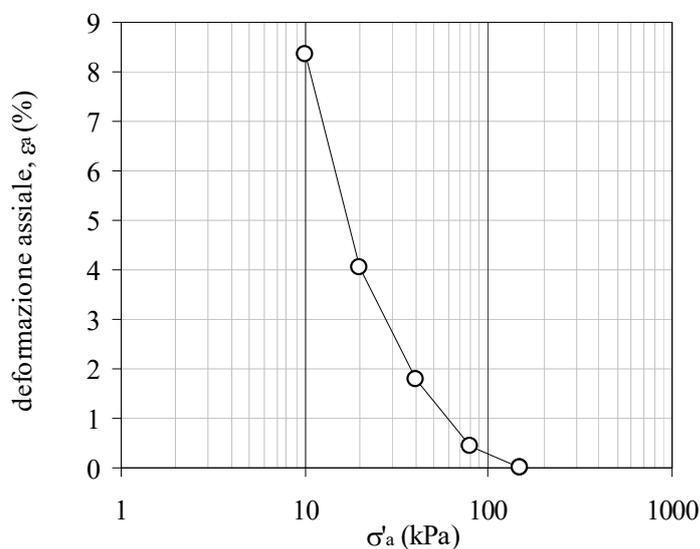
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,88
contenuto d'acqua (%)	$w =$	19,56
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,46
porosità (%)	$n =$	35,27
indice di porosità	$e =$	0,545
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,72

tensione assiale σ'_a (kPa)	150	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	19,38	19,33	19,46	19,72	20,16	20,99
indice di porosità e	0,497	0,493	0,503	0,523	0,557	0,622



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-04

Campione: C3

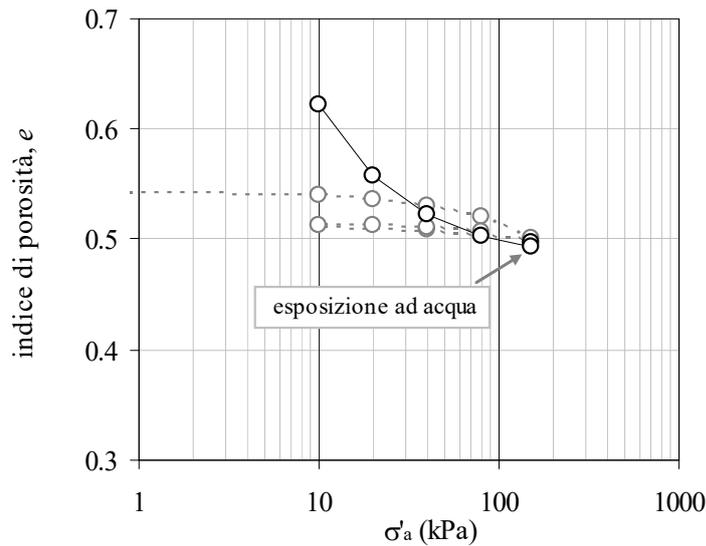
Profondità: 14,0 m – 14,5 m

PROVA HUDER-AMBERG

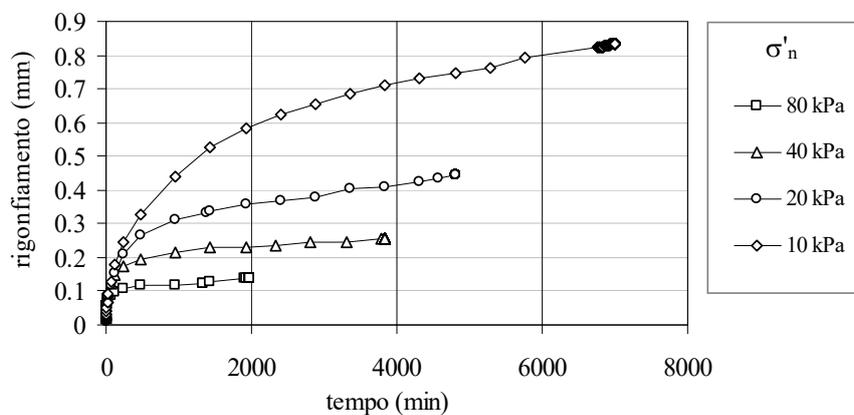
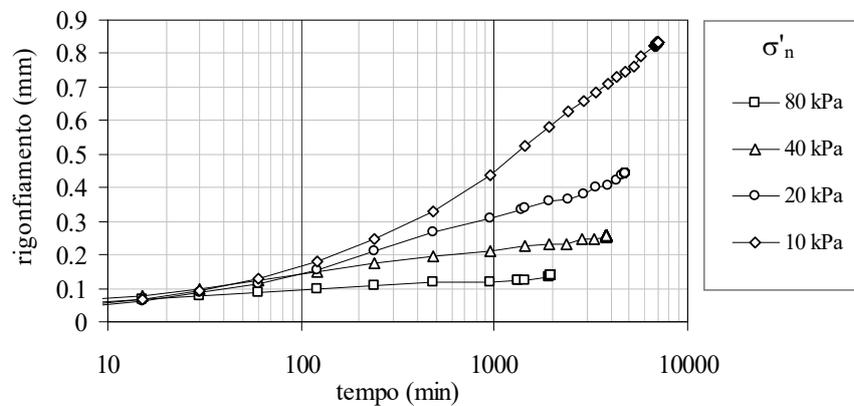
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Caterina Di Maio

Sondaggio: **Sn-04**

Campione: **C4**

Profondità: **15,4 m – 15,8 m**

Data di apertura: 15/10/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato

Lunghezza 40 cm

Descrizione.: Terreno di colore grigio con stratificazione perpendicolare all'asse. Presenza di vene di calcite. All'estrazione, il campione è risultato diviso in due parti. Il terreno sembra molto consistente: lungo tutta l'altezza del campione il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

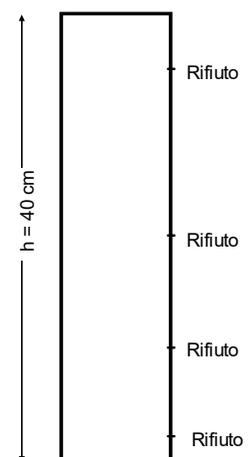
peso specifico del solido	$G_s =$	2,75		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,55	12,20	14,13
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,64	21,92	22,07
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,90	19,54	19,34
porosità (%)	$n =$	29,96	27,57	28,32
indice di porosità	$e =$	0,428	0,381	0,395
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,54	88,17	98,34

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	9,0
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	67,3
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	32,4
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	34,9

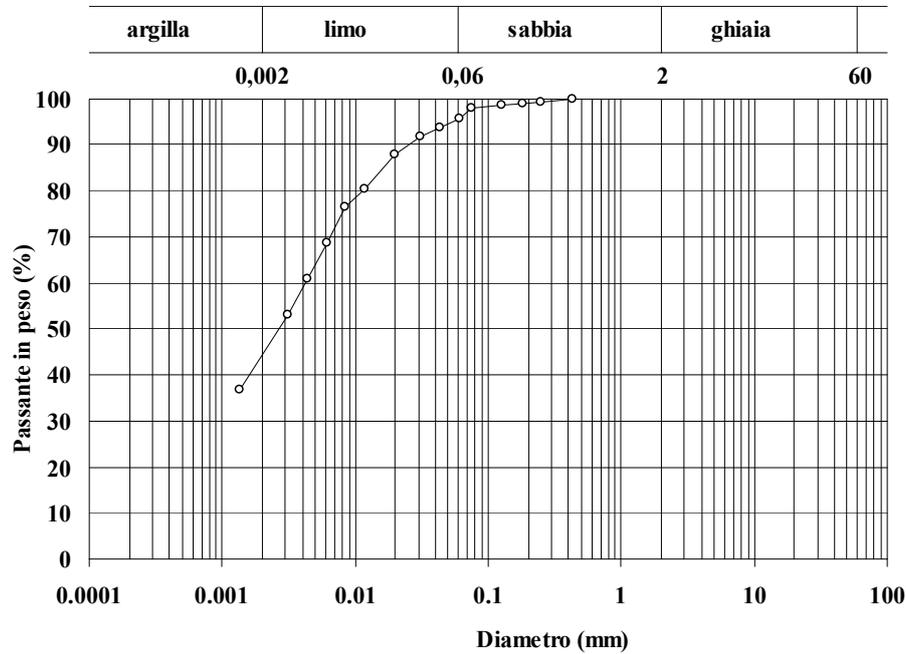


resistenza al penetrometro tascabile

Sondaggio: Sn-04

Campione: C4

Profondità: 15,4 – 15,8 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
98	0	3	52	45	0.5	0,0042	-

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-04

Campione: C4

Profondità: 15,4 m – 15,8 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 33 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,2 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,81	21,64	21,92
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,55	14,55	12,20
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	19,04	18,90	19,54
porosità (%)	$n =$	29,43	29,96	27,57
indice di porosità	$e =$	0,417	0,428	0,381
grado di saturazione (%)	$S_r =$	95,95	93,54	88,17
pressione di cella σ_c (kPa)		100	200	300

Condizioni a rottura:

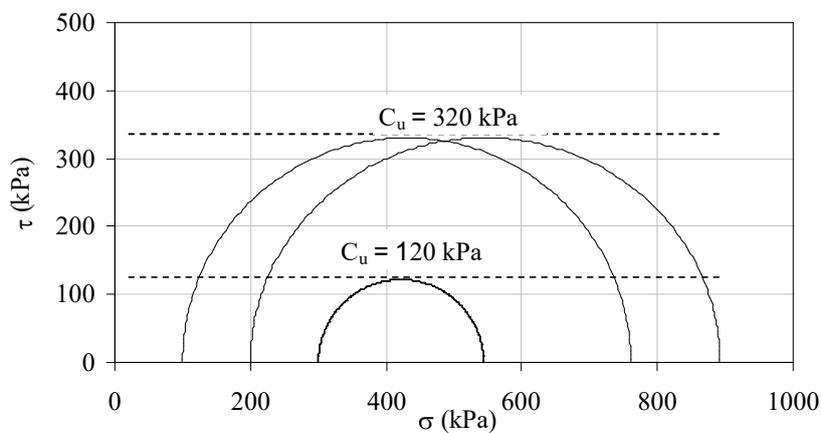
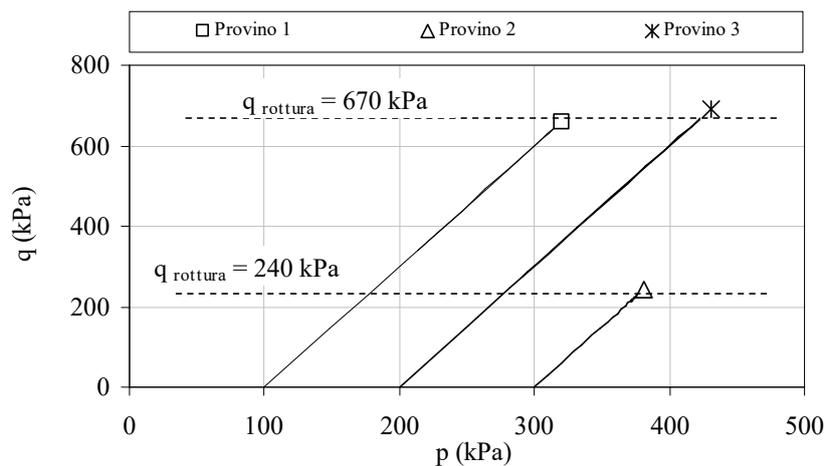
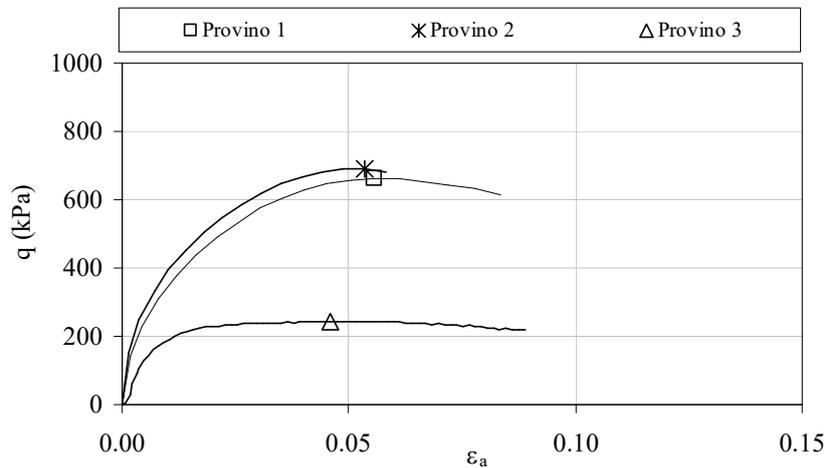
	provino 1	provino 2	provino 3
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	660	692	244
deformazione assiale ϵ_a (%)	6	5	5

Sondaggio: Sn-04

Campione: C4

Profondità: 15,4 m – 15,8 m

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-04

Campione: C4

Profondità: 15,4 m – 15,8 m

PROVA HUDER-AMBERG

dimensioni iniziali del provino

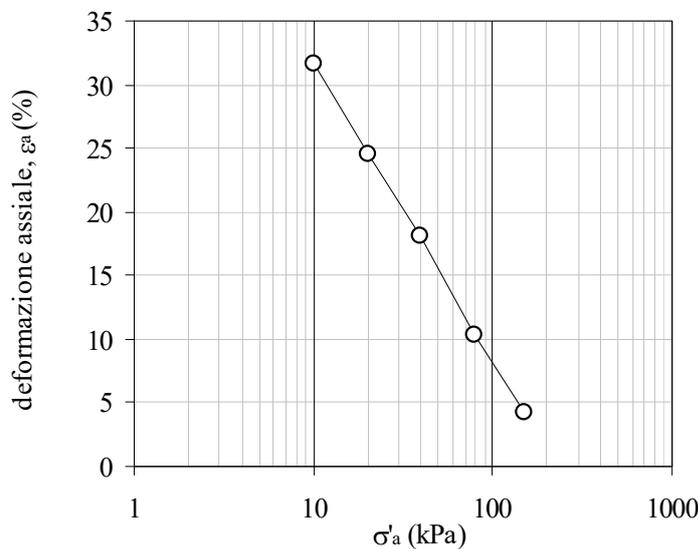
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	22,07
contenuto d'acqua (%)	$w =$	14,13
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	19,34
porosità (%)	$n =$	28,32
indice di porosità	$e =$	0,395
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,34

tensione assiale σ'_a (kPa)	150	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	19,70	20,54	21,74	23,28	24,53	25,94
indice di porosità e	0,374	0,433	0,516	0,624	0,711	0,810



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-04

Campione: C4

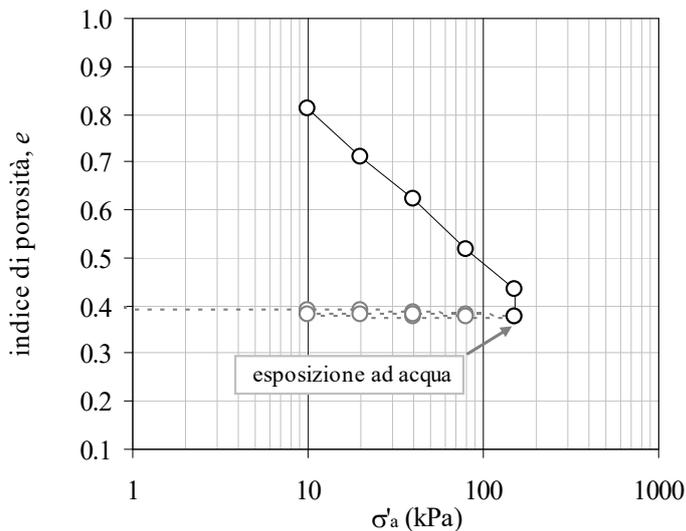
Profondità: 15,4 m – 15,8 m

PROVA HUDER-AMBERG

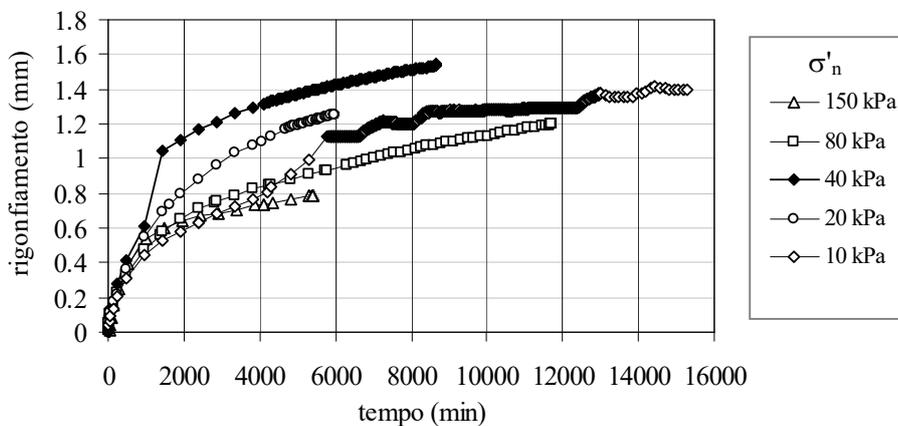
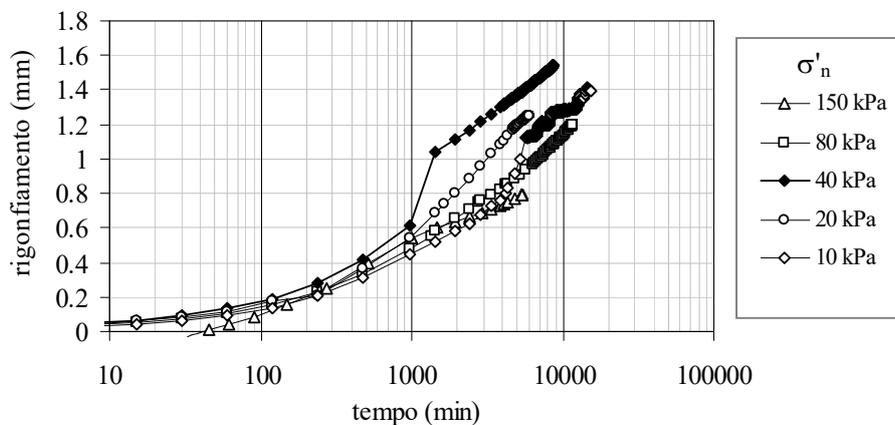
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Caterina Di Maio

Sondaggio: **Sn-04**

Campione: **C5**

Profondità: **18 m – 18,5 m**

Data di apertura: 27/09/2019

Stato del campione: parzialmente disturbato alle estremità

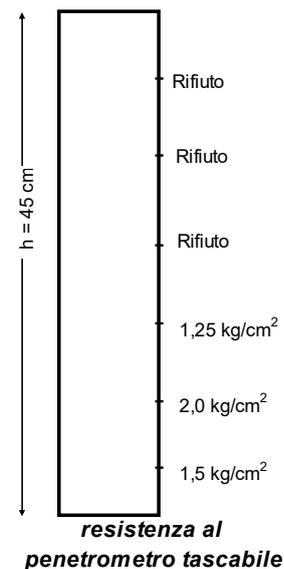
Lunghezza campione: 45 cm

Descrizione. Terreno argilloso di colore grigio a stratificazione perpendicolare all'asse, con vene di calcite, molto consistente nella parte centrale.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,75		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,22	21,22	16,27
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,28	20,14	21,12
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,73	16,62	18,16
porosità (%)	$n =$	37,98	38,40	32,68
indice di porosità	$e =$	0,612	0,623	0,485
grado di saturazione (%)	$S_r =$	95,27	93,59	92,19



CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	8,0
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

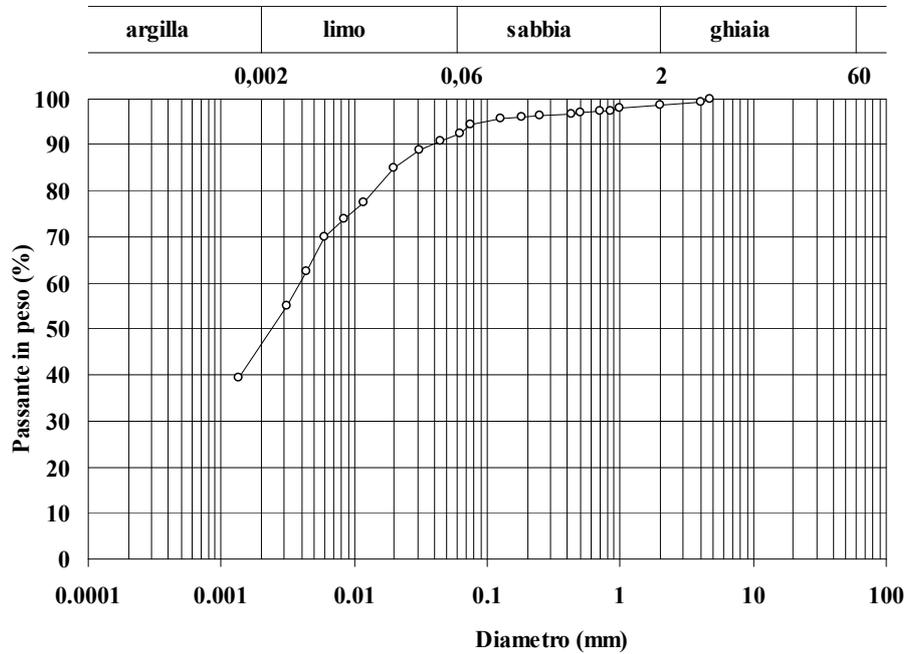
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	69,1
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	33,9
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	35,2

Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18 – 18,5 m



Classifica granulometrica: Argilla con limo debolmente sabbiosa

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
94	1	5	46	48	5	0,004	-

Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

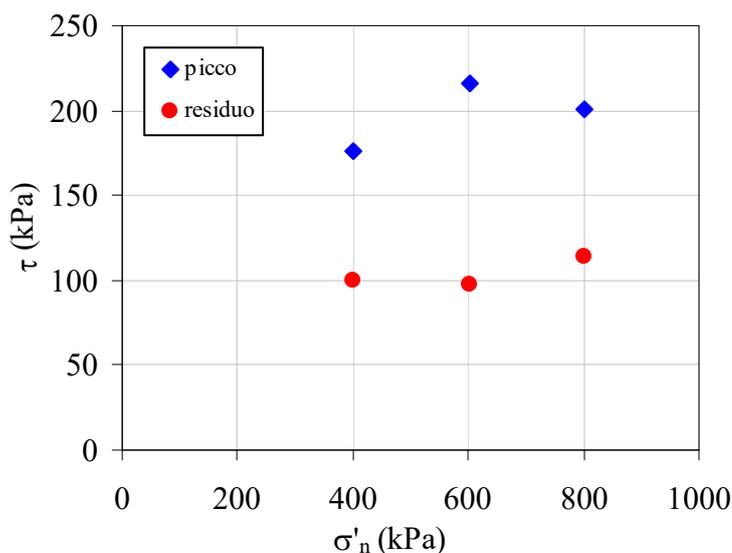
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 25 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,14	21,09	20,91
contenuto d'acqua (%)	$w =$	13,86	14,78	14,78
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,57	18,37	18,21
porosità (%)	$n =$	31,16	31,89	32,48
indice di porosità	$e =$	0,453	0,468	0,481
grado di saturazione (%)	$S_r =$	84,21	86,81	84,47



A causa della presenza di elementi lapidei lungo la fascia di scorrimento, i punti sperimentali di tre provini del singolo campione sono difficilmente interpretabili in termini di parametri di resistenza del criterio di Mohr Coulomb. Confrontando gli stessi punti sperimentali a quelli ottenuti per altri campioni della stessa formazione, allora i dati possono essere interpretati ponendo:

- per il picco $c'_r = 0$ e $\varphi'_r = 25^\circ$;
- per il residuo $c'_r = 0$ e $\varphi'_r = 10^\circ$

Sondaggio: Sn-04

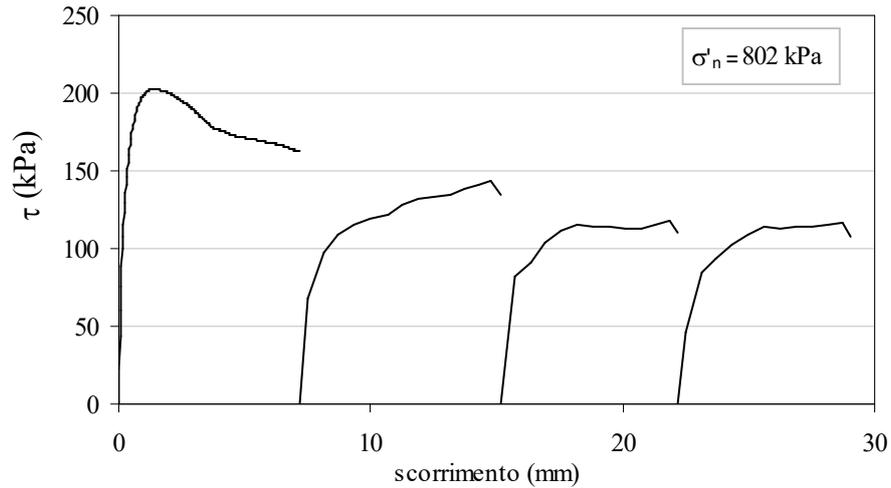
Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

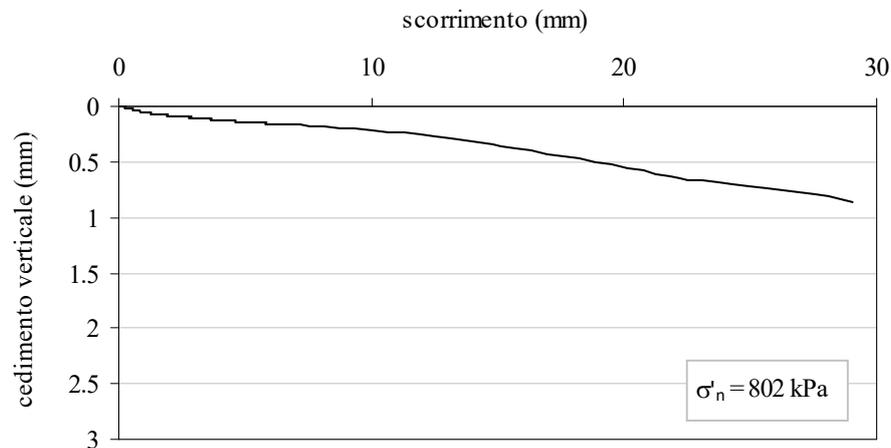
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: Sn-04

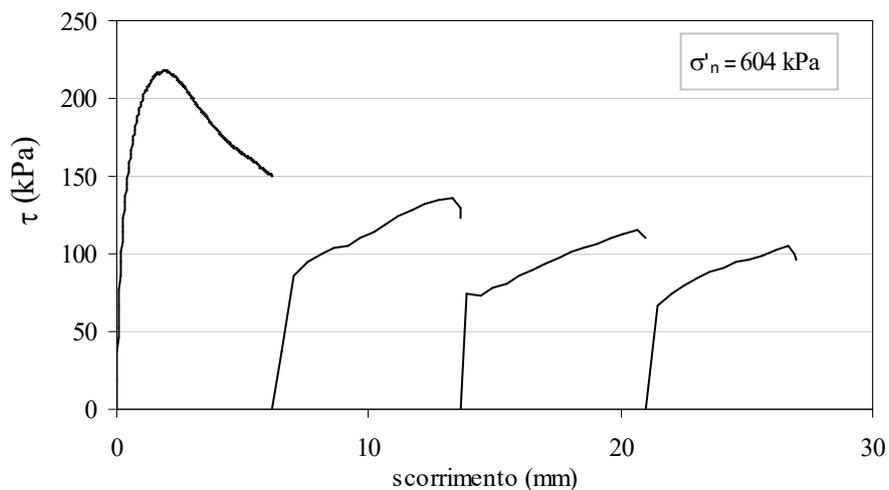
Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

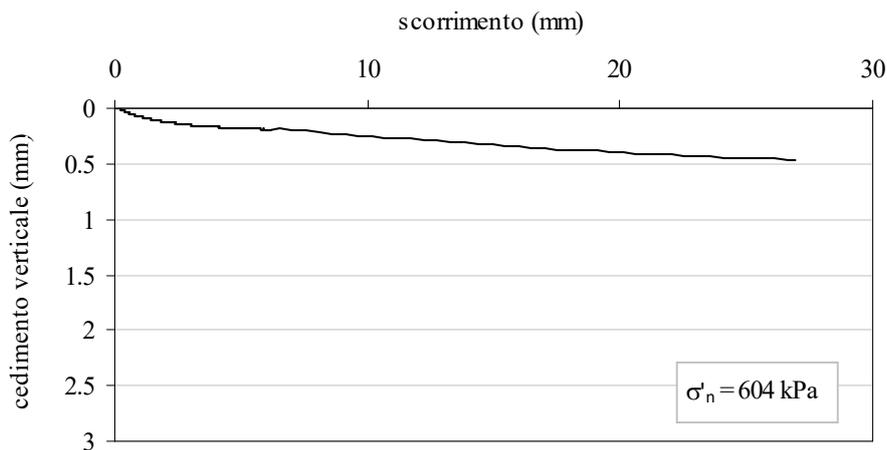
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



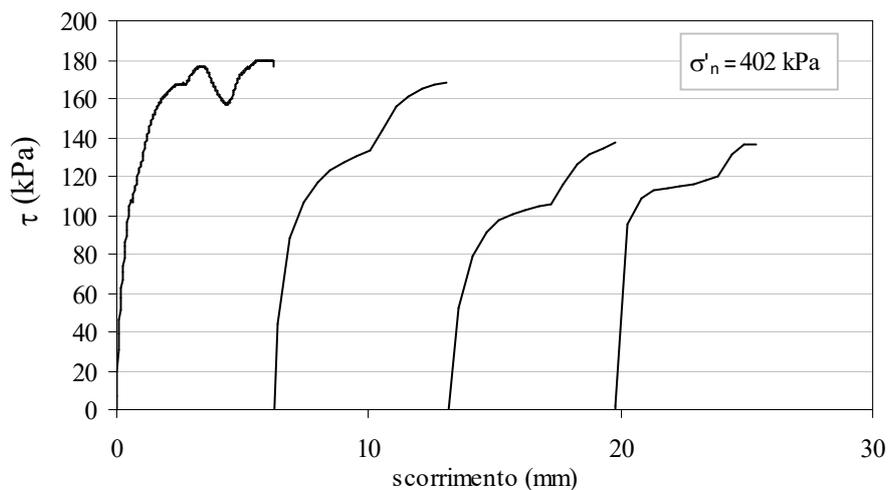
Curve cedimento verticale



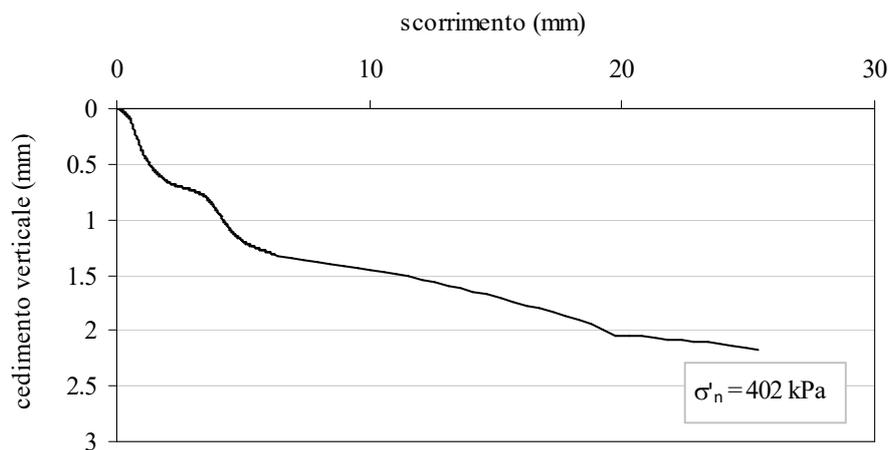
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 3

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: **Sn-04**

Campione: **C5**

Profondità: **18,0 m – 18,5 m**

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 33 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,2 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,30	20,28	20,14
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,22	21,22	21,22
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,75	16,73	16,62
porosità (%)	$n =$	37,92	37,98	38,40
indice di porosità	$e =$	0,611	0,612	0,623
grado di saturazione (%)	$S_r =$	95,52	95,27	93,59
pressione di cella σ_c (kPa)		200	400	300

Condizioni a rottura:

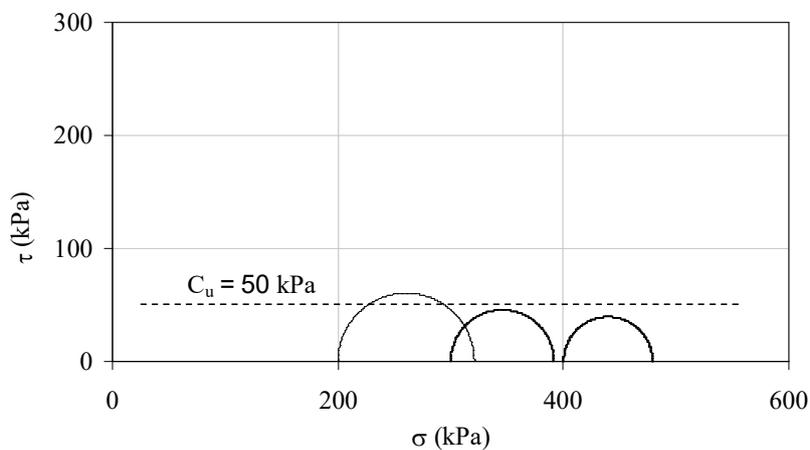
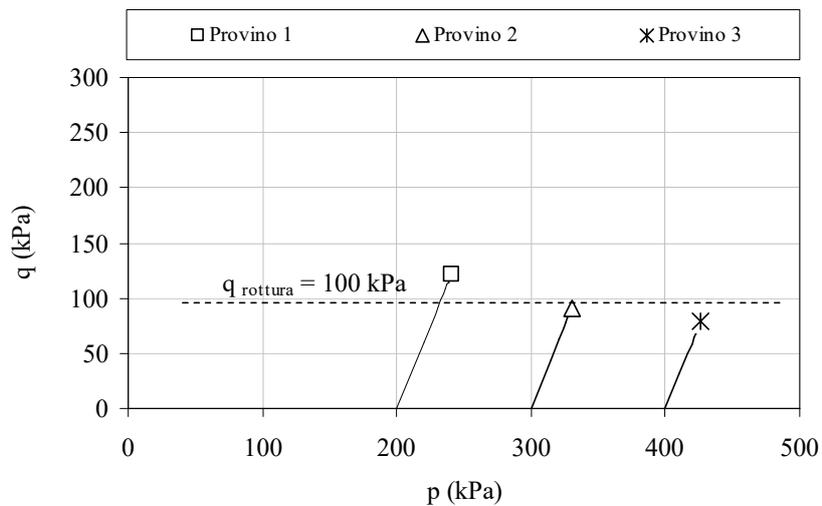
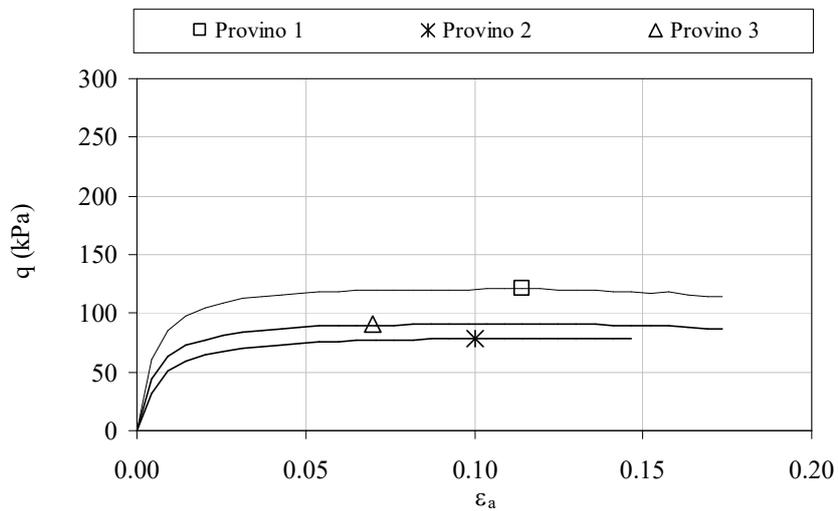
	provino 1	provino 2	provino 3
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	121	79	91
deformazione assiale ϵ_a (%)	11	10	7

Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA



Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

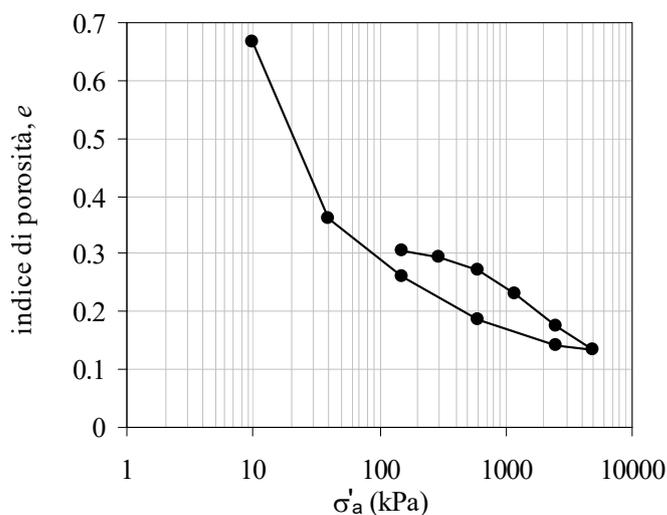
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali:

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,76
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,46
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,98
porosità (%)	$n =$	33,35
indice di porosità	$e =$	0,500
grado di saturazione (%)	$S_r =$	84,98

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
150	19,74	0,307	
300	19,55	0,294	15,40
600	19,20	0,271	16,65
1200	18,57	0,230	18,01
2500	17,77	0,177	29,57
5000	17,15	0,136	70,15
2500	17,21	0,140	
600	17,93	0,187	
150	19,02	0,260	
40	20,55	0,361	
10	25,16	0,666	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

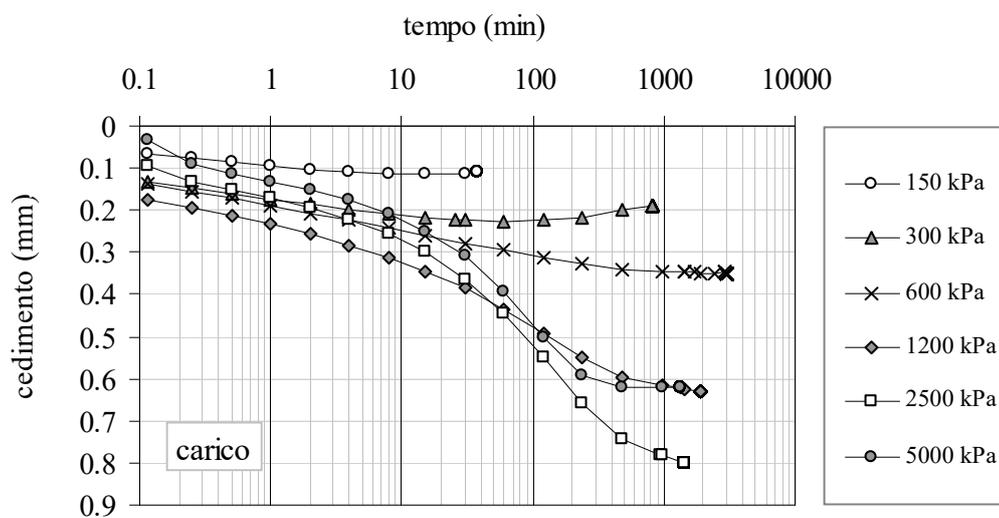
PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino:

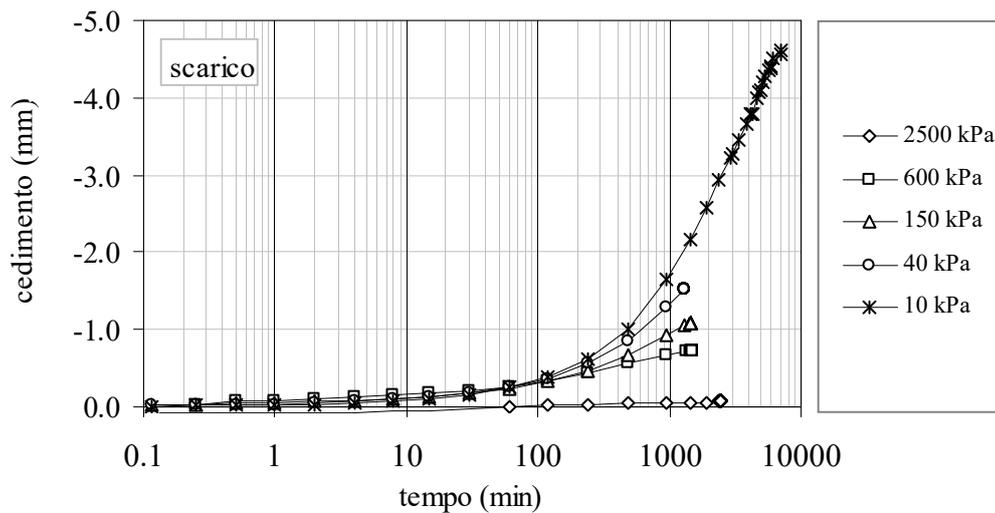
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Curve di consolidazione



Curve di rigonfiamento



Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

Profondità: 18,0 m – 18,5 m

PROVA HUDER-AMBERG

dimensioni iniziali del provino:

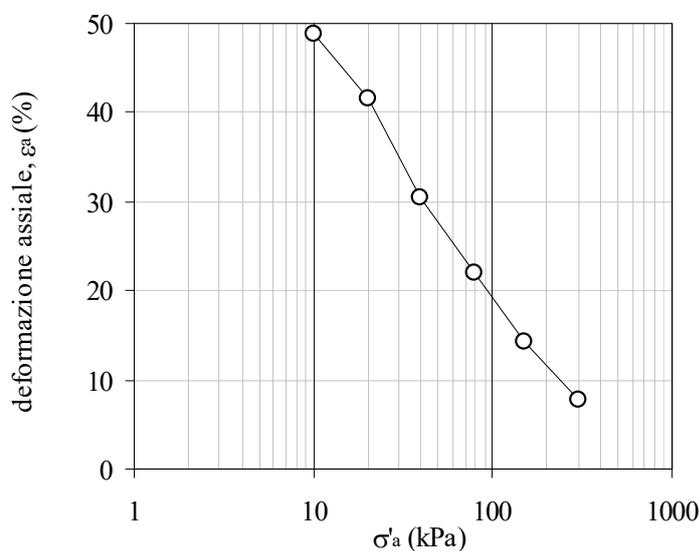
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,12
contenuto d'acqua (%)	$w =$	16,27
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,16
porosità (%)	$n =$	32,68
indice di porosità	$e =$	0,485
grado di saturazione (%)	$S_r =$	92,19

tensione assiale σ'_a (kPa)	300	300	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	17,50	18,86	20,01	21,34	22,84	24,79	26,05
indice di porosità e	0,300	0,401	0,486	0,585	0,696	0,841	0,935



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-04

Campione: C5

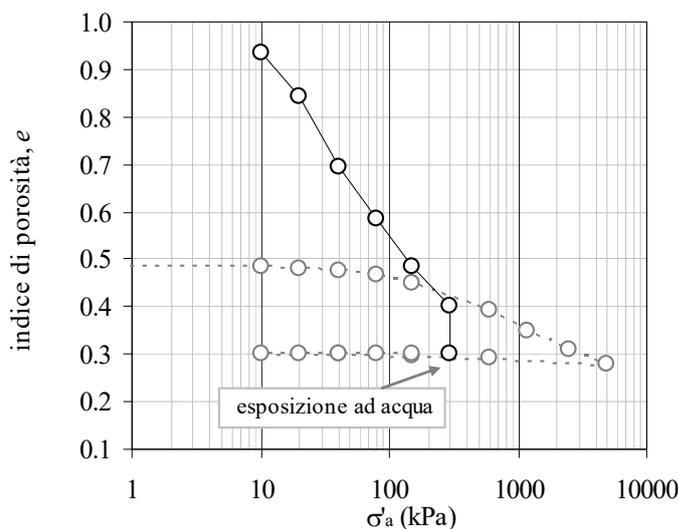
Profondità: 18,0 m – 18,5 m

PROVA HUDER-AMBERG

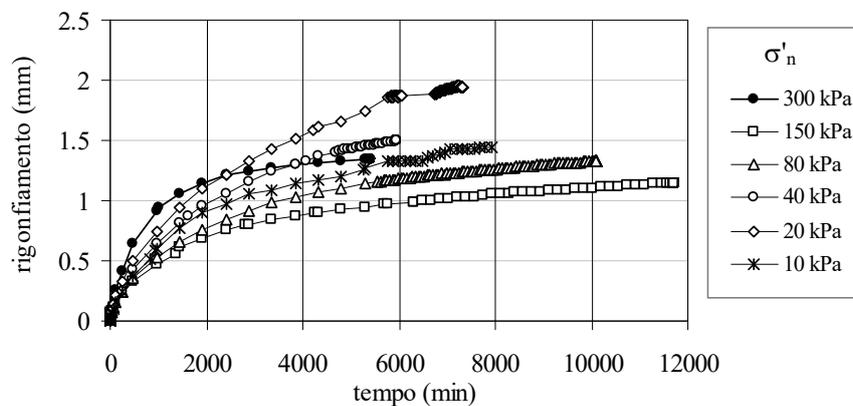
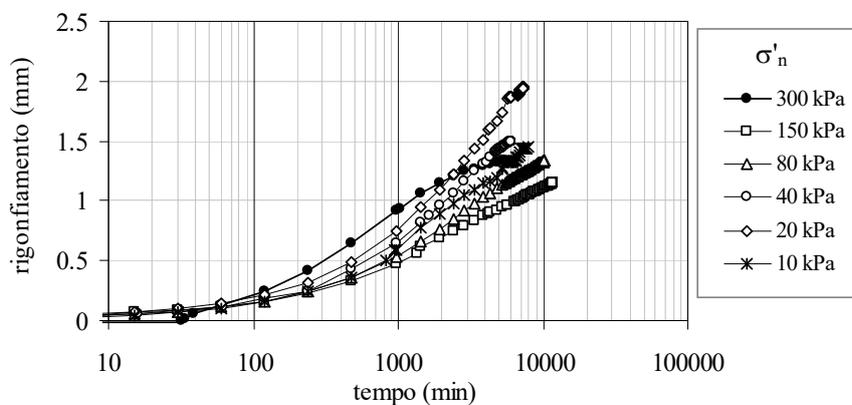
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Sondaggio: **Sn-04**

Campione: **C6**

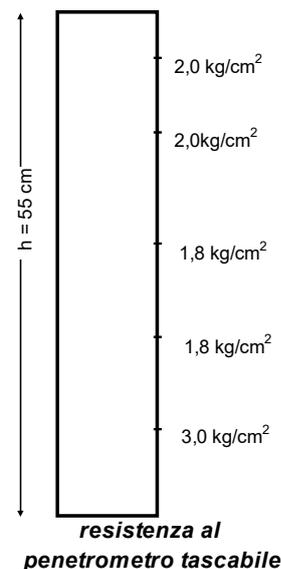
Profondità: **22 m – 22,4 m**

Data di apertura: 22/10/2019

Stato del campione: indisturbato

Lunghezza: 55 cm

Descrizione del campione: Terreno argilloso di colore grigio con presenza di elementi a consistenza lapidea della stessa natura del terreno. Terreno di media consistenza.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico solido	$G_s =$	2,78		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	22,91	22,91	24,00
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,20	20,14	20,29
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,44	16,38	16,37
porosità (%)	$n =$	39,73	39,93	39,99
indice di porosità	$e =$	0,659	0,665	0,666
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,63	95,83	100

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	10,3
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

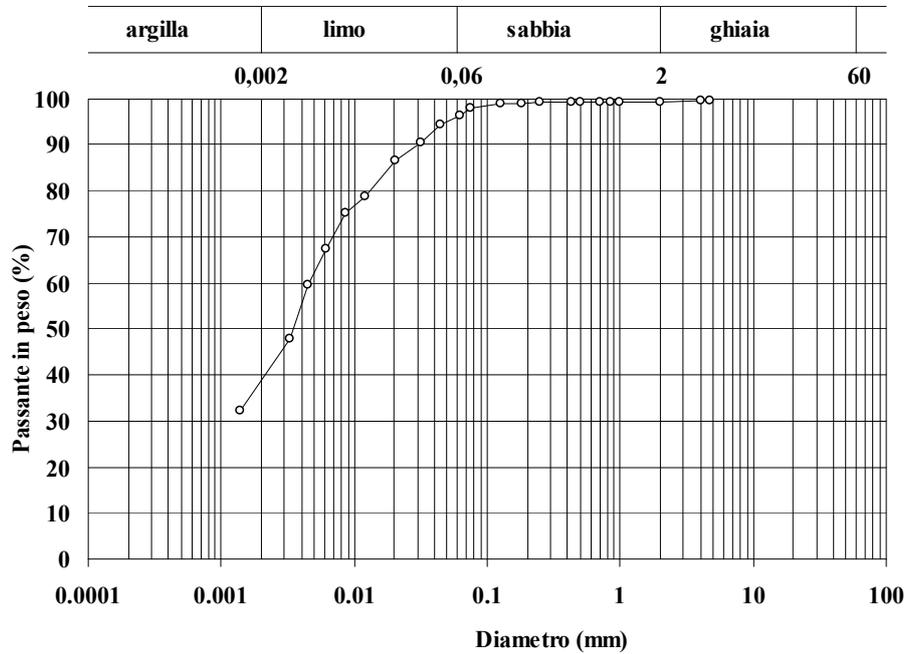
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	69,8
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	36,0
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	33,8

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22 – 22,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
98	1	2	57	40	5	0,0045	-

Caterina Di Maio



Sondaggio: **Sn-04**

Campione: **C6**

Profondità: **22,0 m – 22,4 m**

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 33 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,2 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3	provino 4
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,95	20,26	20,20	20,14
contenuto d'acqua (%)	$w =$	22,41	22,41	22,91	22,91
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,30	16,55	16,44	16,38
porosità (%)	$n =$	40,25	39,32	39,73	39,93
indice di porosità	$e =$	0,674	0,648	0,659	0,665
grado di saturazione (%)	$S_r =$	92,50	96,17	96,63	95,83
pressione di cella σ_c (kPa)		200	350	450	200

Condizioni a rottura

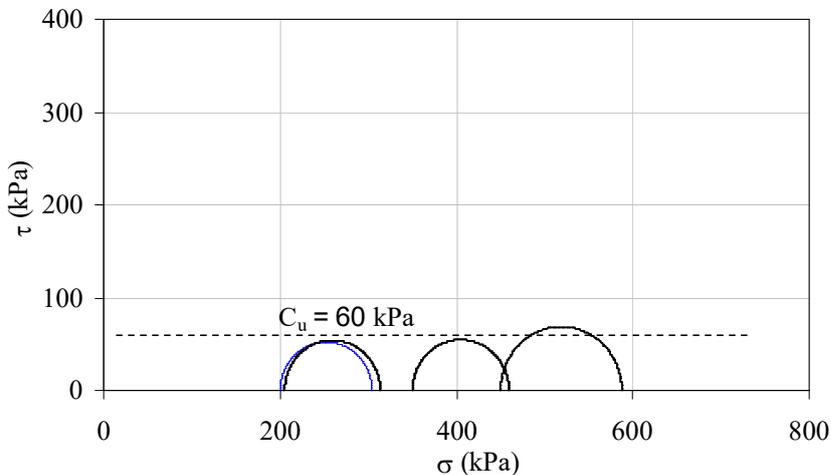
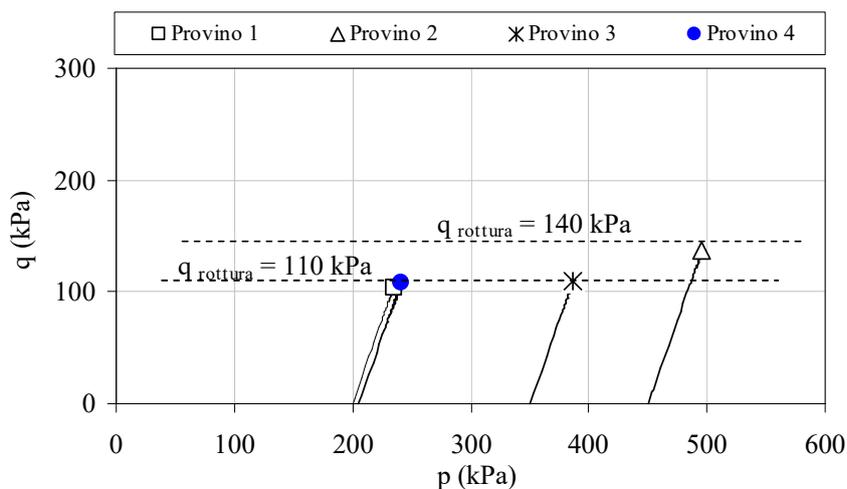
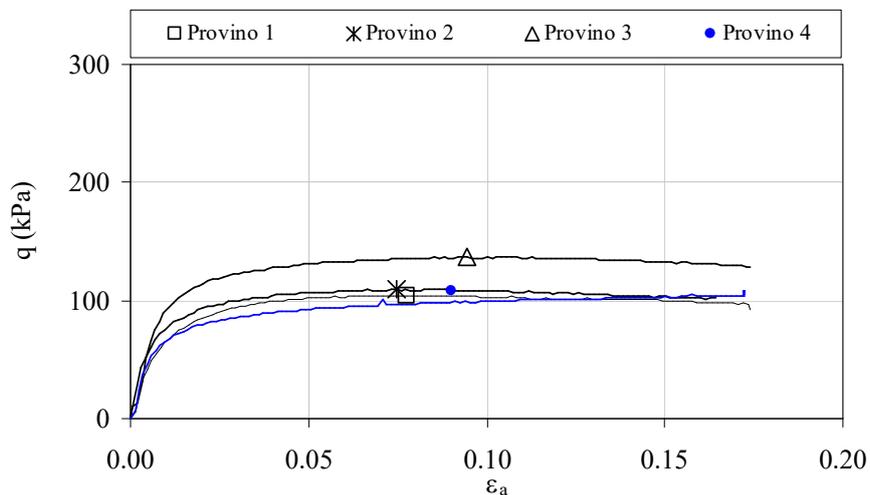
	provino 1	provino 2	provino 3	provino 4
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	104	109	137	108
deformazione assiale ε_a (%)	8	7	9	9

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22,0 m – 22,4 m

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22,0 - 22,4 m

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE

dimensioni iniziali del provino:

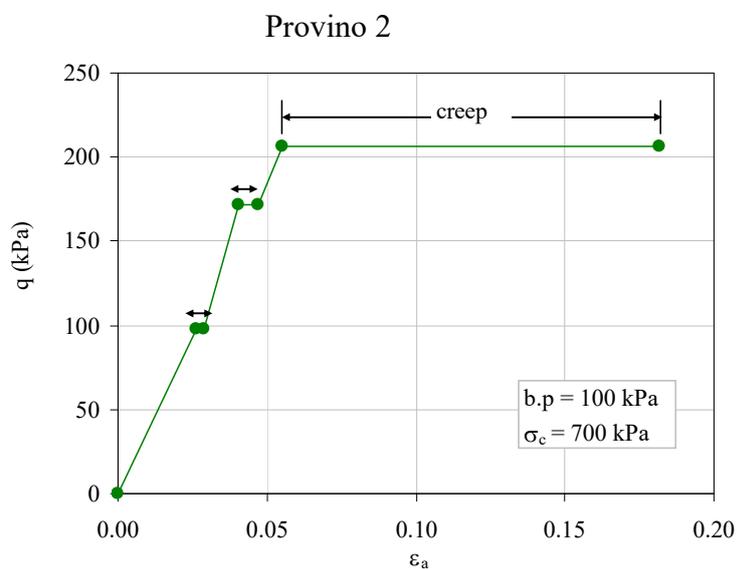
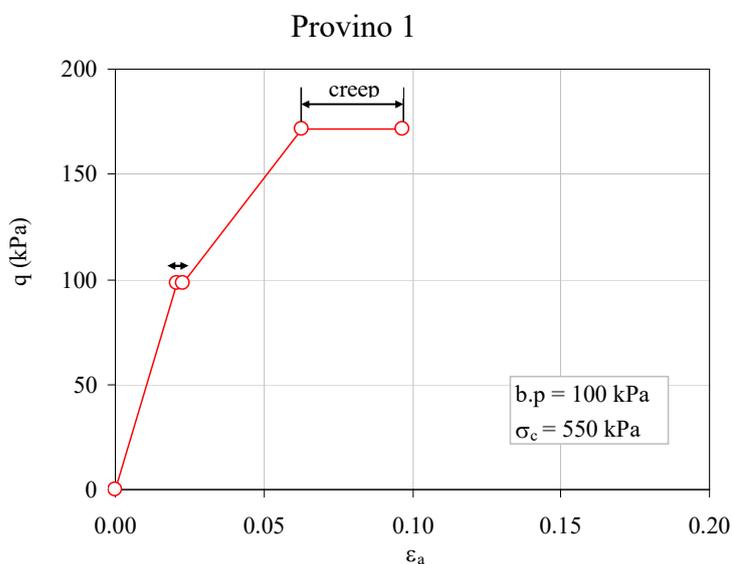
diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

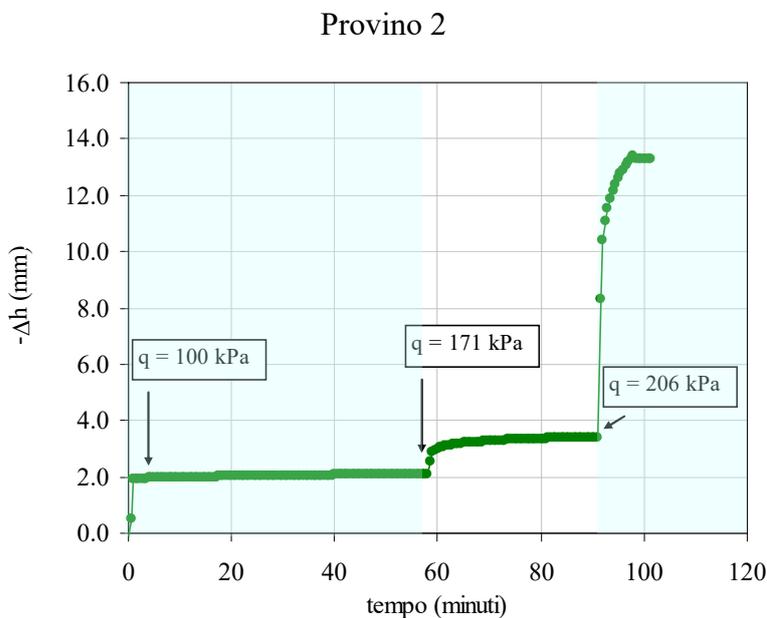
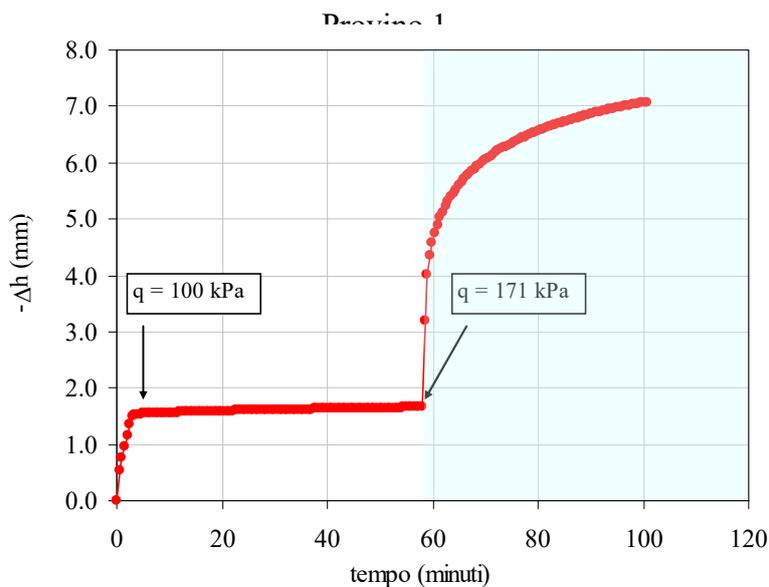
Condizioni iniziali:

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,92	19,94
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,02	21,16
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,19	16,46
porosità (%)	$n =$	40,62	39,66
indice di porosità	$e =$	0,684	0,657
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,53	89,49
pressione di cella σ_c (kPa)		550	700
contropressione b.p. (kPa)		100	100



Deviatore degli sforzi q - deformazione assiale ε_a

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE



Variazioni di altezza dei provini nel tempo

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22,0 m – 22,4 m

PROVA HUDER-AMBERG

dimensioni iniziali del provino

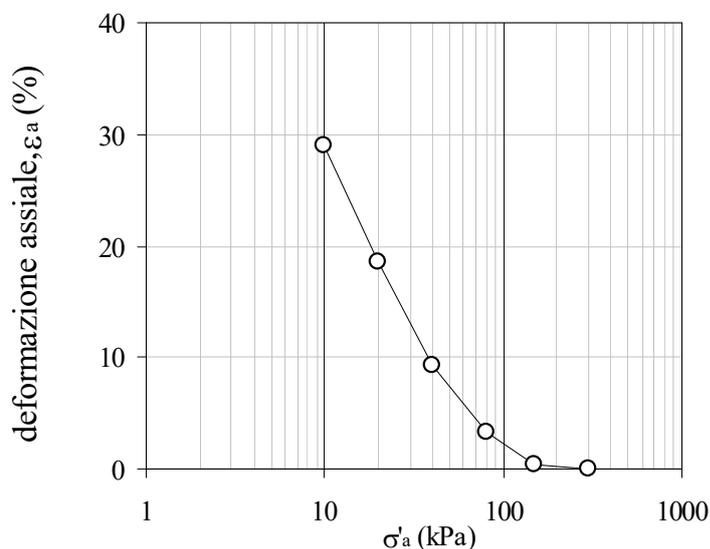
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,29
contenuto d'acqua (%)	$w =$	24,00
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,37
porosità (%)	$n =$	39,90
indice di porosità	$e =$	0,666
grado di saturazione (%)	$S_r =$	100

tensione assiale σ'_a (kPa)	300	300	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	18,76	18,52	18,85	19,39	20,51	22,24	24,20
indice di porosità e	0,572	0,552	0,579	0,625	0,719	0,864	1,028



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

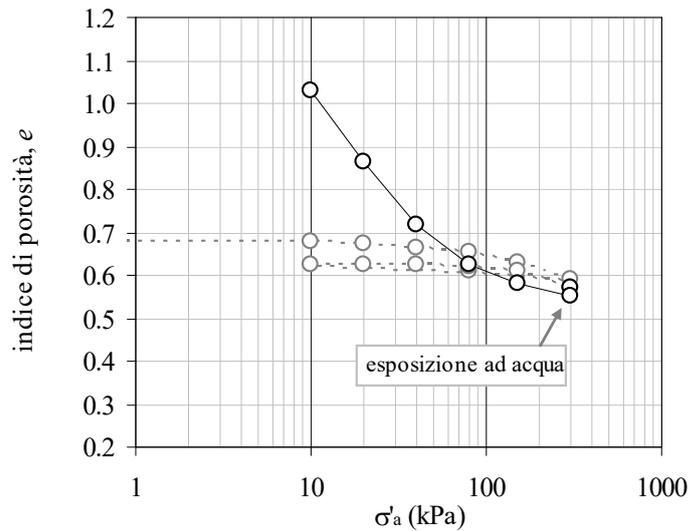
Profondità: 22,0 m – 22,4 m

PROVA HUDER-AMBERG

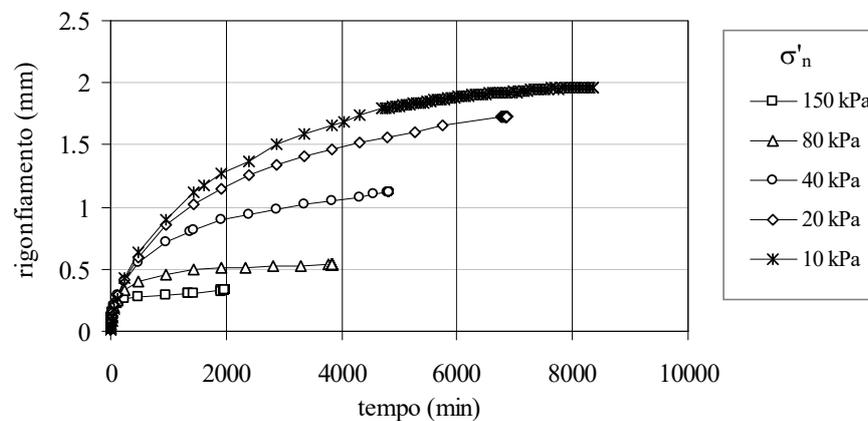
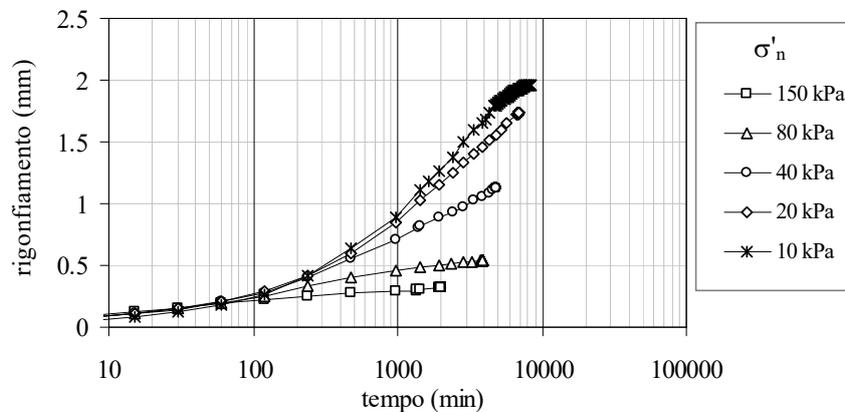
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22,0 m – 22.4 m

RIGONFIAMENTO LIBERO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO UNA PROVA HUDER-AMBERG

Descrizione sintetica della prova

Dopo aver eseguito la prova Huder-Amberg, il provino del campione Sn-04 C6 è stato esposto ad acqua distillata rinnovata frequentemente. Questa procedura ha indotto il rigonfiamento osmotico riportato in Fig.1 e in Fig.3. La Fig. 2 riporta la quantità di ioni Na^+ rimossi durante l'esposizione ad acqua distillata.

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,29
contenuto d'acqua (%)	$w =$	24,00
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,37
porosità (%)	$n =$	39,90
indice di porosità	$e =$	0,666
grado di saturazione (%)	$S_r =$	100

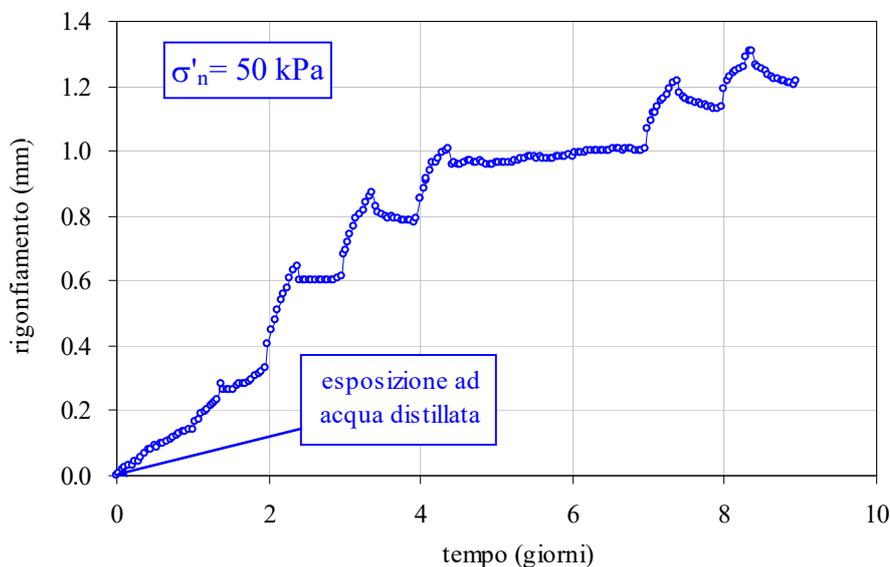


Fig. 1. Processo osmotico di rigonfiamento dovuto all'esposizione ad acqua distillata - e alla conseguente riduzione della concentrazione ionica interstiziale - in funzione del tempo

Sondaggio: Sn-04

Campione: C6

Profondità: 22,0 m – 22.4 m

**RIGONFIAMENTO LIBERO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO UNA
 PROVA HUDER-AMBERG**

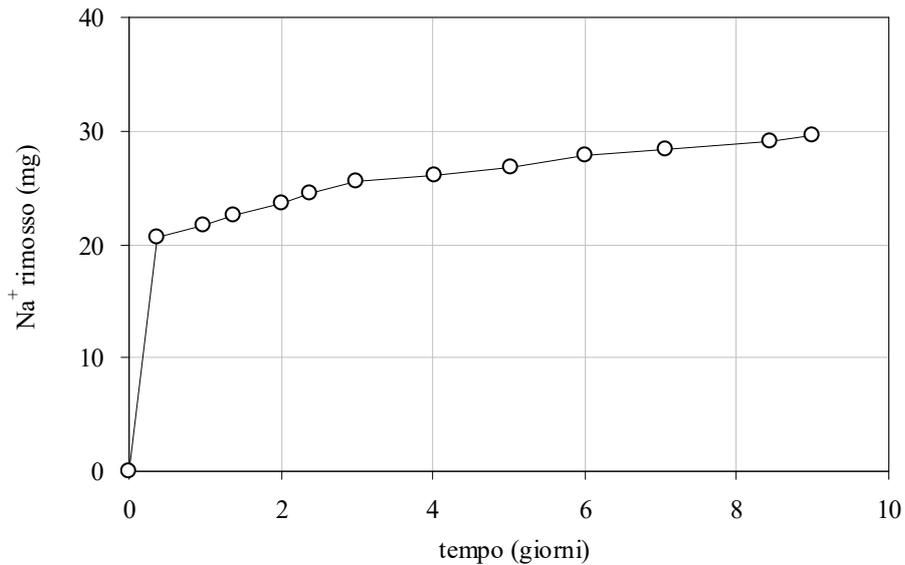


Fig. 2. Peso di Na⁺ rimosso dal fluido interstiziale durante la fase di rigonfiamento osmotico

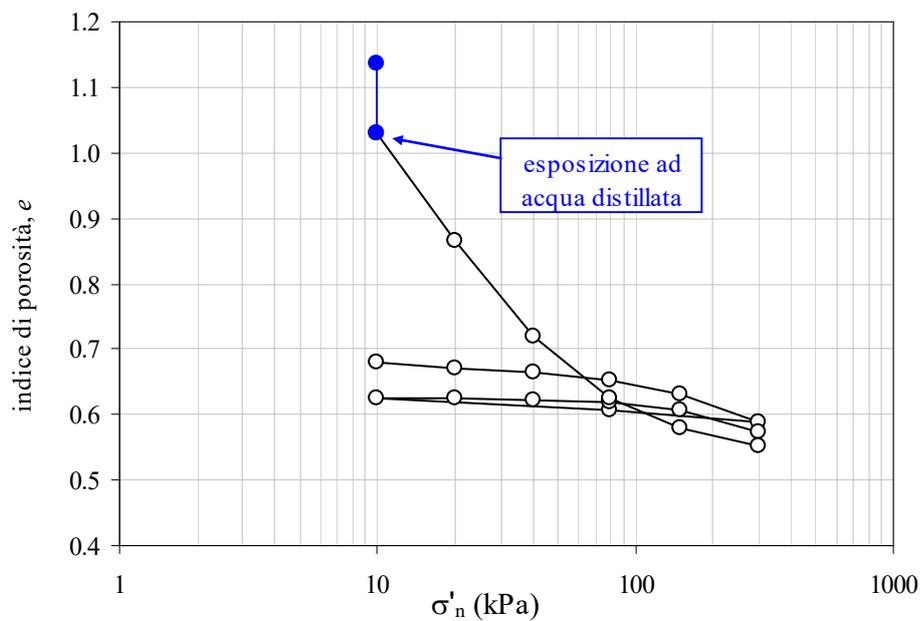


Fig. 3. Processo di rigonfiamento dovuto all'esposizione ad acqua distillata e alla conseguente riduzione della concentrazione ionica interstiziale nel piano e -log σ'_n

Sondaggio: Sn-Me 01 Campione: C2

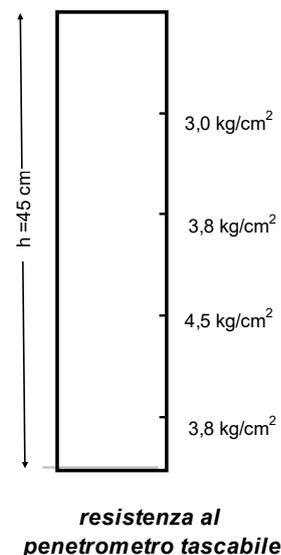
Profondità: 10,0 – 10,5 m

Data di apertura: 07/01/2020

Stato del campione: campione parzialmente disturbato

Lunghezza: 45 cm

Descrizione. Campione di terreno a frana fine di colore marrone con vene giallognole di ossidazione inglobante elementi duri lapidei. Struttura caotica.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,73		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	25,18	24,45	25,42
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,84	19,75	18,92
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	15,85	15,87	15,09
porosità (%)	$n =$	40,82	40,09	43,04
indice di porosità	$e =$	0,690	0,669	0,756
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,67	98,67	90,83

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	1,0
Ca^{++} (g/l)	9,1
K^+ (g/l)	0,9

LIMITI DI ATTERBERG

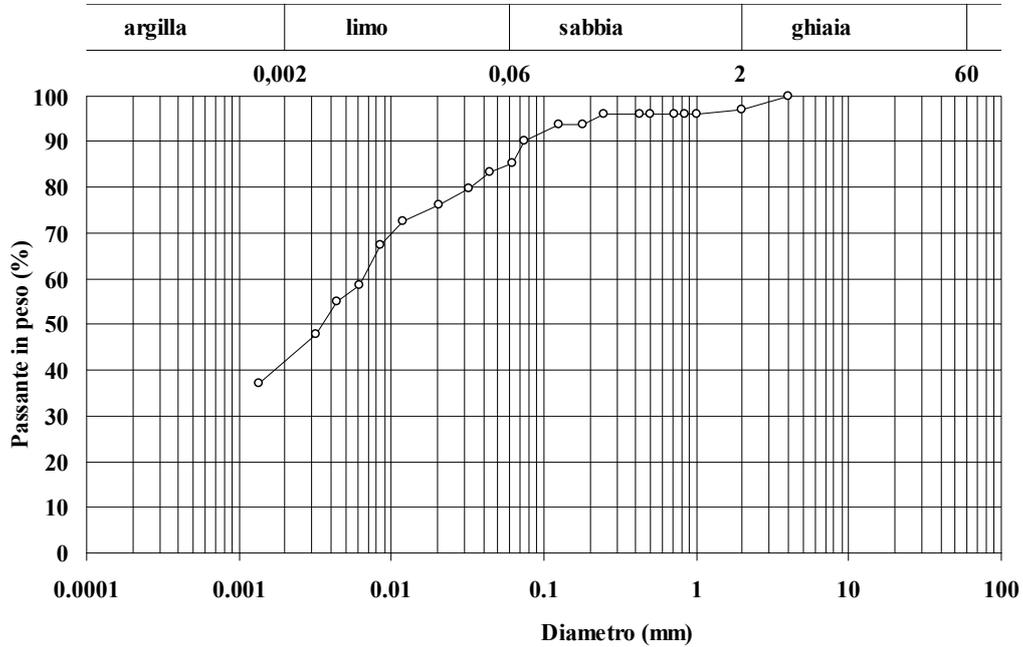
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	75,3
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	34,4
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	40,9

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 – 10,5 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)
90	3	12	43	42	4	0,006



Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 - 10,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,75
contenuto d'acqua (%)	$w =$	24,45
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	15,87
porosità (%)	$n =$	40,06
indice di porosità	$e =$	0,669
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,67
pressione di cella σ_c (kPa)		400
contropressione b.p. (kPa)		200

Condizioni a rottura

		provino 1
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)		199
deformazione assiale ϵ_a (%)		5

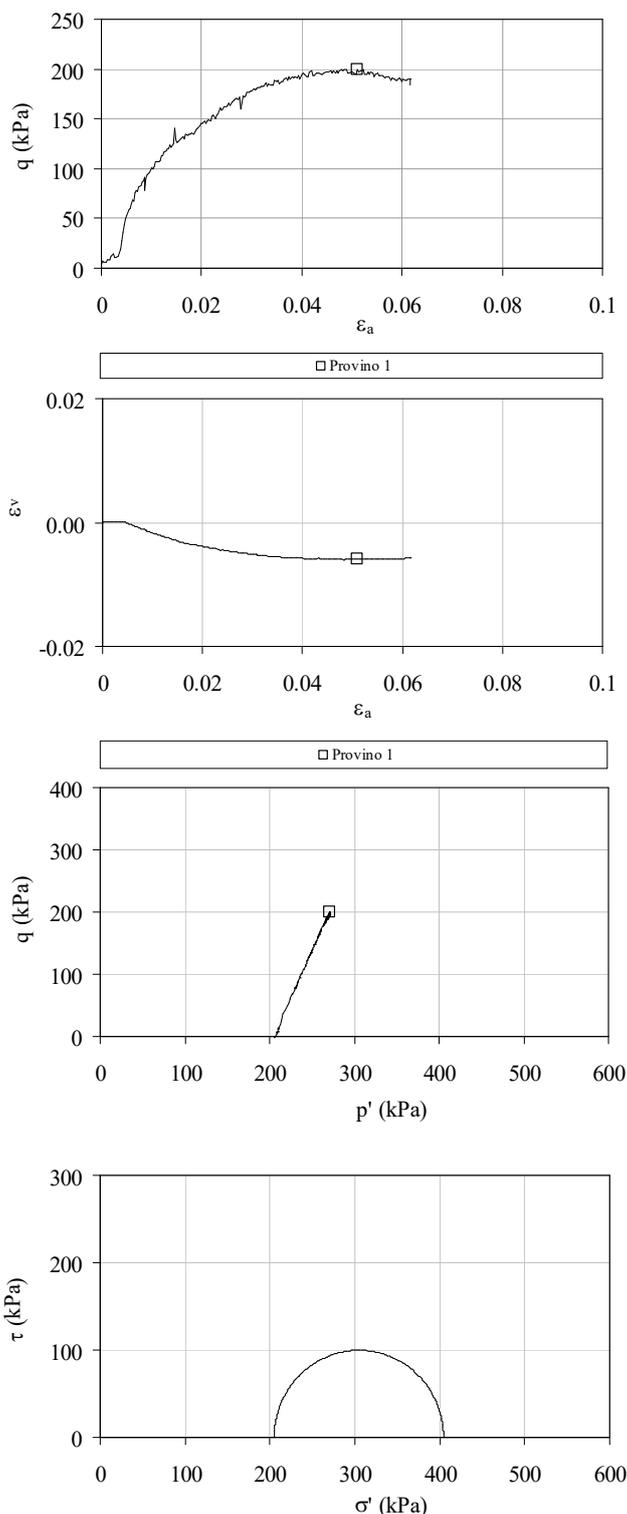
Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 - 10,5 m

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA DRENATA

(da confrontare alle prove di creep eseguite su provini dello stesso campione)



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 - 10,5 m

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

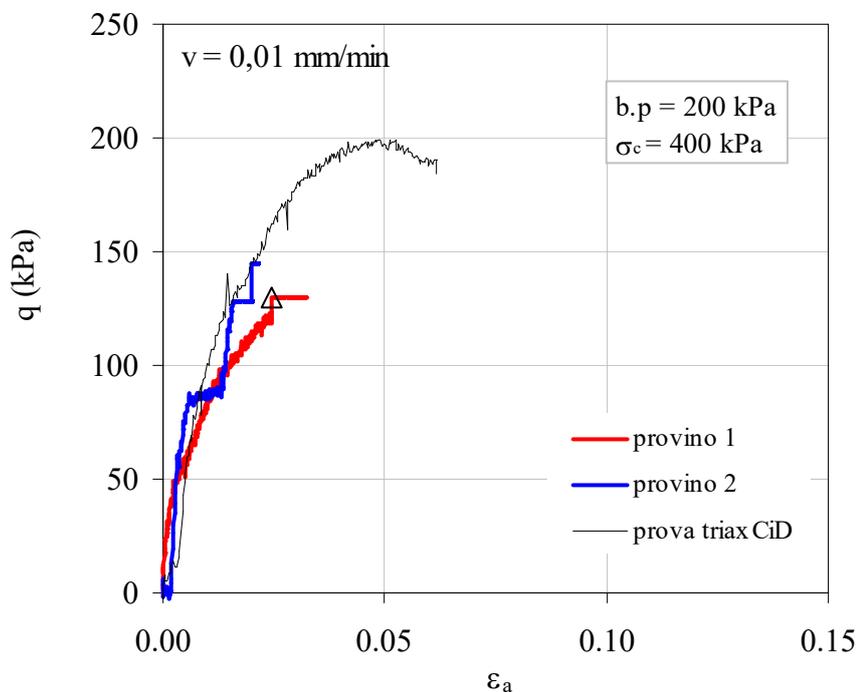
prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,01 mm/min

Condizioni iniziali dei provini

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	18,92	19,28
contenuto d'acqua (%)	$w =$	25,42	26,96
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,09	15,18
porosità (%)	$n =$	43,04	42,68
indice di porosità	$e =$	0,756	0,744
grado di saturazione (%)	$S_r =$	90,83	97,78

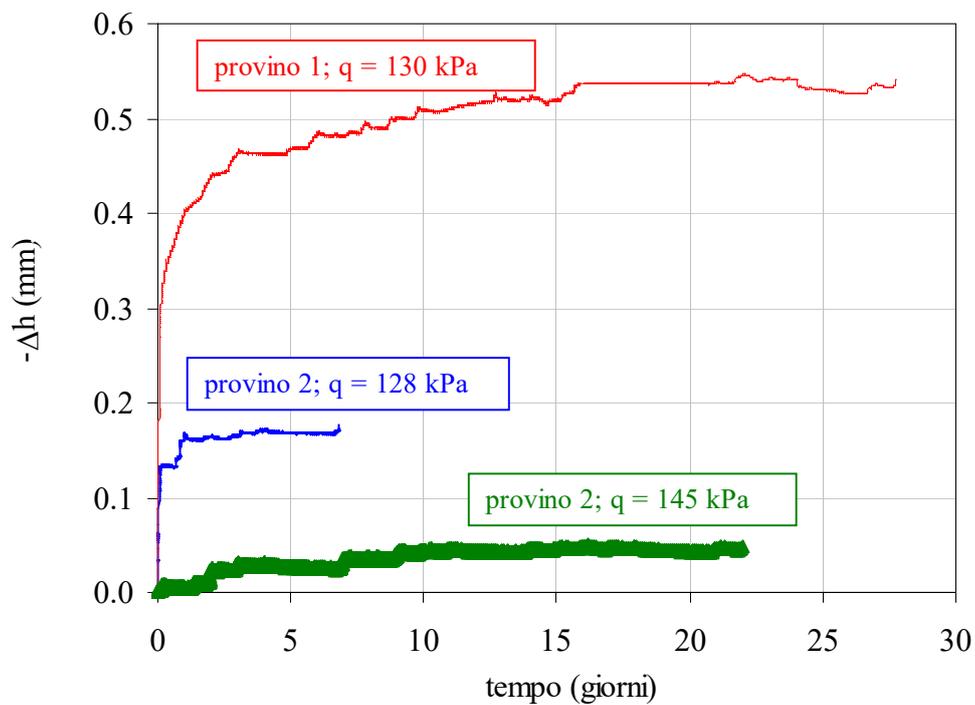
pressione di cella σ_c : 400 kPa

contropressione (b.p.) : 100 kPa



Deviatore degli sforzi in funzione della tensione assiale delle due prove di creep e confronto con la curva ottenuta da una prova triassiale consolidata drenata condotta con velocità di deformazione assiale $v=0,01 \text{ mm/min}$.

PROVA DI CREEP DEVIATORICO IN CELLA TRIASSIALE



Riduzione di altezza dei provini in funzione del tempo di applicazione del deviatore degli sforzi.

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

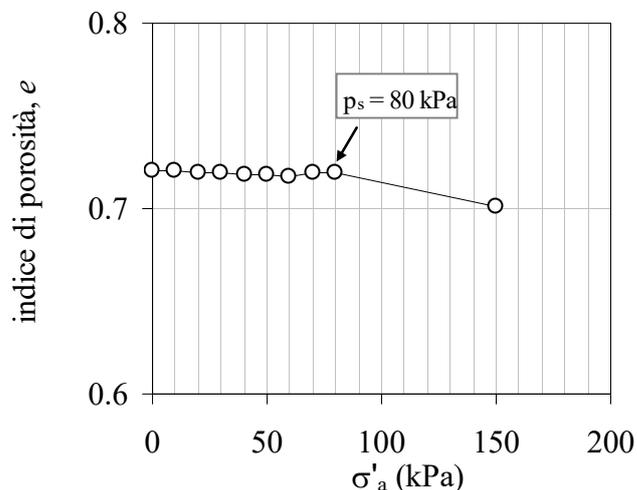
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

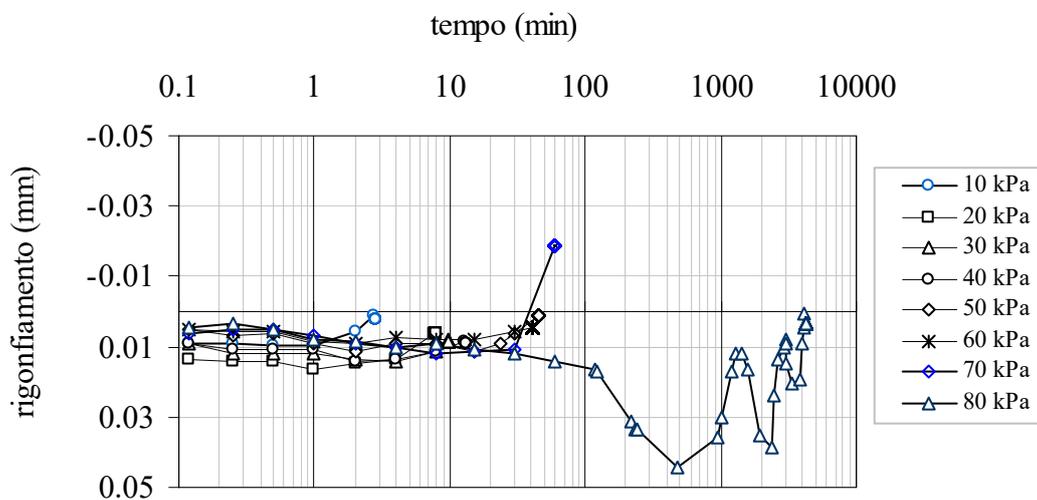
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,62
contenuto d'acqua (%)	$w =$	26,15
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,55
porosità (%)	$n =$	41,93
indice di porosità	$e =$	0,722
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,86



Pressione di rigonfiamento $p_s = 80$ kPa



Sondaggio: Sn-Me 01 Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA'
(Na⁺ = 5 g/l)

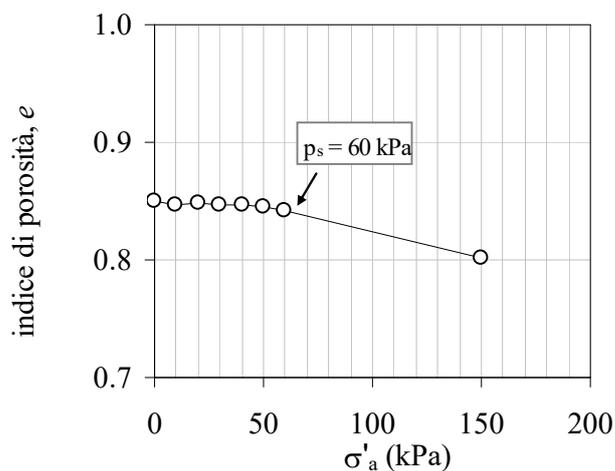
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

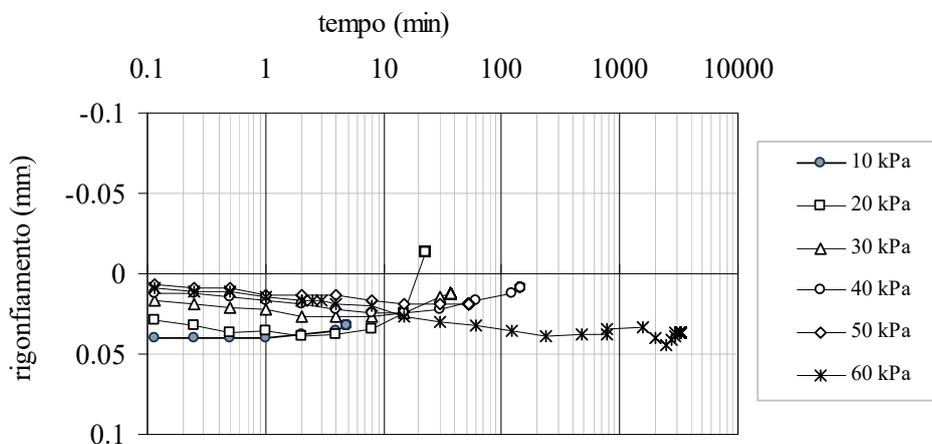
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	18,87
contenuto d'acqua (%)	$w =$	30,35
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	14,47
porosità (%)	$n =$	45,95
indice di porosità	$e =$	0,850
grado di saturazione (%)	$S_r =$	97,45



Pressione di rigonfiamento $p_s = 60$ kPa



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PROVA DI RIGONFIAMENTO LIBERO

dimensioni iniziali del provino:

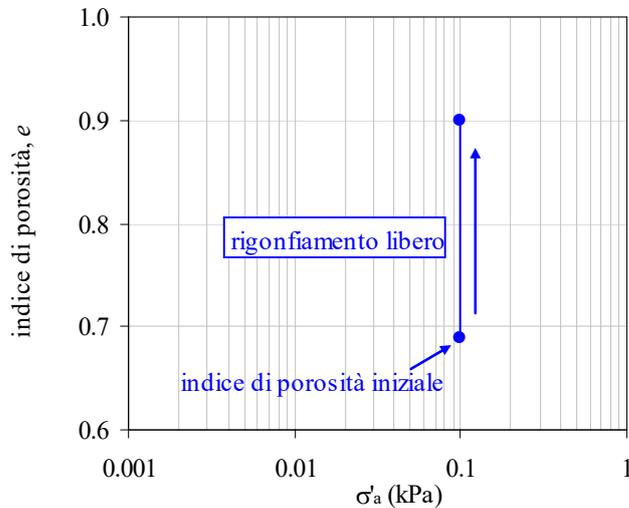
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,84
contenuto d'acqua (%)	$w =$	25,18
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,85
porosità (%)	$n =$	40,82
indice di porosità	$e =$	0,690
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,67

tensione assiale σ'_a (kPa)	0,1
altezza h (mm)	22,48
indice di porosità e	0,899



Risultati della prova di rigonfiamento libero in termini di $e - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

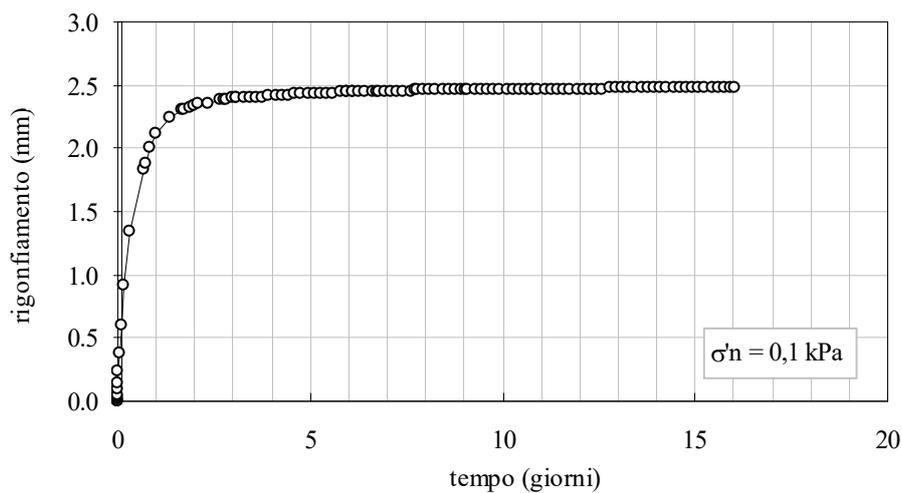
Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PROVA DI RIGONFIAMENTO LIBERO

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Evoluzione temporale del rigonfiamento in scala naturale

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA STANDARD

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

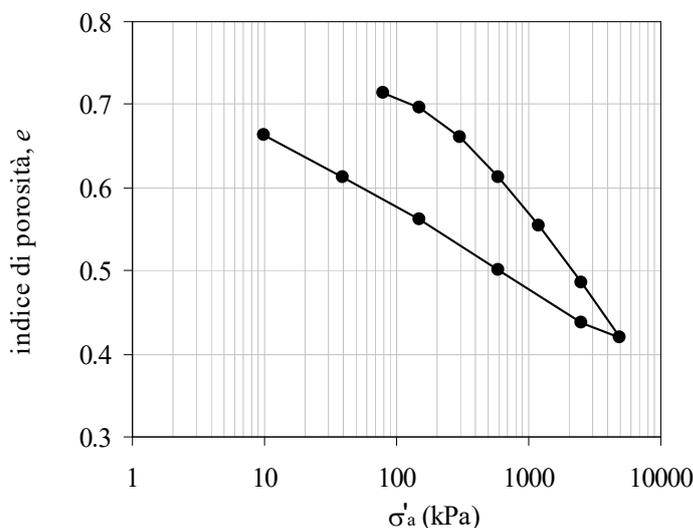
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,62
contenuto d'acqua (%)	$w =$	26,15
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,55
porosità (%)	$n =$	41,93
indice di porosità	$e =$	0,722
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,86

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
80	19,98	0,713	
150	19,77	0,695	6,57
300	19,35	0,659	7,00
600	18,80	0,612	10,40
1200	18,12	0,554	16,28
2500	17,33	0,486	29,14
5000	16,54	0,418	53,64
2500	16,77	0,438	
600	17,49	0,500	
150	18,20	0,560	
40	18,80	0,612	
10	19,39	0,663	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

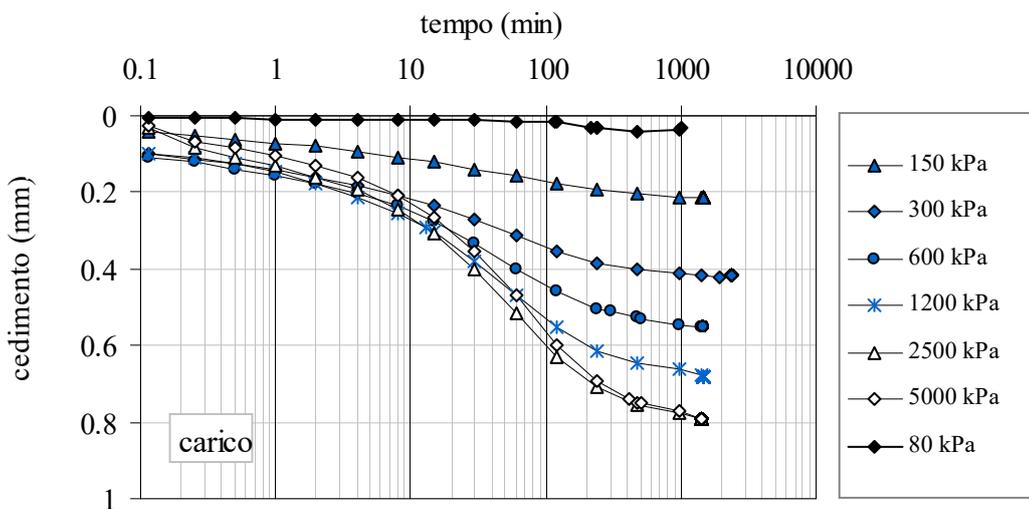
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA STANDARD

dimensioni iniziali del provino

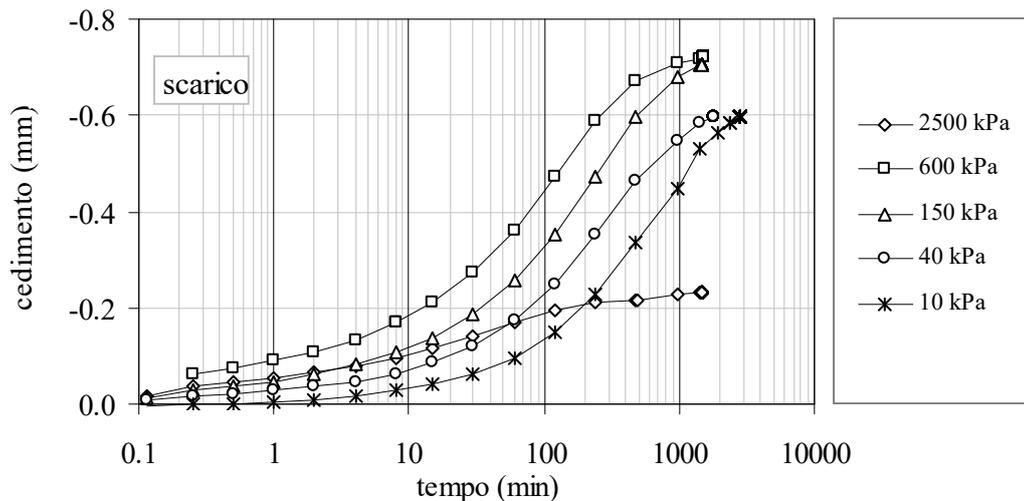
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Curve di consolidazione



Curve di rigonfiamento



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 01

Campione: C2

Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA in soluzione simile a quella di porosità ($\text{Na}^+ = 5 \text{ g/l}$)

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

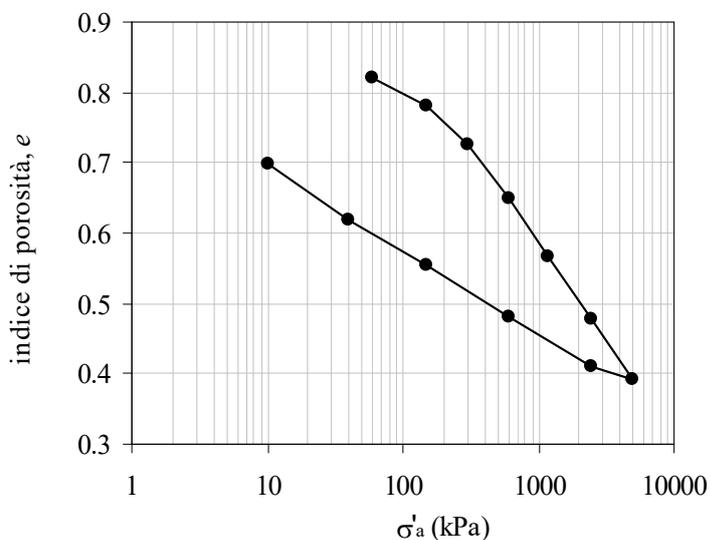
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	18,87
contenuto d'acqua (%)	$w =$	30,35
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	14,47
porosità (%)	$n =$	45,95
indice di porosità	$e =$	0,850
grado di saturazione (%)	$S_r =$	97,45

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
60	19,90	0,821	
150	19,48	0,782	4,13
300	18,86	0,725	4,64
600	18,03	0,650	6,70
1200	17,13	0,567	11,67
2500	16,16	0,478	22,36
5000	15,22	0,393	41,80
2500	15,41	0,410	
600	16,18	0,480	
150	17,00	0,555	
40	17,69	0,619	
10	18,56	0,698	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-Me 01 Campione: C2

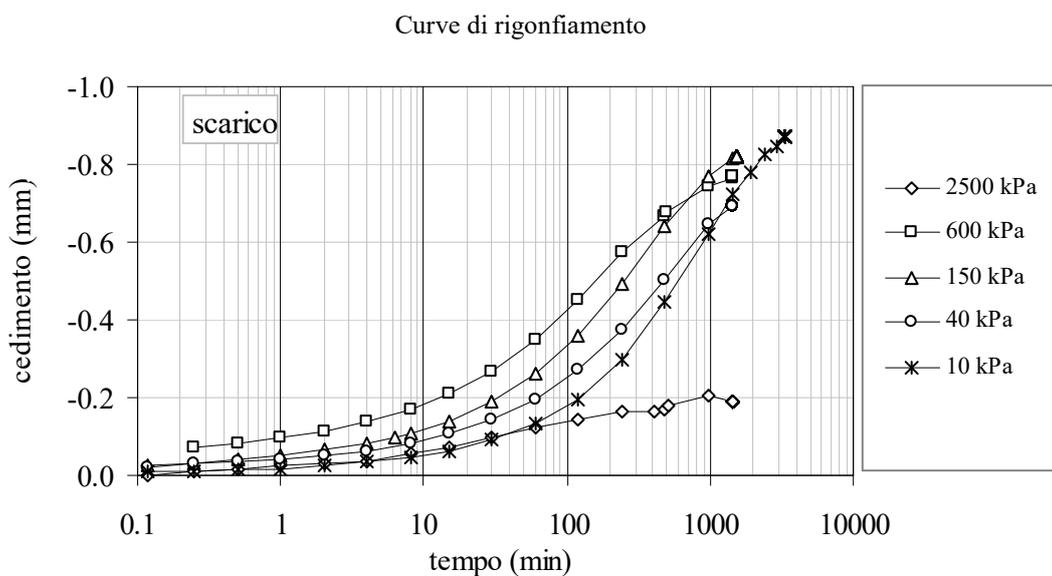
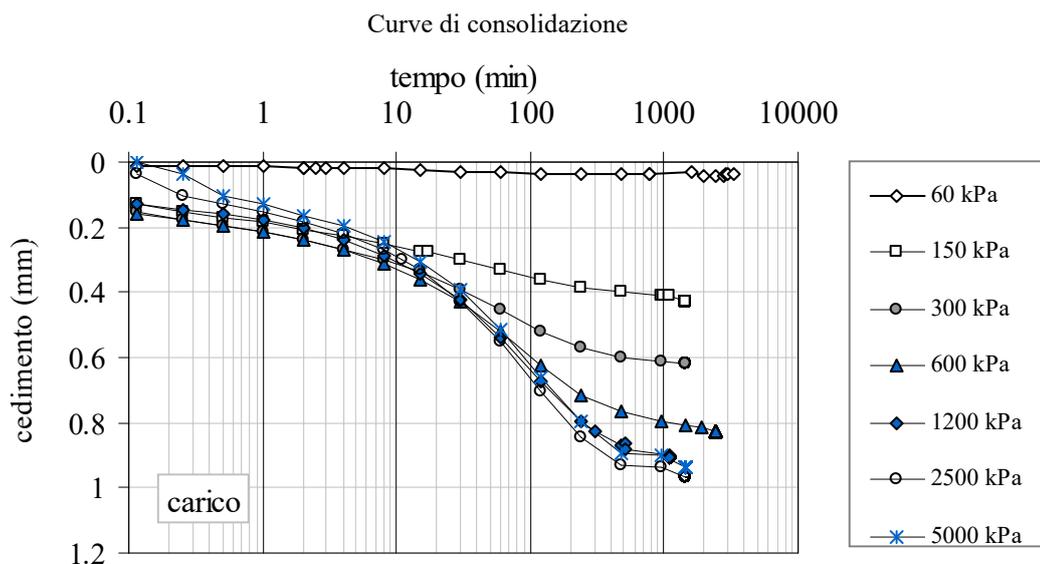
Profondità: 10,0 m – 10,5 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA in soluzione simile a quella di porosità ($\text{Na}^+ = 5 \text{ g/l}$)

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5 m

Data di apertura: 02/12/2019

Stato del campione: campione indisturbato

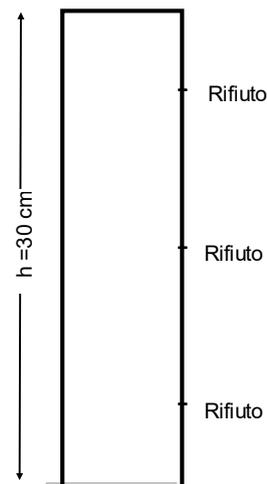
Lunghezza: 30 cm

Descrizione. Terreno a grana fine a struttura caotica. Il campione consta di due parti: una parte superiore, di 13 cm, di colore rossastro ed una parte più profonda di colore marroncino – verdognolo. Nella prima parte si rinvenivano elementi lapidei di colore biancastro, alcuni dei quali alterati, di dimensioni variabili fra frazioni di millimetro a qualche millimetro. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,73		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,34	19,91	20,12
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,87	20,77	20,67
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,38	17,32	17,20
porosità (%)	$n =$	38,17	35,33	35,79
indice di porosità	$e =$	0,617	0,546	0,557
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,33	99,51	98,82



resistenza al penetrometro tascabile

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	0,8
Ca^{++} (g/l)	2,4
K^+ (g/l)	0,4

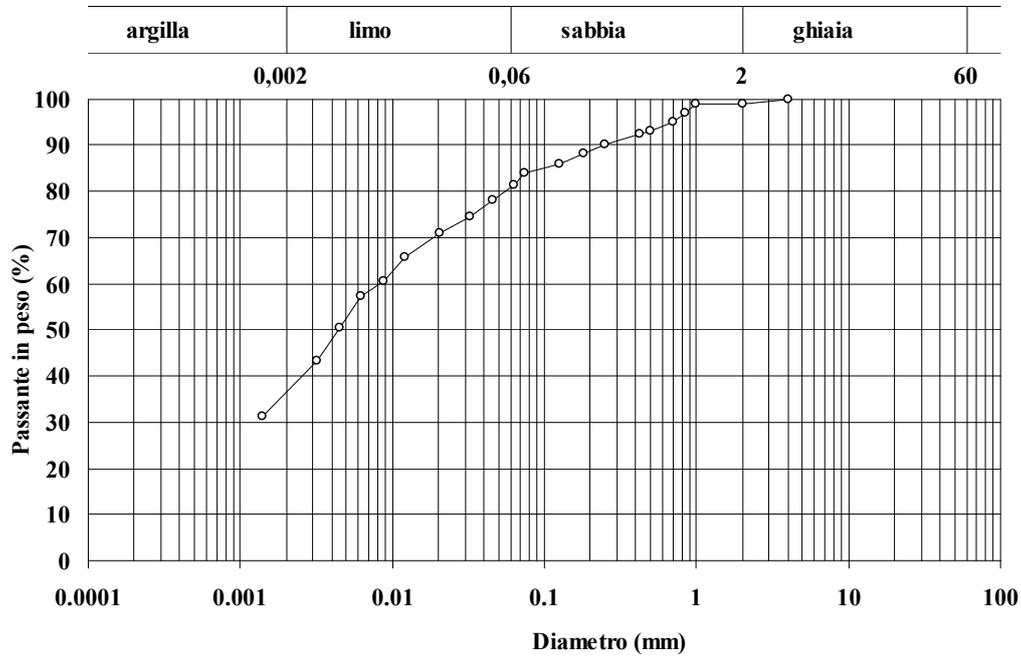
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	59,6
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	29,3
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	30,3

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C1

Profondità: 4,55 – 5 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
87	1	18	44	37	4	0,008	-

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

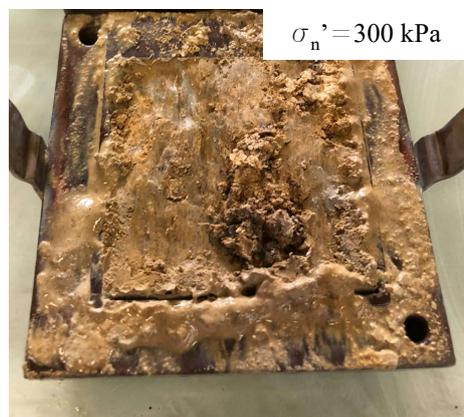
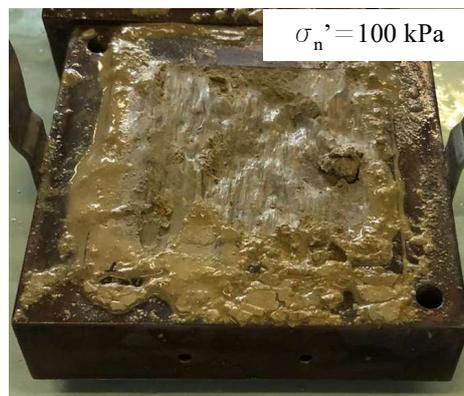
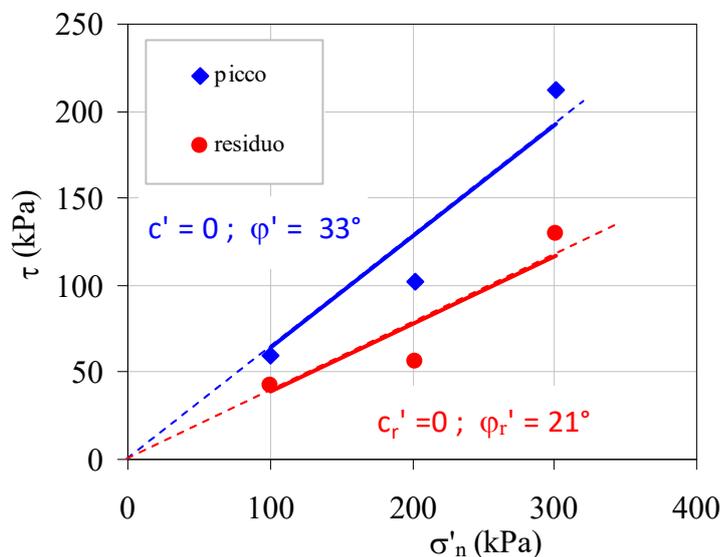
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 30 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,005 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,66	19,87	20,26
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,73	21,34	17,05
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,89	16,38	17,31
porosità (%)	$n =$	40,00	38,17	34,65
indice di porosità	$e =$	0,667	0,617	0,530
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,08	93,33	86,80



Sondaggio: Sn-Me 05

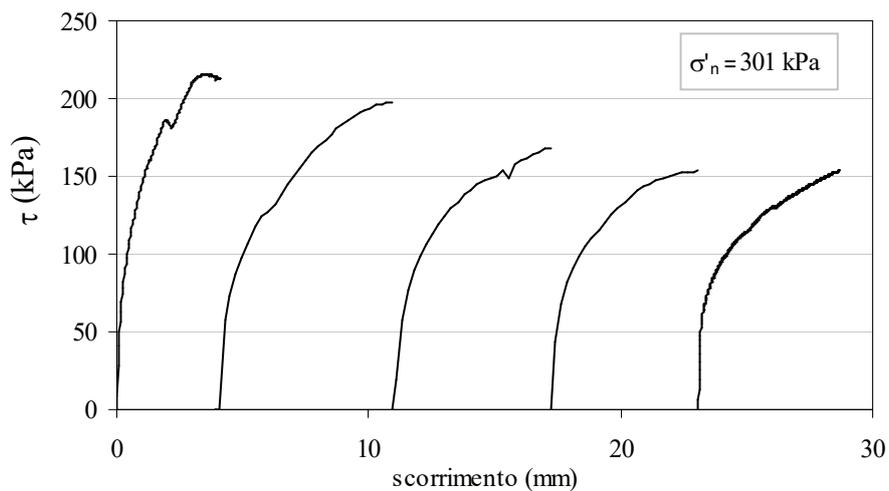
Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

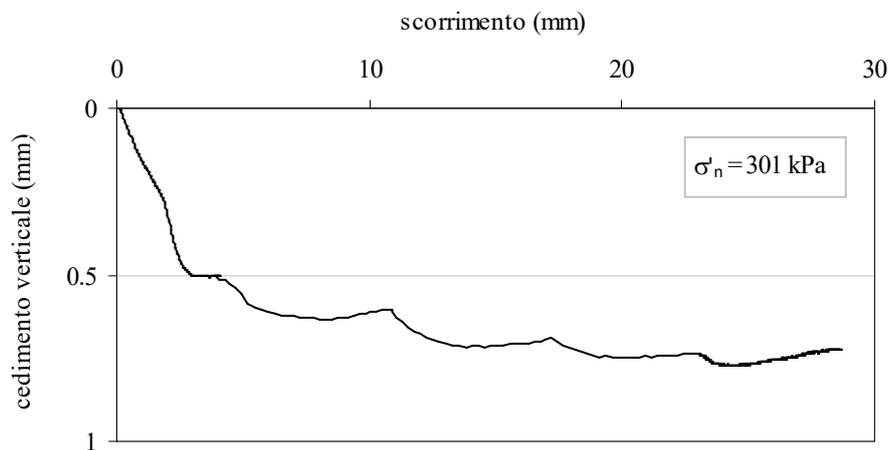
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 1

Curve τ – scorrimento orizzontale



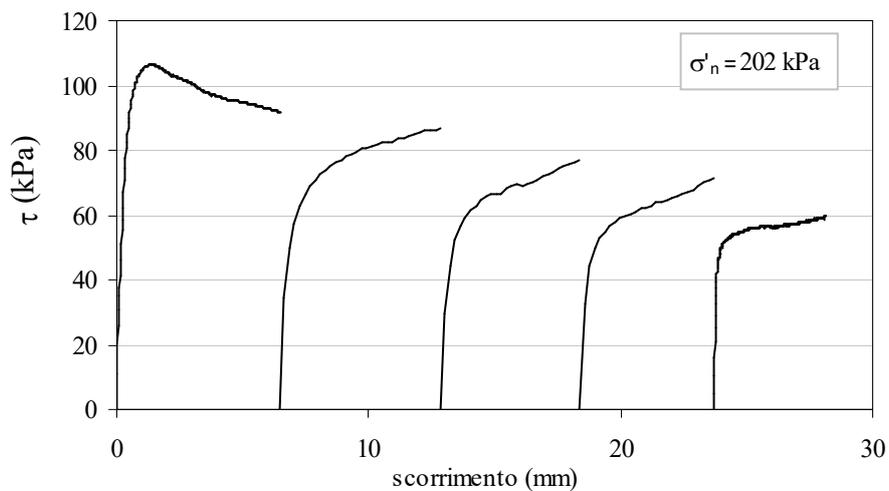
Curve cedimento verticale



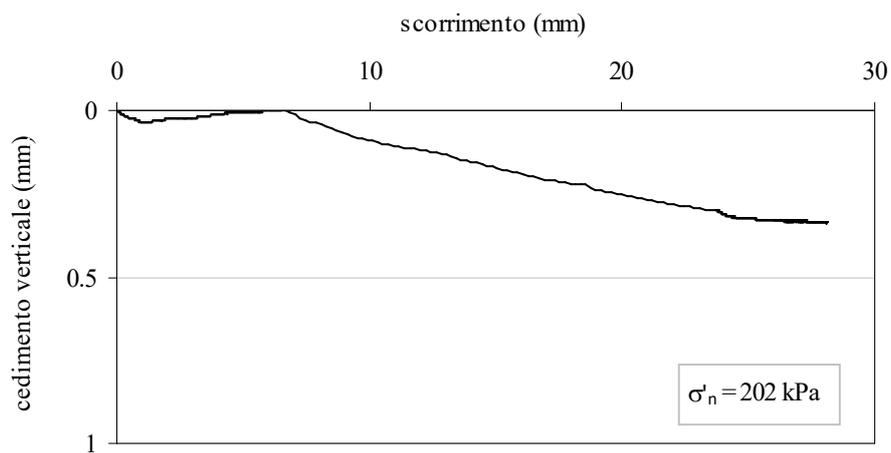
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 2

Curve τ – scorrimento orizzontale



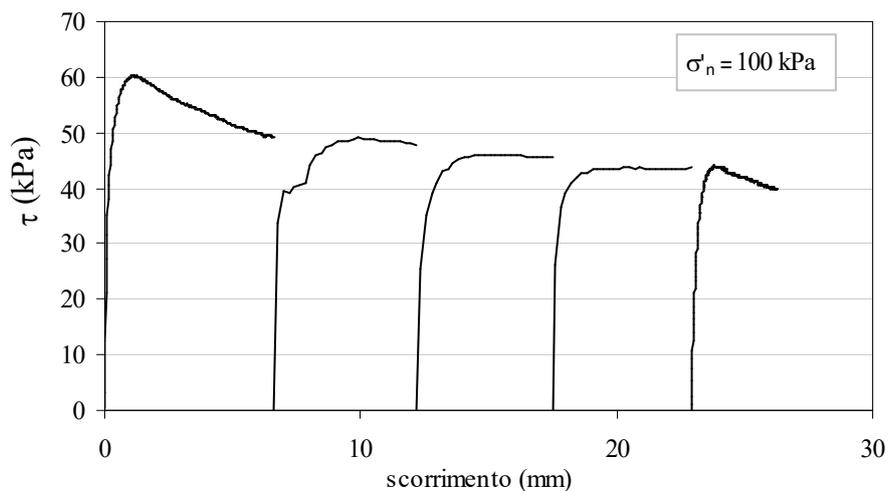
Curve cedimento verticale



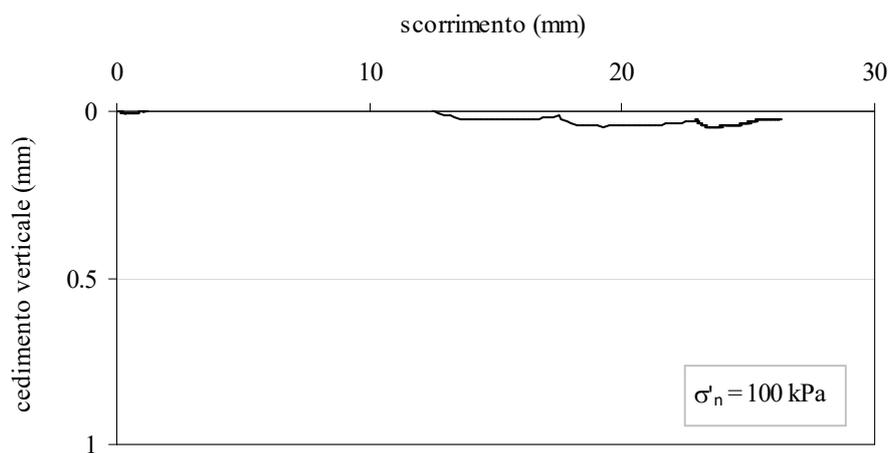
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino 3

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale



Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

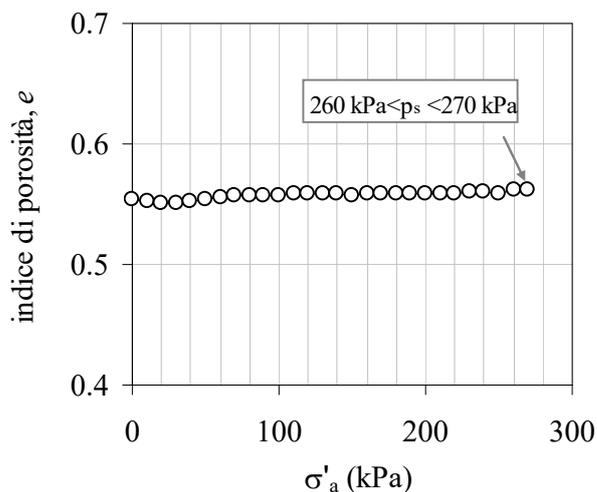
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

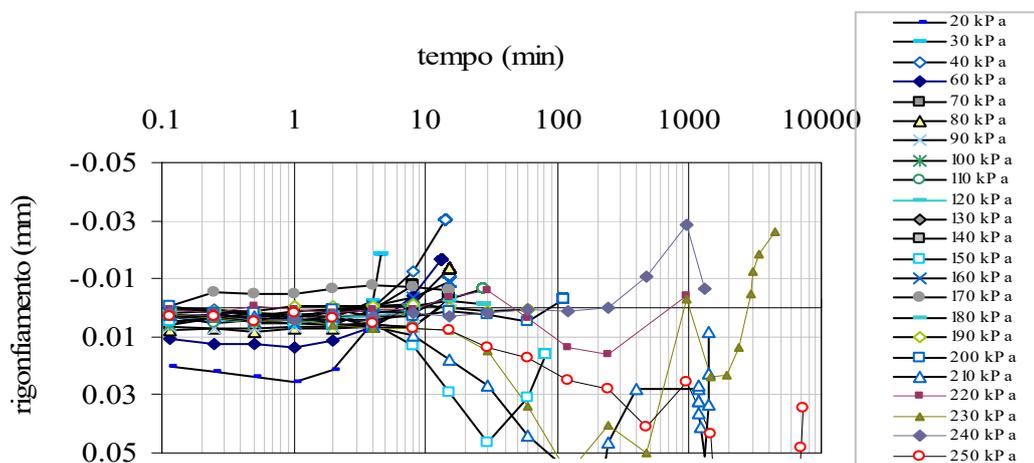
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,77
contenuto d'acqua (%)	$w =$	19,91
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,32
porosità (%)	$n =$	35,33
indice di porosità	$e =$	0,546
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,51



Pressione di rigonfiamento 260 kPa < p_s < 270 kPa



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA' ($\text{Na}^+ = 2 \text{ g/l}$)

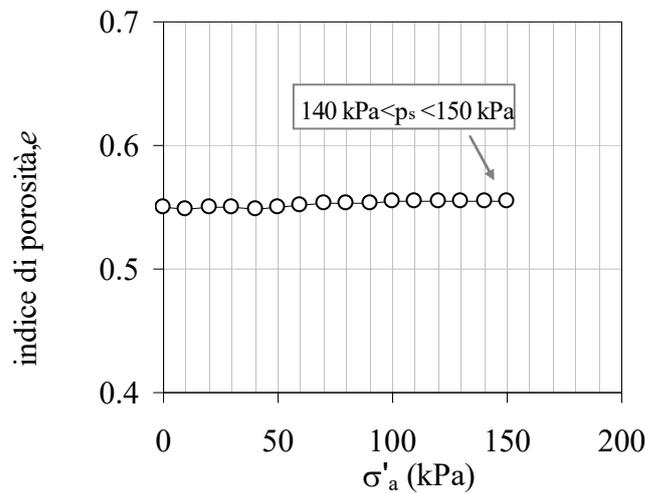
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

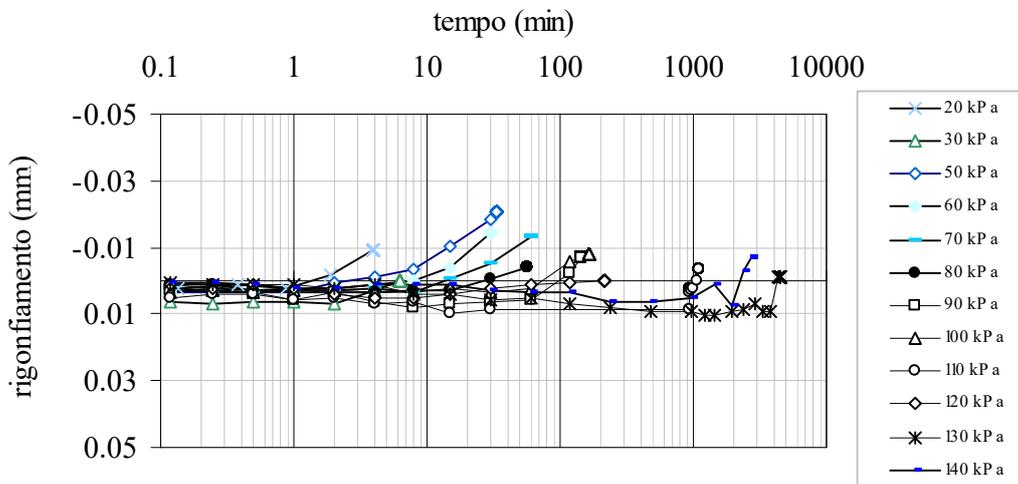
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,67
contenuto d'acqua (%)	$w =$	20,18
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,20
porosità (%)	$n =$	35,79
indice di porosità	$e =$	0,557
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,82



Pressione di rigonfiamento $140 \text{ kPa} < p_s < 150 \text{ kPa}$



Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN PROVE STANDARD

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento mediante prove standard, il provino del campione Sn-Me-05 C1 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto le variazioni di volume riportate in figura 1. Il campione conteneva una quantità trascurabile di ioni metallici.

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali:

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,77
contenuto d'acqua (%)	$w =$	19,91
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,32
porosità (%)	$n =$	35,33
indice di porosità	$e =$	0,546
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,51

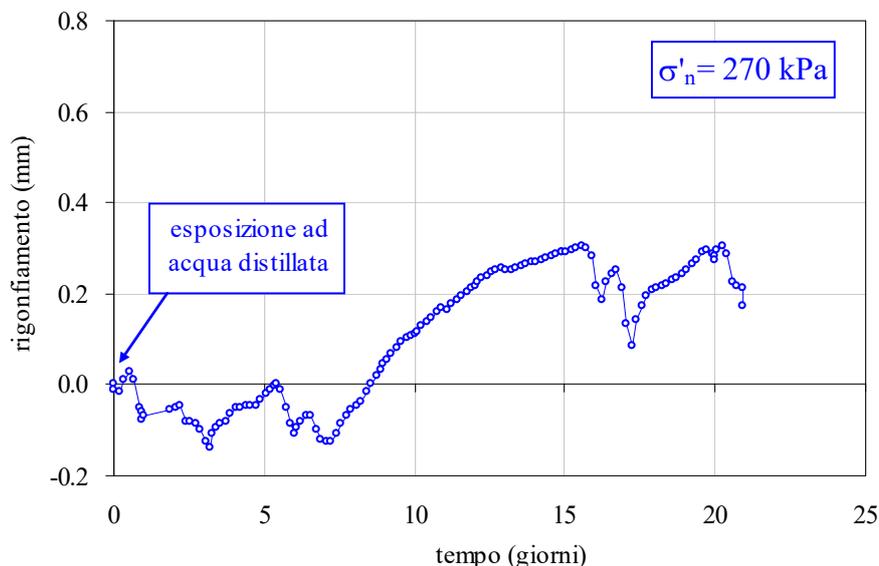


Fig. 1. Processo osmotico di rigonfiamento per esposizione ad acqua distillata

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

**RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO
IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN PROVE
STANDARD**

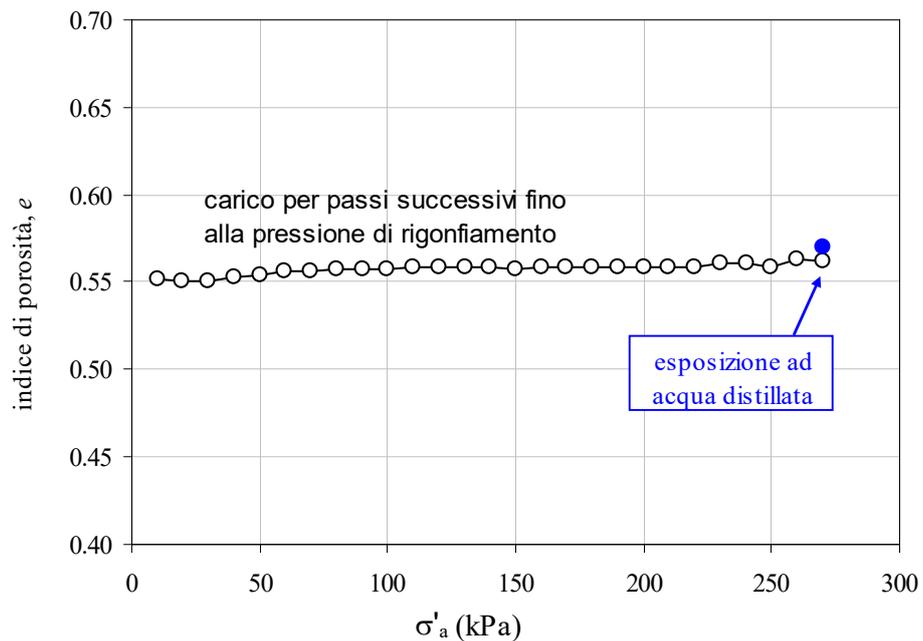


Fig. 2. Effetti dell'esposizione ad acqua distillata nel piano e -log σ'_n

Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE AFFINE A QUELLA NATURALE

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento con la soluzione simile a quella naturale di porosità (2 g/l Na^+), il provino del campione Sn-Me-05 C1 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto un rigonfiamento osmotico riportato in figura 1. Durante l'esposizione ad acqua distillata, l'acqua di cella era stata rinnovata frequentemente, determinando la quantità di ioni Na^+ rimossi (Fig.2).

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,67
contenuto d'acqua (%)	$w =$	20,18
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,20
porosità (%)	$n =$	35,79
indice di porosità	$e =$	0,557
grado di saturazione (%)	$S_r =$	98,82

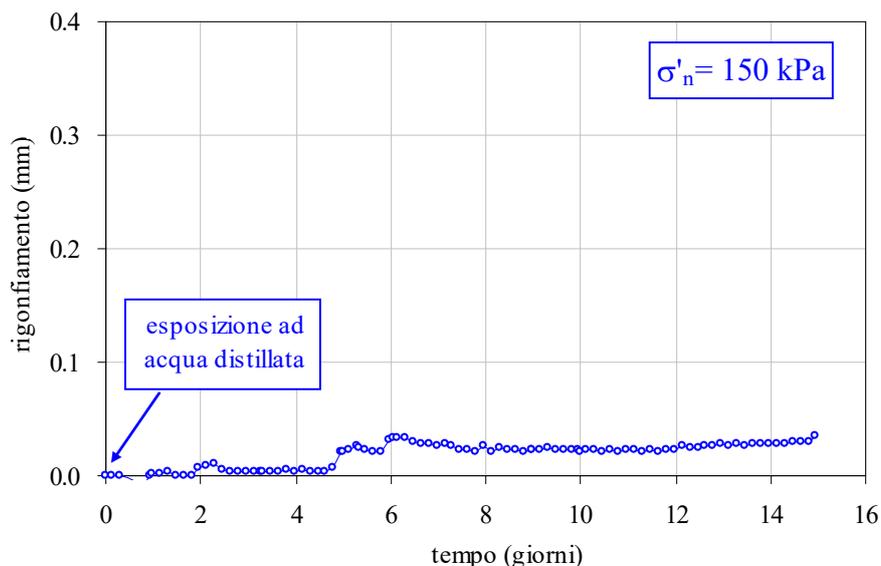


Fig. 1. Effetti dell'esposizione ad acqua distillata

Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C1

Profondità: 4,55 m – 5,0 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE AFFINE A QUELLA NATURALE

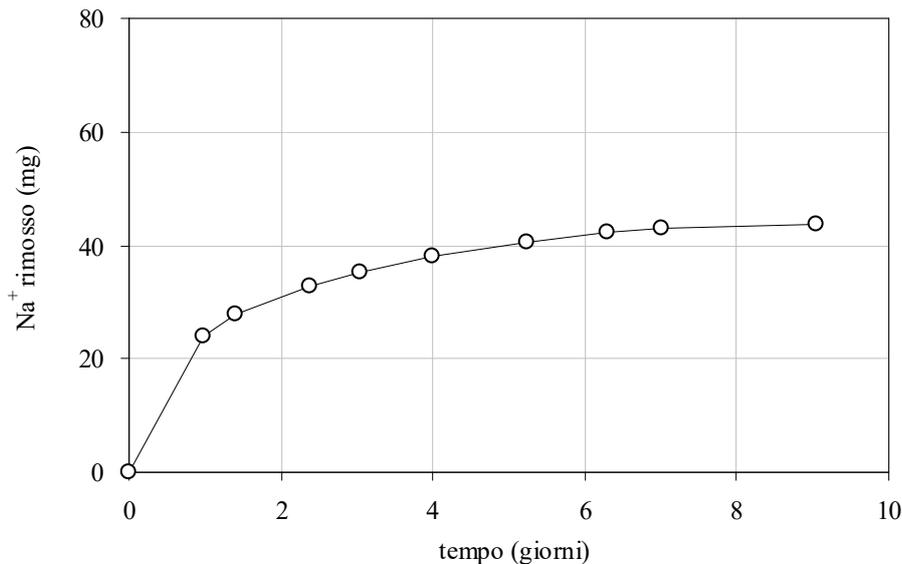


Fig. 2. Peso di Na⁺ rimosso dal fluido interstiziale durante la fase di rigonfiamento osmotico

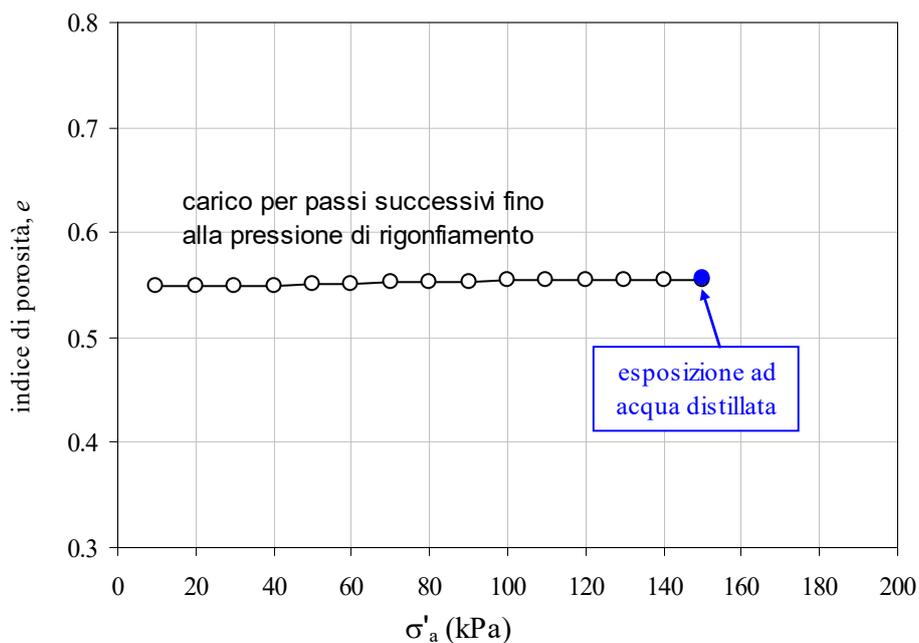


Fig. 3. Processi osmotici di rigonfiamento e consolidazione nel piano e -log σ'_n

Sondaggio: **Sn-Me 05**

Campione: **C3**

Profondità: **35 m – 35,7 m**

Data di apertura: 13/12/2019

Stato del campione: frantumato

Lunghezza: 67 cm

Descrizione del campione. Campione di roccia calcarea di colore grigio chiaro frantumato in più parti. All'apertura il campione risultava ricoperto di paraffina lungo l'intera altezza.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	25,07
---	------------	-------

Sondaggio: **Sn-Me 05** Campione: **C4**

Profondità: **45,3 m – 46 m**

Data di apertura: 13/12/2019

Stato del campione: frantumato

Lunghezza: 65 cm

Descrizione del campione: Campione di roccia calcarea di colore grigio chiaro frantumato All'apertura il campione presentava paraffina lungo l'intera altezza.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	25,51	25,80
---	------------	-------	-------

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C6

Profondità: 65,0 – 65,8 m

Data di apertura: 16/12/2019

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 75 cm

Descrizione. Campione costituito da una matrice terrosa fine di colore marrone – rossastro inglobante elementi lapidei di natura e dimensioni variabili, dal cm alla decina di centimetri. All'apertura il campione presentava paraffina lungo l'intera altezza.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido della matrice rossastra	$G_s =$	2,70	
peso dell'unità di volume degli elementi lapidei (kN/m^3)	$\gamma =$	26,39	26,29

LIMITI DI ATTERBERG DELLA PARTE TERROSA

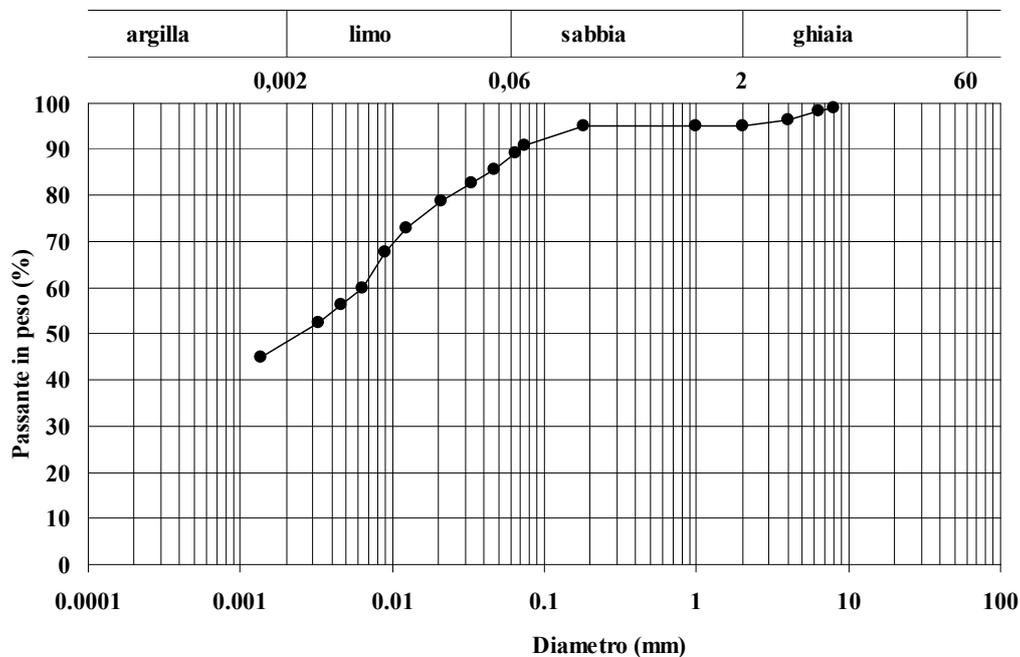
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	87,2
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	33,2
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	54,0

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C6

Profondità: 65,0 – 65,8 m

Granulometria della frazione terrosa fine



Classifica granulometrica: Argilla con limo

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)
91	5	5	42	48	8	0,006

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn Me 05

Campione: C7

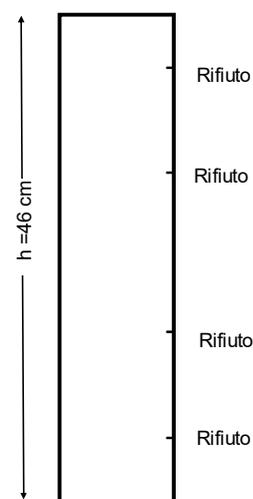
Profondità: 75,0 – 75,5 m

Data di apertura: 29/11/2019

Stato del campione: parzialmente rimaneggiato

Lunghezza: 46 cm

Descrizione. Terreno grigio scuro, molto duro, che consta di più parti. Una netta discontinuità separa la parte superiore terrosa – in parte molto rimaneggiata, da quella inferiore rocciosa. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo della porzione indisturbata ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



resistenza al penetrometro tascabile

CARATTERISTICHE FISICHE DELLA PARTE TERROSA DEL CAMPIONE

Peso specifico del solido	$G_s =$	2,71
contenuto d'acqua (%)	$w =$	17,02
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,82

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	6,5
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

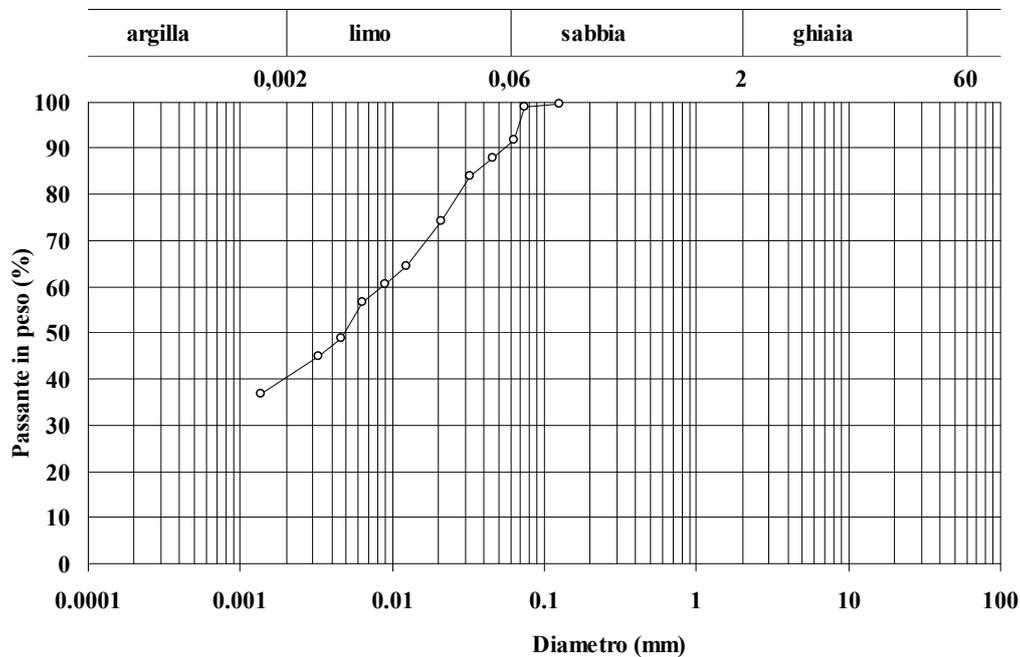
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	89,3
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	46,0
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	43,3

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C7

Profondità: 75,0 – 75,5 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)
99	0	8	51	41	0,71	0,009

Sondaggio: Sn-Me 05 Campione: C7

Profondità: 75,0 m – 75,50 m

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

dimensioni iniziali del provino:

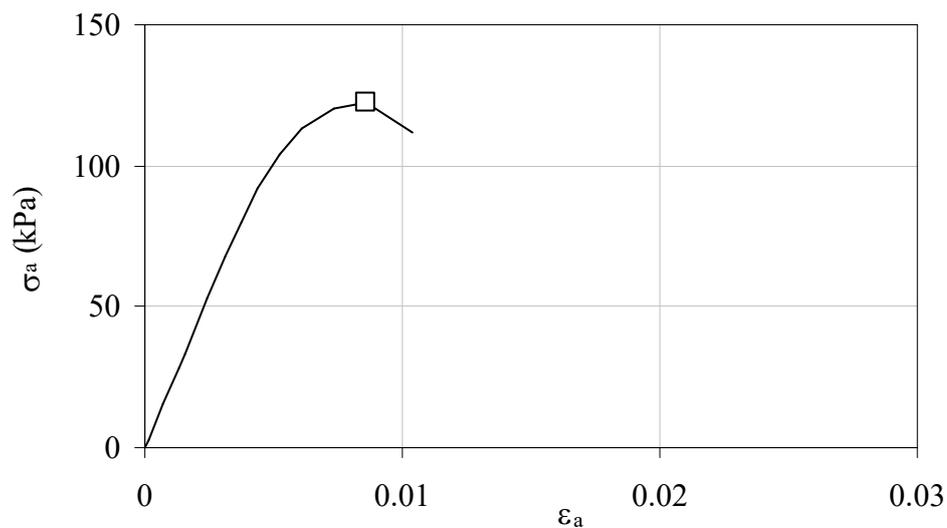
diametro: 68 mm

altezza: 120 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 1 mm/min

Condizioni iniziali

		provino
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,82
contenuto d'acqua (%)	$w =$	17,02



Coesione non drenata $C_u = 60$ kPa;

Sondaggio: **Sn-Me 05** Campione: **C8**

Profondità: **85,0– 85,45 m**

Data di apertura: 28/11/2019

Stato del campione: frantumato

Lunghezza: 36 cm

Descrizione. Argillite di colore grigio scuro frantumata in quattro parti dure e consistenti. All'apertura il campione è risultato coperto di paraffina anche lateralmente.



CARATTERISTICHE FISICHE DELLA PARTE CENTRALE DEL CAMPIONE

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	25,00
--	------------	-------

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C9

Profondità: 93,0 – 93,5 m

Data di apertura: 28/11/2019

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 42 cm

Descrizione. Campione di roccia calcarea di colore grigio scuro che risulta suddiviso in 4 parti. Alla profondità di 20 cm dalla base superiore, il campione presenta una discontinuità a becco di cigno. All'estrazione il campione è risultato ricoperto di paraffina anche lateralmente.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	25,80
--	------------	-------

Caterina Di Maio

Sondaggio: **Sn-Me 05** Campione: **C10**

Profondità: **96,0 – 96,5 m**

Data di apertura: 28/11/2019

Stato del campione: frantumato

Lunghezza: 43 cm

Descrizione. Campione di roccia calcarea di colore grigio scuro suddiviso in 4 parti. All'apertura il campione è risultato ricoperto di paraffina anche lateralmente.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	26,00
--	------------	-------

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

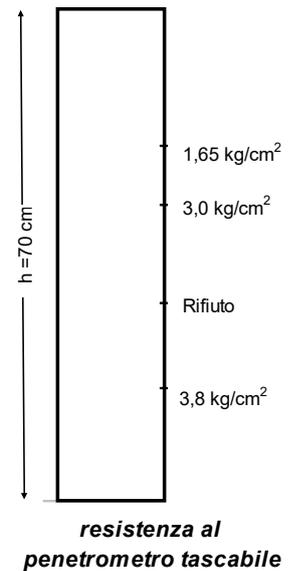
Profondità: 100,2 - 101 m

Data di apertura: 27/11/2019

Stato del campione: in parte rimaneggiato

Lunghezza: 75 cm

Descrizione. Terreno a grana fine di colore grigio. Nella parte superiore sono presenti elementi lapidei di dimensioni variabile (da un millimetro a qualche millimetro), probabili litorelitti della formazione. Nella parte inferiore sono presenti venature biancastre di probabile natura calcarea.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,71		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	11,64	10,64	12,29
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,73	21,59	
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,47	19,51	
porosità (%)	$n =$	26,78	26,60	
indice di porosità	$e =$	0,366	0,362	
grado di saturazione (%)	$S_r =$	86,27	79,56	

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	7,0
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

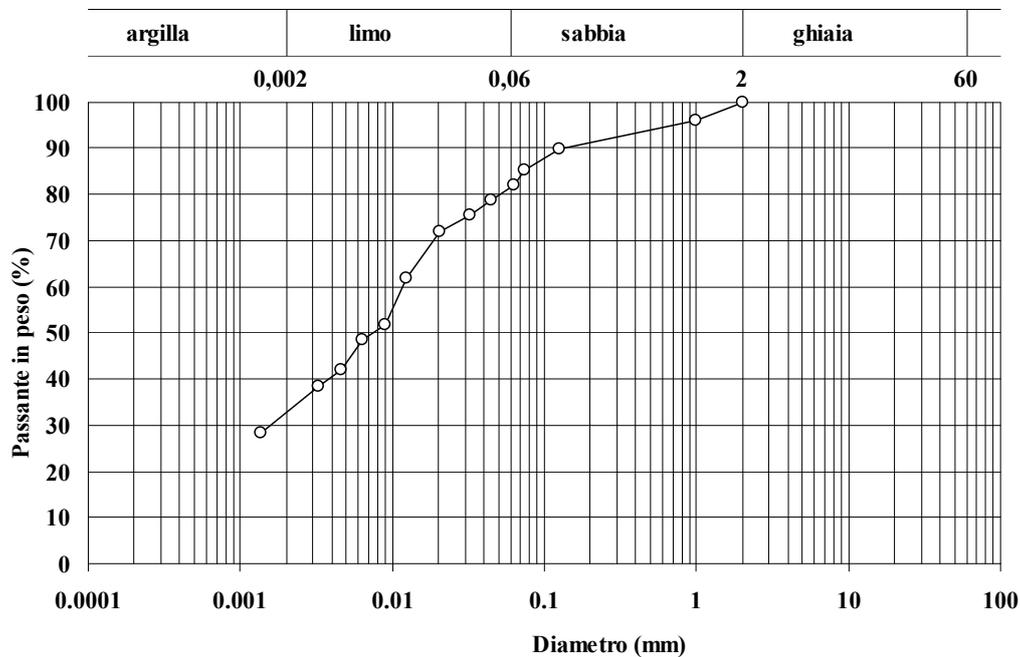
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	89,0
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	45,9
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	43,1

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 – 101,0 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla e sabbia

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)
	-	18	49	33	2	0,012

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 m – 101,0 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

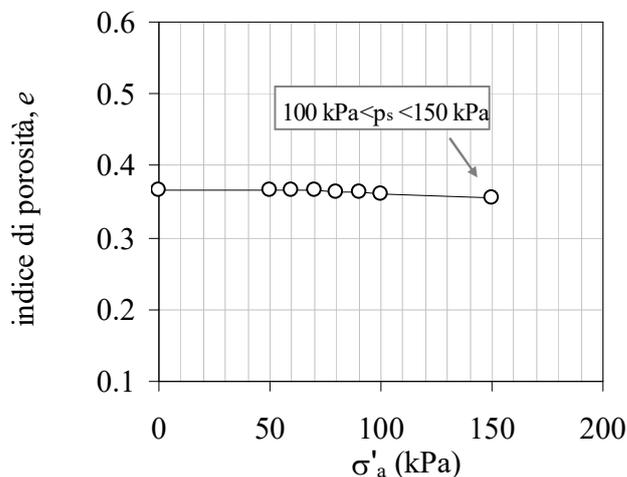
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

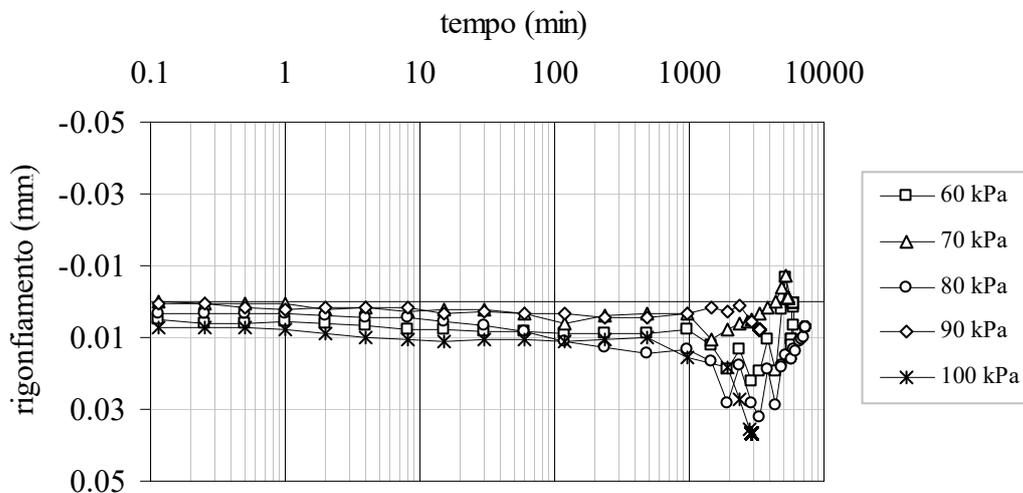
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,73
contenuto d'acqua (%)	$w =$	11,64
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	19,47
porosità (%)	$n =$	26,78
indice di porosità	$e =$	0,366
grado di saturazione (%)	$S_r =$	86,27



Pressione di rigonfiamento 100 kPa < p_s < 150 kPa



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 m – 101,0 m

PRESSIONE DI RIG. IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA' ($Na^+ = 9 \text{ g/l}$)

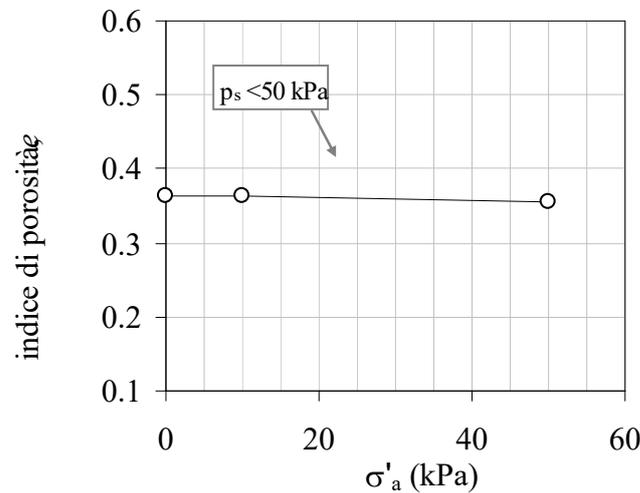
dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

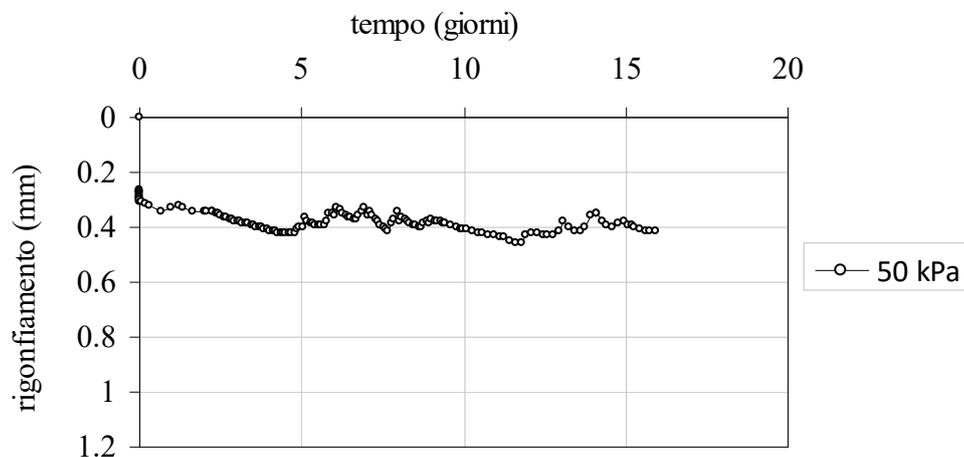
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,59
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,64
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,51
porosità (%)	$n =$	26,60
indice di porosità	$e =$	0,362
grado di saturazione (%)	$S_r =$	79,56



Pressione di rigonfiamento $p_s < 50 \text{ kPa}$



Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 m – 101,0 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

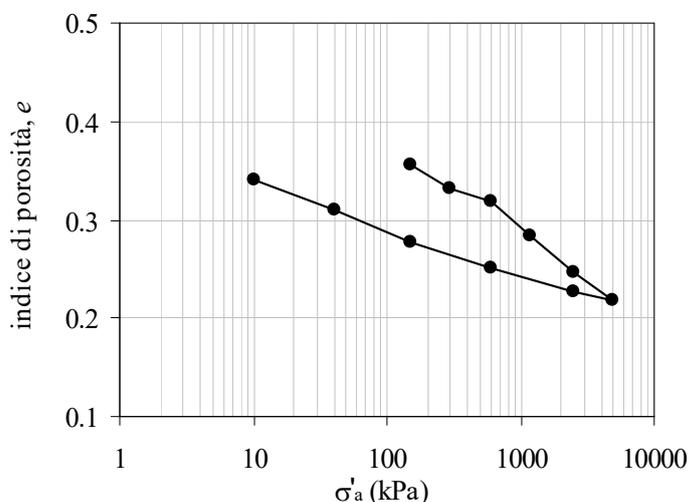
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali:

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,73
contenuto d'acqua (%)	$w =$	11,64
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,47
porosità (%)	$n =$	26,78
indice di porosità	$e =$	0,366
grado di saturazione (%)	$S_r =$	86,27

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
100	19,94	0,362	
150	19,84	0,355	9,82
300	19,50	0,332	8,74
600	19,32	0,319	31,04
1200	18,78	0,283	21,45
2500	18,24	0,246	44,36
5000	17,84	0,218	112,67
2500	17,96	0,226	
600	18,32	0,251	
150	18,71	0,278	
40	19,20	0,311	
10	19,62	0,340	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 m – 101,0 m

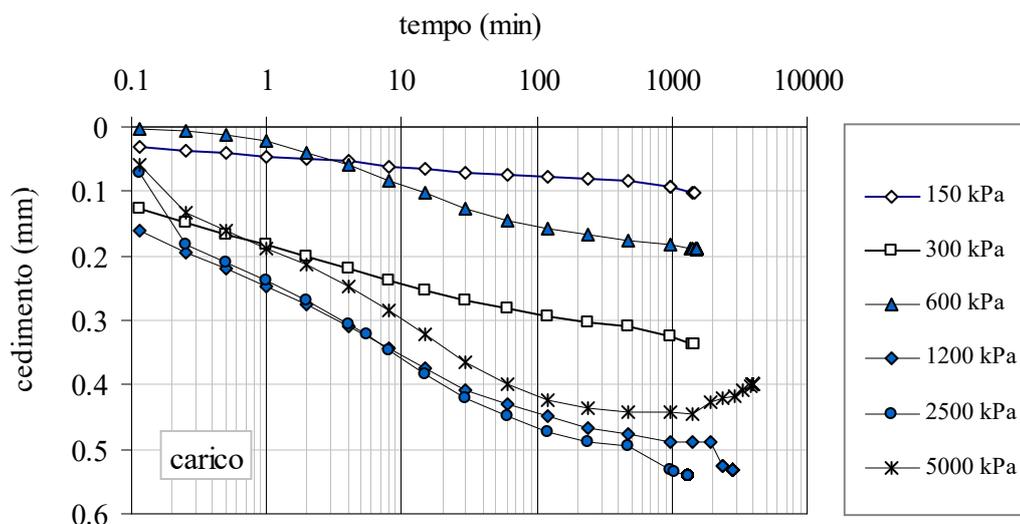
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino:

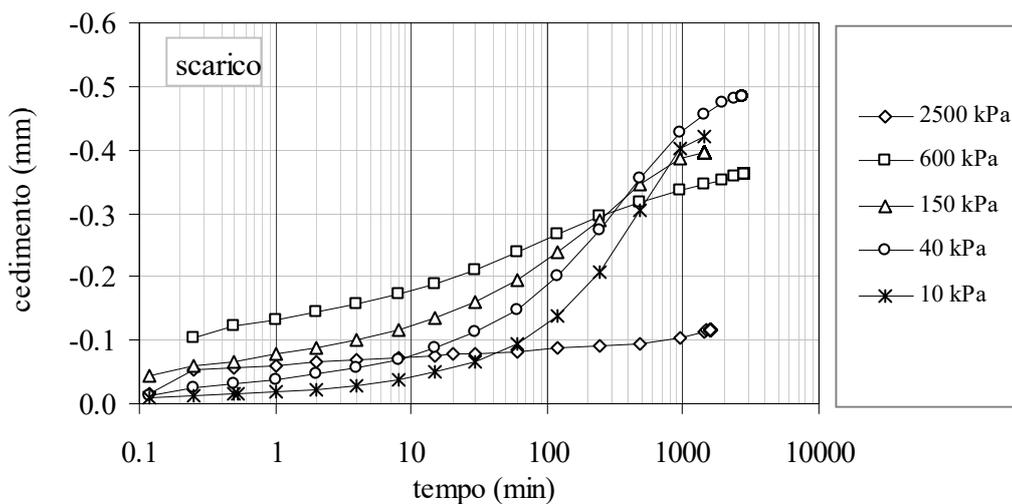
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Curve di consolidazione



Curve di rigonfiamento



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C11

Profondità: 100,2 m – 101,0 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE AFFINE A QUELLA NATURALE

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento con la soluzione simile a quella naturale di porosità (9g/l Na^+), il provino del campione Sn-Me-05 C11 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto un rigonfiamento osmotico riportato in figura 1. Durante l'esposizione ad acqua distillata, l'acqua di cella era stata rinnovata frequentemente, determinando la quantità di ioni Na^+ rimossi (Fig.2).

dimensioni iniziali del provino

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,59
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,64
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	19,51
porosità (%)	$n =$	26,60
indice di porosità	$e =$	0,362
grado di saturazione (%)	$S_r =$	79,56

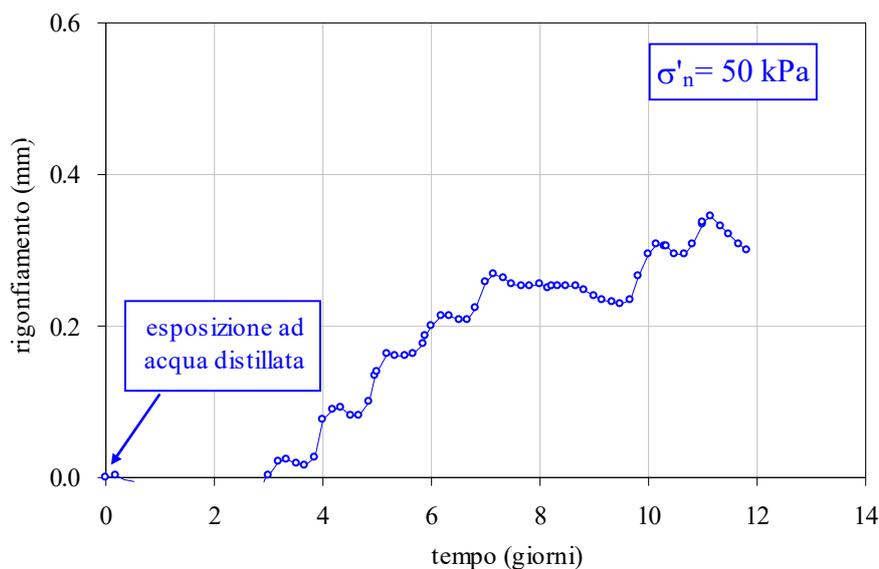


Fig. 1. Processo osmotico di rigonfiamento per esposizione ad acqua distillata

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN SOLUZIONE AFFINE A QUELLA NATURALE

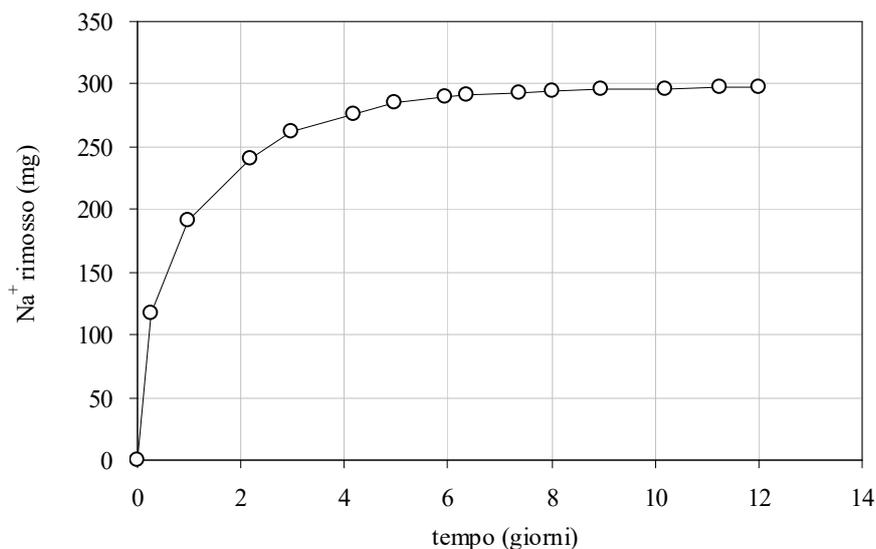


Fig. 2. Peso di Na⁺ rimosso dal fluido interstiziale durante la fase di rigonfiamento osmotico

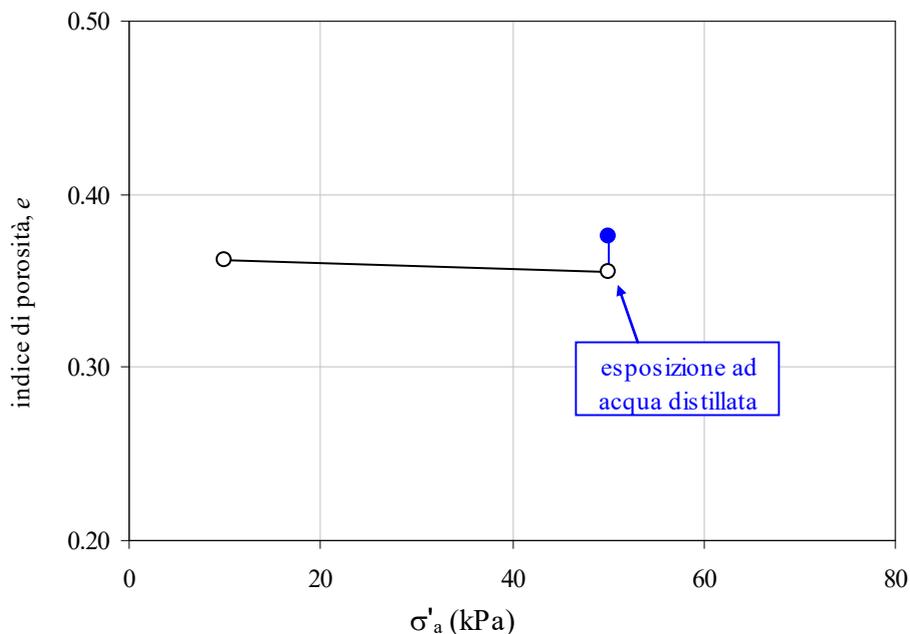


Fig. 3. Rappresentazione nel piano e - $\log \sigma'_n$ del rigonfiamento indotto da esposizione ad acqua distillata e conseguente riduzione di concentrazione ionica nel fluido interstiziale

Sondaggio: **Sn-Me 05**

Campione: **C12**

Profondità: **103,0 – 103,7 m**

Data di apertura: 23/12/2019

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 69 cm

Descrizione. Terreno di colore grigio scuro. Il campione consta di più parti separate da superfici lisce. La parte superiore è costituita da una matrice fine al cui interno sono inglobati elementi lapidei di dimensioni e natura variabili, in parte litorelitti della stessa formazione. La parte inferiore è molto rimaneggiata per la presenza di blocchi di calcarenite.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,71
peso dell'unità di volume della parte terrosa (kN/m^3)	$\gamma =$	21,68
peso dell'unità di volume degli elementi rocciosi (kN/m^3)	$\gamma =$	25,01

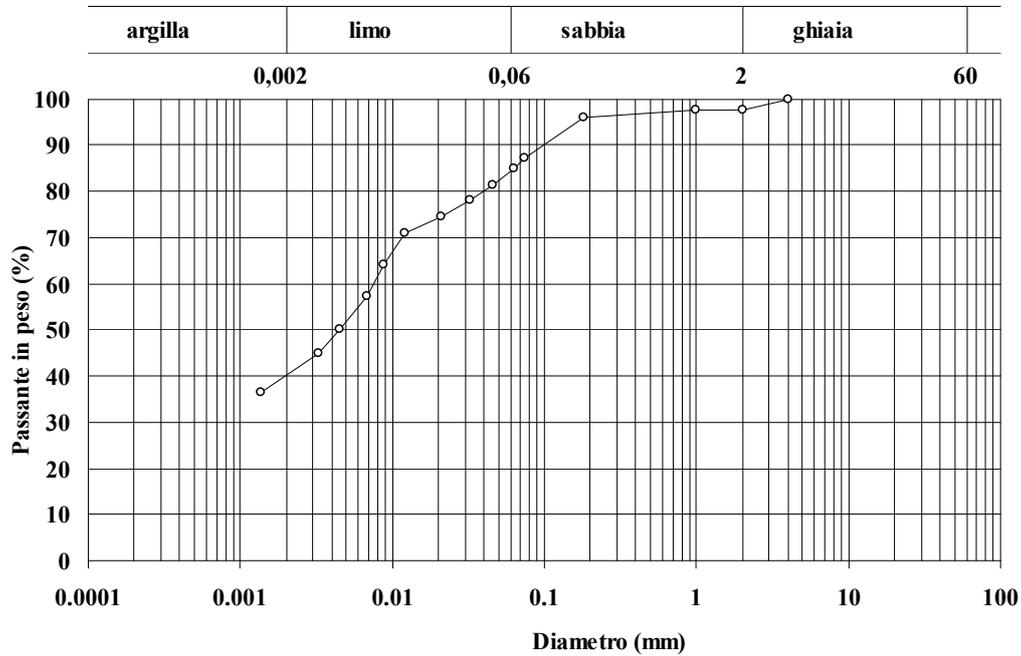
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	86,3
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	46,1
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	40,2

Sondaggio: Sn-Me 05

Campione: C12

Profondità: 103,0 – 103,7 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
87	2	13	45	40	4	0,008	-

Sondaggio: Sn -Me 6

Campione: C2

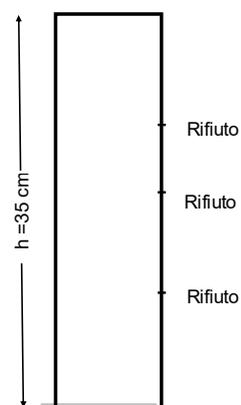
Profondità: 108,0 - 108,4 m

Data di apertura: 30/01/2020

Stato del campione: indisturbato

Lunghezza: 35 cm

Descrizione. Terreno a grana fine di colore grigio con fitta stratificazione perpendicolare all'asse. Il campione si lesiona lungo piani molto lisci. Terreno molto consistente, il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



resistenza al
penetrometro tascabile

CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,69	
contenuto d'acqua (%)	$w =$	9,83	
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	23,57	23,64
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$		
porosità (%)	$n =$		
indice di porosità	$e =$		
grado di saturazione (%)	$S_r =$		

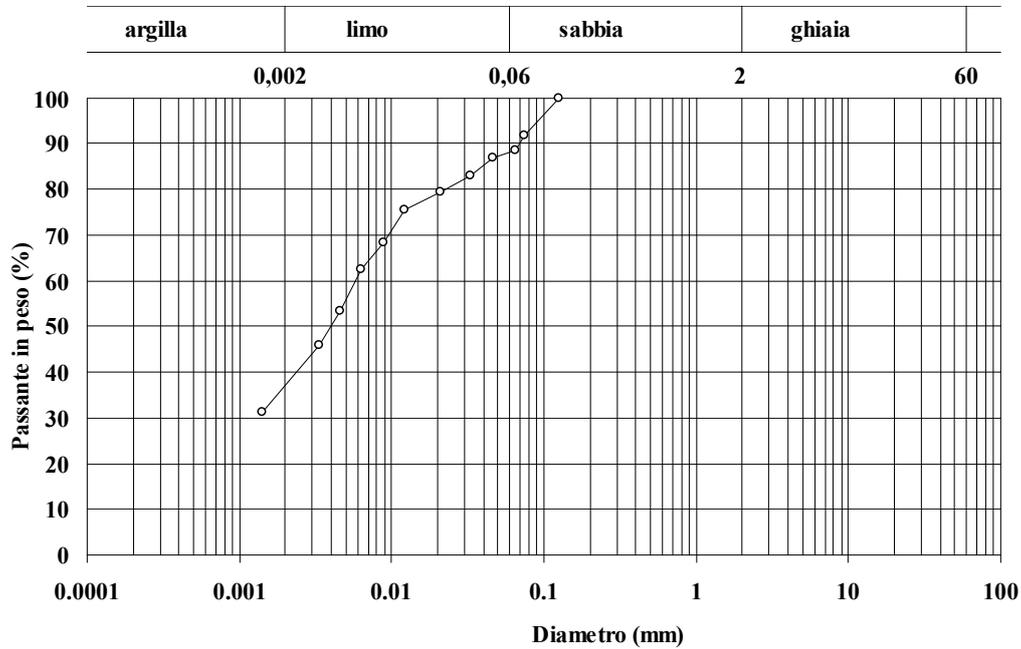
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	49,8
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	38,7
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	11,1

Sondaggio: Sn-Me 6

Campione: C2

Profondità: 108,0 – 108,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
92	0	12	51	37	0,125	0,006	-

Sondaggio: Sn-Me 06 Campione: C2

Profondità: 108,0 m – 108,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

dimensioni iniziali del provino:

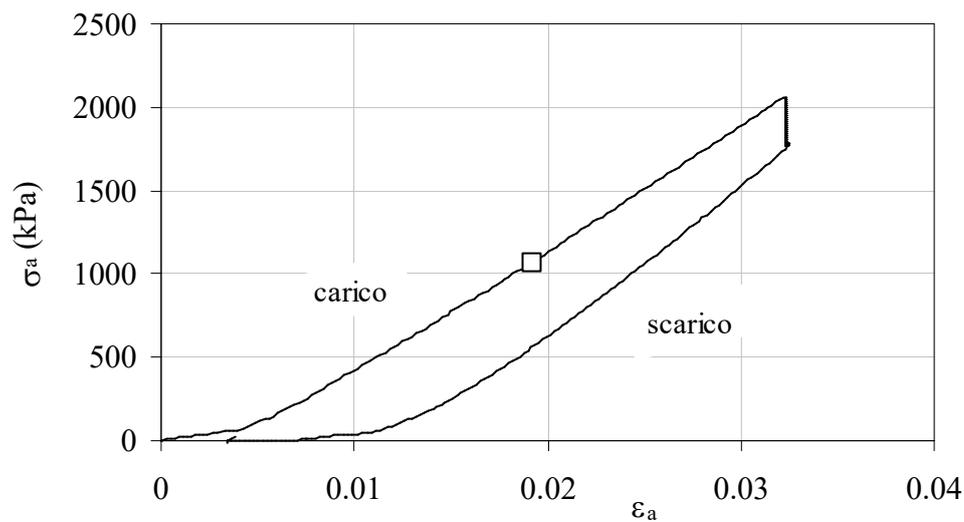
diametro: 68 mm

altezza: 120 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 1 mm/min

Condizioni iniziali:

		provino
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	23,57
contenuto d'acqua (%)	$w =$	9,83



Coesione non drenata $C_u = 508 \text{ kPa}$;

Sondaggio: Sn-Me 07 Campione: C3

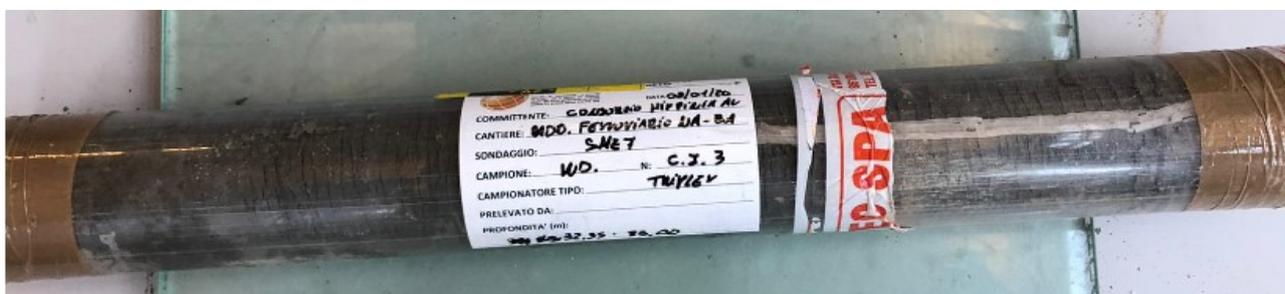
Profondità: 32,35 m – 33,0 m

Data di consegna: 21/01/2020

Stato del campione: disturbato

Lunghezza:

Descrizione. Grazie all'uso della fustella trasparente, è stato possibile verificare che il campione sarebbe stato inutilizzabile per le prove meccaniche. Si presentava infatti fittamente lesionato secondo piani perpendicolari all'asse.



Sondaggio: Sn -Me 08

Campione: C3

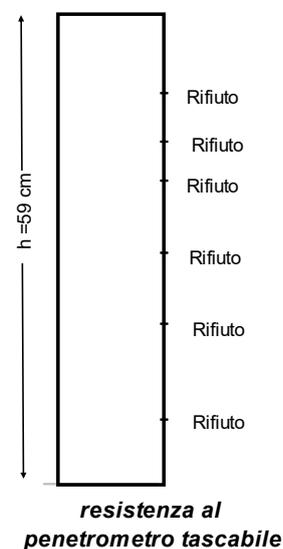
Profondità: 19,5 – 20,1 m

Data di apertura: 05/12/2019

Stato del campione: campione indisturbato

Lunghezza: 59 cm

Descrizione. Terreno molto duro di colore grigio, fittamente stratificato con livelli di granulometria dalle sabbie fini ai limi e alle argille. Alcuni livelli si presentano come “dischi” molto duri. Questa struttura si riflette fortemente sui risultati delle prove meccaniche, come mostrato dai diagrammi successivi. Il campione presenta alcune discontinuità che corrispondono alla superficie di separazione dei diversi strati. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione. ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,71		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	11,21	9,97	10,45
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	22,41	22,28	22,16
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	20,15	20,26	20,07
porosità (%)	$n =$	24,21	23,78	24,52
indice di porosità	$e =$	0,319	0,312	0,325
grado di saturazione (%)	$S_r =$	95,07	86,62	87,18

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	8,4
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

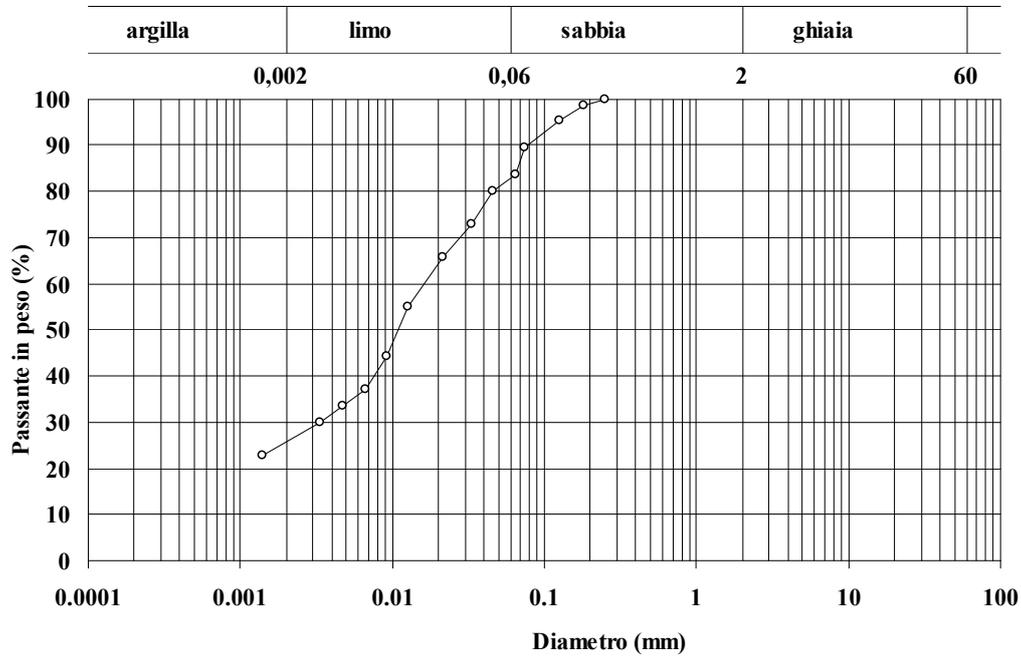
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	53,6
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	27,0
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	26,6

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C3

Profondità: 19,5 – 20,0 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)
89	-	17	57	26	0,2	0,016

Sondaggio: Sn-Me 08 Campione: C3

Profondità: 19,5 m – 20,1 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino: diametro: 36 mm altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,03 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3	provino 4
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	22,37	22,41	22,28	22,16
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,58	11,21	9,97	10,45
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	20,23	20,15	20,26	20,07
porosità (%)	$n =$	23,91	24,21	23,78	24,52
indice di porosità	$e =$	0,314	0,319	0,318	0,325
grado di saturazione (%)	$S_r =$	91,21	95,07	86,62	87,17
pressione di cella σ_c (kPa)		900	500	700	600
contropressione b.p. (kPa)		100	100	100	100

Condizioni a rottura

	provino 1	provino 2	provino 3	provino 4
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	2822	1623	6088	4520
deformazione assiale ε_a (%)	9	6	5	5
incremento di pressione interstiziale Δu (kPa)	307	171	3	45

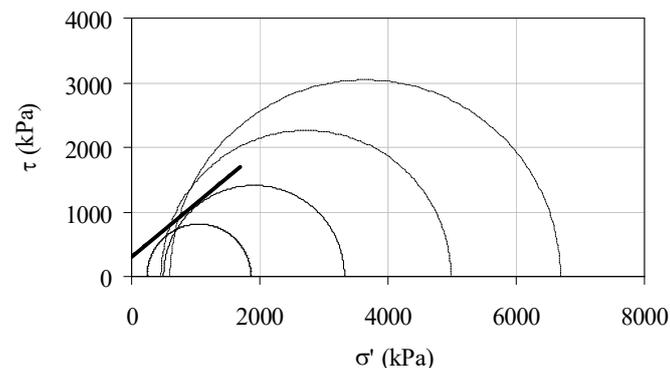
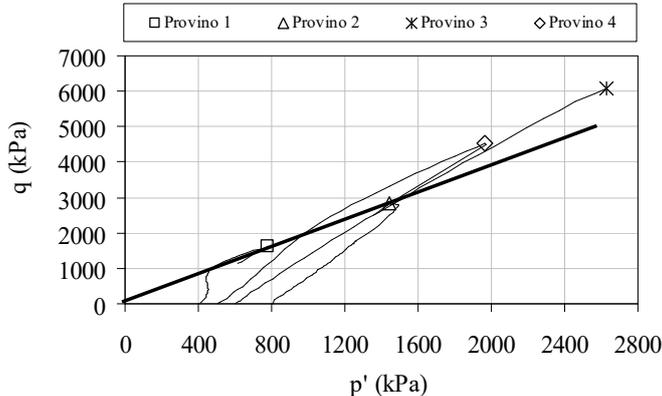
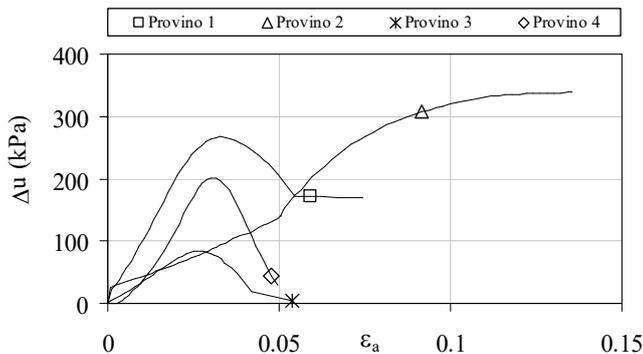
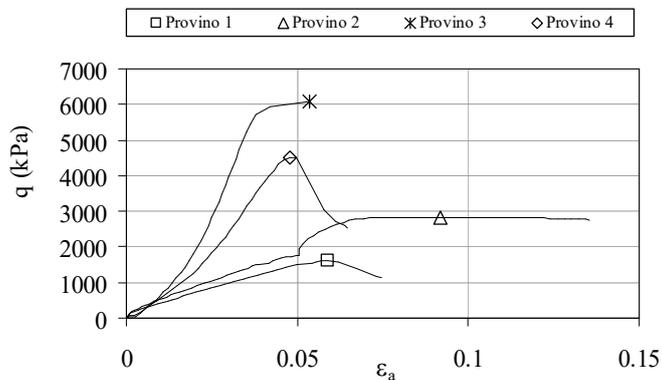
E' da osservare che il provino 2 esibisce una "strana" bassa deformabilità. Questo comportamento può essere interpretato considerando che il provino è costituito da straterelli perpendicolari all'asse di consistenza e durezza diverse. Nella fase pre – rottura, si sono compressi gli strati più "deboli", la rottura invece è chiamata in causa gli strati più resistenti. A questa particolare natura del terreno bisogna ascrivere i risultati complessivi della prova, interpretabili se confrontati con altri risultati sperimentali. La retta di Mohr riportata nei diagrammi della prova si riferisce a $c' = 300$ kPa e $\varphi' = 39^\circ$.

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C3

Profondità: 19,5 m – 20,1 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: **Sn-Me 08**

Campione: **C4**

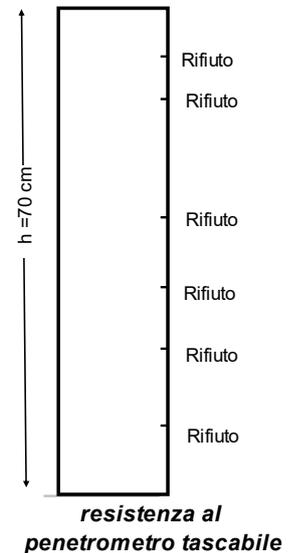
Profondità: **29,7 – 30,4 m**

Data di apertura: 03/12/2019

Stato del campione: lesionato lungo discontinuità stratigrafiche

Lunghezza: 70 cm

Descrizione. Terreno di colore grigio di consistenza molto disomogenea, risultato, all'apertura, suddiviso in più parti. Si distinguono una parte terrosa e una rocciosa. La parte terrosa è costituita da terreno a grana fine con stratificazione perpendicolare all'asse del campione, con livelli sabbiosi che costituiscono le discontinuità lungo le quali il campione si apre con una semplice pressione delle mani. La parte centrale è costituita da un materiale di consistenza lapidea. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,69		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,14	12,57	10,05
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,30	21,59	22,36
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,88	19,18	20,31
porosità (%)	$n =$	28,02	27,33	23,02
indice di porosità	$e =$	0,389	0,376	0,299
grado di saturazione (%)	$S_r =$	83,89	89,89	90,41

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	7,6
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

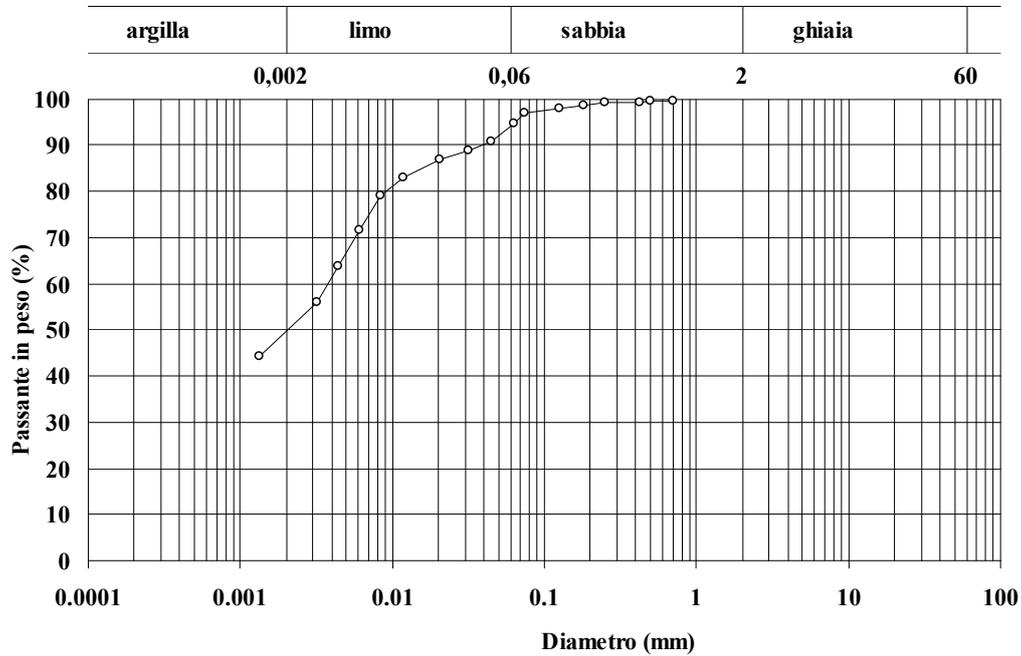
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	48,1
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	27,2
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	20,9

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C4

Profondità: 29,7 – 30,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)
97	0	7	43	50	0,7	0,004

Sondaggio: Sn-Me 08 Campione: C4

Profondità: 29,7 m – 30,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,03 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	21,30	21,59
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,14	12,57
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	18,99	19,18
porosità (%)	$n =$	28,02	27,33
indice di porosità	$e =$	0,389	0,376
grado di saturazione (%)	$S_r =$	83,89	89,89
pressione di cella σ_c (kPa)		400	600
contropressione b.p. (kPa)		100	100

Condizioni a rottura

	provino 1	provino 2
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	1848	1782
deformazione assiale ϵ_a (%)	3	6
incremento di pressione interstiziale Δu (kPa)	29	100

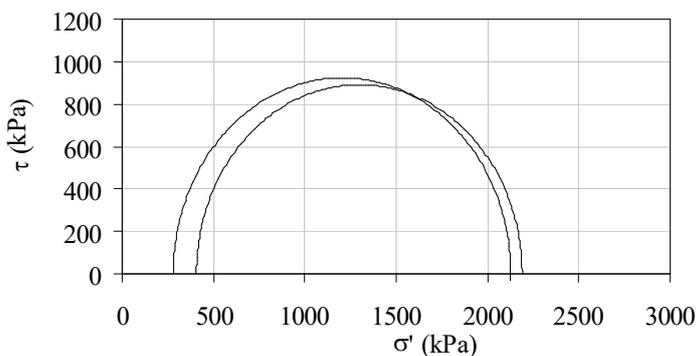
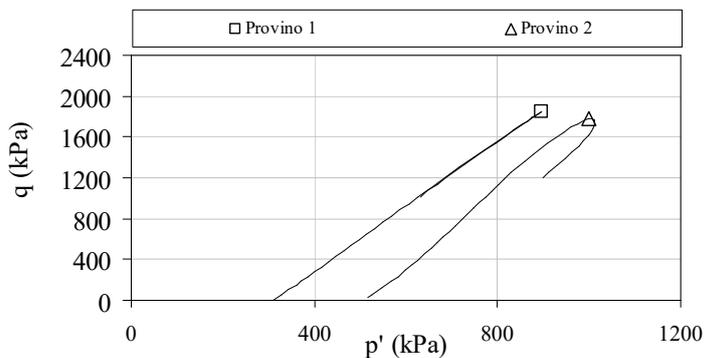
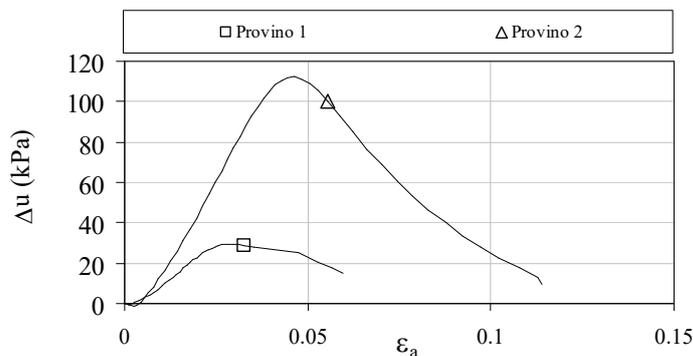
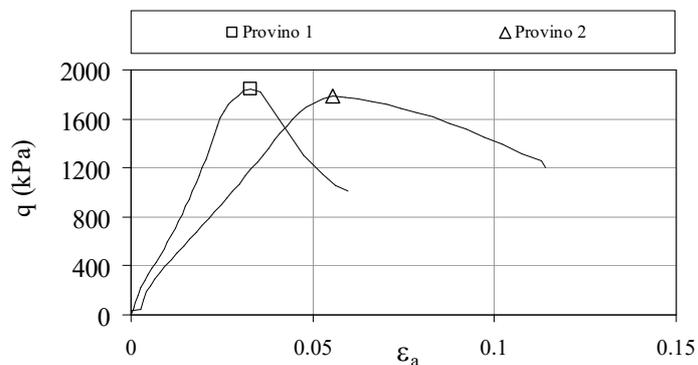
L'interpretazione in termini di criterio di resistenza della prova va fatta confrontando i due cerchi di Mohr ottenuti ai cerchi delle altre prove (Figura 5)

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C4

Profondità: 29,7 m – 30,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C4

Profondità: 29,7 m – 30,4 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

dimensioni iniziali del provino:

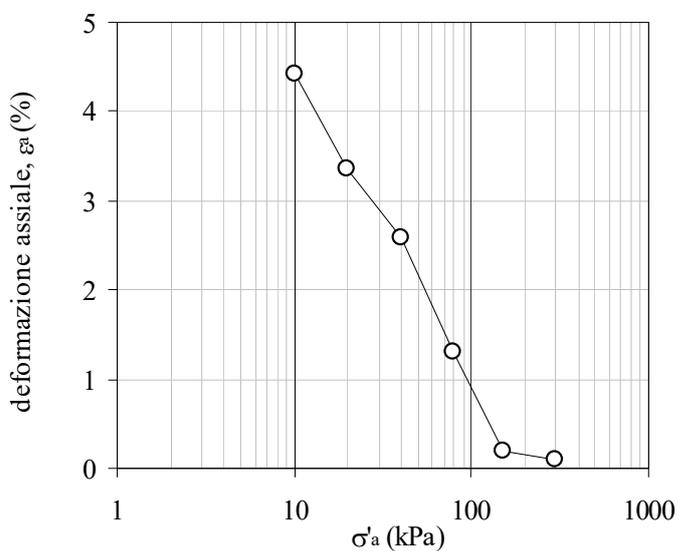
diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	22,36
contenuto d'acqua (%)	$w =$	10,05
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	20,31
porosità (%)	$n =$	23,02
indice di porosità	$e =$	0,299
grado di saturazione (%)	$S_r =$	90,41

tensione assiale σ'_a (kPa)	300	300	150	80	40	20	10
altezza h (mm)	18,93	18,95	18,97	19,18	19,42	19,57	19,77
indice di porosità e	0,227	0,229	0,230	0,243	0,259	0,268	0,282



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini di $\epsilon_a - \log \sigma'_n$

Sondaggio: Sn-Me 08

Campione: C4

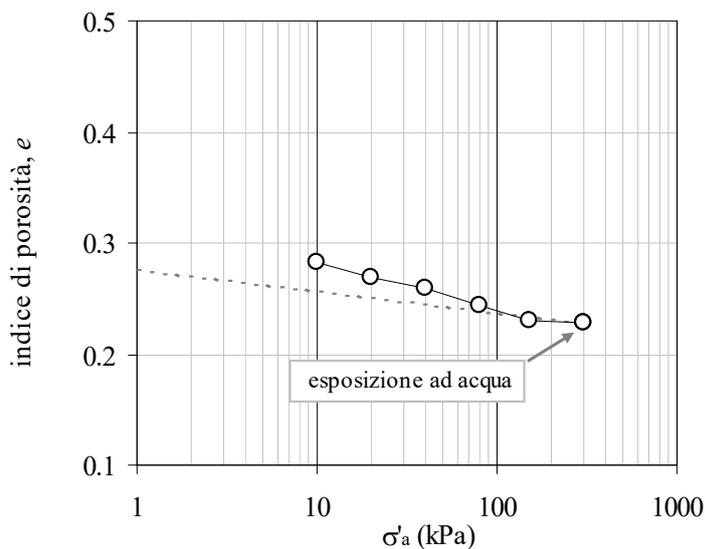
Profondità: 29,7 m – 30,4 m

PROVA HUDER-AMBERG MODIFICATA

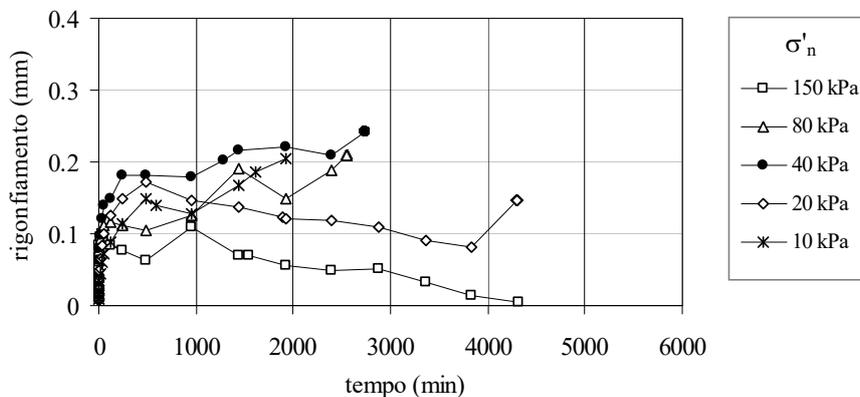
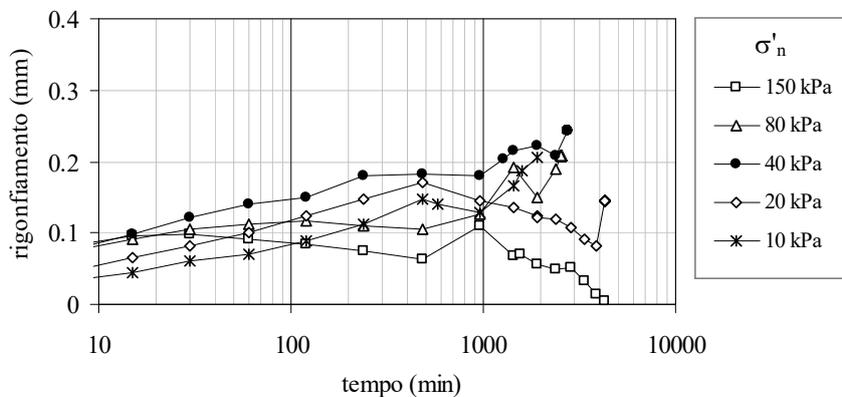
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Risultati della prova Huder –Amberg modificata in termini $e - \log \sigma'_n$



Evoluzione temporale dei rigonfiamenti in scala logaritmica e in scala naturale

Sondaggio: **Sn-Gr 03**

Campione: **C3**

Profondità: **31,0 – 31,4 m**

Data di apertura: 20/01/2020

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: campione 43 cm

Descrizione. Terreno a grana fine di colore grigio-verde. Il campione è costituito da alternanza di strati limosi e strati sabbiosi. In corrispondenza degli strati sabbiosi, si sono formate e aperte le lesionarsi.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,69	
contenuto d'acqua (%)	$w =$	15,78	21,26
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	2,09	2,05
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	17,73	16,56
porosità (%)	$n =$	32,83	37,24
indice di porosità	$e =$	0,489	0,593
grado di saturazione (%)	$S_r =$	86,88	96,40

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	
Ca^{++} (g/l)	
K^+ (g/l)	

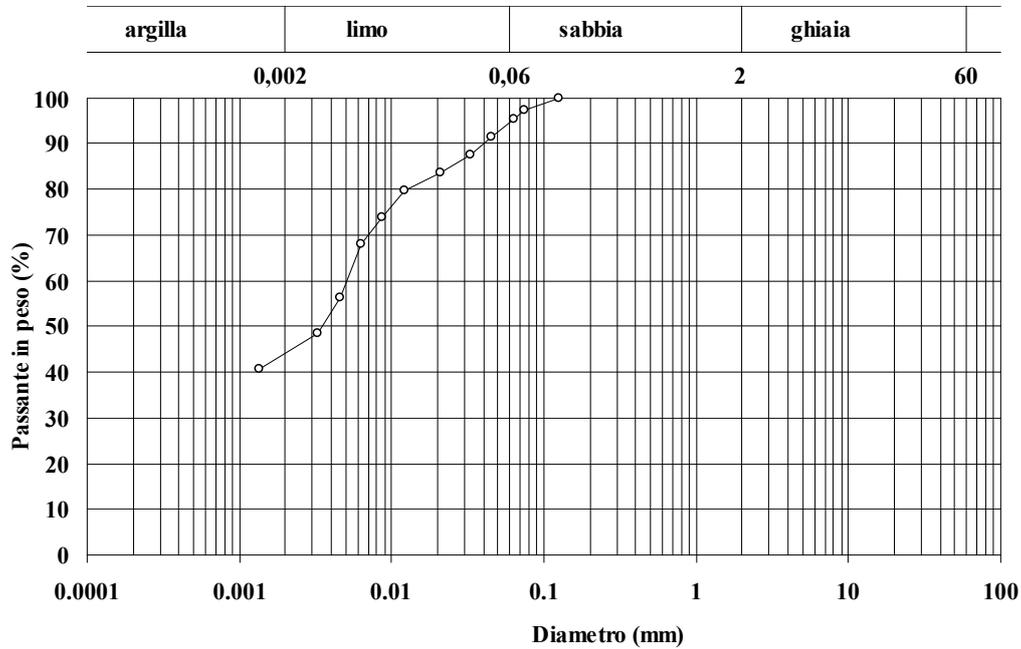
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	98,2
Limite di plasticità (%)	$w_p =$	33,1
Indice di plasticità (%)	$I_p =$	65,1

Sondaggio: Sn-Gr 03

Campione: C3

Profondità: 31,0 – 31,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)
97	0	4	53	43	0,125	0,004

Sondaggio: Sn-Gr 03

Campione: C3

Profondità: 31,0 m – 31,4 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

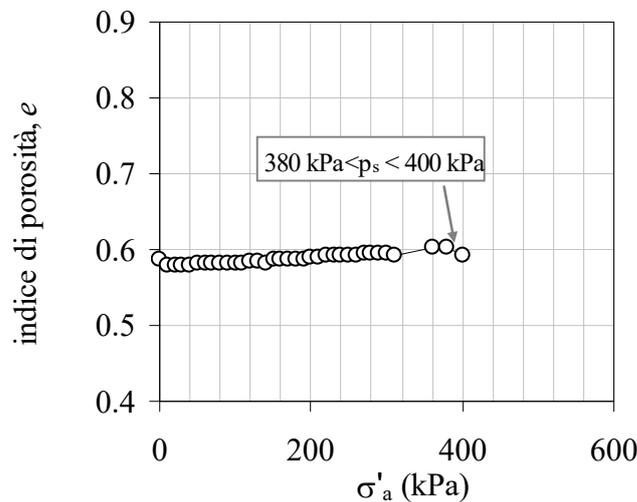
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

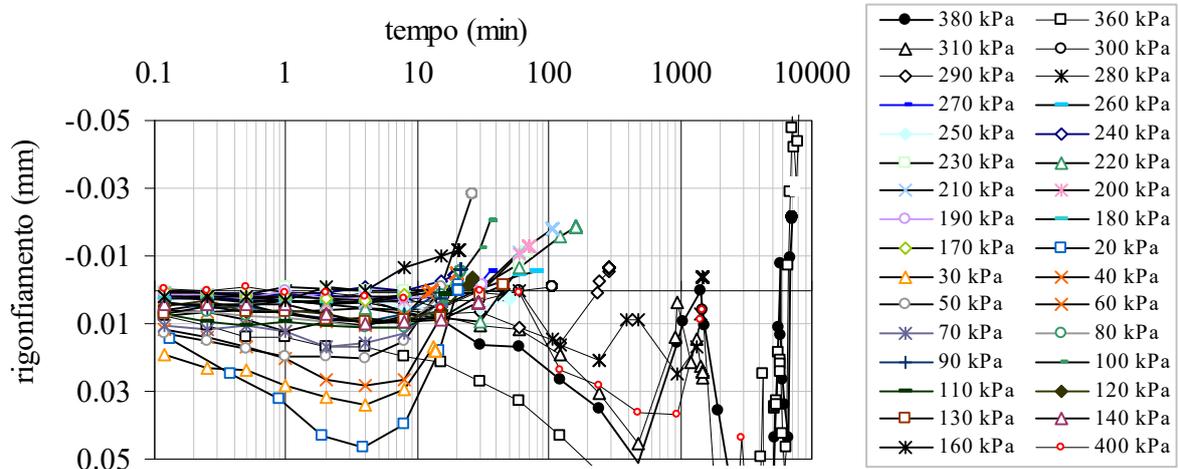
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,30
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,00
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,62
porosità (%)	$n =$	37,02
indice di porosità	$e =$	0,588
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,11



Pressione di rigonfiamento 380 kPa < p_s < 400 kPa



Sondaggio: Sn-Gr 03

Campione: C3

Profondità: 31,0 m – 31,4 m

PRESSIONE DI RIG. IN SOLUZIONE SIMILE A QUELLA DI POROSITA' ($Na^+ = 8 \text{ g/l}$)

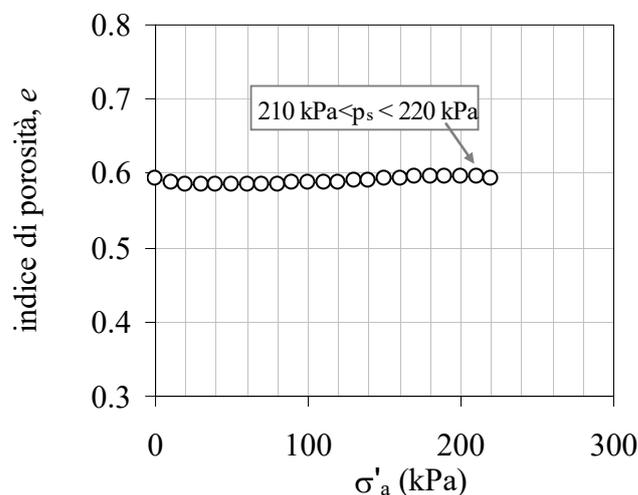
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

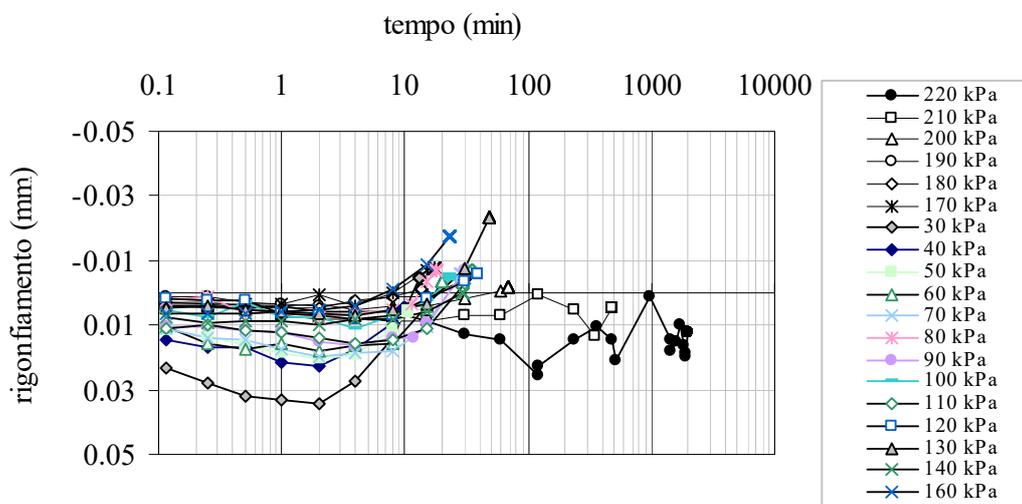
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	20,08
contenuto d'acqua (%)	$w =$	21,26
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	16,56
porosità (%)	$n =$	37,24
indice di porosità	$e =$	0,593
grado di saturazione (%)	$S_r =$	96,40



Pressione di rigonfiamento $210 \text{ kPa} < p_s < 220 \text{ kPa}$



Caterina Di Maio

Sondaggio: **Sn-Gr 06**

Campione: **C1**

Profondità: **9,2 – 9,6 m**

Data di apertura: 13/12/19

Stato del campione: rimaneggiato

Lunghezza: 39 cm

Descrizione. Terreno sabbioso di colore giallognolo. Nella parte centrale si rinvencono elementi lapidei di dimensioni centimetriche.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso dell'unità di volume del solido (kN/m ³)	$G_s =$	2,69		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	12,84	10,44	10,61
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,99		

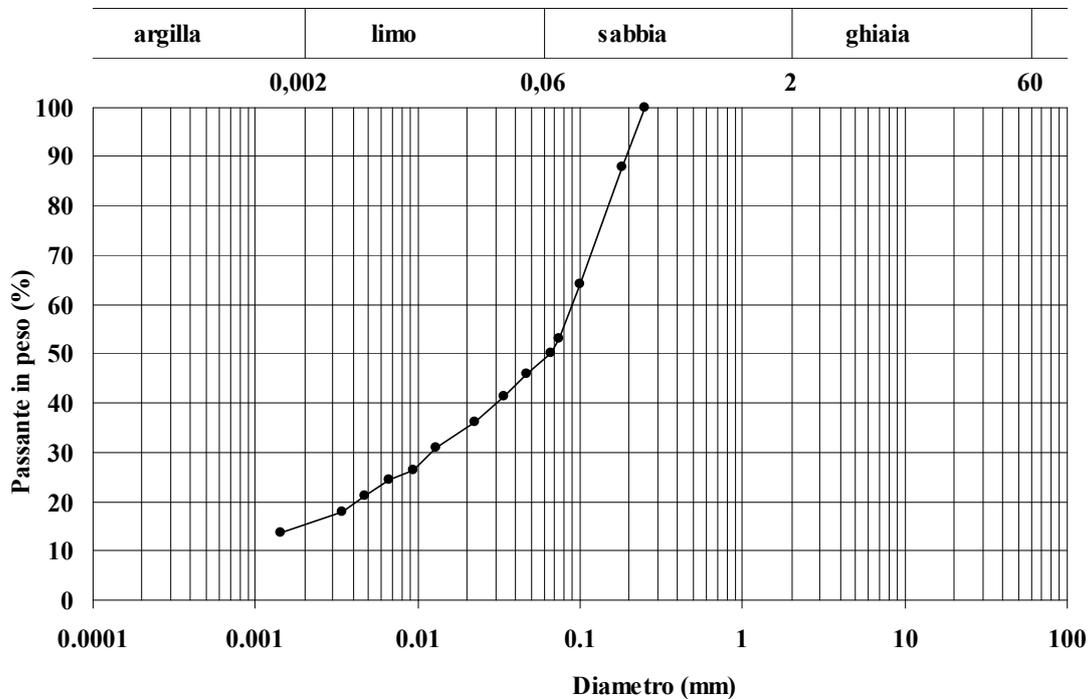
CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na ⁺ (g/l)	0,4
Ca ⁺⁺ (g/l)	3,1
K ⁺ (g/l)	0

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C1

Profondità: 9,2 – 9,6 m



Classifica granulometrica: Sabbia con limo argillosa

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)
53	-	50	35	15	0,25	0,09

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C1

Profondità: 9,2 m – 9,6 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

dimensioni del provino

sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

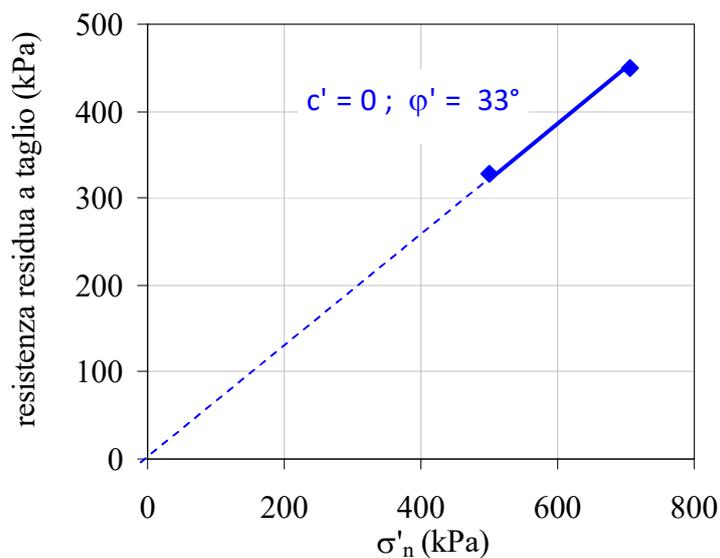
altezza iniziale: 30 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,05 mm/min

La prova è stata eseguita su un unico provino. Inizialmente il provino è stato consolidato con una tensione normale di 501 kPa, e sono stati eseguiti due cicli di taglio che hanno fornito resistenze molto simili. Lo stesso provino è stato quindi tagliato sotto altri due stati tensionali normali.

Condizioni iniziali

		provino 1
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,98

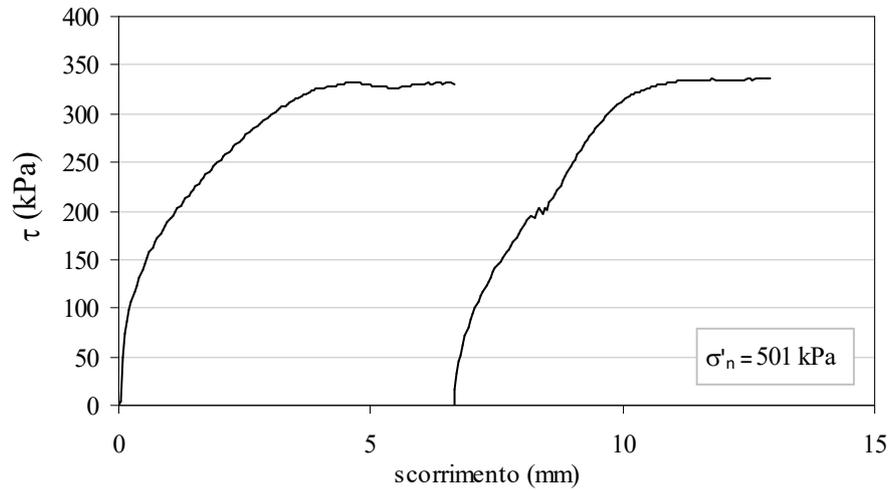


Sondaggio: Sn-Gr 06

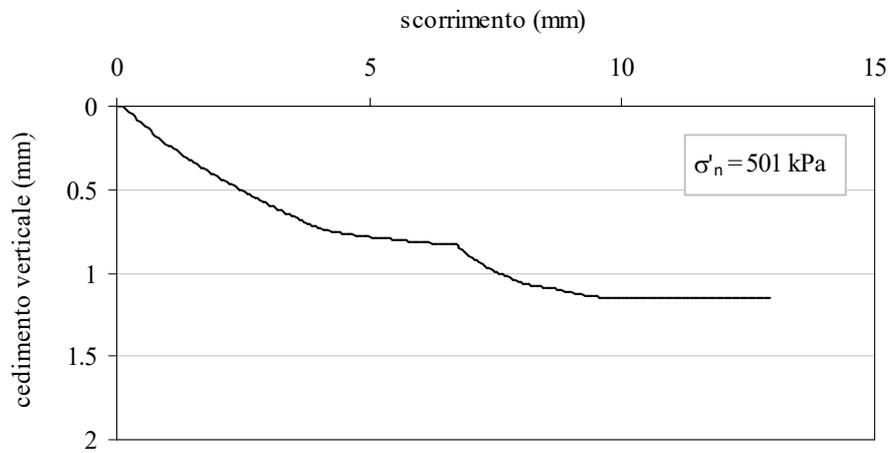
Campione: C1

Profondità: 9,2 m – 9,6 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



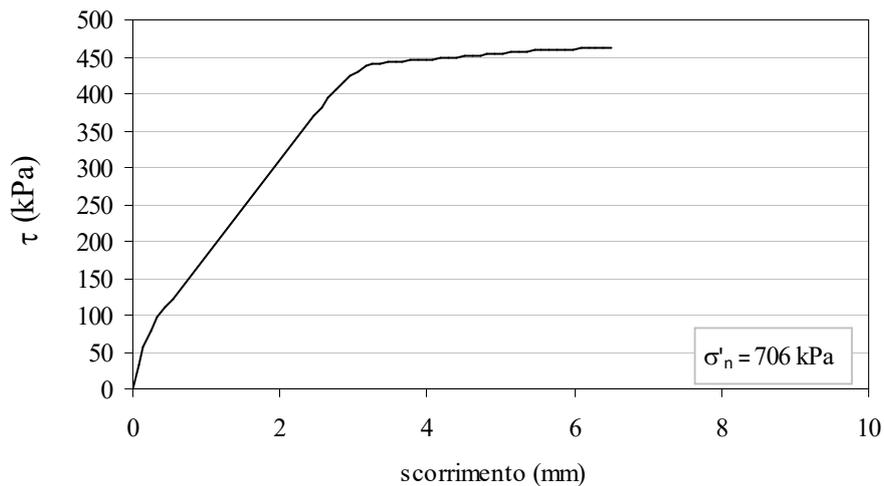
Curve τ – scorrimento orizzontale ottenute per il provino 1



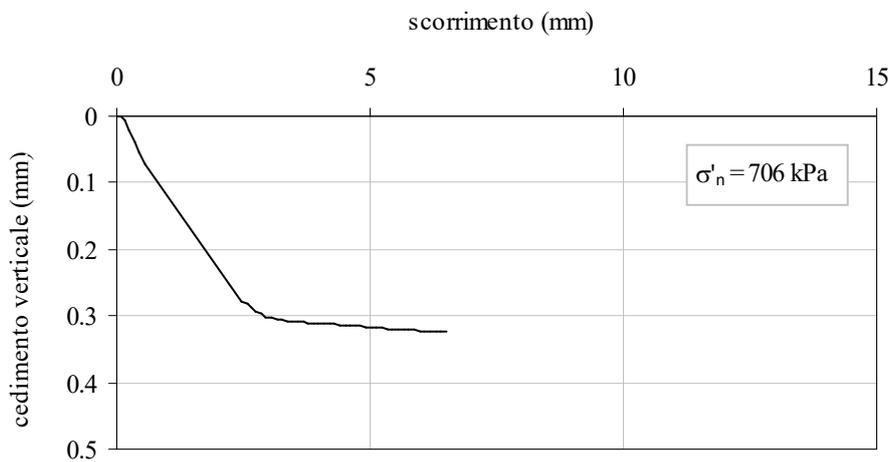
Curve cedimento verticale – scorrimento ottenute per il provino 1

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Curve τ – scorrimento orizzontale ottenute per il provino 1



Curve cedimento verticale – scorrimento ottenute per il provino 1



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

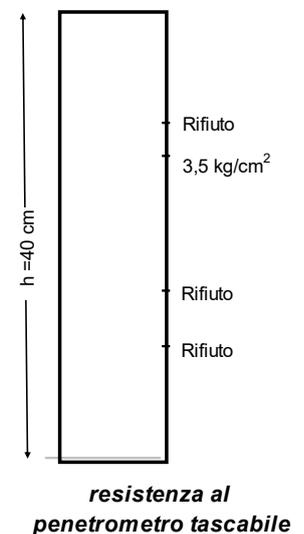
Profondità: 13,0 m – 13,4 m

Data di apertura: 12/12/19
rimaneggiato

Stato del campione: parzialmente

Lunghezza: 40 cm

Descrizione. Terreno argilloso in cui si distingue una parte superiore giallognola ed una inferiore di colore grigio con fasce di ossidazione e nidi sabbiosi. Il penetrometro tascabile va a rifiuto nella parte giallognola, esibisce una resistenza pari a 3,5 kg/cm² nella parte grigia.



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,71		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	32,53	32,53	29,05
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	18,12	18,11	19,16
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	13,67	13,67	14,85
porosità (%)	$n =$	48,58	48,60	44,15
indice di porosità	$e =$	0,945	0,945	0,790
grado di saturazione (%)	$S_r =$	93,30	93,24	99,60

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na ⁺ (g/l)	1,2
Ca ⁺⁺ (g/l)	0
K ⁺ (g/l)	0

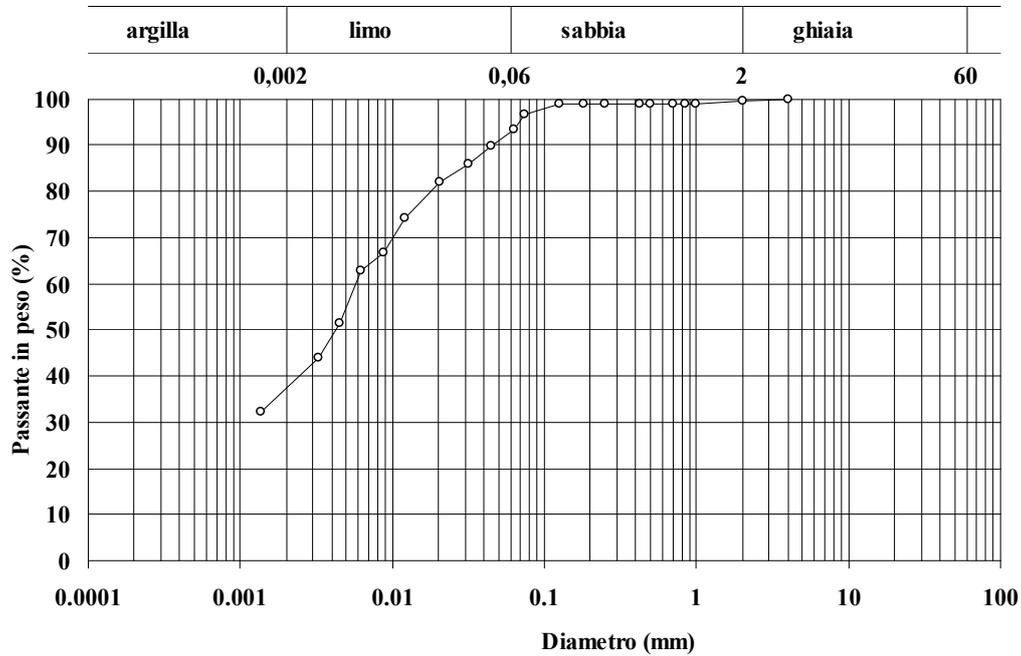
LIMITI DI ATTERBERG

Limite di liquidità (%)	$w_L =$	65,6
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	40,4
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	25,2

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

Profondità: 13,0 – 13,4 m



Classifica granulometrica: Limo con argilla debolmente sabbioso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)
96	-	6	56	38	2	0,007

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

Profondità: 13,0 m – 13,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,2 mm/min

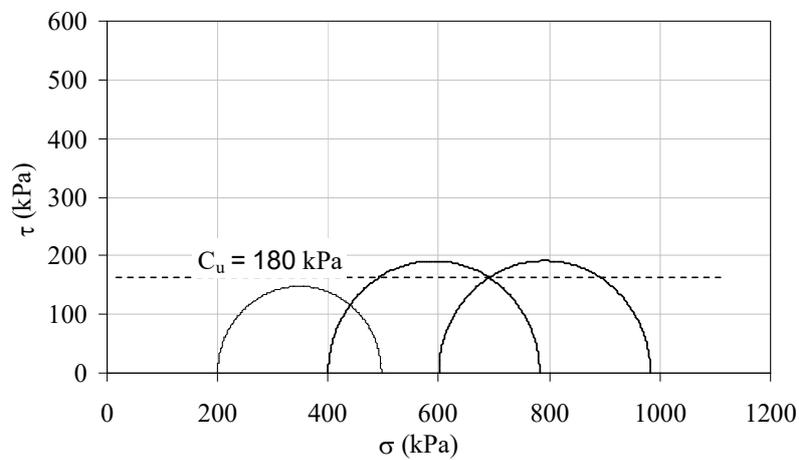
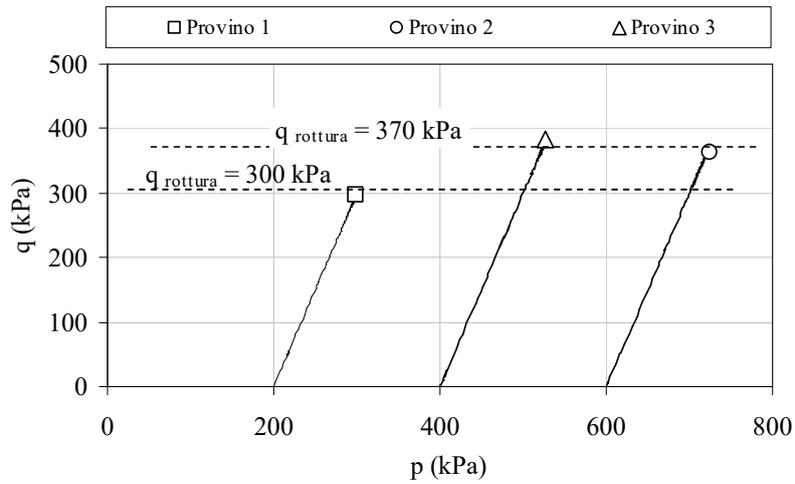
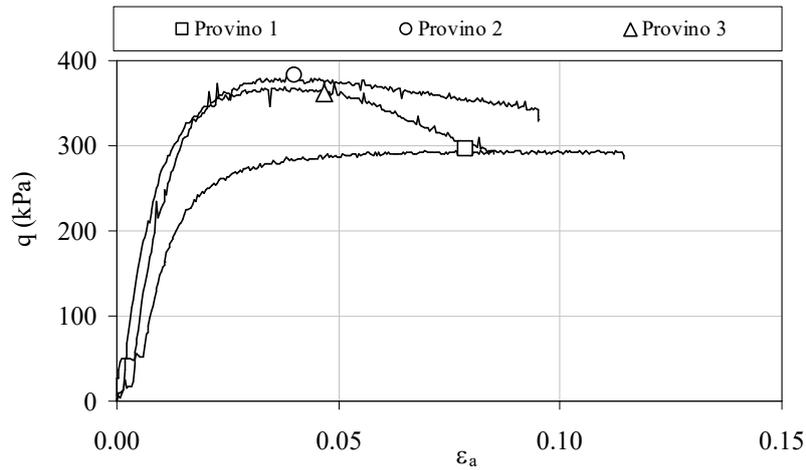
Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	17,86	18,12	18,11
contenuto d'acqua (%)	$w =$	31,80	32,53	32,53
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	13,55	13,67	13,67
porosità (%)	$n =$	49,02	48,58	48,60
indice di porosità	$e =$	0,961	0,945	0,945
grado di saturazione (%)	$S_r =$	89,64	93,30	93,24
pressione di cella σ_c (kPa)		200	400	600

Condizioni a rottura

	provino 1	provino 2	provino 3
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	296	382	375
deformazione assiale ε_a (%)	8	4	5

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

Profondità: 13,0 m – 13,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

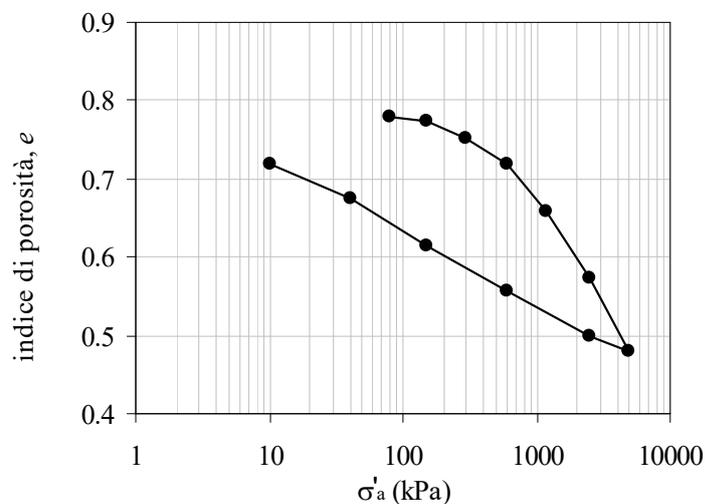
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,16
contenuto d'acqua (%)	$w =$	29,05
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	14,85
porosità (%)	$n =$	44,15
indice di porosità	$e =$	0,790
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,60

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
80	19,88	0,780	
150	19,81	0,774	19,32
300	19,58	0,753	12,80
600	19,19	0,718	14,77
1200	18,53	0,659	17,31
2500	17,57	0,573	24,32
5000	16,52	0,479	40,65
2500	16,74	0,498	
600	17,38	0,556	
150	18,04	0,615	
40	18,71	0,675	
10	19,19	0,718	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

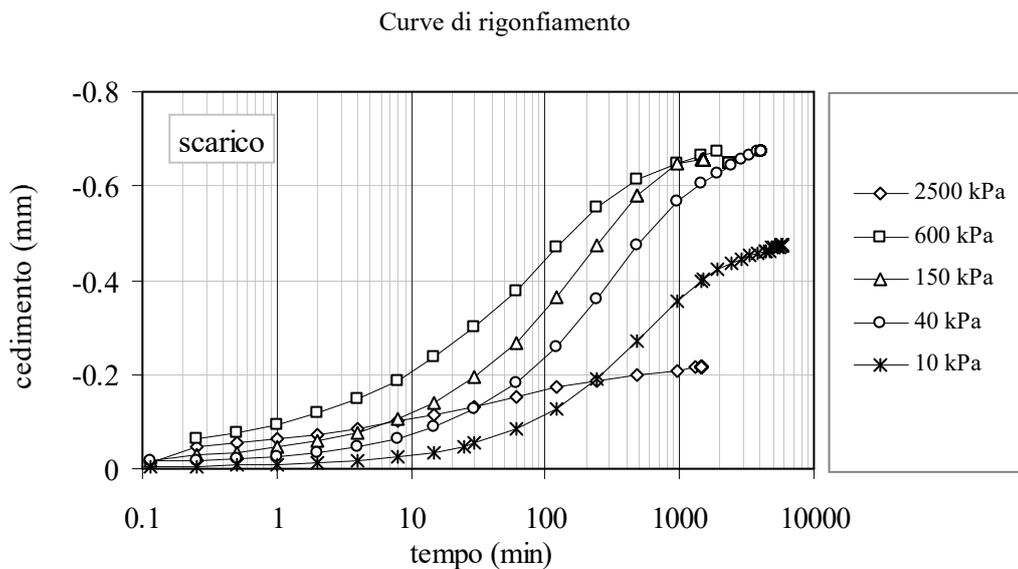
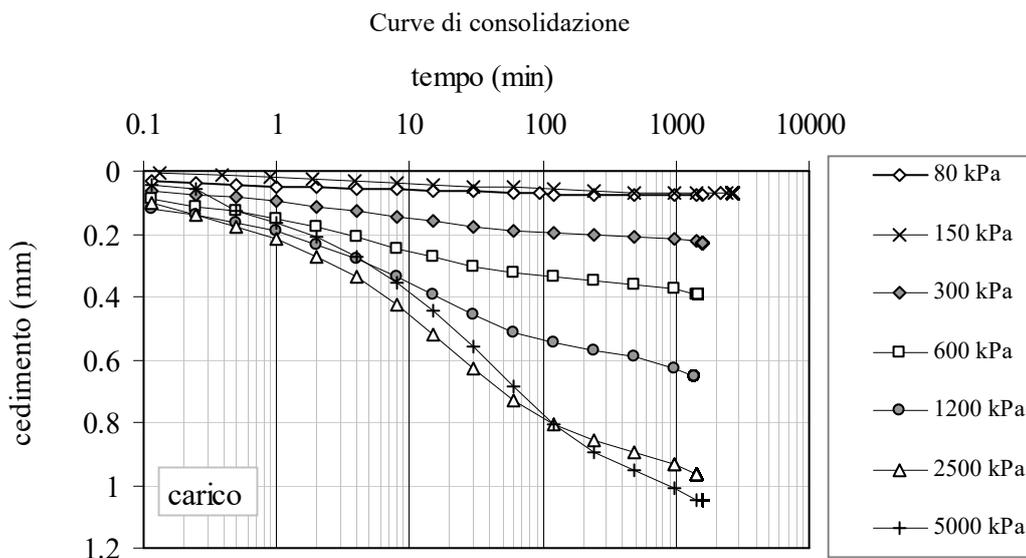
Profondità: 13,0 m – 13,4 m

PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

Profondità: 13,0 m – 13,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA IN SOLUZIONE 1 M KCl

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

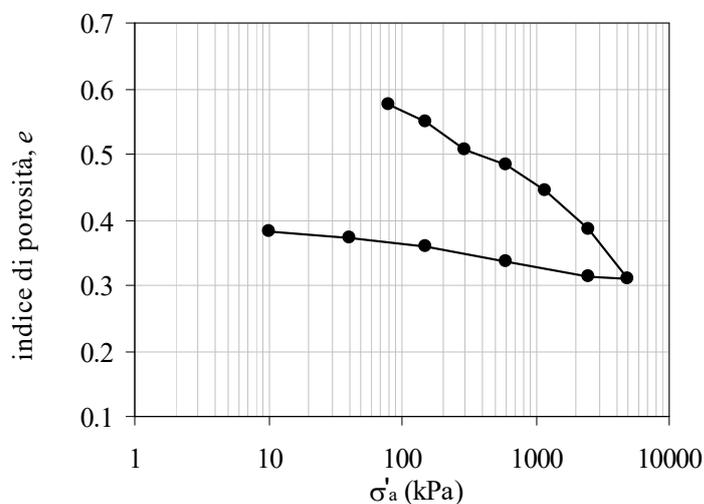
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,07
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,32
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	16,27
porosità (%)	$n =$	38,78
indice di porosità	$e =$	0,634
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,76

tensione assiale σ'_a (kPa)	altezza h (mm)	indice di porosità e	E_{cd} (MPa)
80	19,29	0,575	
150	18,97	0,550	4,28
300	18,45	0,507	5,38
600	18,16	0,483	18,59
1200	17,70	0,446	23,65
2500	16,96	0,385	30,23
5000	16,02	0,308	43,96
2500	16,08	0,313	
600	16,34	0,335	
150	16,62	0,358	
40	16,78	0,371	
10	16,91	0,381	

Curve di compressione e scarico



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C2

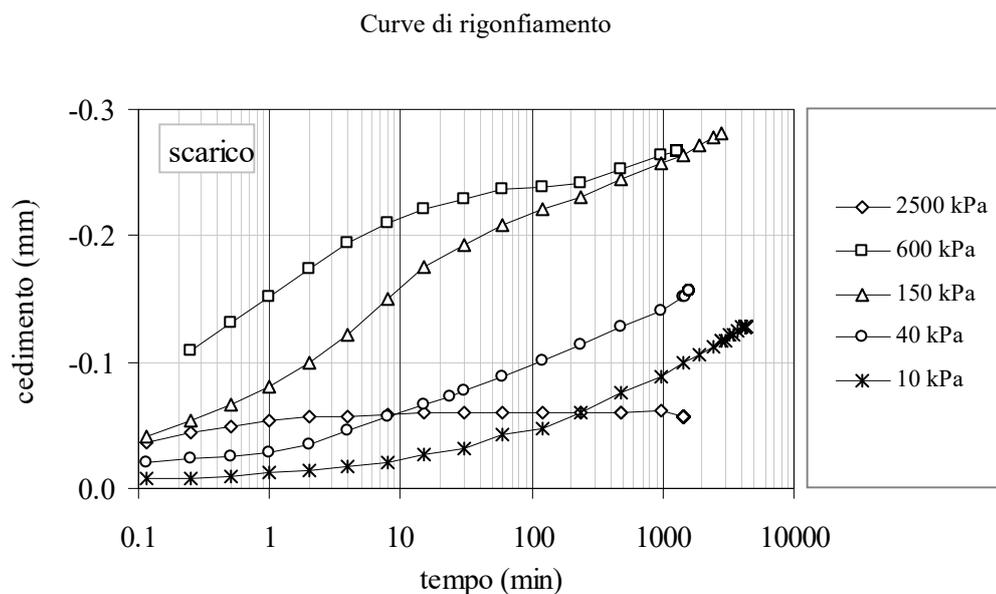
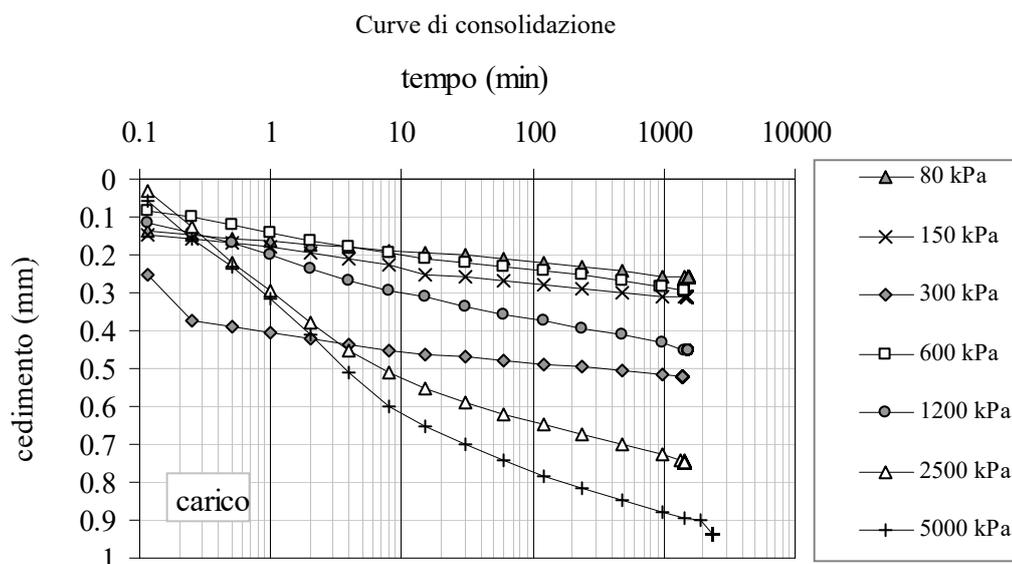
Profondità: 13,0 m – 13,4 m

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA IN SOLUZIONE 1 M KCl

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C3

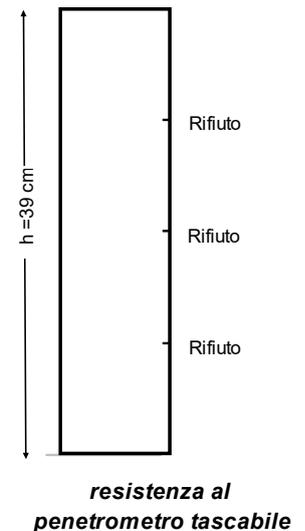
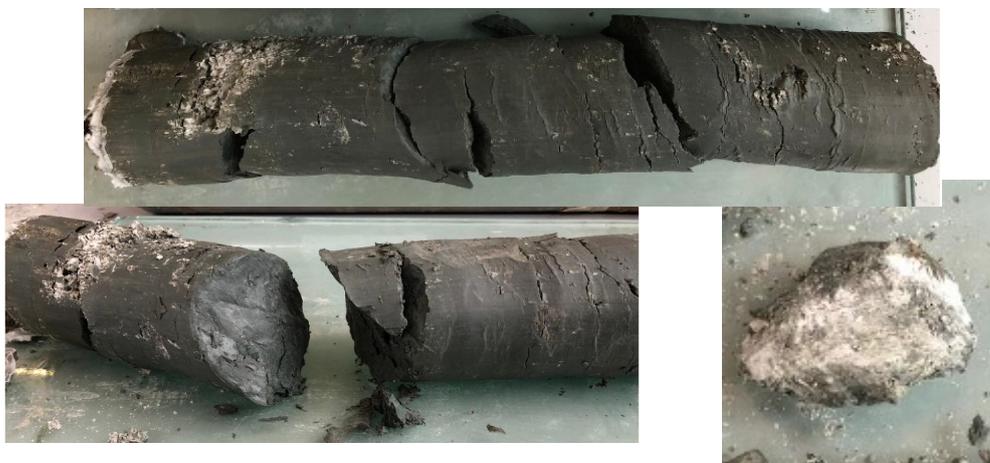
Profondità: 19,6 – 20,0 m

Data di apertura: 12/12/2019

Stato del campione: lesionato

Lunghezza: 39 cm

Descrizione. Terreno a grana fine, argilloso, di colore grigio scuro. Il campione si è lesionato in più parti lungo discontinuità lisce e lucide. Sono presenti striature ed elementi calcarei biancastri di dimensioni variabili fra qualche millimetro e qualche centimetro. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo del campione ($UCS > 5 \text{ kg/cm}^2$).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,71		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,67	21,27	19,03
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	18,81		
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	15,21		
porosità (%)	$n =$	42,80		
indice di porosità	$e =$	0,748		
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,73		

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na^+ (g/l)	4,7
Ca^{++} (g/l)	0
K^+ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

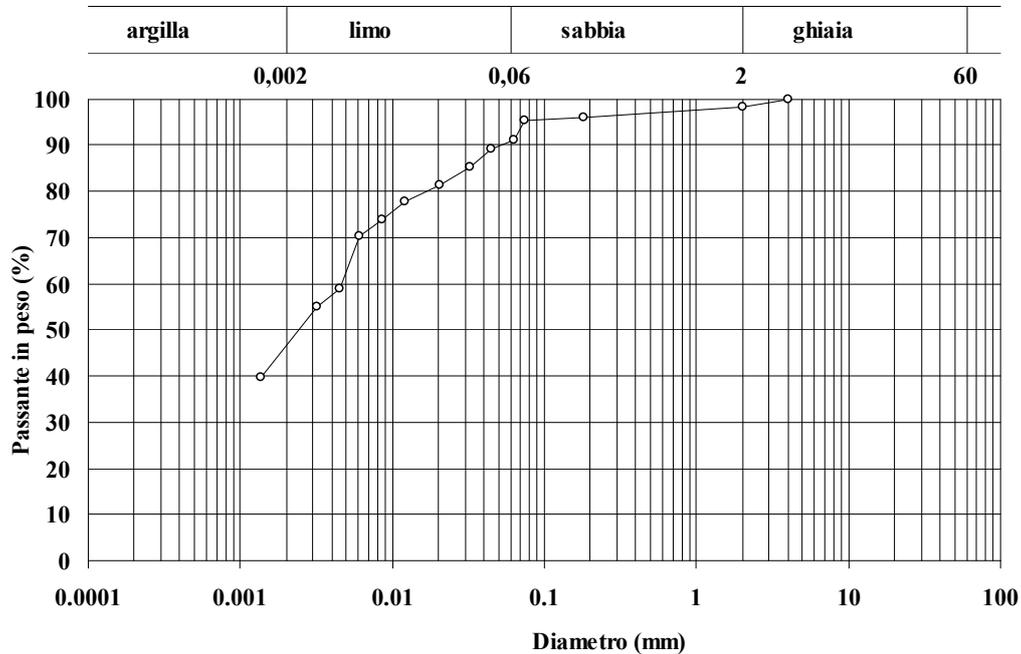
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	119,8
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	48,5
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	71,3

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C3

Profondità: 19,6 – 20,0 m



Classifica granulometrica: Argilla con limo debolmente sabbiosa

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
95	2	8	43	47	4	0,0048	-

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C3

Profondità: 19,6 m – 20,0 m

PROVA DI TAGLIO DIRETTO E

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI CHIMICI INDOTTI DALL'ESPOSIZIONE A FLUIDI DIVERSI DA QUELLO NATURALE SULLA RESISTENZA RESIDUA

Descrizione sintetica della prova

È stata eseguita una prova di taglio diretto su un solo provino che dopo la fase di consolidazione ($\sigma'_n = 300$ kPa) è stato tagliato fino alle condizioni residue. Raggiunte le condizioni residue, per valutare gli effetti sulla resistenza dovuti all'esposizione ad una soluzione diversa da quella interstiziale, il provino è stato messo a contatto inizialmente con una soluzione 1 M NaCl e successivamente con una soluzione 1 M KCl.

dimensioni del provino

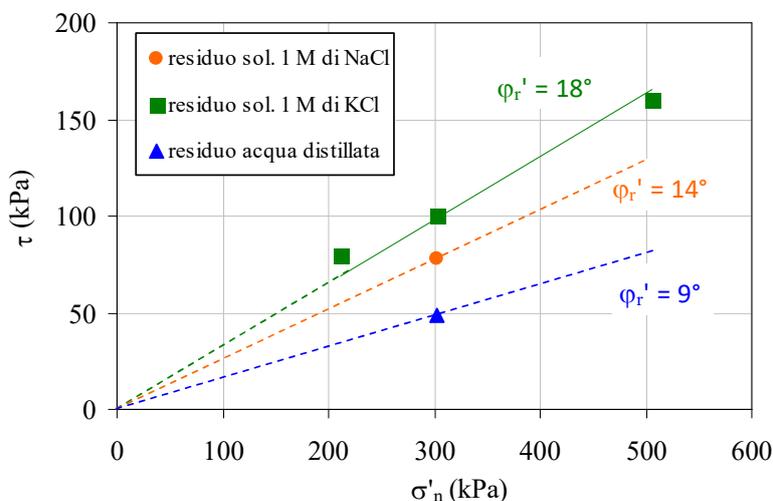
sezione orizzontale: 60 mm x 60 mm

altezza iniziale: 30 mm

prova a velocità di scorrimento controllata – velocità di scorrimento: 0,005 mm/min

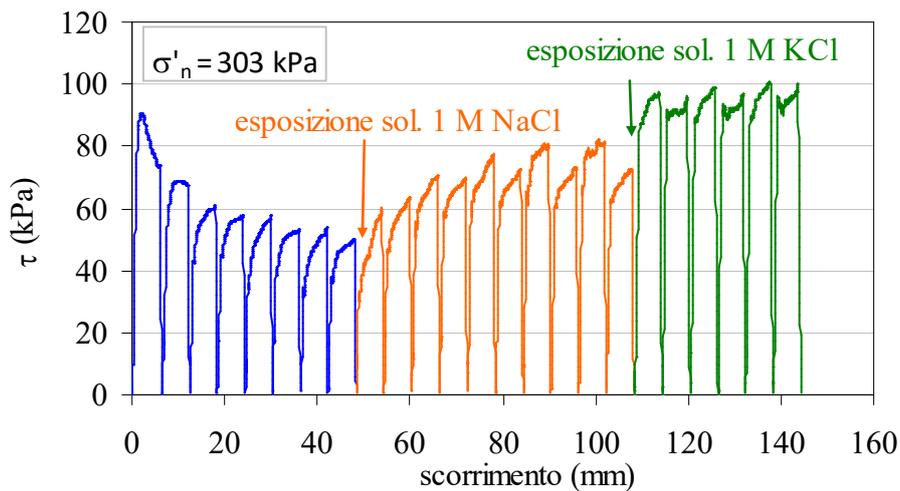
Condizioni iniziali

		provino 1
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	18,81
contenuto d'acqua (%)	$w =$	23,67
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	15,21
porosità (%)	$n =$	42,80
indice di porosità	$e =$	0,748
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,73

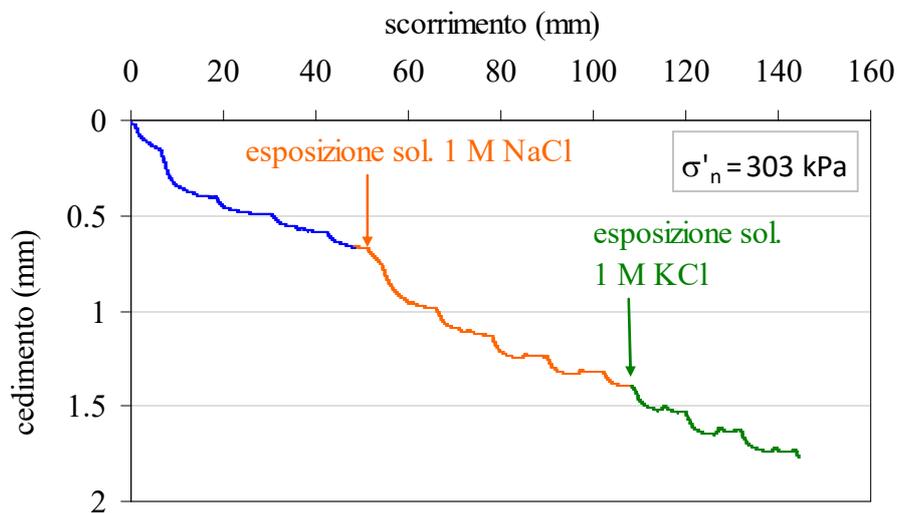


PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Curve τ – scorrimento orizzontale



Curve cedimento verticale – scorrimento



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C4

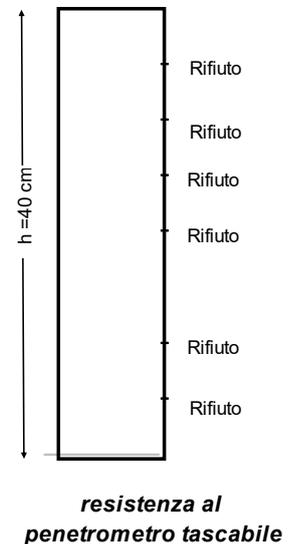
Profondità: 25,4 - 25,9 m

Data di apertura: 10/12/2019

Stato del campione: campione indisturbato

Lunghezza: 40 cm

Descrizione. Terreno a grana fine di colore grigio scuro con vene e elementi biancastri di calcite. È possibile riconoscere una stratificazione sub- orizzontale. Il penetrometro tascabile va a rifiuto lungo l'intero sviluppo (UCS > 5 kg/cm²).



CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,72		
contenuto d'acqua (%)	$w =$	26,50	25,60	26,27
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,60	19,74	19,65
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,49	15,72	15,56
porosità (%)	$n =$	41,94	41,09	41,69
indice di porosità	$e =$	0,723	0,698	0,715
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,76	99,82	99,96

CONCENTRAZIONE DI SODIO, CALCIO E POTASSIO NEL FLUIDO DI POROSITA'

Na ⁺ (g/l)	7,5
Ca ⁺⁺ (g/l)	0
K ⁺ (g/l)	0

LIMITI DI ATTERBERG

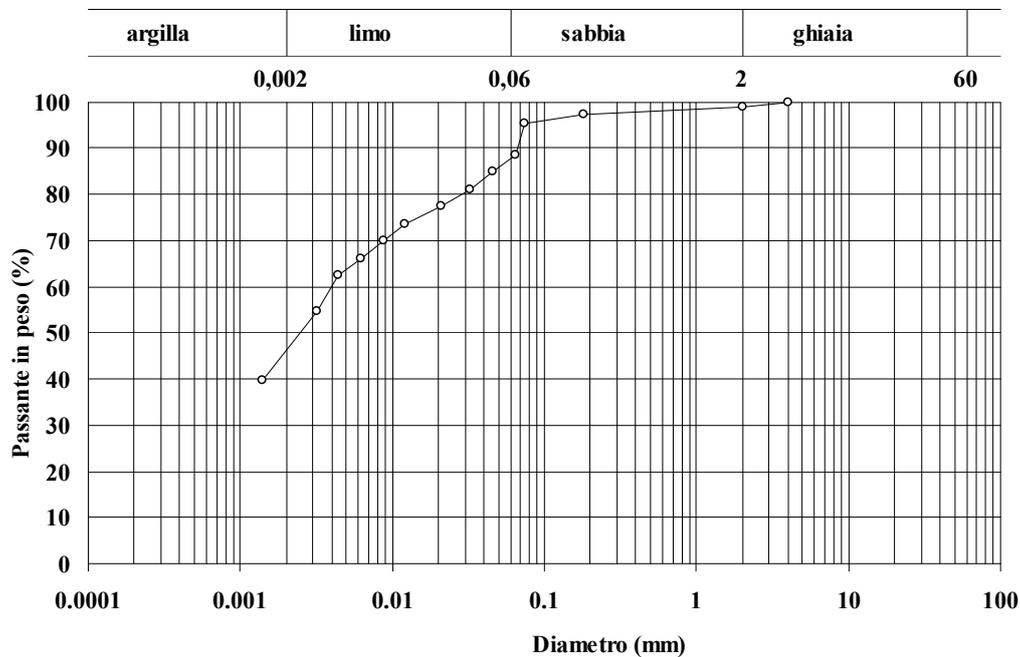
Limite di liquidità (%)	$w_L =$	106,6
Limite di plasticità (%)	$w_P =$	41,4
Indice di plasticità (%)	$I_P =$	65,2

Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C4

Profondità: 25,4 – 25,9 m



Classifica granulometrica: Argilla con limo sabbiosa

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D _{max} (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)
95	1	11	42	46	4	0,004	-

Sondaggio: Sn-Gr 06 Campione: C4

Profondità: 25,4 m – 25,9 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 36 mm

altezza: 72 mm

prova a deformazione controllata – velocità di deformazione: 0,03 mm/min

Condizioni iniziali

		provino 1	provino 2	provino 3
peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	20,25	20,31	19,65
contenuto d'acqua (%)	$w =$	16,29	19,68	26,27
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	17,41	16,97	15,56
porosità (%)	$n =$	34,75	36,40	41,69
indice di porosità	$e =$	0,533	0,572	0,715
grado di saturazione (%)	$S_r =$	83,18	93,50	99,96
pressione di cella σ_c (kPa)		400	700	900
contropressione b.p. (kPa)		100	100	100

Condizioni a rottura

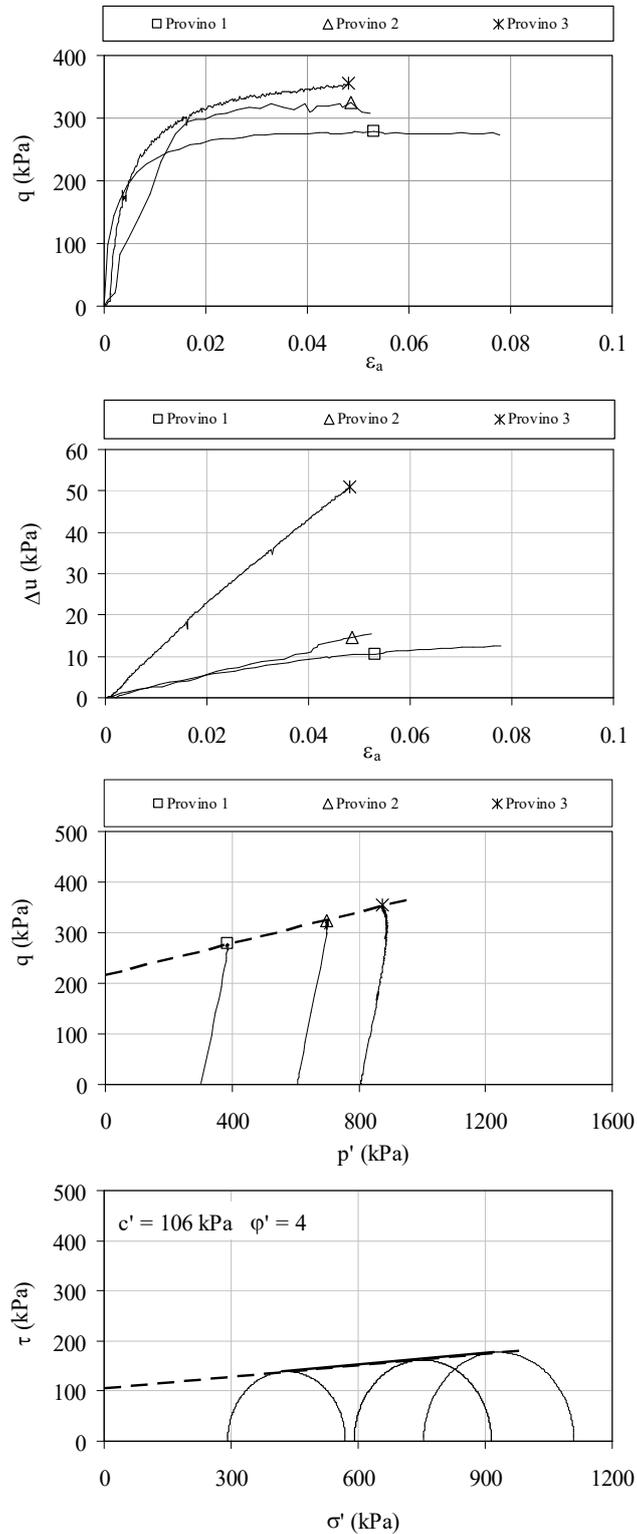
	provino 1	provino 2	provino 3
tensione deviatorica $q = \sigma_a - \sigma_c$ (kPa)	278	324	355
deformazione assiale ϵ_a (%)	5	5	5
incremento di pressione interstiziale Δu (kPa)	11	14	51

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C4

Profondità: 25,4 m – 25,9 m

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA



Caterina Di Maio

Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C4

Profondità: 25,4 m – 25,8 m

PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN ACQUA

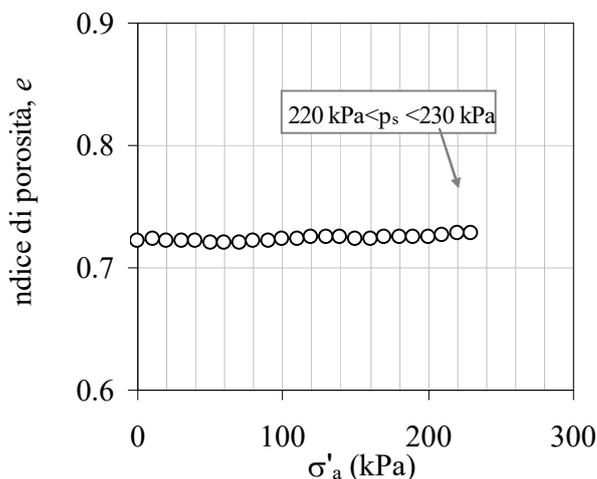
dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

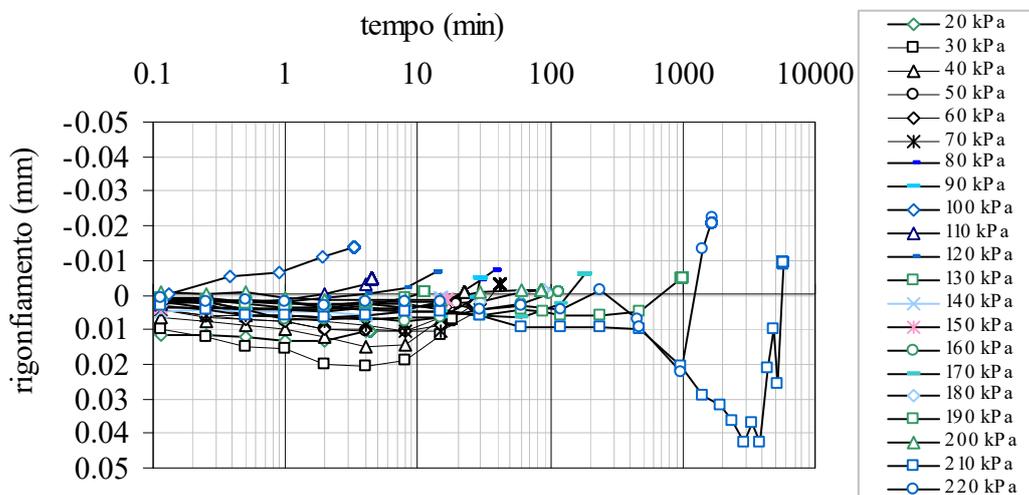
altezza: 20 mm

Condizioni iniziali

peso dell'unità di volume (kN/m ³)	$\gamma =$	19,60
contenuto d'acqua (%)	$w =$	26,50
peso dell'unità di volume del secco (kN/m ³)	$\gamma_d =$	15,49
porosità (%)	$n =$	41,94
indice di porosità	$e =$	0,723
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,76



Pressione di rigonfiamento 220 kPa < p_s < 230 kPa



Sondaggio: Sn-Gr 06

Campione: C4

Profondità: 25,4 m – 25,9 m

RIGONFIAMENTO OSMOTICO PER ESPOSIZIONE AD ACQUA DISTILLATA DOPO IL RAGGIUNGIMENTO DELLA PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN PROVE STANDARD

Dopo aver determinato la pressione di rigonfiamento mediante prove standard, il provino del campione Sn-Gr-06 C4 è stato esposto ad acqua distillata. Questa procedura ha indotto le variazioni di altezza riportate in figura 1. Durante l'esposizione ad acqua distillata, l'acqua di cella era stata rinnovata frequentemente, determinando la quantità di ioni Na^+ rimossi (Fig.2).

dimensioni iniziali del provino:

diametro: 56 mm

altezza: 20 mm

Condizioni iniziali:

peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	19,60
contenuto d'acqua (%)	$w =$	26,50
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	15,49
porosità (%)	$n =$	41,94
indice di porosità	$e =$	0,723
grado di saturazione (%)	$S_r =$	99,76

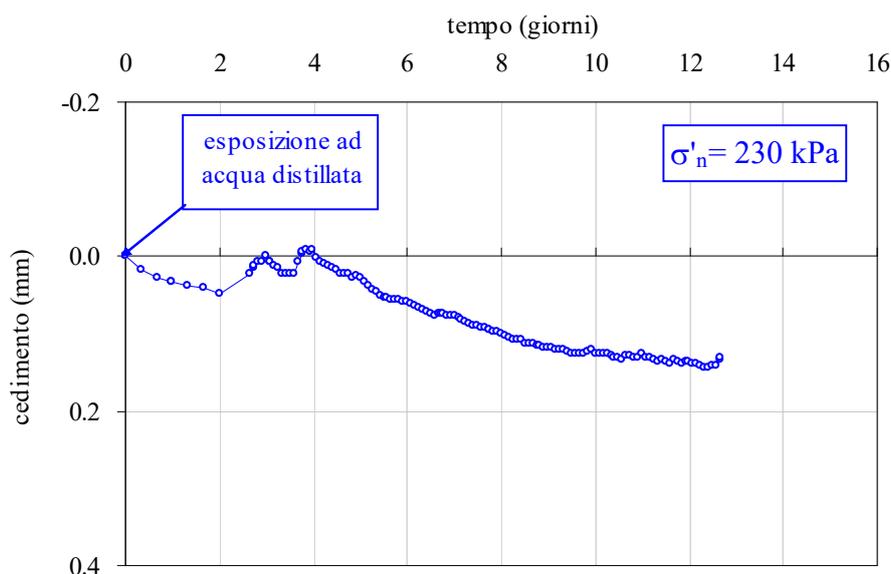


Fig. 1. Processo osmotico di consolidazione per esposizione ad acqua distillata

Sondaggio: **S ROC 0**

Campione: **C2**

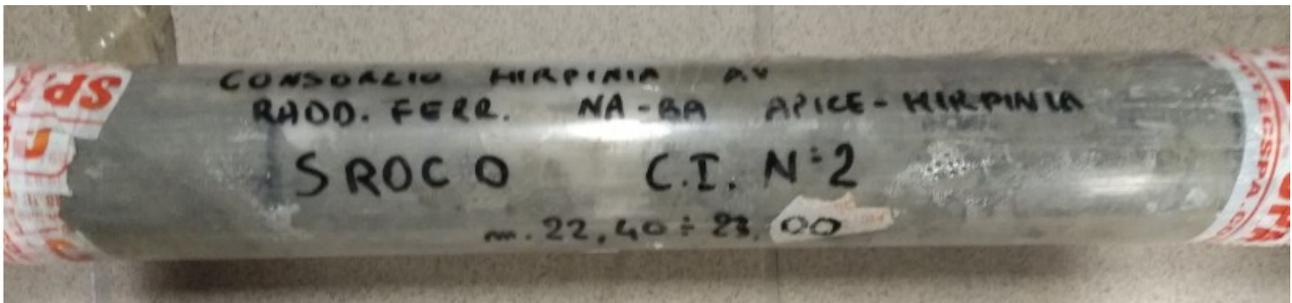
Profondità: **22,4 – 23,0 m**

Data di consegna: 7/01/2020

Stato del campione: disturbato

Lunghezza:

Descrizione. Grazie all'uso della fustella trasparente, è stato possibile verificare che il campione sarebbe stato inutilizzabile per le prove meccaniche. Si presentava infatti fittamente lesionato secondo piani perpendicolari all'asse.



Sondaggio: **S ROC 7**

Campione: **C10**

Profondità: **95,5 – 95,9 m**

Data di apertura: 30/01/2020

Stato del campione: lesionato lungo discontinuità naturali

Lunghezza: 36 cm

Descrizione del campione. Terreno di colore grigio costituito da alternanza di strati limosi e strati sabbiosi. In corrispondenza di questi ultimi il campione tende ad aprirsi.



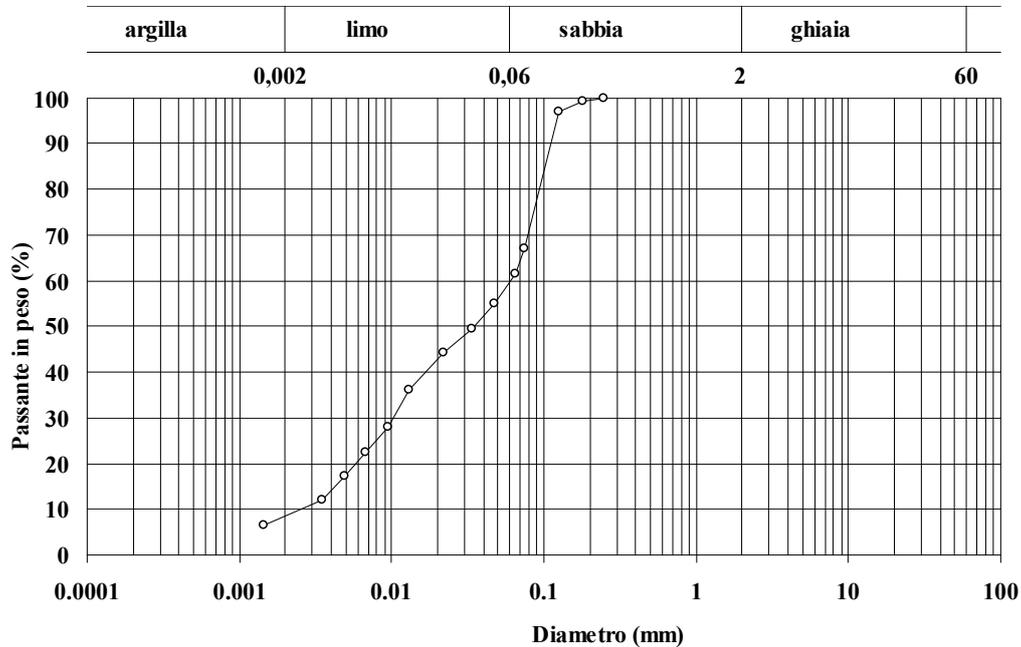
CARATTERISTICHE FISICHE

peso specifico del solido	$G_s =$	2,68
contenuto d'acqua (%)	$w =$	13,30
peso dell'unità di volume (kN/m^3)	$\gamma =$	21,02
peso dell'unità di volume del secco (kN/m^3)	$\gamma_d =$	18,56
porosità (%)	$n =$	29,42
indice di porosità	$e =$	0,417
grado di saturazione (%)	$S_r =$	85,50

Sondaggio: S Roc 7

Campione: C10

Profondità: 95,5 – 95,9 m



Classifica granulometrica: Limo con sabbia debolmente argilloso

% < 0,075 mm	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)	D_{10} (mm)
67	0	42	50	8	0,425	0,06	0,0026

SINTESI DEI RISULTATI

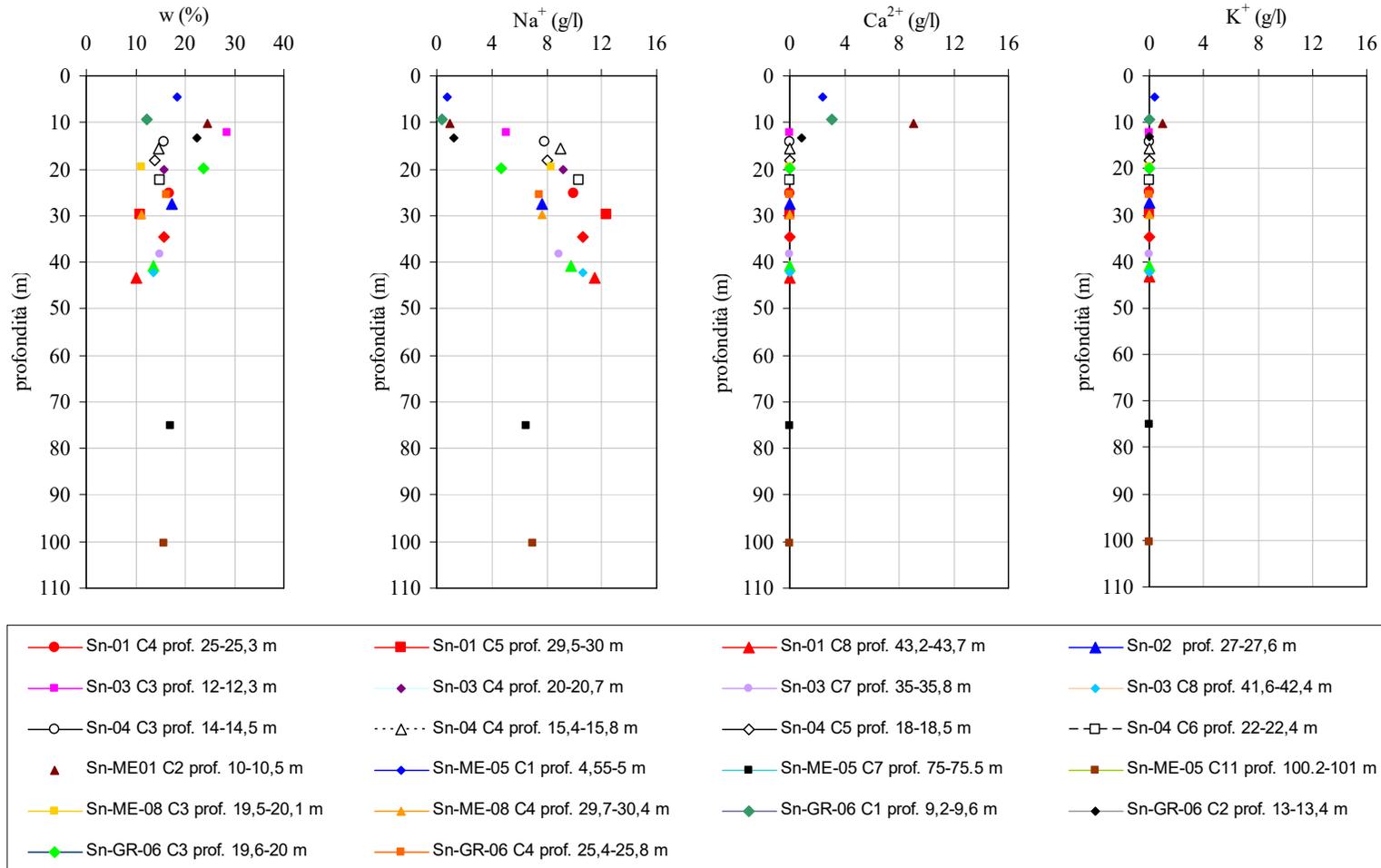


Figura 1. Contenuto d'acqua w e concentrazione di Na^+ , Ca^{++} e K^+ nel fluido di porosità in funzione della profondità dal piano di campagna.

SINTESI DEI RISULTATI

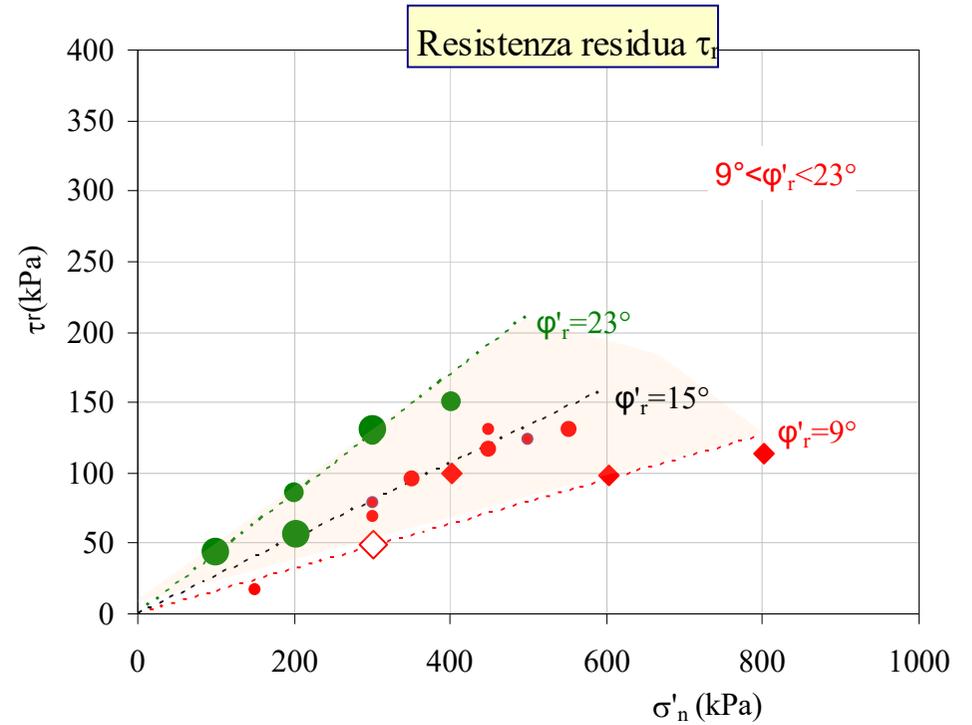
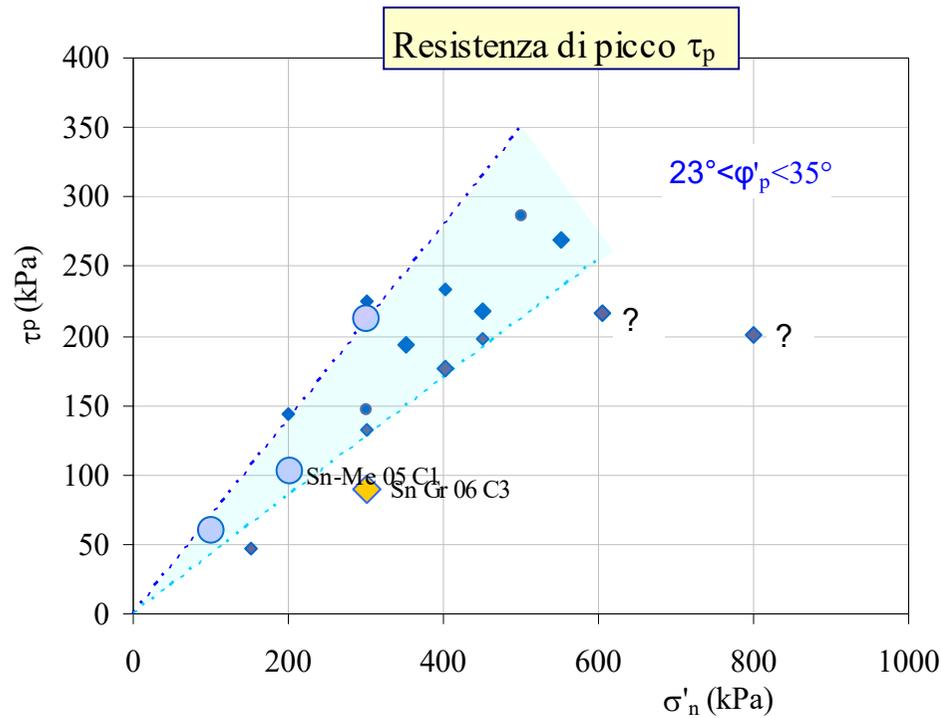


Figura 2. Resistenze a taglio di picco e residua determinate mediante l'apparecchio di taglio diretto di Casagrande

SINTESI DEI RISULTATI

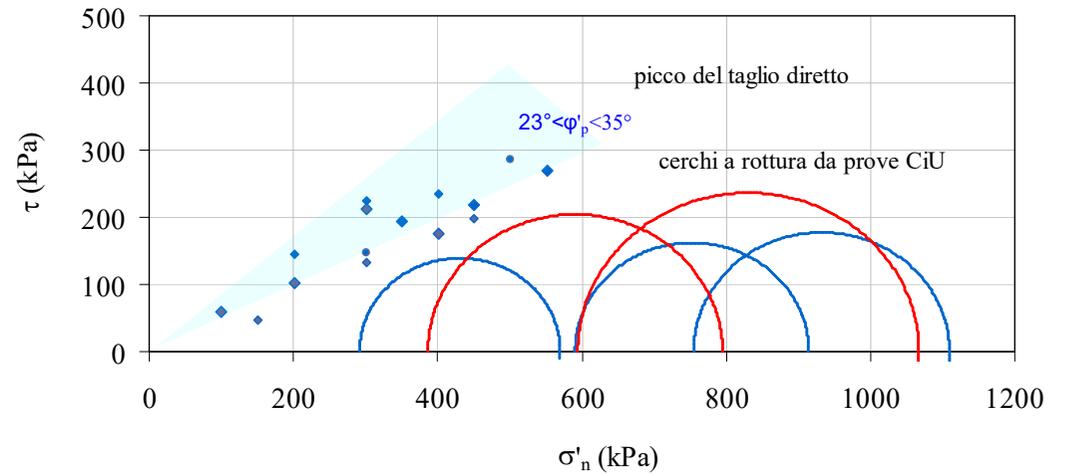
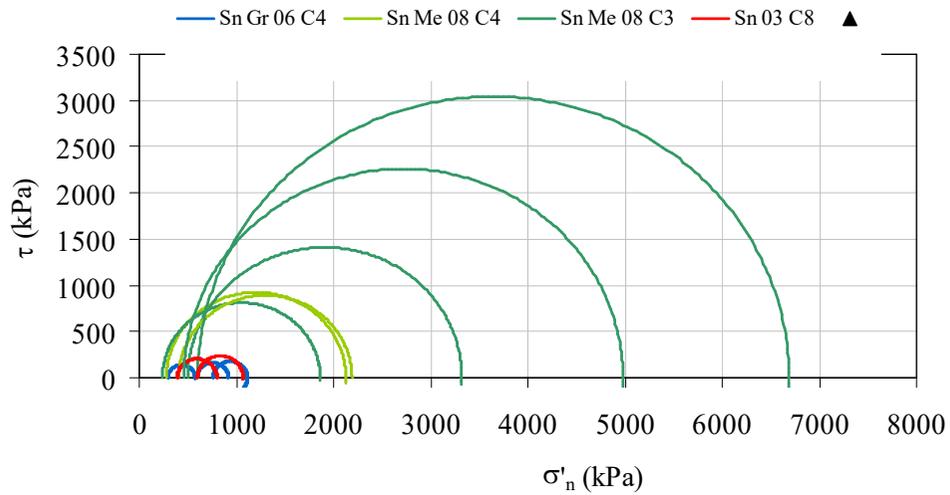
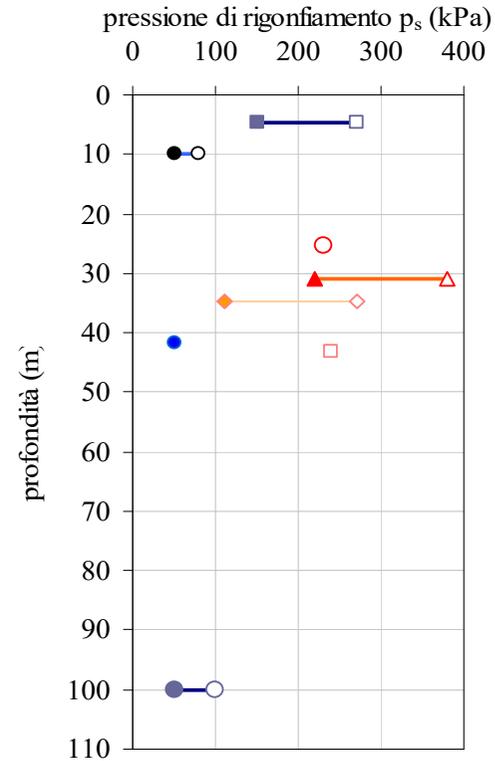
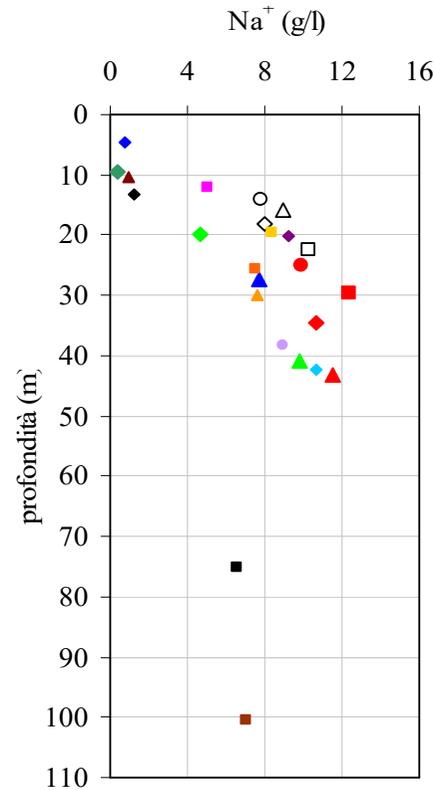


Figura 3. Risultati delle prove di compressione triassiale CiU e confronto con i picchi ottenuti dal taglio diretto.

Contenuto di Na⁺ nella soluzione interstiziale naturale

Pressione di rigonfiamento di provini a contatto con acqua e con soluzione naturale

●	Sn-01 C4 prof. 25-25,3 m
■	Sn-01 C5 prof. 29,5-30 m
▲	Sn-01 C8 prof. 43,2-43,7 m
▲	Sn-02 prof. 27-27,6 m
■	Sn-03 C3 prof. 12-12,3 m
◆	Sn-03 C4 prof. 20-20,7 m
◆	Sn-03 C7 prof. 35-35,8 m
◆	Sn-03 C8 prof. 41,6-42,4 m
○	Sn-04 C3 prof. 14-14,5 m
△	Sn-04 C4 prof. 15,4-15,8 m
◇	Sn-04 C5 prof. 18-18,5 m
□	Sn-04 C6 prof. 22-22,4 m
▲	Sn-ME01 C2 prof. 10-10,5 m
◆	Sn-ME-05 C1 prof. 4,55-5 m
■	Sn-ME-05 C7 prof. 75-75,5 m
■	Sn-ME-05 C11 prof. 100,2-101 m
■	Sn-ME-08 C3 prof. 19,5-20,1 m



acqua	sol. interst.
◇ Sn-01 C6	◆ Sn-01 C6
□ Sn-01 C8	● Sn-03 C8
○ Sn-Me 01 C2	● Sn-Me 01 C2
△ S Gr 3 C3	▲ S Gr 3 C3
□ Sn-Me-05 C1	■ Sn-Me-05 C1
○ Sn-Me-05 C11	● Sn-Me-05 C11
○ Sn-Gr-06 C4	

Figura 4 Pressione di rigonfiamento di provini a contatto con acqua distillata e con una soluzione con contenuto di sodio uguale a quello della soluzione interstiziale naturale

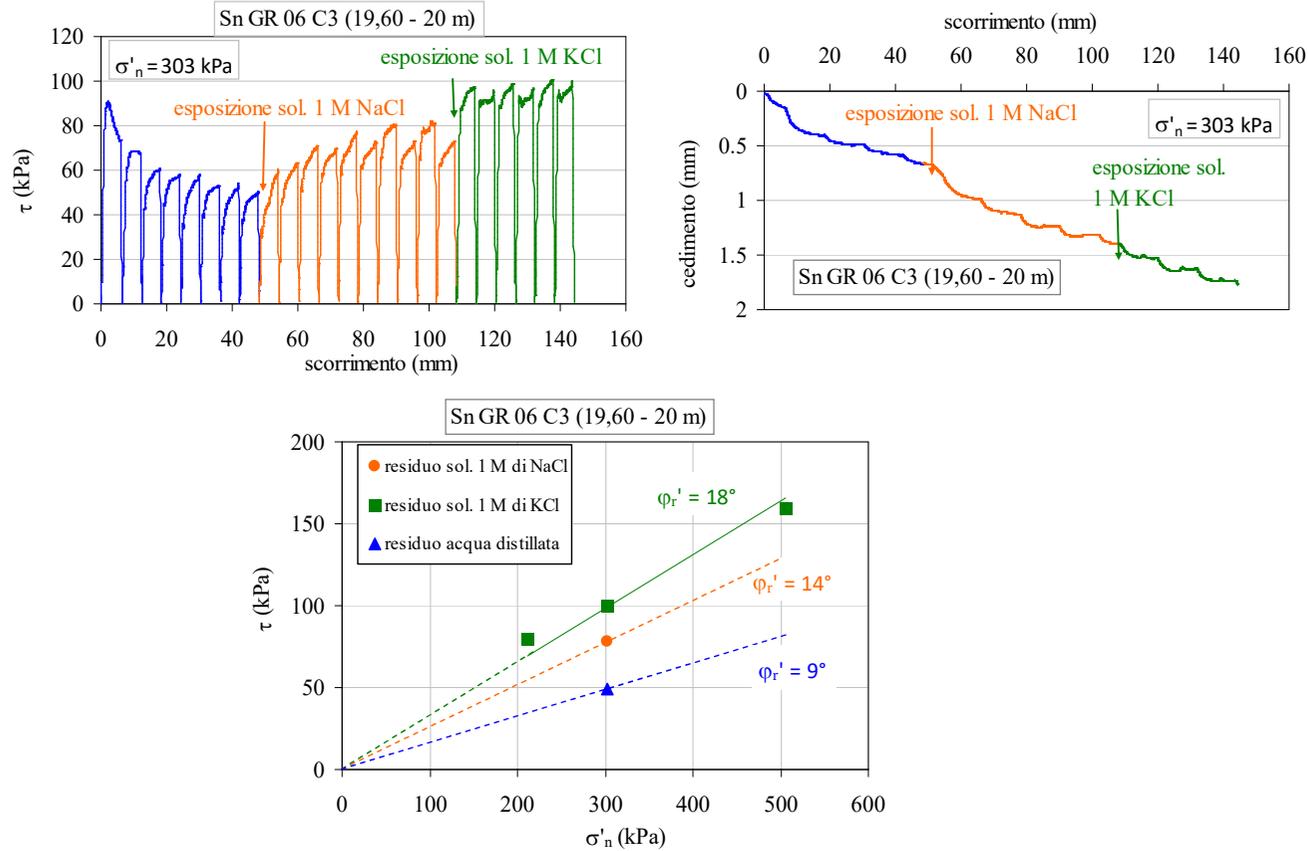


Figura 5. Effetti della composizione del liquido di cella sulla resistenza a taglio di provini sottoposti a taglio diretto nell'apparecchiatura Casagrande. Un provino del campione Sn Gr 06 C3 - prelevato a circa 20 m - è stato sottoposto a taglio in condizioni standard, usando acqua distillata come fluido di cella. Sono quindi stati eseguiti vari cicli di taglio fino a raggiungere le condizioni residue (curve blue). Una volta al residuo, il provino è stato esposto a soluzione 1 M di NaCl e sottoposto ad ulteriori cicli di taglio (curve rosse). Raggiunte le condizioni stazionarie, il provino è stato esposto a soluzione 1M KCl (curve verdi).