

**METODOLOGIE GEOTECNICHE DI LABORATORIO NEL CONTESTO DI
PROBLEMATICHE GEOLOGICHE: I CASI DELLA SUBSIDENZA DI COMO E
DELLA FRANA AD ISCHIA DEL 30 APRILE 2006.**

Dott. Geol. Fabrizio Spernanzoni

Tutor: Dott. Paolo Censi Neri

Con la collaborazione dell'Ing. Vittorio Chiessi e del Dott. Andrea Morri

PREFAZIONE

La collaborazione scientifica del Dott. Fabrizio Spernanzoni presso il laboratorio di Geotecnica del Dipartimento Difesa del Suolo – Geologia Applicata si è sviluppata su tre direttrici ben precise:

- 1) Approfondimento della conoscenza delle metodologie di analisi, con studio dei presupposti teorici, descrizione della strumentazione nonché delle tecniche di preparazione e sviluppo delle prove, senza trascurare gli aspetti pratici e l'acquisizione di una specifica manualità
- 2) Elaborazione dei dati al fine di produrre una sintesi dei risultati ottenuti, tramite l'uso di programmi già esistenti o lo sviluppo di metodi di elaborazione appositamente studiati
- 3) Inquadramento geologico delle aree oggetto di studio con incremento della bibliografia già esistente

Il lavoro si è incentrato su campioni provenienti da aree gravate da seri problemi di carattere geotecnico. In particolare sono stati studiati sondaggi effettuati presso la città di Como, in relazione a fenomeni di subsidenza e campionamenti provenienti dall'isola d'Ischia interessata da recenti drammatici eventi franosi. Gli studi in oggetto, facendo parte di più ampi sistemi di indagine ancora in fase di sviluppo, non consentono di arrivare a conclusioni finali, tuttavia si prestano a interessanti comparazioni e considerazioni di carattere conoscitivo.

La collaborazione del Dott. Spernanzoni è stata svolta con grande impegno e dedizione con apporto di entusiasmo e spirito di iniziativa.

Dott. Paolo Censi Neri

ABSTRACT

“Metodologie geotecniche di laboratorio nel contesto di problematiche geologiche: i casi della subsidenza di Como e della frana ad Ischia del 30 aprile 2006.”

Questa tesi di *stage* raccoglie i dati provenienti dalle elaborazioni di analisi geotecniche effettuate su campioni riguardanti sia il progetto “subsidenza Como” sia il progetto “frane di Ischia”.

Per lo studio della subsidenza comasca, partendo dalle caratteristiche litologiche del sottosuolo (il centro di Como sorge su una successione di sedimenti lacustri post-glaciali sottostanti una coltre di riporti) sono state eseguite le principali analisi geotecniche su sei campioni provenienti dal Sondaggio S1C1 di Piazza Verdi esploranti il sottosuolo fino a 51.50m dal p.c. Le analisi hanno evidenziato una composizione granulometrica tendente al molto fine con permeabilità dell'ordine del 10^{-6} - 10^{-8} cm/s. Le prove di taglio diretto hanno evidenziato angoli di attrito interno per i termini più argillosi tra i 23° e i 27° e per il termine più grossolano un angolo di 38° . Le prove edometriche infine hanno permesso di individuare all'interno dei campioni analizzati almeno 2 famiglie di curve contraddistinte da :

- Variazione dell'indice dei vuoti all'aumentare dei carichi verticali
- Recupero dello stesso durante la fase di scarico.

Al termine delle analisi si sono cercate correlazioni tra i vari elementi dedotti quali

- Carichi – cedimenti
- Carichi – indice dei vuoti
- Indice dei vuoti – permeabilità
- Permeabilità – tempo, a carichi costanti.

Per lo studio sui fenomeni franosi avvenuti nell'isola di Ischia il 30 aprile 2006 sono stati esaminati due campioni indisturbati prelevati manualmente in prossimità delle corone di frana, a profondità di 0.50 – 0.80m dal p.c. L'area interessata dal fenomeno franoso è caratterizzata da una successione di piroclastiti recenti e quaternarie intervallate da un paleosuolo, il tutto poggiante su una lava basale.

Anche su questi campioni sono state eseguite le principali prove geotecniche quali edometrie, taglio diretto, granulometrie e prove di permeabilità sotto vari carichi. Le prove hanno presentato un fuso granulometrico rappresentativo di tutte le classi, angoli di attrito interno tra i 37° ed i 39° , e permeabilità tra 10^{-4} e i 10^{-5} cm/sec.

“Laboratorial geotechnical methods in the context of geological problems: the examples of the subsidence in Como and of the landslide in Ischia island of April 30th 2006”.

This “training period” f dissertation collects elaborations of data from geotechnical tests on samples of “Como subsidence” and “Ischia landslide” projects.

The Como subsidence studies began reading bibliography about geological and lithological characteristics of its underground (Como stands on a sequence of post-glacial lacustrine sediments underlying embankments) then geotechnical tests had been made on six samples going from 34,50 to 51,50m under ground level from the S1C1 drilling in Piazza Verdi. Geotechnical tests data show very fine grain sizes, permeability values in the order of 10^{-6} – 10^{-8} cm/s. Shear tests data show angles of internal friction values of 23° - 27° in most clayey samples and of 38° in coarsest sample. Consolidation tests data permit to distinguish at least two groups of curves marked by:

- *Variations of void ratio with the increase of consolidation loads*
- *Recovery of void ratio with unload phases*

At the end of consolidation tests, data had been elaborated to reach correlations between the obtained values as:

- *Loads versus settlements*
- *Loads versus void ratio*
- *Void ratio versus permeability*
- *Permeability versus time, at fixed loads*

The studies about Ischia island’s landslide occurred in April 30th 2006 began with geotechnical tests on two undisturbed samples taken near landslide’s detachment niches, at a depth of 0,50 – 0,80m under ground level. The zone of Ischia where the landslide occurred is characterized by a sequence of recent and quaternary pyroclastics spaced by a palaeosoil level; all these terms overlay the basal lava.

Two samples from Ischia were subjected to consolidation and shearing stress tests and other tests directed to estimate their grain size and permeability in consolidation cell, with different loads. The data obtained from tests show that all grain sizes are present in samples, the value of angle of internal friction are 37° - 39° and permeability values are between 10^{-4} and 10^{-5} cm/s.

PREFAZIONE.....	1
ABSTRACT	2
“Metodologie geotecniche di laboratorio nel contesto di problematiche geologiche: i casi della subsidenza di Como e della frana ad Ischia del 30 aprile 2006.”	2
“Laboratorial geotechnical methods in the context of geological problems: the examples of the subsidence in Como and of the landslide in Ischia island of April 30 th 2006”.....	3
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	6
1.1: Il caso di Como.....	6
1.2: La geologia nell’area della frana di Ischia	7
CAPITOLO 2: METODOLOGIE DI STUDIO	8
2.1 Analisi granulometrica	8
2.2 Densità.....	11
2.3 Peso specifico	12
2.4 Contenuto d’acqua.....	13
2.5 Caratteristiche fisiche derivate	14
2.6 Limiti liquido e plastico (di Atterberg).....	15
2.7 Edometria e permeabilità in cella edometrica	17
2.8 Prova di taglio diretto	22
CAPITOLO 3: RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO	26
3.1 <i>Campione 49</i>	26
Proprietà fisiche.....	26
Analisi granulometrica	27
Limiti plastico e liquido di Atterberg	27
Edometria	28
Permeabilità in cella edometrica	31
Resistenza al taglio diretto.....	33
3.2 <i>Campione 50</i>	34
Proprietà fisiche.....	34
Analisi granulometrica	35
Limiti plastico e liquido di Atterberg	35
Edometria	36
Permeabilità in cella edometrica	39
Resistenza al taglio diretto.....	41
3.3 <i>Campione 51</i>	42
Proprietà fisiche.....	42
Analisi granulometrica	43
Edometria	44
Permeabilità in cella edometrica	47
Resistenza al taglio diretto.....	49
3.4 <i>Campione 52</i>	50
Proprietà fisiche.....	50
Analisi granulometrica	51
Edometria	52
Permeabilità in cella edometrica	55
3.5 <i>Campione 53</i>	58
Proprietà fisiche.....	58
Analisi granulometrica	59
Limiti plastico e liquido di Atterberg	59
Edometria	60

Permeabilità in cella edometrica	63
Resistenza al taglio diretto.....	64
3.6 <i>Campione 54</i>	65
Proprietà fisiche.....	65
Analisi granulometrica	66
Limiti plastico e liquido di Atterberg	66
Edometria	67
Permeabilità in cella edometrica	70
Resistenza al taglio diretto.....	72
3.7 <i>Campione 55</i>	73
Proprietà fisiche.....	73
Edometria	74
Permeabilità in cella edometrica	77
Resistenza al taglio diretto.....	79
3.8 <i>Campione 56</i>	80
Proprietà fisiche.....	80
Analisi granulometrica	81
Limiti plastico e liquido di Atterberg	81
Edometria	82
Permeabilità in cella edometrica	85
Resistenza al taglio diretto.....	87
CAPITOLO 4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	88
FONTI BIBLIOGRAFICHE	97

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Lo scopo dello *stage* nell'ambito della difesa del suolo svolto presso l'A.P.A.T.¹, il cui frutto è il presente elaborato, è quello di acquisire le conoscenze teoriche e pratiche delle metodologie di indagine geotecniche di laboratorio.

Ai campioni provenienti da un sondaggio nel centro di Como, in corso di analisi all'inizio dell'esperienza, si sono aggiunti a maggio campioni provenienti dall'area di Ischia coinvolta nella frana del 30 aprile 2006. I campioni provenienti da queste due località sono oggetto di analisi geotecniche per problematiche geologiche molto diverse tra loro: quelli di Como per la subsidenza che coinvolge il centro storico, quelli di Ischia per il problema della stabilità dei versanti.

I campioni provenienti da Como consistono in “carote” prelevate a diverse profondità, nell'ambito di un sondaggio effettuato a Piazza Verdi, nel centro della città, mentre quelli provenienti da Ischia sono stati prelevati a mano, con una fustella, a monte della corona di frana.

1.1: Il caso di Como

Nell'area di Como le successioni sedimentarie, di natura calcarea e marnosa, mesozoiche e cenozoiche sono ricoperte da vaste e spesse coltri di sedimenti di origine lacustre di epoca post-glaciale², ovvero relativi agli ultimi diecimila anni. Dalla lettura della colonna stratigrafica relativa ad un sondaggio³ effettuato a Piazza Verdi nel centro di Como, la stratigrafia può essere così riassunta:

0-6.80m: coperture e riporti.

6.80m-13.50m: sabbie con bancate ghiaiose e livelli limosi.

13.50m-39.50m: limi con bancate ed intercalazioni sabbiose ed argillose, talora con blocchi.

39.50m-50.90m: argille con livelli limosi e con intercalazioni e bancate sabbiose.

50.90m-60m: sabbie con livelli limosi e bancate ghiaiose.

60m-70m: limi alternati a livelli e bancate sabbiose.

¹ Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici.

² Serv. Geol. d'Italia, *Carta Geologica d'Italia 1:100.000, foglio Como*.

³ Chunga e Rossi, 2005.

L'area di Como è stata soggetta a problemi di subsidenza⁴, causata da un eccessivo sfruttamento delle falde acquifere, in particolare dal periodo successivo al secondo dopoguerra⁵.

1.2: La geologia nell'area della frana di Ischia

L'area coinvolta dalla frana di Ischia del 30 aprile 2006, così come il resto dell'isola, è caratterizzata da terreni di natura vulcanica. L'isola ha avuto origine da risalite magmatiche legate a diverse fasi tettoniche distensive quaternarie ed in particolare alla formazione e al sollevamento di un grande bacino laccolitico; a ciò è dovuto un primo ciclo di attività vulcanica cui seguì, dopo un periodo di inattività di 28000 anni, un secondo ciclo che dura tuttora⁶. Nell'area di Monte di Vezzi – Caraucio, ove ha avuto luogo la frana, affiorano i seguenti termini: lave pertinenti all'attività di Monte di Vezzi (1° ciclo vulcanico) in gran parte ricoperte da prodotti piroclastici provenienti da centri vulcanici vicini (Formazione Superiore della Scarrupata di Barano, Formazione di Pignatiello), da paleosuoli ove sono presenti reperti archeologici neolitici e dai prodotti piroclastici della formazione di Piano Liguori, dei quali ancora si discute la provenienza⁷: secondo Rittmann e Gottini (1980) i prodotti proverrebbero dal centro di Campotese, secondo Buchner (1986) dai centri della Baia Flegrea e di Fondi di Baia, secondo Vezzoli (1988) da un centro ischitano totalmente o parzialmente subacqueo. I prodotti piroclastici più antichi consistono in tufi e pomici, mentre la Formazione di Piano Liguori è caratterizzata da prevalenza di ceneri fini.

⁴ Per subsidenza si intende un movimento verticale della superficie del terreno, che coinvolge aree abbastanza estese e in genere graduale, che può essere indotto da cause naturali (carichi geostatici, isostasia, tettonica, fenomeni carsici) o da interventi antropici (vibrazioni, bonifiche, applicazione o sottrazione di carichi). La velocità della subsidenza naturale è molto inferiore rispetto a quella indotta dall'uomo: nel primo caso l'ordine è di pochi mm/anno, nel secondo caso si arriva a qualche cm/anno.

⁵ Comerci, 2004

⁶ Rittmann e Gottini, 1980.

⁷ Vezzoli, 1988

CAPITOLO 2: METODOLOGIE DI STUDIO

2.1 Analisi granulometrica

Norme di riferimento: ASTM D421, D422, D1140, D2217

Scopo dell'analisi

La determinazione della distribuzione percentuale per massa dei grani, secondo le dimensioni; i risultati sono rappresentati graficamente dalla “curva granulometrica”.

Procedure di laboratorio

Una quantità di campione, determinata in funzione delle dimensioni massime dei grani al fine di garantirne la rappresentatività, è stata essiccata in forno.

Secondo la natura del terreno da esaminare, sono state seguite due distinte procedure.

- Campioni di natura piroclastica.
 1. Poiché si era presenza di grani superiori ai 2mm in significativa quantità, si è proceduto a pesare una quantità di campione superiore a 200g.
 2. Il campione è stato passato ai setacci con aperture di 4mm e 2mm; il trattenuto ai setacci è stato raccolto e pesato.
 3. La massa totale del passante al setaccio 2mm è stata sottoposta ad inquartamento; dopo tale processo sono stati prelevati circa 60g di campione.
 4. Il campione è stato posto in un beker con soluzione di esametafosfato sodico⁸ e lasciato a riposo per un giorno.
 5. Il campione è stato messo in un apparecchio disperdente e poi travasato in un cilindro graduato di 1000ml (volume raggiunto aggiungendo acqua distillata).
 6. Dopo essere stato agitato⁹, il campione è stato sottoposto ad analisi per sedimentazione¹⁰ secondo la norma ASTM D422.
 7. Dopo l'analisi, il campione è stato setacciato per via umida al setaccio con apertura di 0.075mm.
 8. Il trattenuto al setaccio 0.075mm, dopo essiccazione in forno, è stato setacciato attraverso una sequenza di setacci con aperture rispettivamente di 1mm, 0.475mm, 0.180mm e 0.075mm.

⁸ Questa soluzione ha la funzione di evitare l'aggregazione delle particelle tra di loro; l'azione è definita antiflocculante o disperdente.

⁹ Il cilindro con il campione è stato capovolto manualmente almeno 30 volte.

¹⁰ L'analisi per sedimentazione è nota anche con i nomi di areometria e densimetria.

9. Sono state disegnate le curve cumulative relative alle setacciate e all'analisi di sedimentazione.
10. Con calcoli di proporzioni, la distribuzione percentuale è stata ricondotta al campione totale di oltre 200g.
 - Campioni argillosi.
1. Poiché quasi tutto il materiale è risultato passante al setaccio con apertura 2mm, si è provveduto a pesare circa 60g di campione.
2. Il campione è stato posto in un beker con soluzione di esametafosfato di sodio e lasciato a riposo per un giorno.
3. Il campione è stato messo in un apparecchio disperdente e poi travasato in un cilindro graduato di 1000ml (volume raggiunto aggiungendo acqua distillata).
4. Dopo agitazione, il campione è stato sottoposto a prova di sedimentazione secondo la norma ASTM D422.
5. Dopo la prova, il campione è stato setacciato per via umida al setaccio con apertura di 0.075mm.
6. Il materiale trattenuto al setaccio 0.075mm, dopo essiccazione in forno, è stato setacciato attraverso una sequenza di setacci con aperture rispettivamente di 1mm, 0.475mm, 0.180mm e 0.075mm.
7. Sono state disegnate le curve cumulative relative alle setacciate e all'analisi per sedimentazione.

L'analisi per sedimentazione è stata effettuata in una vasca piena d'acqua ove sono stati collocati un cilindro da 1000ml con una soluzione di esametafosfato sodico, un altro cilindro da 1000ml con acqua distillata ove è stato posto il densimetro¹¹ tra una lettura e l'altra e infine uno o più cilindri graduati da 1000ml con i campioni in sospensione.

Il metodo fa riferimento all'equazione di Stokes¹² che permette di calcolare il diametro delle particelle, conoscendo la velocità di caduta, il peso specifico delle particelle, la densità e la viscosità del liquido.

¹¹ Il densimetro è noto anche con i nomi di areometro e idrometro.

¹² Equazione di Stokes (1880):

$$D = \sqrt{\frac{1800\eta_L}{(\gamma_s - \gamma_L) \cdot V}}$$

ove D è il diametro della particella (assunta di forma sferica) in mm, η_L la viscosità del liquido, in g*sec/cm², γ_s e γ_L rispettivamente peso specifico della particella e densità del liquido, in g/cm³ e V velocità di caduta in cm/sec.

Il densimetro è un particolare strumento in vetro, che ha la proprietà di rimanere in sospeso nella soluzione a profondità variabili in relazione con la densità della stessa, costituito da uno stelo graduato che termina in un bulbo (Figura 1); quello utilizzato in queste prove è contrassegnato dalla sigla 152H nella norma ASTM D422.



Figura 1: Densimetro 152H

Prima di iniziare l'analisi, si sono rilevate la densità della soluzione disperdente con il densimetro e la temperatura dell'acqua nella vasca; tali rilevazioni sono state effettuate ogni tanto durante la prova. Le letture densimetriche nella colonna con il campione sono state effettuate ai tempi di 15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1h, 2h, 3h, 24h avendo cura di sciacquare il densimetro nel cilindro di acqua distillata dopo la lettura.

Sul foglio di prova sono stati segnati:

1. il peso netto secco iniziale
2. il trattenuto ai setacci
3. la lettura densimetrica agli intervalli di prova
4. i valori rilevati all'inizio e durante l'analisi della temperatura dell'acqua e della densità della soluzione disperdente.

Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata effettuata facendo riferimento alla norma ASTM D422.

La percentuale delle particelle in sospensione al momento delle lettura, usando un densimetro 152H, è stata calcolata con la formula

$$P = \frac{L \cdot A}{W} \cdot 100$$

dove

- P è la percentuale di particelle in sospensione alla lettura
- A è il fattore di correzione per il densimetro 152H; il valore è in funzione della densità delle particelle e si ricava da un'apposita tabella¹³
- L il valore letto sul densimetro con le opportune correzioni¹⁴
- W è il peso secco iniziale del campione

Il diametro delle particelle è stato calcolato con la formula derivata dall'equazione di Stoke

$$D = K \cdot \sqrt{\frac{H_r}{t}}$$

dove

- K è una costante il cui valore è in funzione della temperatura della sospensione e del peso specifico delle particelle e si ricava da apposita tabella¹⁵.
- Hr è la profondità effettiva del densimetro al tempo t¹⁶
- t è il tempo in minuti primi

I dati provenienti dall'analisi granulometrica sono stati elaborati con il programma MS Excel; nella cartella di lavoro, oltre il foglio di calcolo dove sono stati elaborati i dati, sono presenti le tabelle per ricavare i valori di A e di K.

La rappresentazione grafica dell'insieme dei dati relativi alle setacciature e all'analisi per sedimentazione avviene tramite la curva granulometrica¹⁷ dove, in scala semilogaritmica, l'asse delle ascisse rappresenta i diametri delle particelle e l'asse delle ordinate le percentuali.

2.2 Densità¹⁸

Scopo dell'analisi

Misurare il rapporto tra il peso ed il volume al naturale di un campione.

Procedure di laboratorio

Si infigge un'apposita fustella di dimensioni e peso noti nel campione indisturbato, poi si pesa il tutto su una bilancia elettronica con precisione 10^{-2} g e si effettuano i calcoli.

¹³ ASTM D422, tab1

¹⁴ Il valore effettivo è quello riportato alla base del "menisco" che si forma all'interfaccia tra soluzione e densimetro; se la lettura si effettua sulla parte superiore del menisco, bisogna effettuare una correzione. La misura della densità della soluzione disperdente a diverse temperature permette di ottenere un valore di correzione comprensivo degli effetti della temperatura e del menisco.

¹⁵ ASTM D422, tab3

¹⁶ Definizione AGI, 1994.

¹⁷ Si tratta di una curva cumulativa.

¹⁸ Questa caratteristica fisica è nota anche con i nomi di "peso di volume" e "massa volumica apparente".

Elaborazione dei dati

Si calcola il rapporto tra il peso netto e il volume del campione, esprimendo i risultati in g/cm^3 .

2.3 Peso specifico¹⁹

Norme di riferimento: ASTM C127, C128, D854

Scopo dell'analisi

Calcolare il peso per unità di misura medio delle particelle costituenti il campione.

Procedure di laboratorio

Si è lasciato seccare il campione all'aria, lo si è ridotto in polvere in un mortaio e sono stati pesati circa 20 – 30g per prova²⁰.

Si è preso, per ogni prova, un picnometro (Figura 2) a beuta²¹ tarato da 250ml dove è stato versato il campione e poi acqua distillata fino a metà della capienza; il picnometro è stato lasciato a riposo per almeno 12h.



Figura 2: picnometro a beuta da 250ml

Il campione, dopo delicato mescolamento con una bacchetta, è stato messo in una campana per sottovuoto per 15-20' dopo di che è stata aggiunta acqua distillata fino a poco sotto il collo del picnometro; è seguita un'altra fase di circa 10' in sottovuoto.

Il picnometro è stato riempito fino a metà del collo con acqua distillata e si è lasciato scivolare il tappo²² per gravità. Dopo 10' il tappo è stato premuto delicatamente fino a fuoriuscita di acqua; il menisco esterno è stato rimosso.

¹⁹ Questa caratteristica fisica è chiamata anche “massa volumica reale”.

²⁰ Per ogni campione sono state svolte almeno due prove.

²¹ Esistono picnometri a forma di matraccio e di pallone.

²² Ogni picnometro è stato tarato con il proprio tappo, per cui non si devono mai usare i tappi di altri picnometri.

Dopo avere asciugato accuratamente il picnometro, lo si è pesato sulla bilancia elettronica con precisione 10^{-2} g e si è misurata la temperatura della sospensione.

Infine, il contenuto del picnometro è stato versato in un beker da 800ml, evitando qualsiasi perdita di materiale; il campione è stato fatto asciugare completamente e pesato ottenendo il peso secco.

Elaborazione dei dati

I dati disponibili dopo la prova sono:

- peso picnometro + acqua + campione (PAS)
- temperatura T_0
- peso picnometro + acqua a T_0 da grafico di taratura (PA)
- peso lordo secco beker + campione
- peso beker
- peso netto secco (PN)

il volume del campione si ottiene dalla formula

$$V_s = PA + NS - PAS$$

Ed infine il peso specifico, in g/cm^3 , si ottiene dalla formula

$$\gamma_s = \frac{P \cdot N}{V}$$

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con un foglio di calcolo di MS Excel.

2.4 Contenuto d'acqua

Norme di riferimento: ASTM D2216, D2974

Scopo dell'analisi

Lo scopo della prova è di determinare il contenuto d'acqua di un campione; tale parametro riveste grande importanza nelle proprietà meccaniche (resistenza al taglio e compressibilità) di un terreno.

Procedimento di laboratorio

E' stato prelevato almeno un campione²³ per ogni prova, in corrispondenza soprattutto dei settori di "carota" utilizzati per le prove edometriche e/o di taglio diretto.

Il campione è stato pesato al naturale e poi messo ad essiccare in forno a 105°C ; una volta essiccato, il campione è pesato di nuovo. In alcuni casi, il contenuto d'acqua è stato calcolato

²³ Il numero dei campioni è in funzione della variazione verticale di granulometria lungo il campione indisturbato.

anche dopo una prima essiccazione a 50°C, in quanto è la temperatura più consigliata per argille e terreni ricchi in sostanze organiche.

Elaborazione dei dati

Conoscendo il peso netto umido (P_u) e il peso netto secco (P_s), il contenuto d'acqua W si calcola con la formula

$$W = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100$$

I dati sono stati elaborati in un foglio di calcolo MS Excel.

2.5 Caratteristiche fisiche derivate

Scopo dei calcoli

Lo scopo di questi calcoli è fornire dati relativi ad altre caratteristiche fisiche quali indice dei vuoti, porosità e grado di saturazione dei campioni.

Elaborazione dei dati

Conoscendo il peso P_s e il peso specifico γ_s dei solidi è possibile ricavare il volume dei solidi con la formula

$$V_s = \frac{P_s}{\gamma_s}$$

e, con i valori del volume totale V e del volume dei solidi V_s si può calcolare il volume dei vuoti V_v con la formula

$$V_v = V - V_s$$

Da questi dati è stato possibile ottenere le seguenti caratteristiche fisiche:

- L'indice dei vuoti e dal rapporto

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- La porosità n dal rapporto tra il volume dei vuoti V_v e il volume totale V oppure conoscendo l'indice dei vuoti e con le formule²⁴

$$n = \frac{V_v}{V} \quad \text{oppure} \quad n = \frac{e}{1+e}$$

volendo esprimere il risultato in percentuale, basta moltiplicare il risultato per 100.

- Il grado di saturazione S_r si calcola in due modi, in funzione dell'indice dei vuoti e , del peso specifico γ_s e del contenuto d'acqua W oppure conoscendo il volume dei vuoti V_v

²⁴ Volendo ottenere il valore percentuale, basta moltiplicare per 100.

e il volume dell'acqua V_w ricavabile dal contenuto d'acqua, assumendo la densità dell'acqua di 1.00 g/cm^3 :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad \text{oppure} \quad S_r = \frac{\gamma_s}{e} \cdot W$$

- Il peso di volume secco γ_d si è ricavato dal rapporto tra il peso secco P_s e il volume del campione V

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V}$$

- Il peso di volume saturo γ_{sat} è stato calcolato in funzione del peso di volume secco γ_d e della porosità n con la formula dove γ_w è assunto 1.00 g/cm^3 (ovvero 9.81 kN/m^3)

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + \gamma_w \cdot n$$

Tutti questi calcoli possono essere svolti a mano o in un foglio di calcolo MS Excel.

2.6 Limiti liquido e plastico (di Atterberg)

Norme di riferimento: ASTM D427, D4318, D4943

Scopo dell'analisi

Lo scopo delle prove è la determinazione dei limiti liquido e plastico e di altri parametri derivati, tra i quali l'indice di plasticità. Questa analisi permette un'identificazione dei terreni fondamentale negli ambiti dell'ingegneria e delle costruzioni stradali.

Il limite liquido è definibile come il contenuto d'acqua per il quale il campione da esaminare, posto in una coppa di ottone²⁵ di dimensioni normalizzate, suddiviso in due parti da una apposita lama e fatto rimbalzare da un'altezza di 10cm per 25 volte determina la chiusura del solco per la lunghezza di 13mm²⁶.

Il limite plastico è definito come il contenuto d'acqua per cui un bastoncino di campione, portato a diametro di 3mm, inizia a rompersi per la diminuzione di umidità.²⁷

Procedure di laboratorio

Limite liquido

- Sono stati pesati 200g di campione essiccato all'aria passanti al setaccio con apertura 0.425mm.

²⁵ Lo strumento è noto come coppa o cucchiaino di Casagrande. Le caratteristiche dello strumento, nonché quelle della lama solcatrice sono regolamentate dalle norme UNI, ASTM, AASHTO oppure dalle norme BS. Lo strumento di Casagrande consiste in una coppa di ottone che colpisce il supporto in maniera uniforme e determinata.

²⁶ Raviolo, 1993, pp. 95-97.

²⁷ Raviolo, 1993, p. 111

- Sono state effettuate almeno quattro prove a diversi contenuti d'acqua per poter disporre di dati sufficienti per calcolare graficamente il contenuto d'acqua ai 25 colpi.
- Il campione è stato messo in una capsula di porcellana e lasciato ad inumidirsi per almeno 12 ore.
- Dopo avere approntato lo strumento di Casagrande (Figura 3) dalla capsula è stata prelevata una certa quantità di campione che poi è stata distribuita all'interno della coppa di ottone.
- Effettuato il solco con l'apposita lama, è stato acceso lo strumento fino al raggiungimento della chiusura di 13mm, appuntando il numero di colpi effettuati.
- E' stata prelevata una parte di campione corrispondente alla chiusura, subito pesata e messa in forno ad essiccare per circa 24h a 105°C per poi essere pesata di nuovo. Con i pesi umido e secco si calcola il contenuto d'acqua per ogni campione ai diversi numeri di colpi.
- Per i campioni successivi si è aggiunta o si è rimossa²⁸ acqua per ottenere contenuti d'acqua più o meno elevati.

Limite plastico

- Si è preso un poco di campione, lo si è modellato tra le mani fino ad ottenere una pallina, che è stata suddivisa in due parti, utilizzate separatamente per le due prove.
- Il campione è stato ulteriormente suddiviso, e ogni parte è stata modellata fino a comparsa di segni di rottura al diametro di 3mm.
- Frammenti corrispondenti alla rottura sono stati pesati e poi messi in forno ad essiccare. Dopo essiccazione (circa 24h a 105°C) sono stati pesati di nuovo per ottenere il contenuto d'acqua.



Figura 3: Apparecchio di Casagrande e lama solcatrice

²⁸ L'acqua è stata rimossa rimescolando e "spalmando" più volte il campione su una lastra di vetro.

Elaborazione dei dati

- L'elaborazione dei dati è stata effettuata con un foglio di calcolo MS Excel.
- Sia nel caso del limite liquido sia nel caso del limite plastico sono stati calcolati i contenuti d'acqua, secondo la formula

$$W = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100$$

- Per quanto riguarda il limite liquido, è stata tracciata la retta di regressione lineare passante per i vari punti; in corrispondenza dei 25 colpi è stato estrapolato il contenuto d'acqua, ovvero il limite liquido.
- Per quanto riguarda il limite plastico, il valore è stato ricavato dalla media tra i due contenuti d'acqua ottenuti dalla prova.

Dai valori del limite liquido e del limite plastico è stato ottenuto anche l'indice di plasticità, secondo la formula

$$I_P = L_L - L_P$$

Dove I_P è l'indice di plasticità, L_L il limite liquido e L_P il limite plastico.

2.7 Edometria e permeabilità in cella edometrica

Norme di riferimento: ASTM D2435, D4186, D4546

Scopo dell'analisi

Scopo della prova edometrica è la misura del cedimento di un campione nel tempo per carichi crescenti; questa misura, così come quella la permeabilità k , è fondamentale nelle problematiche legate ai cedimenti e alla subsidenza.

Quando sottoposto a forze di compressione verticale, il campione tende a diminuire di volume per i seguenti motivi:

- Compressione delle componenti solide
- Compressione dell'acqua intergranulare
- Espulsione dell'acqua intergranulare

Poiché le compressibilità dello scheletro solido e dell'acqua sono trascurabili, il fattore principale che determina la variazione di volume del campione è la fuoriuscita d'acqua intergranulare. La permeabilità del materiale riveste una grande importanza nella velocità di reazione alla compressione, ossia la consolidazione: una sabbia è caratterizzata da una rapida fuoriuscita dell'acqua interstiziale, e quindi subisce una immediata riduzione di volume,

mentre un'argilla, molto meno permeabile, è caratterizzata da una riduzione di volume molto più protratta nel tempo.

La prova edometrica permette di misurare, per ogni carico cui viene sottoposto il campione, i seguenti parametri:

- Cedimento
- Indice dei vuoti e
- Il coefficiente di compressibilità a_v , che sarebbe poi la pendenza della curva, è definito come il rapporto tra le variazioni dell'indice dei vuoti e della pressione:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}.$$

- Modulo edometrico E' , definito come il rapporto tra la variazione di pressione e il rapporto tra la variazione di spessore del provino e lo spessore iniziale, ovvero:

$$E' = \frac{\Delta P}{\Delta H / H_0}$$

- Il coefficiente di compressibilità di volume m_v è definito come il reciproco del modulo edometrico, ossia

$$m_v = \frac{1}{E'}$$

ovvero dalle formule dove e_0 è l'indice dei vuoti iniziale dove e_0 è l'indice dei vuoti iniziale:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad \text{oppure} \quad m_v = \frac{\Delta e / \Delta P}{1 + e_0}$$

- Il grado di consolidazione $U\%$ in funzione del fattore tempo T_v , definito dalla formula

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{H_{50}^2}$$

- dove c_v è il coefficiente di consolidazione (espresso in cm^2/s), t il tempo e H_{50} la metà dello spessore del provino.
- I parametri H_{50} e T_{50} rispettivamente il tempo e l'altezza del provino a metà della deformazione.
- La permeabilità k ricavabile dall'equazione $k = c_v \cdot \gamma_a \cdot m_v$ dove γ_a è il peso di volume dell'acqua, assunto $1.00\text{g}/\text{cm}^3$.
- La pressione di consolidazione P_c , ricavabile graficamente con il metodo di Casagrande.
- Il valore del t_{100} , utilizzato per impostare i parametri della prova di taglio diretto.

- Nel grafico pressione – indice dei vuoti, la pendenza quasi rettilinea della curva è costituita dall'indice di compressione C_c definito dalla formula

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P}$$

- La pressione di consolidazione P_c nelle argille è definita come la massima pressione cui il terreno è stato sottoposto nella sua storia geologica; la determinazione è effettuata graficamente secondo il metodo di Casagrande, per cui P_c è definito come l'ascissa dell'intersezione tra la bisettrice dell'angolo formato tra la tangente nel punto di massima curvatura e l'orizzontale con il prolungamento del tratto rettilineo della curva.

Nei casi in cui P_c sia maggiore, uguale o minore della pressione litostatica attuale P_0 l'argilla è definita rispettivamente come sovraconsolidata (precompressa), normalconsolidata, sottoconsolidata.

Scopo della prova di permeabilità nella cella edometrica è la misura della permeabilità k del campione nel tempo, sottoposto a diversi carichi.

Procedure di laboratorio

Nella carota di campione indisturbato si è infissa una fustella circolare di dimensioni e peso noti; si è portato a filo di fustella il provino e lo si è inserito nella cella dell'edometro (Figura 4) tra una pietra porosa inferiore ed una superiore.



Figura 4: Edometro

L'edometro utilizzato per le prove è del tipo a carico frontale, a fulcro fisso e munito dell'apparato per la misura della permeabilità edometrica²⁹. La metodologia utilizzata è stata quella dell'incremento giornaliero di carichi costanti, secondo una successione in cui il peso è stato raddoppiato ad ogni carico, mentre lo scarico è stato effettuato in modo che il primo scarico e il secondo scarico fossero rispettivamente 1/4 e 1/16 del carico massimo.

La successione dei carichi è stata stabilita in funzione della profondità di provenienza dei campioni:

- Per i campioni di Como, provenienti da profondità superiori ai 40m dal piano campagna, è stata scelta una successione di carichi di 0.125 / 0.25 / 0.5 / 1 / 2 / 4 / 8 / 16 / 32 kg/cm² con due scarichi rispettivamente a 8 e 2 kg/cm².
- Per i campioni di Ischia, provenienti da una profondità di 0.50 – 0.80m dal piano campagna, la successione dei carichi è stata di 0.0625 / 0.125 / 0.25 / 0.5 / 1 / 2 / 4 / 8 / 16 kg/cm² con due scarichi di 4 e 1 kg/cm².

Il peso effettivo P_a da applicare ad ogni carico è stato determinato dalla formula

$$P_a = P_c \cdot \frac{A}{R_L}$$

dove P_c è il peso del carico, A l'area del provino e R_L il rapporto di leva; i valori fissi per tutte le prove sono stati $A = 20\text{cm}^2$ e $R_L = 10$.

I dati delle letture sono stati acquisiti dal computer collegato ai sensori degli edometri.

Per quanto riguarda la permeabilità edometrica, al termine del carico da esaminare³⁰ si è seguita la procedura:

- Chiusura del rubinetto della buretta e aggiunta d'acqua nella cella edometrica fino a raggiungimento del livello di trabocco; si è portata la tacca inferiore della buretta a livello dell'acqua nella cella edometrica.
- Rilevamento delle temperature dell'aria e dell'acqua in buretta, nonché determinazione del fattore correttivo di buretta.
- All'inizio della prova, apertura del rubinetto.
- Lettura dei dati, in intervalli logaritmici (15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1h, 2h, 3h) per i campioni di Como e lineari (15'', 30'', poi ogni 30'') per i campioni di Ischia.
- Al termine della prova, svuotamento fino a sotto la scala graduata della buretta.

²⁹ In questo caso, la cella edometrica è munita di un rubinetto di trabocco, inoltre è presente una buretta graduata con rubinetto collegata alla cella medesima.

³⁰ Nei campioni di Ischia la prova di permeabilità è stata effettuata sui carichi di 0.250/0.500/1 Kg/cm² mentre su quelli di Como sui carichi di 2/4/8/16 Kg/cm²

Elaborazione dei dati

I dati rilevati nei cicli di carico e scarico dell'edometria sono stati elaborati con il programma informatico Geosis 2.0, ottenendo per ogni campione e per ogni carico i dati relativi a:

- Caratteristiche fisiche iniziali
- Cedimenti (in cm)
- Indice dei vuoti e (adimensionale)
- Modulo edometrico E' (in kPa)
- H_{50} (in cm) e t_{50} (in minuti) rispettivamente altezza del provino e tempo a metà della consolidazione
- Coefficiente di consolidazione C_v (in cm^2/s)
- Permeabilità k (in cm/s)
- Grafico logaritmico tempo – altezza provino (rispettivamente in minuti e cm)
- Grafico logaritmico pressione – indice dei vuoti (pressione in kPa) con calcolo di indice di compressione C_c e pressione di consolidazione P_c (in kPa).

Dai dati dell'edometria dei primi carichi è stato possibile il calcolo del coefficiente t_{100} , a livello sia grafico sia matematico, con l'ausilio di un foglio di calcolo MS Excel: con i dati dell'edometria si è disegnata la curva, con un asintoto rispetto al cedimento finale e una retta di tendenza passante per tre punti della curva. Si è calcolato il punto di intersezione tra la retta di tendenza e l'asintoto ottenendo il t_{100} , ovvero il quadrato dell'ascissa del punto espresso in minuti e con la formula di Gibson ed Henkel (1954) $t_f = 12.7 \cdot t_{100}$ si è ottenuto il tempo per raggiungere la rottura t_f in minuti. Impostato uno spostamento (in mm) in funzione della tipologia di terreno, in base ad esperienze pregresse, si è calcolata anche la velocità per impostare la prova di taglio in mm/minuto.

I dati relativi alla permeabilità edometrica ai vari carichi sono stati elaborati con un foglio di calcolo MS Excel, ottenendo grafici in funzione del tempo e della permeabilità. Il valore corretto di ogni lettura è stato elaborato dapprima sottraendo a 50 il doppio della lettura effettuata³¹ e moltiplicando poi il risultato per il fattore correttivo della buretta:

$$lett.corr. = (50 - 2 \cdot lett.) \cdot f_{buretta}$$

La permeabilità k_n relativa ad ogni tempo è stata ottenuta con la formula

$$k_n = \frac{Ab / As}{t_n - t_{n-1}} \cdot \ln \frac{lett.corr._n}{lett.corr._{n-1}}$$

con Ab/As rapporto tra i diametri della buretta e della cella edometrica, in questo caso 0.025.

³¹ Questi calcoli sono adeguati alla geometria e alla scala graduata delle burette utilizzate

2.8 Prova di taglio diretto

Normative di riferimento: ASTM D3080

Scopo dell'analisi

Lo scopo della prova di taglio diretto, fondamentale nelle problematiche legate alle frane e alla stabilità di pendii e scarpate, è quello di determinare la retta dell'involuppo di rottura, il grafico resistenza – spostamento e i parametri c' , ϕ' , τ_f e σ'_n .

Il principio di funzionamento della prova di taglio diretto si basa su una scatola, in cui si colloca il provino, in cui una metà mobile scorre rispetto a quella fissa.

Il provino, con superficie A , è sottoposto ad un carico verticale assiale N per cui si produce una tensione efficace di compressione σ'_n secondo la formula

$$\sigma'_n = \frac{N}{A}$$

inoltre, applicando uno spostamento orizzontale lungo un piano di rottura (corrispondente al piano di scorrimento tra le due parti della scatola) si determina la forza orizzontale F e la tensione di taglio τ con la formula

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Poiché lo spostamento (quindi la forza) è effettuato a velocità costante, la tensione τ cresce con lo spostamento fino ad un punto di rottura, dopo il quale essa diminuisce. La curva, rappresentata in un grafico cartesiano con lo spostamento x in ascissa e la tensione τ in ordinata, ha il suo massimo nel punto (x_f, τ_f) dove x_f è lo spostamento registrato al momento della rottura e τ_f la resistenza massima.

In un campione di terreno sottoposto, lungo un piano di scorrimento, ad una tensione normale costante e a una tensione tangenziale crescente, la relazione tra la massima resistenza al taglio τ_f e la tensione normale σ_n è espressa dall'equazione di Coulomb (1773) dove c è la coesione e ϕ l'angolo di resistenza al taglio:

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \phi$$

L'equazione di Coulomb è stata riformulata da Terzaghi (1923) in chiave di tensioni efficaci, considerando la pressione interstiziale U e con $\sigma'_n = (\sigma - U)$ dove c' è la coesione e ϕ' è l'angolo di resistenza al taglio:

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \operatorname{tg} \phi'$$

questa equazione, in un sistema cartesiano con le tensioni σ' sull'asse delle ascisse e con la resistenza al taglio τ sull'asse delle ordinate, è rappresentata da una retta nota come “involuppo di rottura”³².

In base ai parametri c' e φ' si possono distinguere i terreni in due gruppi:

- “coesivi” come i limi e le argille, caratterizzati dalla presenza di entrambi i parametri.
- “granulari” come le ghiaie e le sabbie, caratterizzati da un elevato valore di $tg\varphi'$ e da una coesione pressoché nulla.

La prova di taglio diretto ha diversi pregi, tra cui quello di poter essere effettuata sui diversi materiali, sia coesivi sia granulari, su campioni sia indisturbati sia rimaneggiati, inoltre è una prova abbastanza semplice e rapida; tuttavia non mancano problemi quali il fatto che il piano di rottura è prestabilito, che la distribuzione degli sforzi non è uniforme, che la superficie di contatto nel piano di taglio diminuisce con il movimento³³.

Procedure di laboratorio

Dalla carota indisturbata sono stati preparati tre provini per ogni campione da esaminare, infiggendo un'apposita fustella quadrata con superficie di 36cm² e altezza 2.2cm.



Figura 5 (sx):

Scatola di taglio e componenti.



Figura 6:

Apparecchio per la prova di taglio diretto

³² Raviolo, 1989, pp.395-399.

³³ Raviolo, 1989, p.399

Ogni provino, dopo la pesatura, è stato inserito in una scatola di taglio³⁴ (Figura 5) e lasciato, immerso, in consolidazione direttamente nella macchina di taglio³⁵ (Figura 6) o in banco di consolidazione per almeno 24h sotto il carico assiale da utilizzare durante la prova.

I carichi assiali sono stati scelti in base alla profondità di provenienza dei campioni da esaminare, al fine di riprodurre le condizioni naturali: per i campioni di Como, provenienti da profondità dai 30m ai 50m dal piano campagna, sono stati posti carichi di 1.50, 3.00 e 4.50 kg/cm² mentre per quelli di Ischia, prelevati a profondità di 0.50m – 0.80m sono stati impostati carichi di 0.125, 0.250 e 0.375 kg/cm². Dopo le 24h è stato registrato il cedimento avvenuto in fase di consolidazione.

I pesi effettivi da applicare per ogni carico sono stati determinati secondo la formula

$$P_a = (P_c - P_e) \cdot \frac{A}{R_L}$$

dove rispettivamente sono: P_a peso effettivo da applicare, P_c peso del carico, P_e peso esistente dello strumento, A superficie del provino e R_L il rapporto di leva impostato. Per tutte le prove sono rimasti fissi i seguenti valori: $P_e = 0.125 \text{ kg/cm}^2$; $A = 36 \text{ cm}^2$; $R_L = 9$.

La velocità di taglio è stata impostata calcolando il t_{100} nel corso delle prove edometriche in modo sia grafico sia matematico, lo spazio massimo di movimento orizzontale è stato impostato in base alla tipologia del terreno da esaminare³⁶; da questi parametri è stata stabilita la durata della prova.

Ogni provino, sempre immerso, è stato sottoposto alla prova di taglio, secondo i parametri stabiliti; nel corso di ogni prova, i dati relativi alla deformazione verticale, alla deformazione orizzontale³⁷ e agli sforzi di taglio sono stati acquisiti tramite sensori collegati ad un personal computer, con il programma di acquisizione di dati della TDA Tecnotest.

Al termine della prova, ogni provino è stato estratto dalla scatola, pesato umido, essiccato in forno a 105°C per almeno 24h e poi pesato secco.

Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma informatico, ed i risultati sono stati espressi dai grafici relativi a:

³⁴ La sequenza dei componenti in una scatola di taglio con le metà unite, dal basso verso l'alto, è la seguente: base; pietra porosa; piastrina seghettata con i rilievi perpendicolari allo scorrimento; provino; piastrina seghettata con i rilievi perpendicolari allo scorrimento; pietra porosa; coperchio.

³⁵ Lo strumento per il taglio diretto consiste in un banco dove il provino, all'interno della scatola, è immerso in un alloggiamento dove è sottoposto a deformazione assiale ed orizzontale.

³⁶ Per i procedimenti di calcolo del t_{100} e degli altri parametri si veda nel paragrafo relativo all'edometria.

³⁷ Nello strumento utilizzato, la deformazione orizzontale non è registrata dall'anello dinamometrico, bensì da una speciale cella.

- pressione verticale – sforzo di taglio, entrambi in kN/m^2 , con la retta di involucro di rottura fornendo i valori della coesione in kN/m^2 e dell'angolo di resistenza al taglio (o di attrito) in gradi sessagesimali.
- deformazione orizzontale - sforzo di taglio, rispettivamente in mm e kN/m^2 .
- deformazione orizzontale – deformazione verticale, rispettivamente in mm e mm/100.

2.9 Contenuto di sostanza organica

Normative di riferimento: ASTM D 2974

Scopo dell'analisi

Lo scopo dell'analisi è determinare il contenuto di sostanza organica in un campione di terreno.

Procedure di laboratorio

Per ogni campione da esaminare sono stati pesati circa 5g di terreno fine; il materiale da esaminare è stato collocato in crogioli di porcellana precedentemente pesati vuoti dopo essiccazione a 105°C .

Ogni crogiolo con il campione è stato pesato a temperatura ambiente e poi posto in forno a 105°C e poi pesato di nuovo.

I crogioli sono stati posti in un forno a muffola a 440°C e poi pesati di nuovo.

Elaborazione dei dati

Si è pesato il peso netto alle diverse temperature, dopodiché il contenuto in sostanza organica, in grammi, è stato definito dalla differenza tra il peso netto a 440°C e a 105°C ; il contenuto in percentuale è stato ricavato moltiplicando per 100 il rapporto tra il peso della sostanza organica e il peso netto del campione dopo essiccazione a 105°C .

CAPITOLO 3: RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

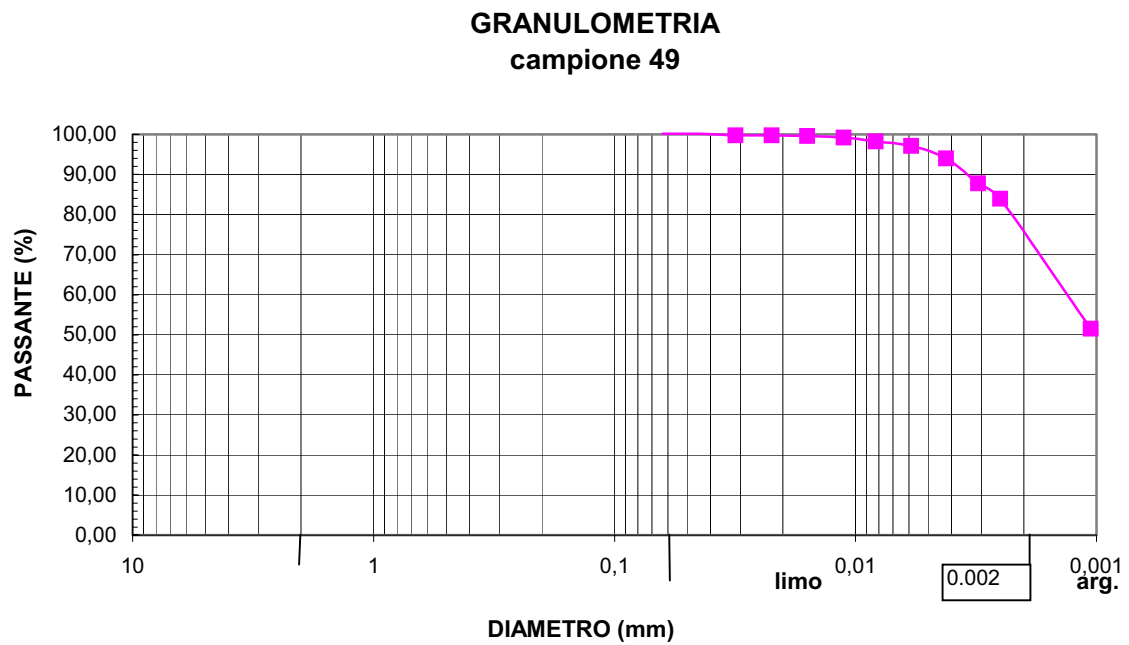
3.1 Campione 49



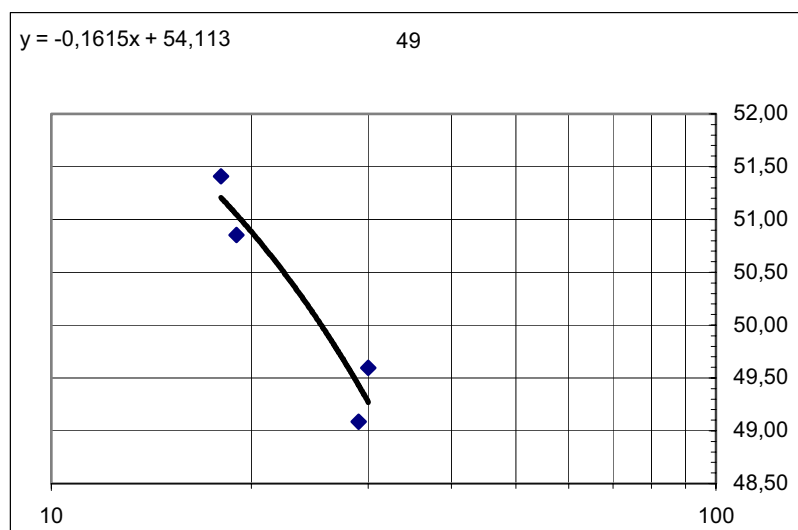
Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 17.58 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.91 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 42.69%
- Indice dei vuoti e : 1.26
- Porosità n : 55.85%
- Peso di volume secco: 12.32 kN/m^3
- Grado di saturazione: 96.19%

Analisi granulometrica



Limiti plastico e liquido di Atterberg



N° COLPI	LL
25	50,08
	LP
	30,36

INDICE PLASTICO **19,72**

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
 Progetto : SUBSIDENZA COMO
 Lotto :
 Sondaggio : S1
 Campione : S1C4 - 49
 Profondità di prelievo, da metri : 34.50 a metri: 35.00

PROVA EDOMETRICA

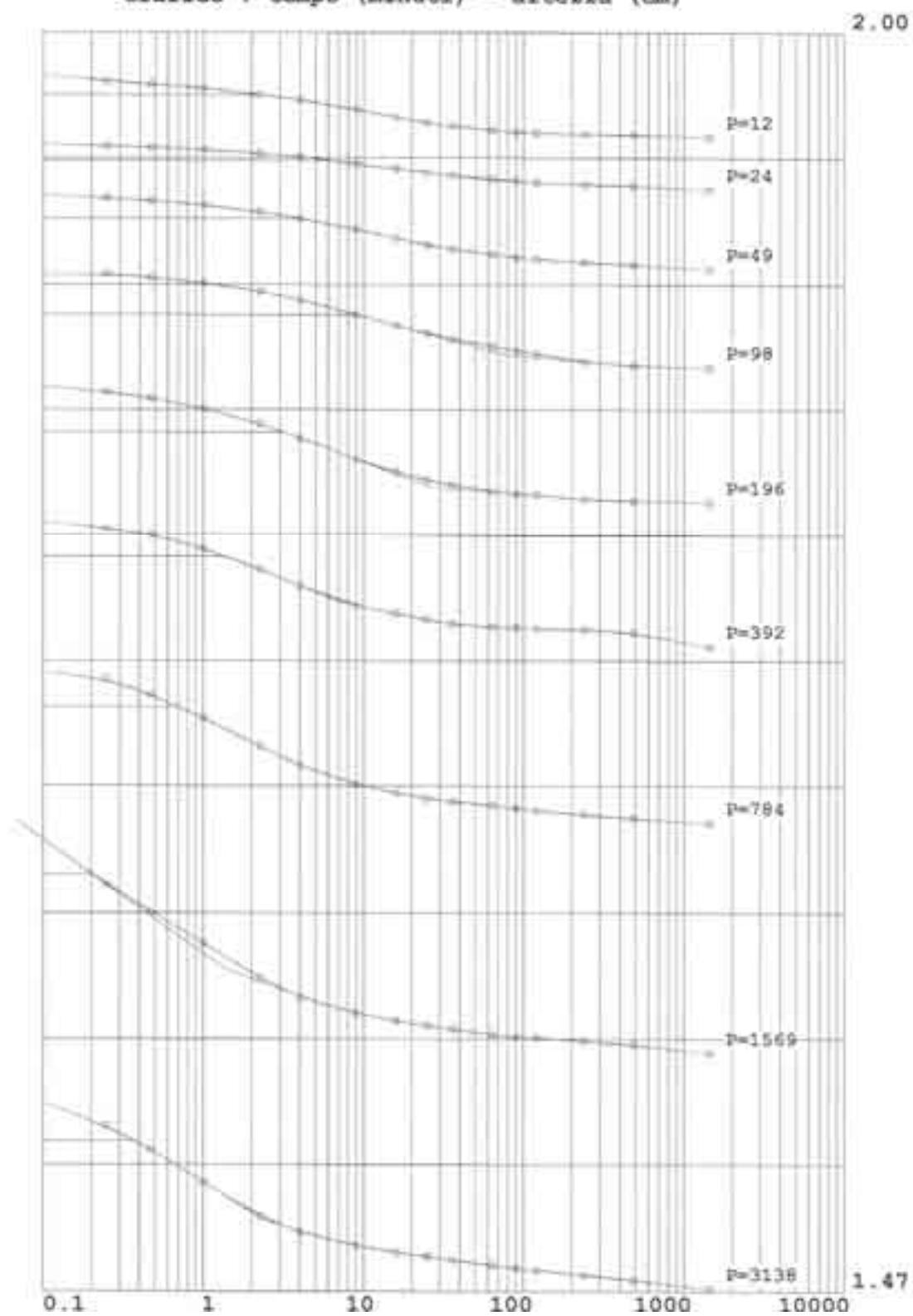
Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 17.58
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 42.69
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 27.95
	Indice dei vuoti : 1.268
	Grado di saturazione (%) : 96

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
12	0.044	1.218	544	1.974	141	1.4E-03	2.5E-07
24	0.065	1.194	1109	1.946	401	4.7E-04	4.1E-08
49	0.099	1.156	1443	1.922	240	7.6E-04	5.2E-08
98	0.140	1.109	2248	1.882	541	3.2E-04	1.4E-08
196	0.197	1.045	3229	1.833	190	8.7E-04	2.6E-08
392	0.257	0.976	5809	1.781	81	1.9E-03	3.3E-08
784	0.331	0.893	9332	1.717	42	3.5E-03	3.6E-08
1569	0.427	0.784	13633	1.648	12	1.1E-02	8.0E-08
3138	0.525	0.673	25217	1.536	22	5.3E-03	2.1E-08
784		0.702					
106		0.745					

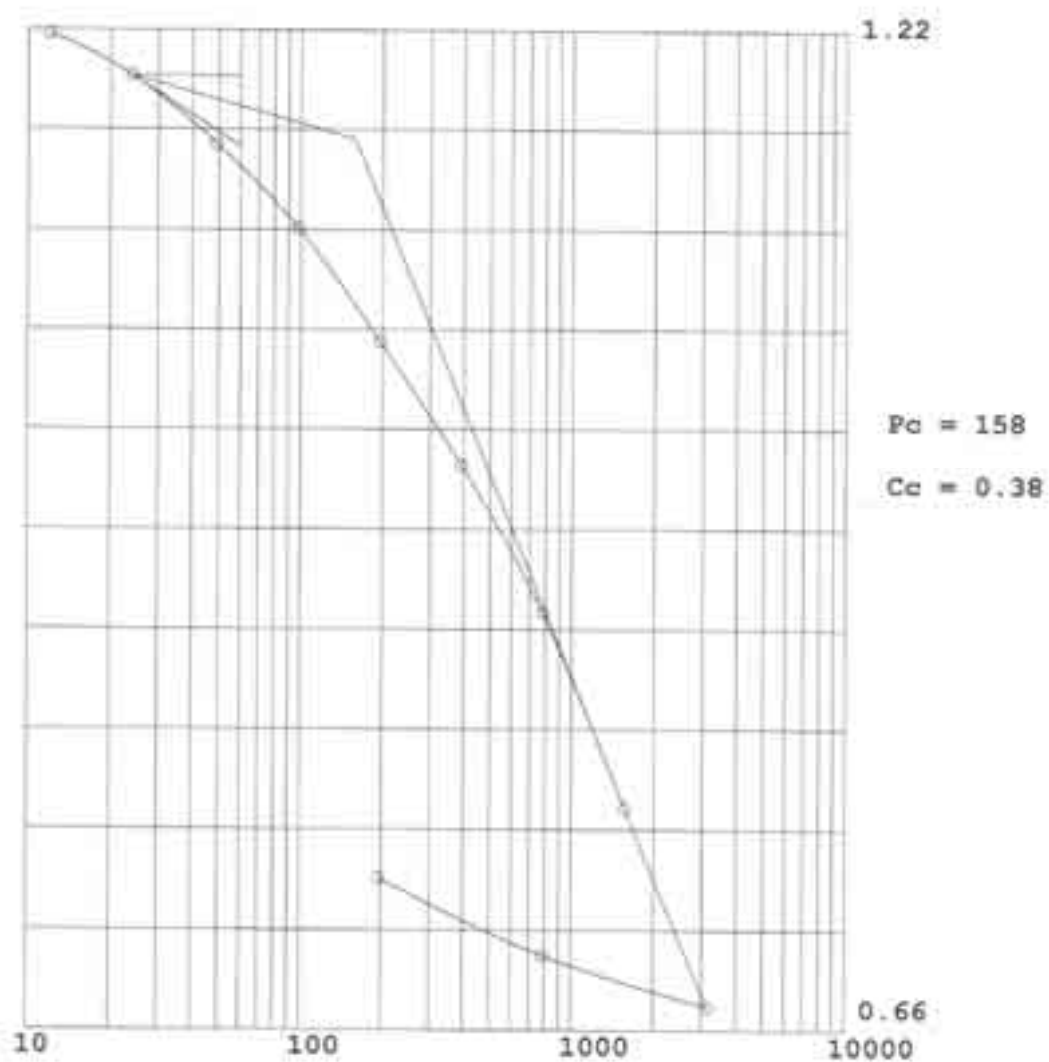
PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)



APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

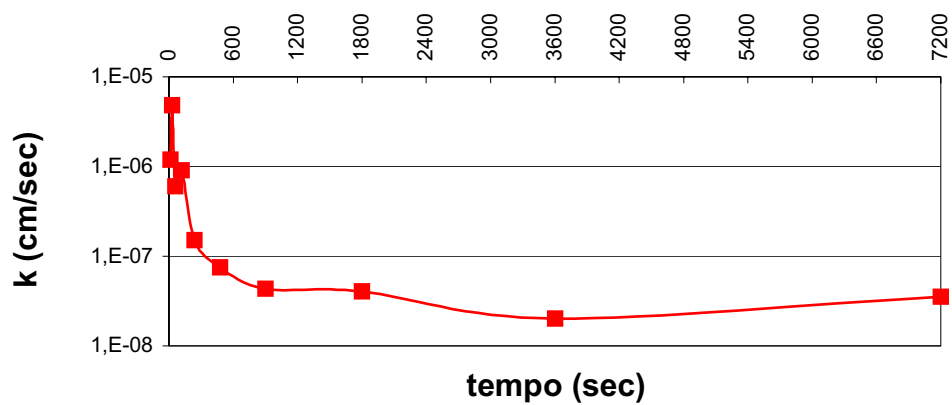
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



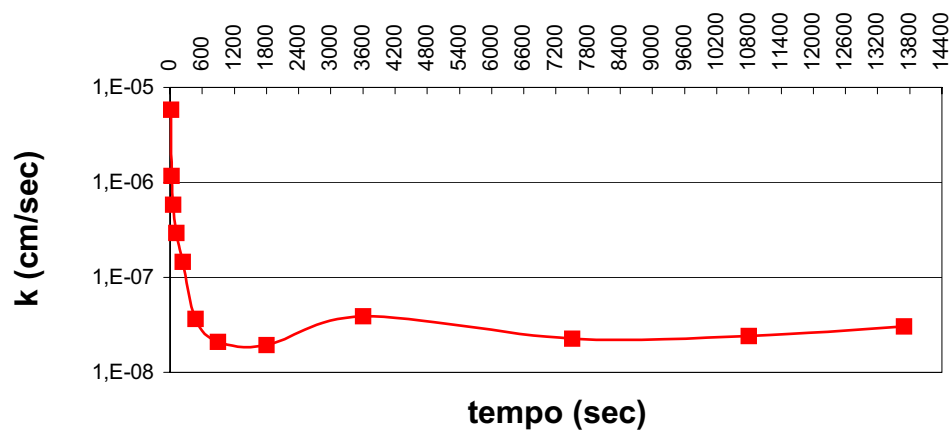
Note : LIMO TORBOSO

Il Direttore del Laboratorio : _____

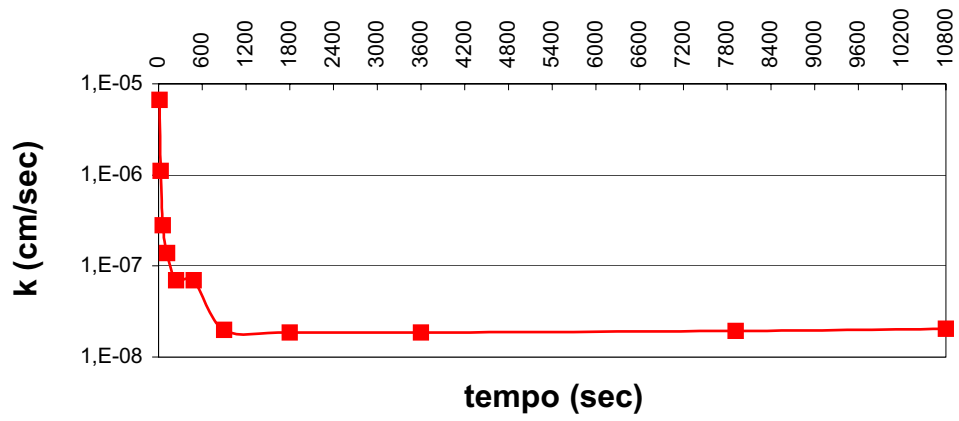
**grafico tempo - permeabilità
campione 49, P=196kPa**



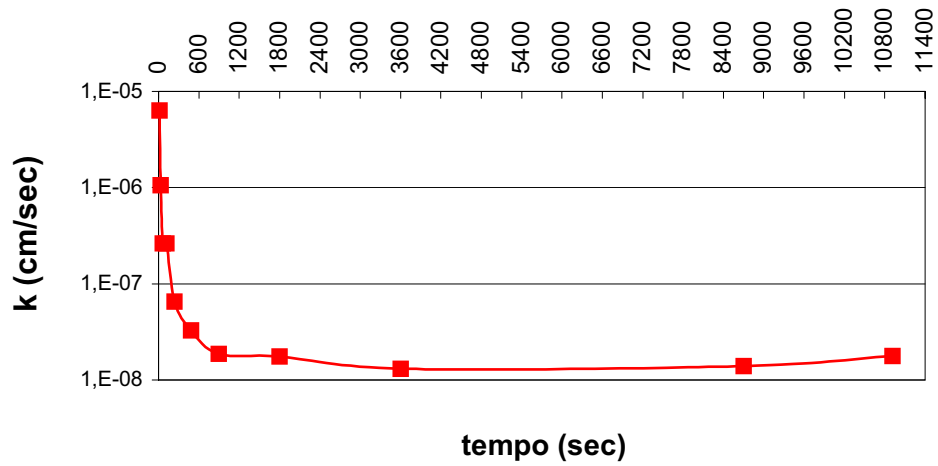
**grafico tempo - permeabilità
campione 49, P=392kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 49, P=784kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 49, P=1569kPa**



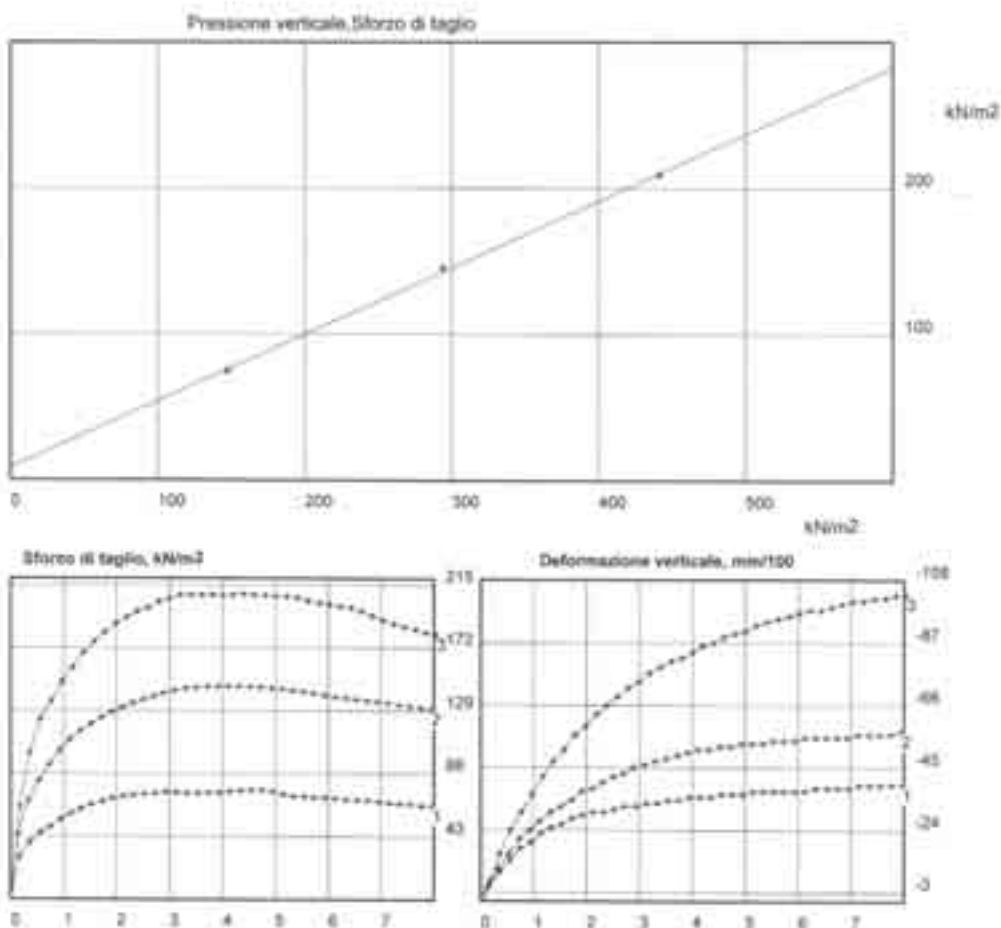
Resistenza al taglio diretto

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITÀ:

SONDAAGGIO:
CAMPIONE: 49 3+4
PROF. m:
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kNm2	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kNm2	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	36.44	4.55	36.00
204.21	145.83	4.11	81.00
441.31	208.09	4.40	87.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 30.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0100
Tipo di prova:
Tipo di campione:
Contenuto in acqua, %=
Peso di volume, g/cm³=
Densità secca, g/cm³=
COESIONE= 8.81 kNm2
ANGOLO DI ATTRITO= 24.55 gradi sess.

NOTA:
DATA:

Lo Sperimentatore

Il Direttore di laboratorio

3.2 Campione 50

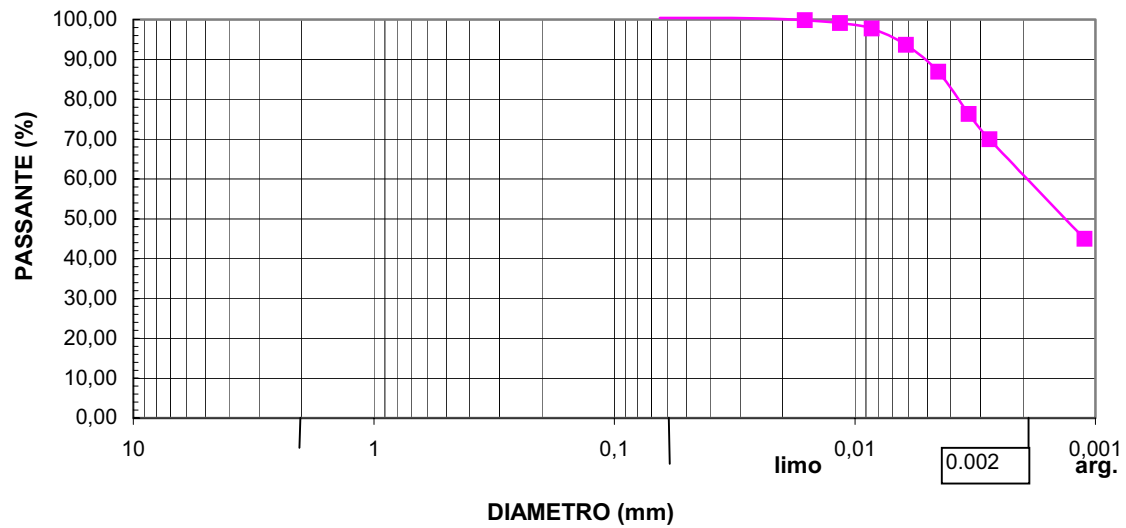


Proprietà fisiche

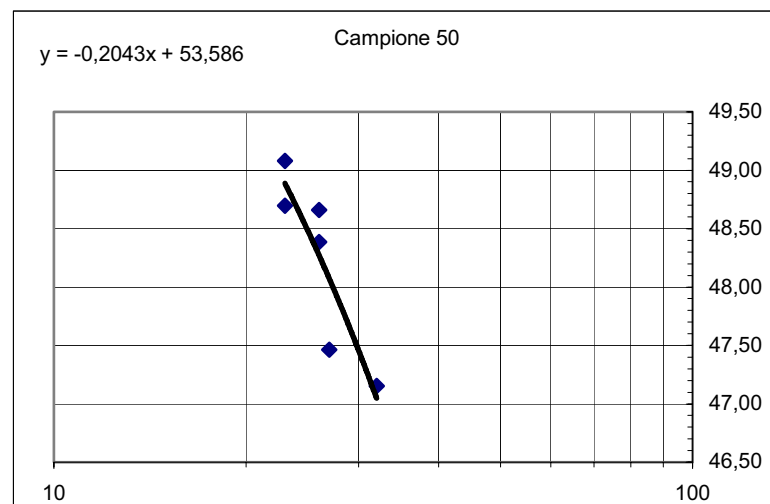
- Densità/Peso di volume:
 18.21 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.65 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 38.94%
- Indice dei vuoti e : 1.11
- Porosità n : 52.61%
- Peso di volume secco: 13.10 kN/m^3
- Grado di saturazione: 98.92%

Analisi granulometrica

GRANULOMETRIA campione 50



Limiti plastico e liquido di Atterberg



N° COLPI	LL
25	48,48
	LP
	29,17

INDICE
PLASTICO

19,31

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
Progetto : SUBSIDENZA COMO
Lotto :
Sondaggio : S1
Campione : S1C5
Profondità di prelievo, da metri : 39.00 a metri: 39.50

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm): 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 17.97
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 37.83
Volume (cm ³): 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 27.26
	Indice dei vuoti : 1.091
	Grado di saturazione (%): 96

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
12	0.042	1.047	570	1.983	343	5.6E-04	9.7E-08
24	0.065	1.023	1023	1.949	377	5.0E-04	4.8E-08
49	0.105	0.982	1234	1.919	233	7.8E-04	6.2E-08
98	0.150	0.934	2023	1.876	171	1.0E-03	4.9E-08
196	0.200	0.882	3645	1.831	103	1.6E-03	4.3E-08
392	0.255	0.824	6360	1.780	61	2.6E-03	3.9E-08
784	0.317	0.759	11000	1.723	27	5.4E-03	4.8E-08
1569	0.395	0.678	17047	1.651	19	7.1E-03	4.1E-08
3138	0.480	0.589	29582	1.572	15	8.1E-03	2.7E-08
784		0.605					
196		0.636					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

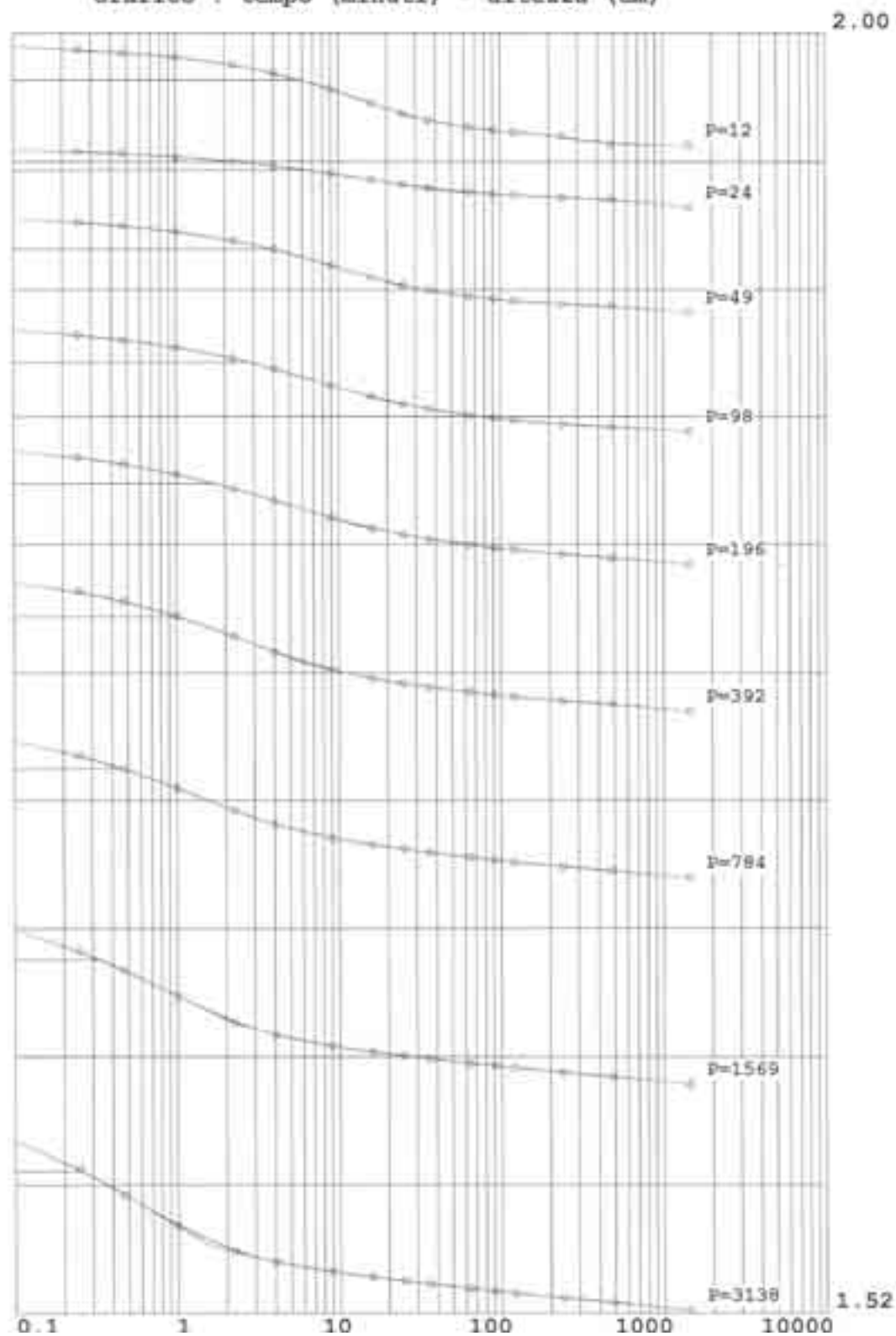
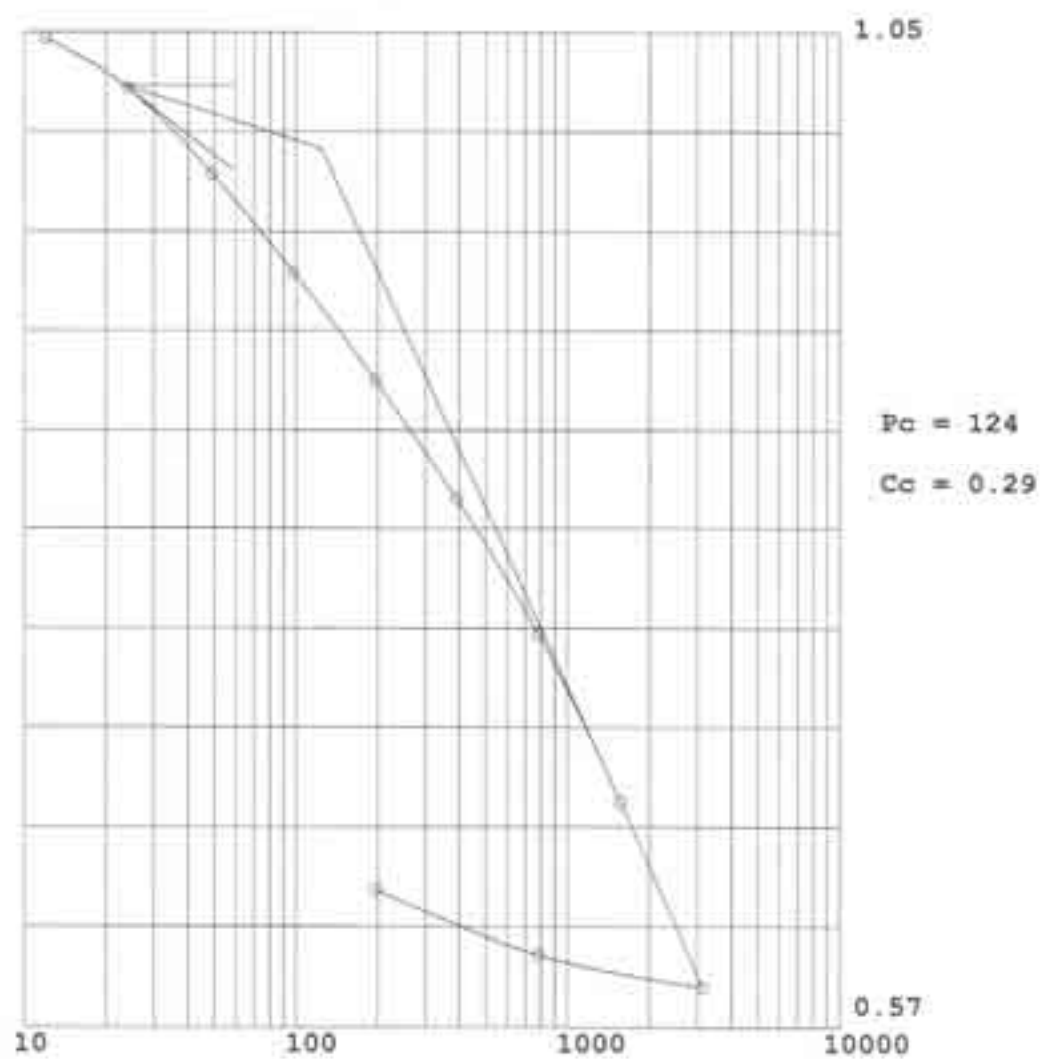


Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti

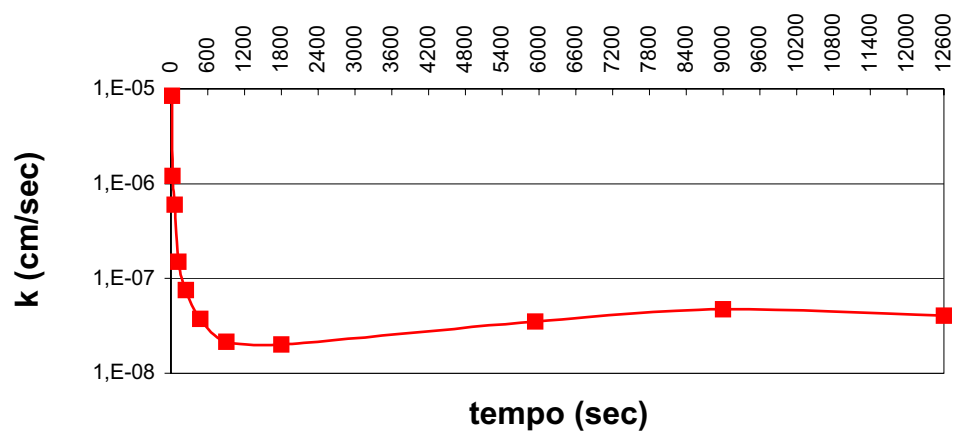


Note : ARGILLA LIMO SABBIOSA GRIGIA

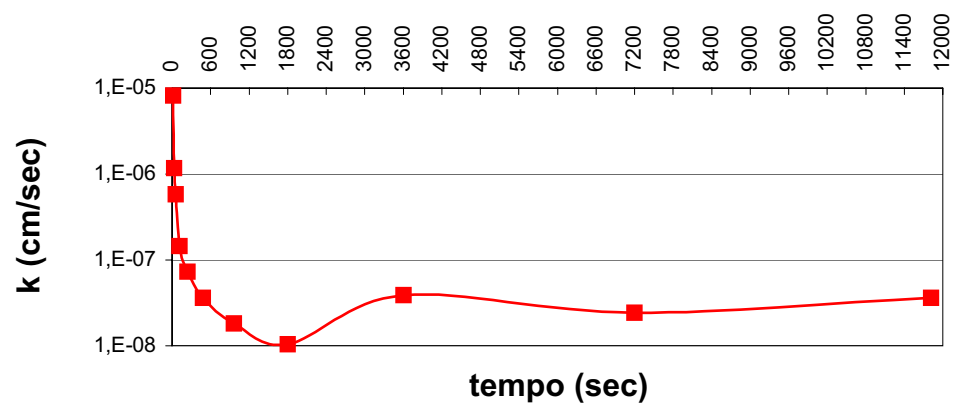
PROVA B

Il Direttore del Laboratorio :

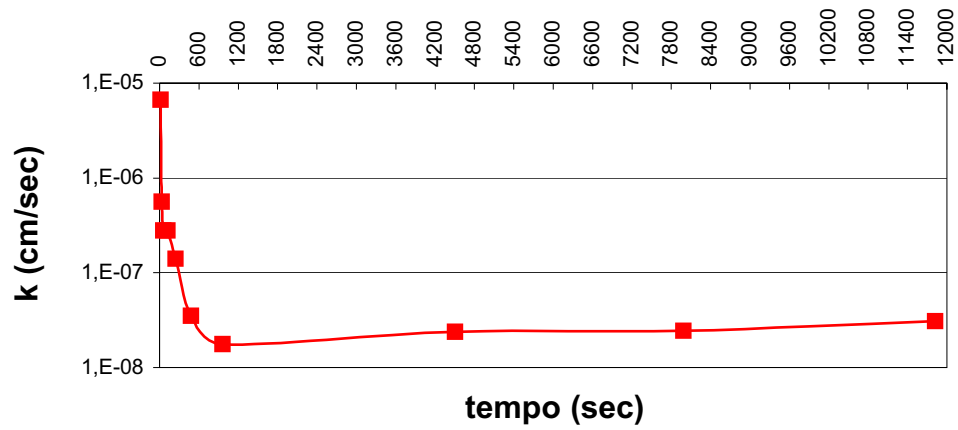
**grafico tempo - permeabilità
campione 50, P=196kPa**



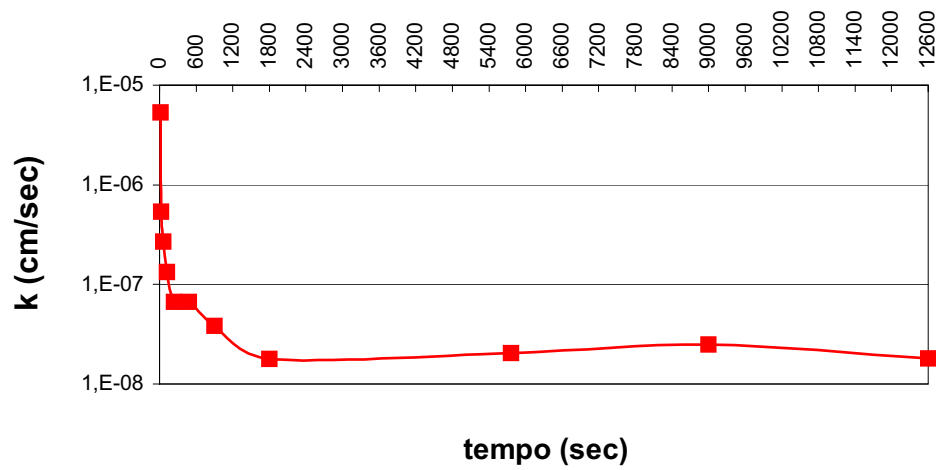
**grafico tempo - permeabilità
campione 50, P=392kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 50, P=784kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 50, P=1569kPa**



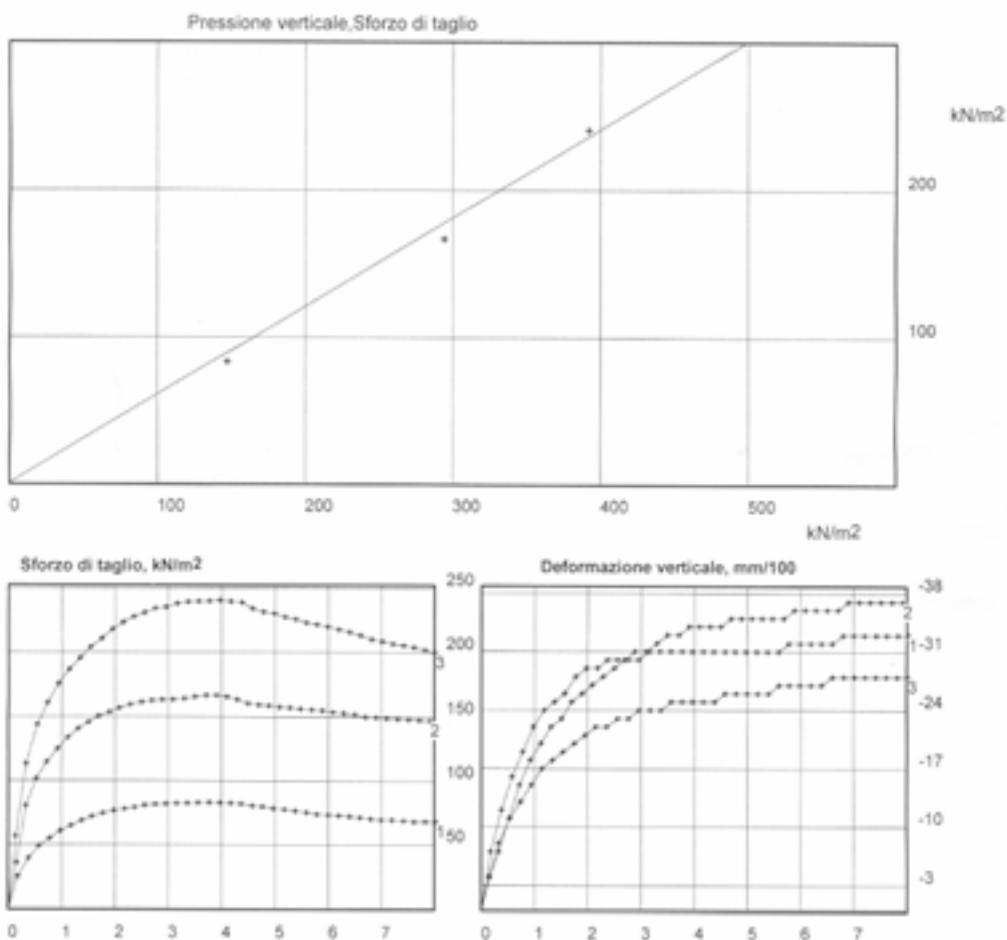
Resistenza al taglio diretto

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITA':

SONDAGGIO:
CAMPIONE: 50
PROF., m:
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m ²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m ²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	83.06	3.77	-31.00
294.21	166.39	3.71	-33.00
392.28	240.56	3.97	-25.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²

Vel. avanzamento, mm/min= 0.0100

Tipo di prova:

Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %=

Peso di volume, g/cm³=

Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 1.00 kN/m²

ANGOLO DI ATTRITO= 30.97 gradi sess.

NOTA:

DATA:

Lo Sperimentatore

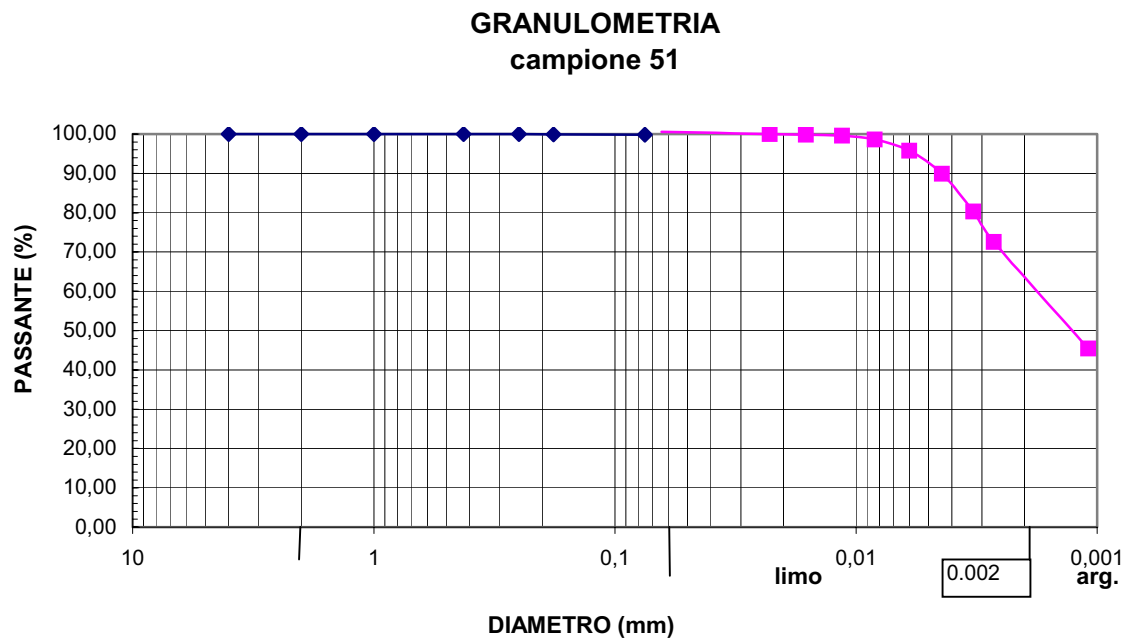
Il Direttore di laboratorio

3.3 Campione 51



Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 18.61 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.26 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 35.42%
- Indice dei vuoti e : 0.98
- Porosità n : 49.55%
- Peso di volume secco: 13.75 kN/m^3
- Grado di saturazione: 98%



APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
 Progetto : SUBSIDENZA COMO
 Lotto :
 Sondaggio : S1
 Campione : S1C6 - 51
 Profondità di prelievo, da metri : 40.50 a metri: 41.00

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 18.62
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 33.91
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 27.26
	Indice dei vuoti : 0.960
	Grado di saturazione (%) : 98

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
24	0.024	0.937	2045	1.984	1588	1.2E-04	5.9E-09
49	0.037	0.924	3725	1.971	25	7.6E-03	2.0E-07
98	0.056	0.905	4962	1.956	29	6.5E-03	1.3E-07
196	0.083	0.879	7180	1.931	46	4.0E-03	5.5E-08
392	0.134	0.829	7366	1.897	24	7.4E-03	9.8E-08
784	0.212	0.752	9311	1.839	27	6.2E-03	6.5E-08
1569	0.303	0.663	15453	1.754	23	6.6E-03	4.2E-08
3138	0.402	0.566	26899	1.659	17	8.0E-03	2.9E-08
784		0.592					
106		0.606					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

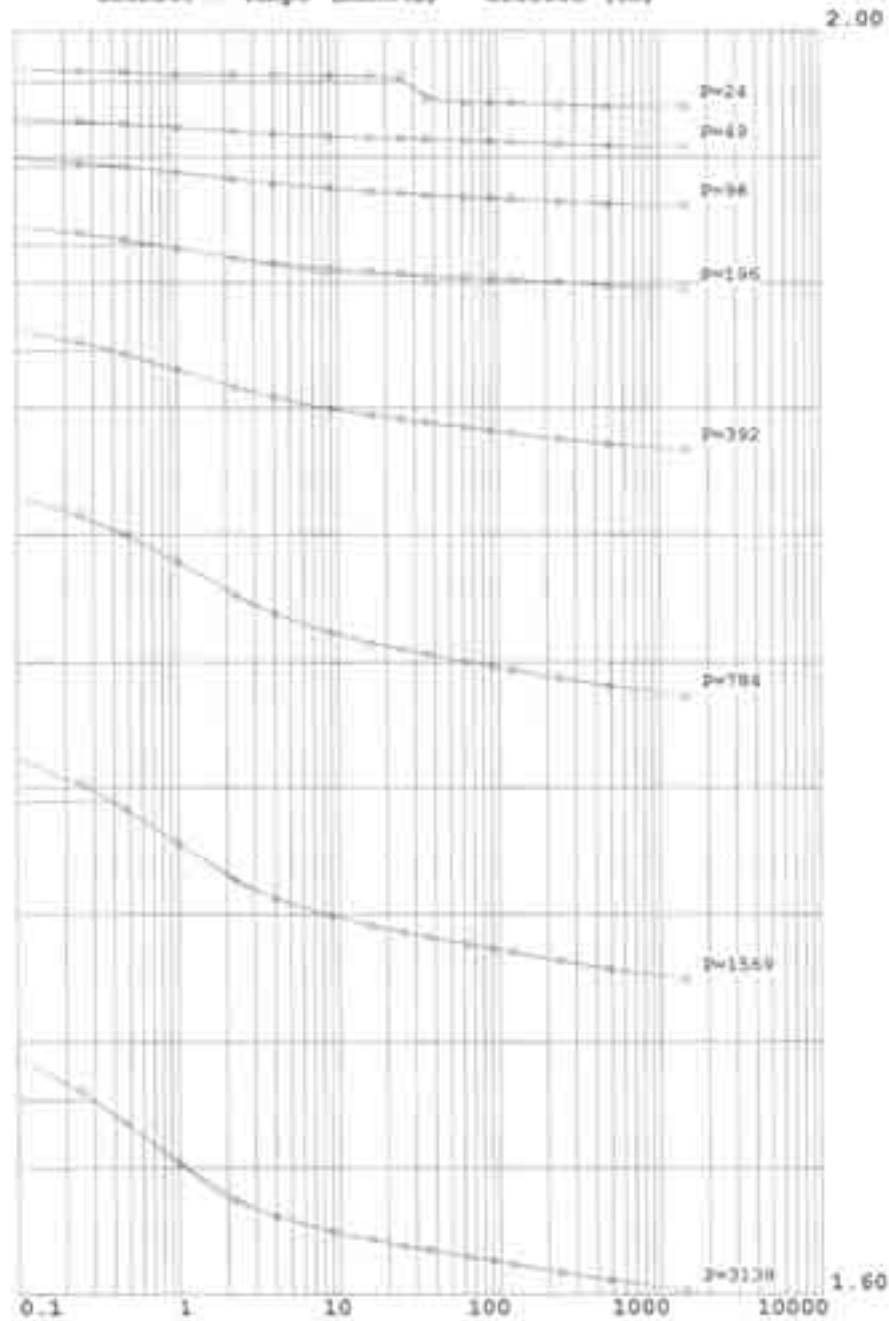
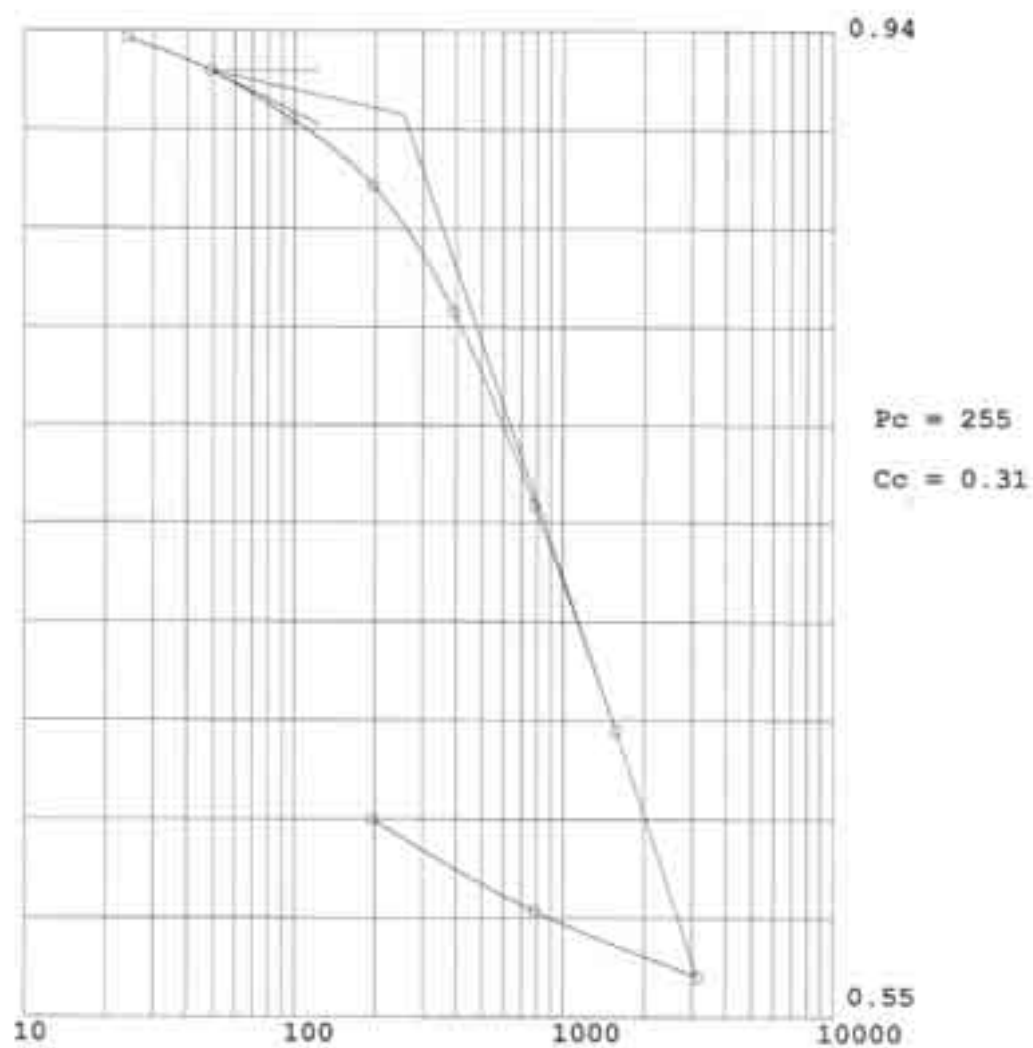


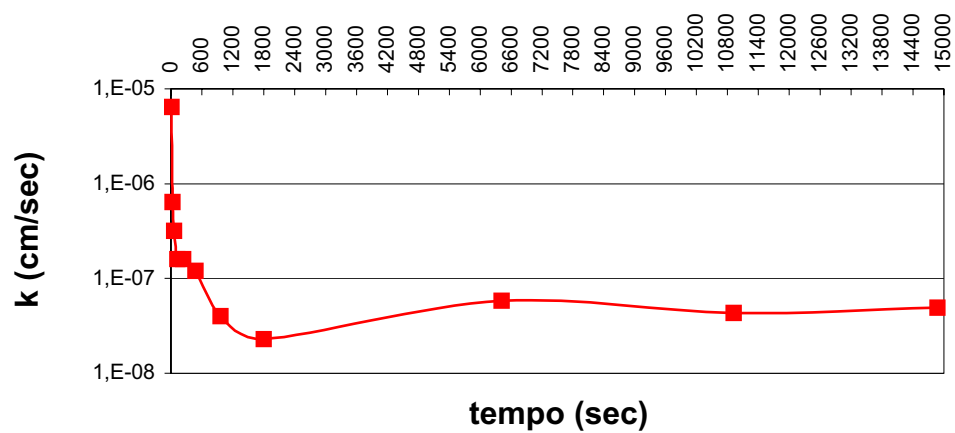
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



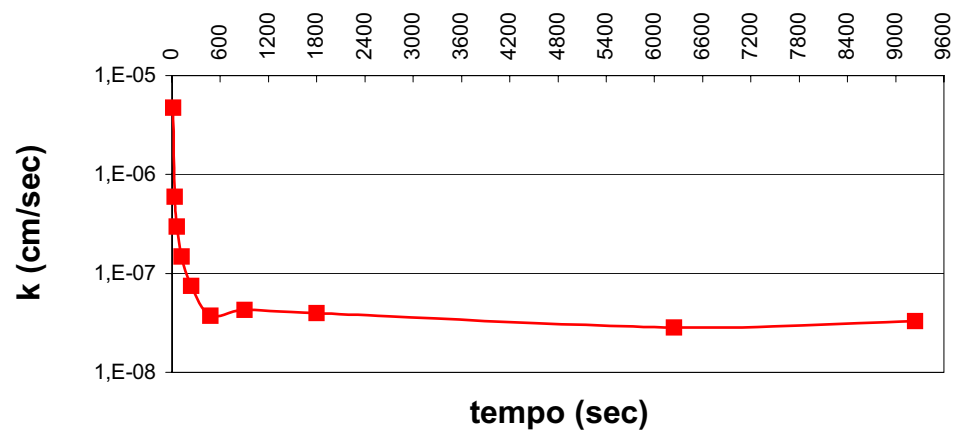
Note : ARGILLA LIMOSA

Il Direttore del Laboratorio : _____

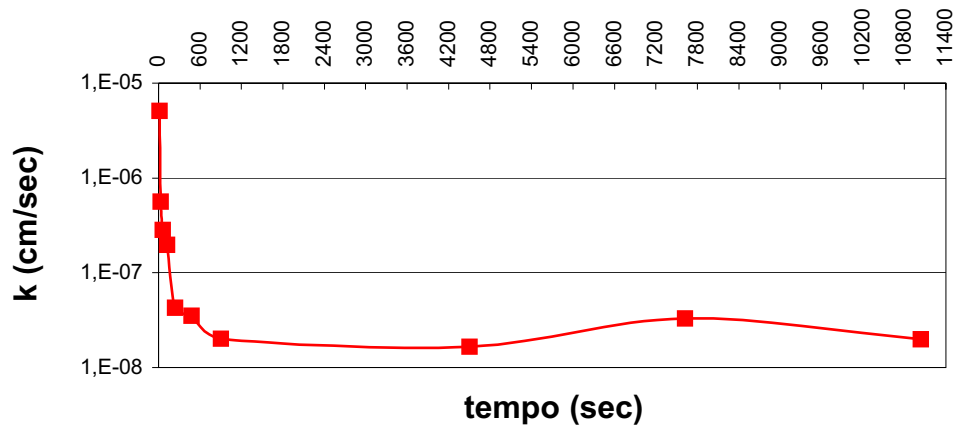
**grafico tempo - permeabilità
campione 51, P=196kPa**



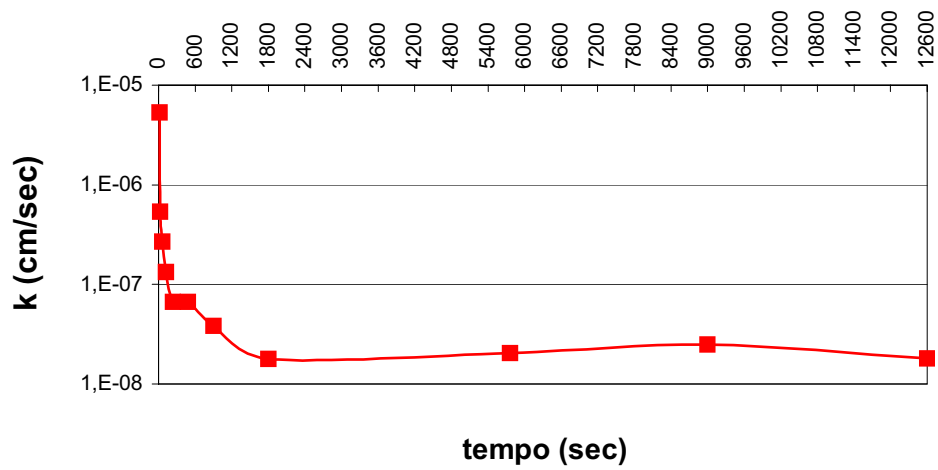
**grafico tempo - permeabilità
campione 51, 392kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 51, P=784kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 51, 1569kPa**



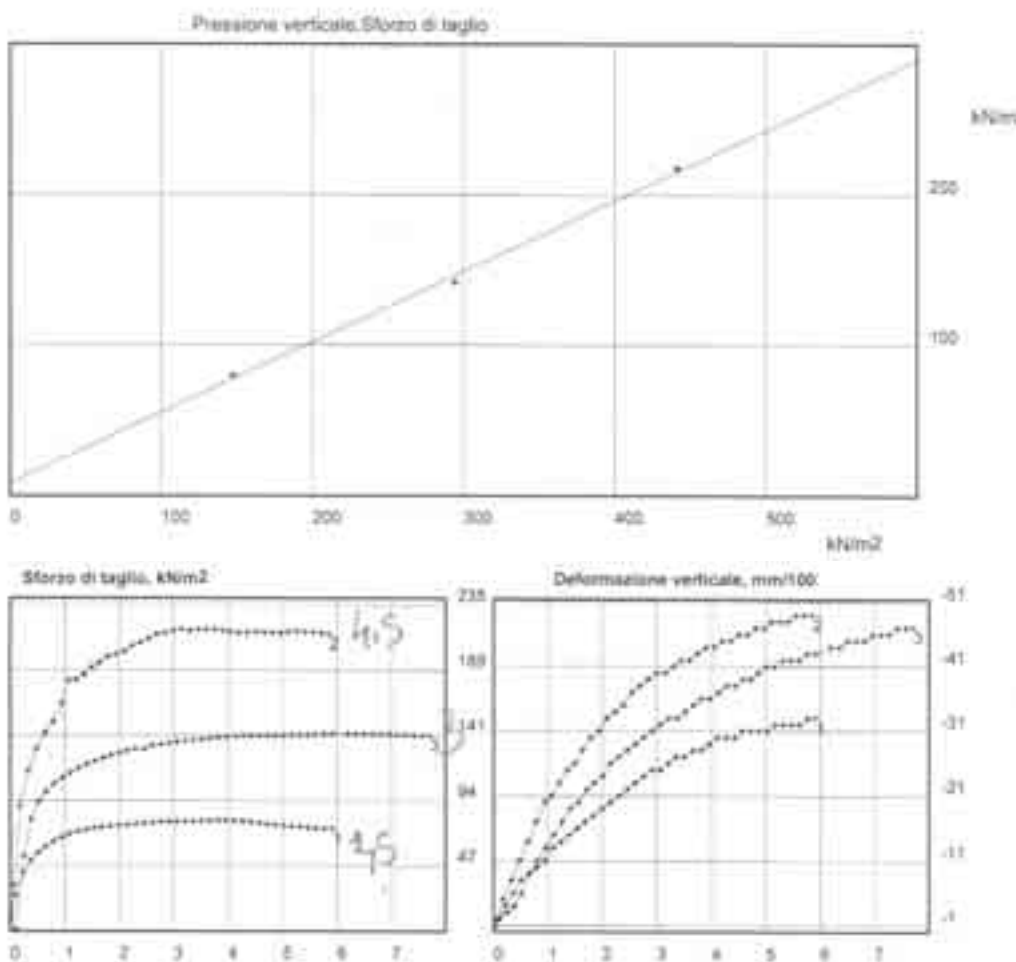
51

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITÀ:

SONDAGGIO:
CAMPIONE:
PROF. m:
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	79.72	3.82	-38.00
441.31	217.50	3.15	-40.00
294.21	141.34	6.20	-44.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²

Vel. avanzamento, mm/min= 0.0500

Tipo di prova

Tipo di campione

Contenuto in acqua, %=

Peso di volume, g/cm³=

Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 8.61 kN/m²

ANGOLO DI ATTRITO= 25.09 gradi sess.

NOTA:

DATA:

Lo Sperimentatore

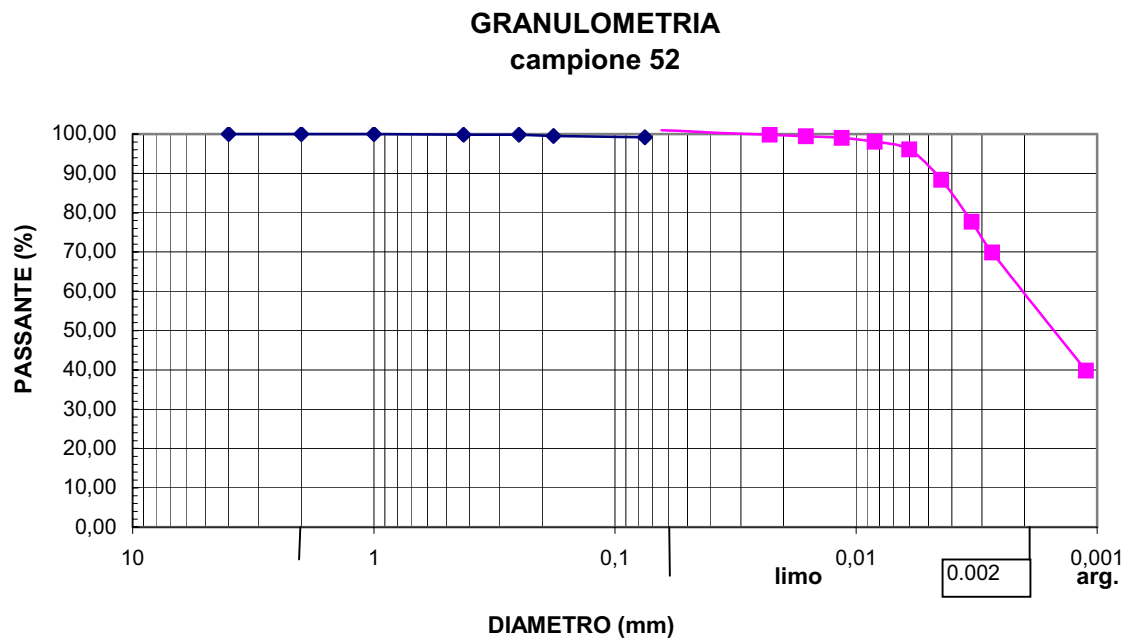
Il Direttore di laboratorio

3.4 Campione 52



Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 18.18 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.26 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 40.63%
- Indice dei vuoti e : 1.11
- Porosità n : 52.59%



APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
 Progetto : SUBSIDENZA COMO
 Lotto :
 Sondaggio : S1
 Campione : S1C7 - 52
 Profondità di prelievo, da metri : 45.00 a metri: 45.50

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 18.18
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 40.63
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 27.26
	Indice dei vuoti : 1.109
	Grado di saturazione (%) : 102

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
24	0.016	1.092	2977	1.991	1280	1.5E-04	5.0E-09
49	0.026	1.082	5230	1.980	53	3.6E-03	6.8E-08
98	0.044	1.063	5369	1.968	22	9.7E-03	1.6E-07
196	0.070	1.035	7220	1.946	21	8.9E-03	1.2E-07
392	0.115	0.988	8486	1.913	22	8.2E-03	9.5E-08
784	0.194	0.905	9389	1.860	27	6.3E-03	6.6E-08
1569	0.298	0.795	13595	1.770	24	6.4E-03	4.6E-08
3138	0.421	0.665	21664	1.655	15	9.0E-03	4.1E-08
784		0.701					
196		0.747					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

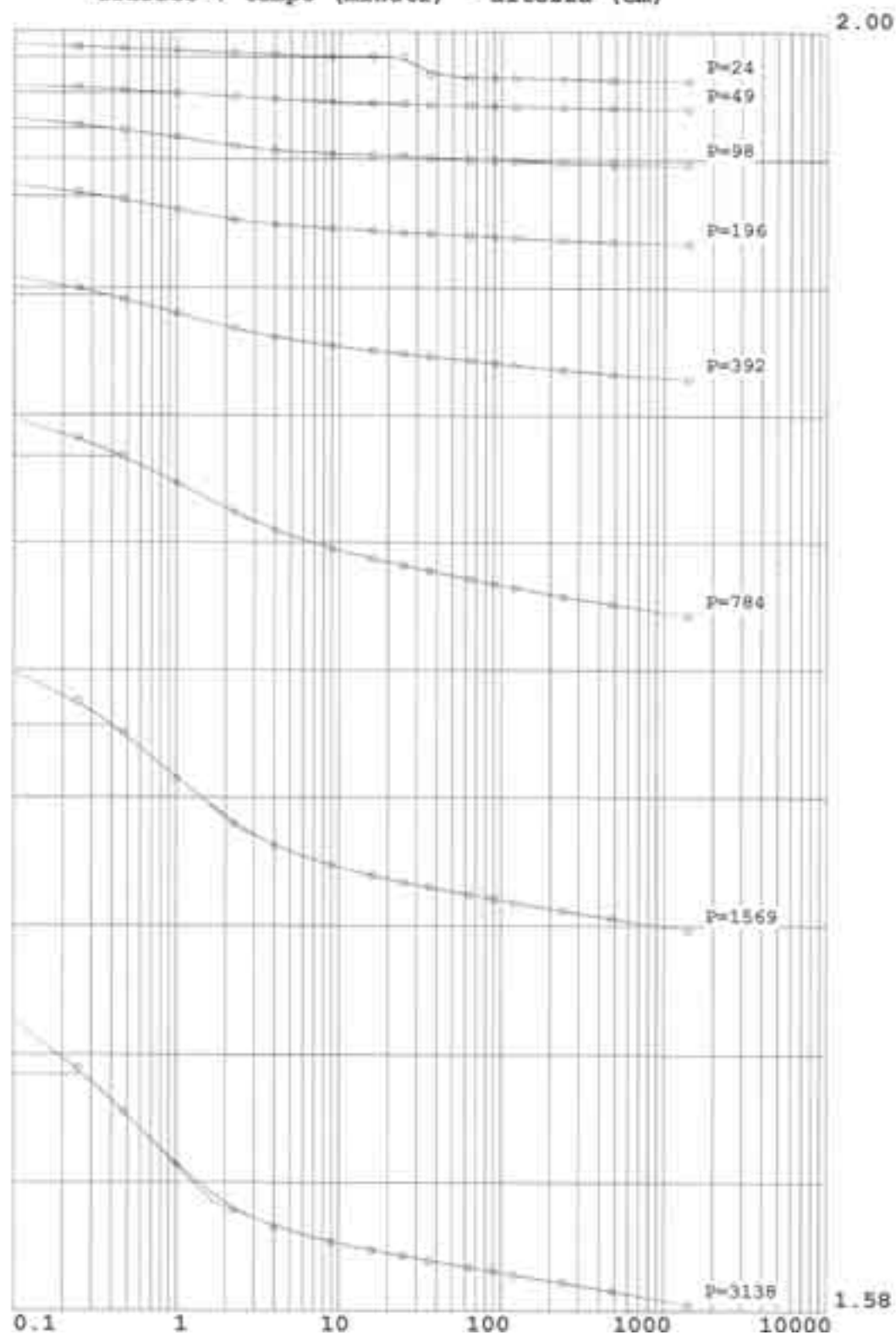
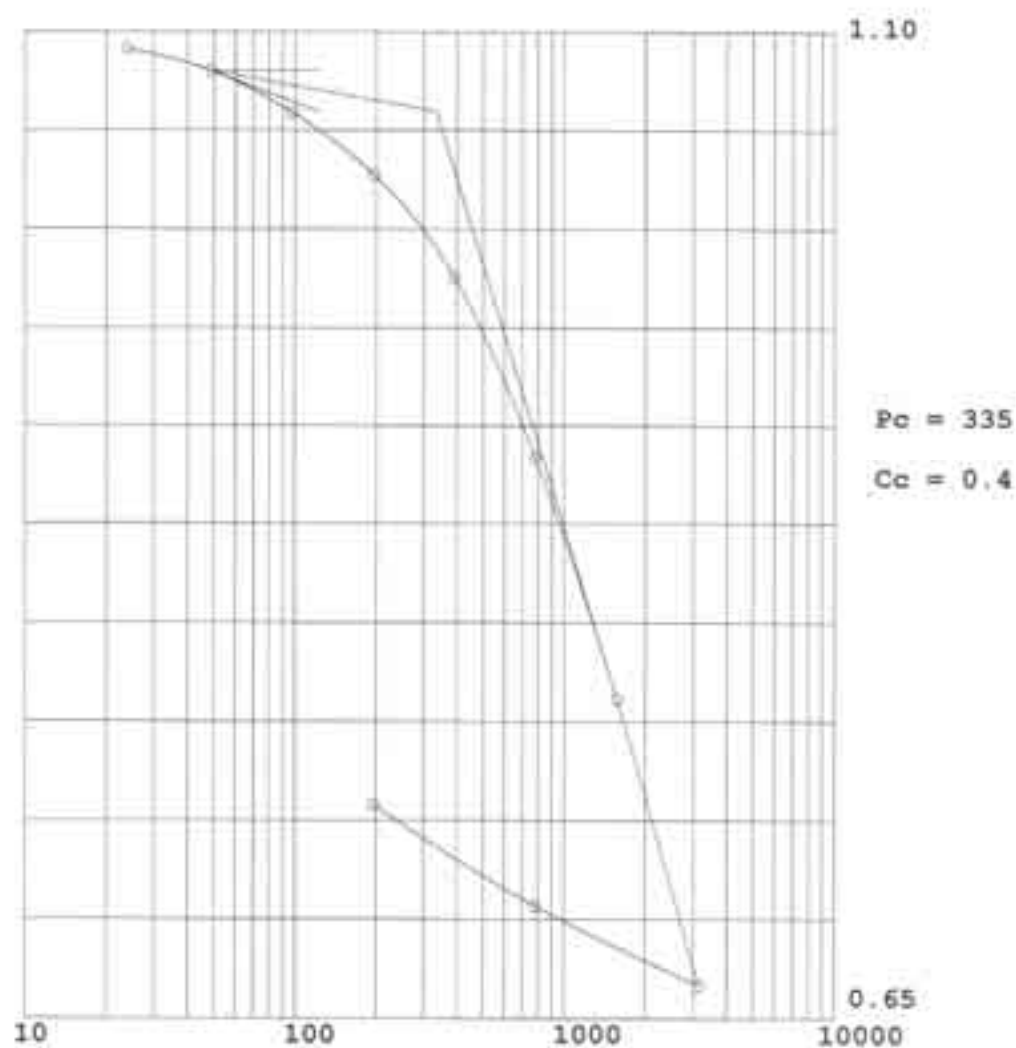


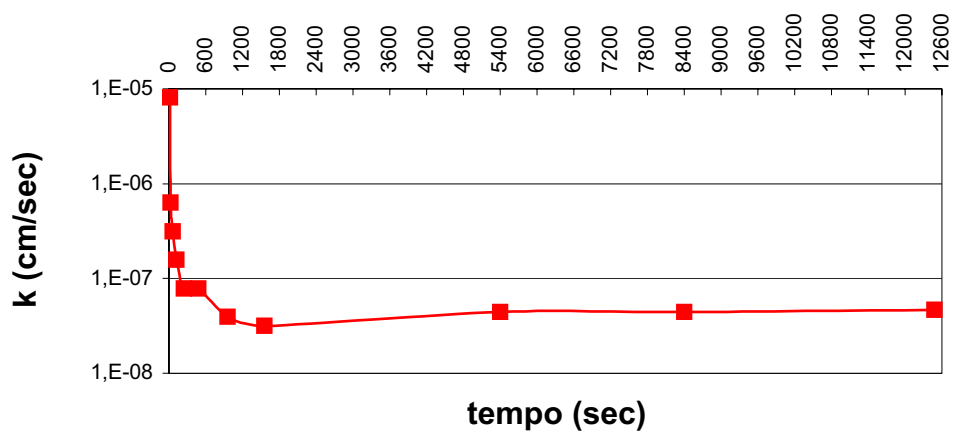
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



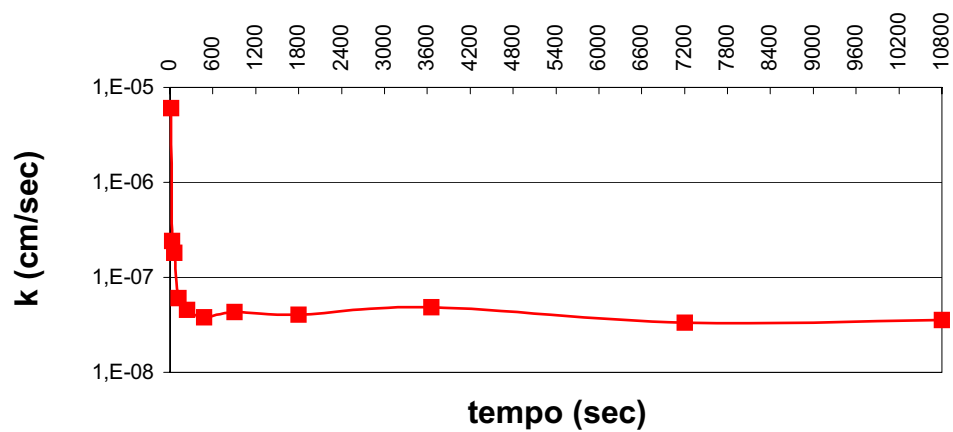
Note : ARGILLA LIMOSA GRIGIA

Il Direttore del Laboratorio : _____

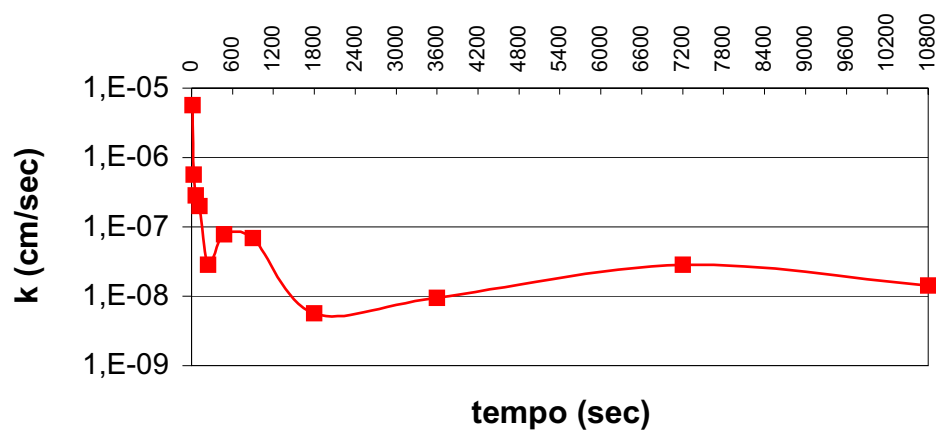
**grafico tempo - permeabilità
campione 52, P=196kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 52, P=784kPa**



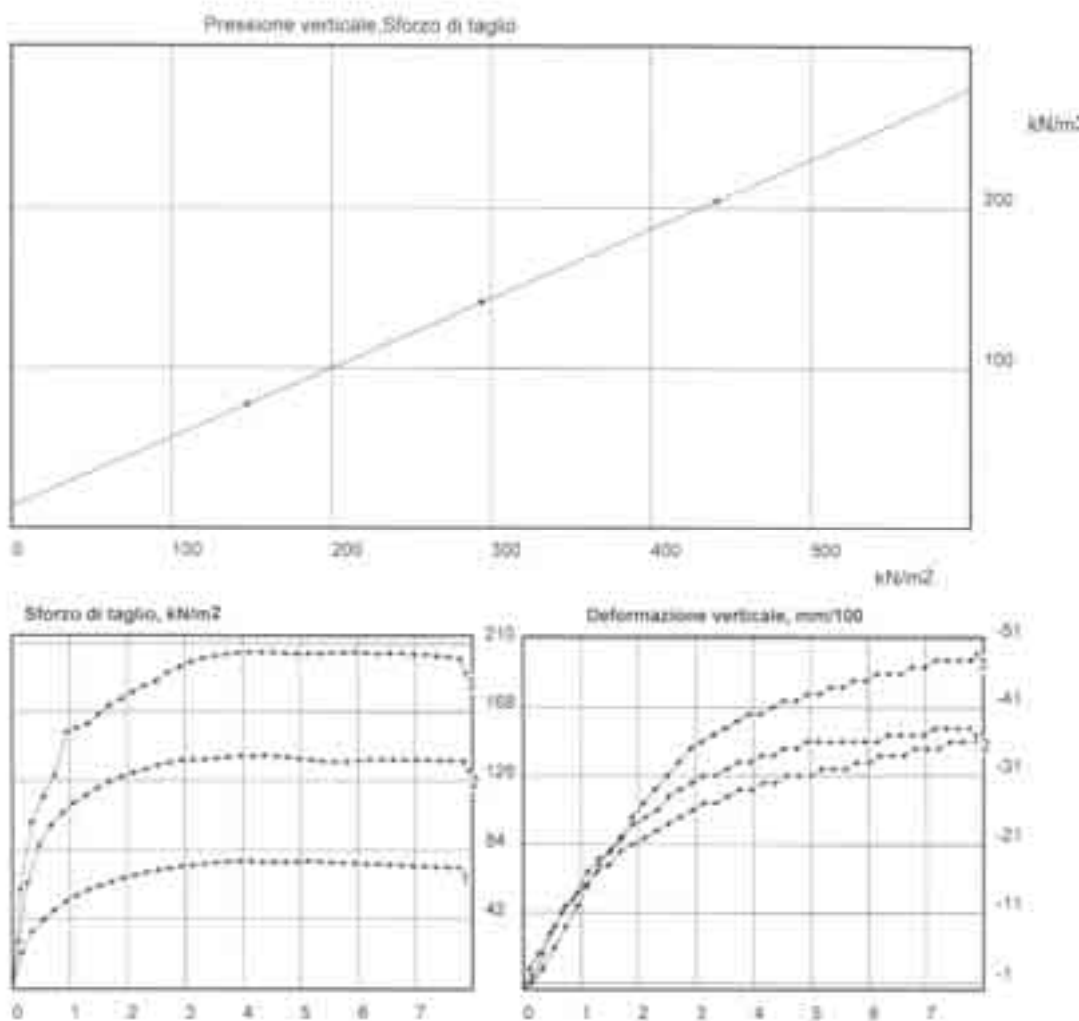
**grafico tempo - permeabilità
campione 52, 1569kPa**



COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITA':

SONDAGGIO:
CAMPIONE:
PROF. m:
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	77.22	3.13	13.00
264.21	141.36	4.38	30.00
441.31	204.44	4.12	40.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0000
Tipo di prova:
Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %=
Peso di volume, g/cm³=
Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 13.80 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 23.38 gradi sess.

NOTA:

DATA:

Lo Sperimentatore

Il Direttore di laboratorio

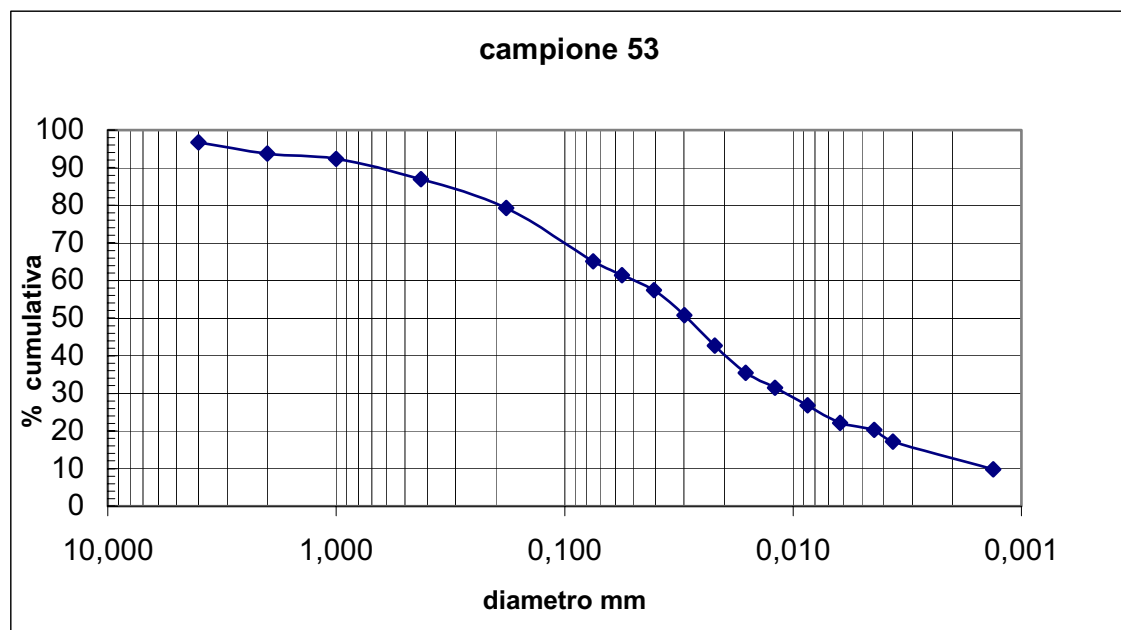
3.5 Campione 53



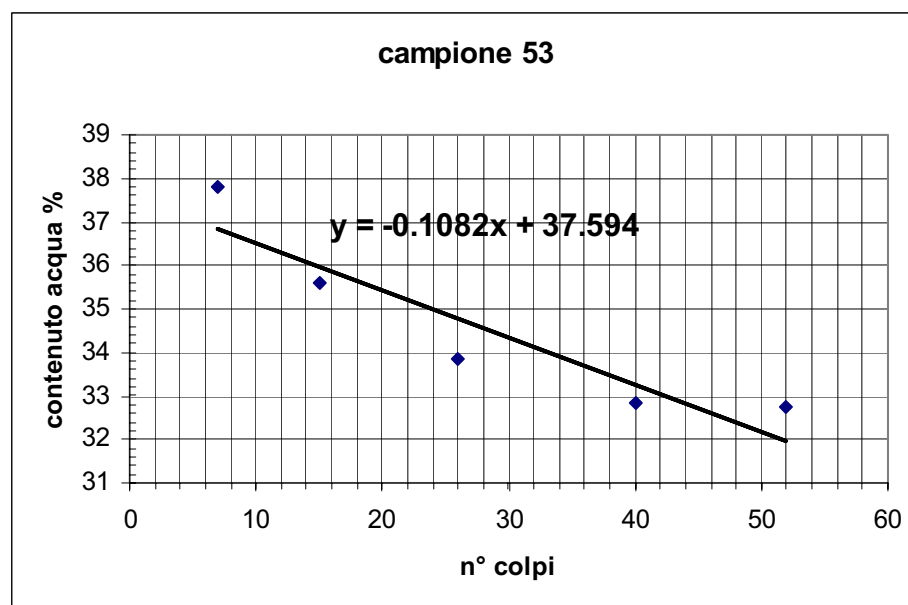
Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume :
 14.41 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 25.40 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 42.12%
- Indice dei vuoti e : 1.50
- Porosità n : 60.08%
- Peso di volume saturo: 16.03 kN/m^3
- Peso di volume secco: 10.14 kN/m^3
- Grado di saturazione: 72.49%

Analisi granulometrica



Limiti plastico e liquido di Atterberg



N° COLPI	LL
25	34.89
	LP
	N.D.

INDICE
PLASTICO

N.D.

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : MINISTERO AMBIENTE
Progetto : FRANE DI ISCHIA
Lotto :
Sondaggio : PRELIEVO A MANO
Campione : 1 - 53
Profondità di prelievo, da metri : 0.50 a metri: 0.80

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 14.41
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 42.12
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 25.40
	Indice dei vuoti : 1.505
	Grado di saturazione (%) : 72

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
12	0.028	1.470	859				
24	0.069	1.419	581	1.952	5	3.8E-02	6.3E-06
49	0.154	1.312	565	1.890	5	3.5E-02	6.1E-06
98	0.237	1.208	1089	1.807	5	3.2E-02	2.9E-06
196	0.322	1.102	2041	1.720	5	2.9E-02	1.4E-06
392	0.402	1.002	4120	1.640	5	2.6E-02	6.3E-07
784	0.487	0.895	7334	1.557	5	2.4E-02	3.2E-07
1569	0.573	0.787	13774	1.471	5	2.1E-02	1.5E-07
392		0.794					
98		0.804					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

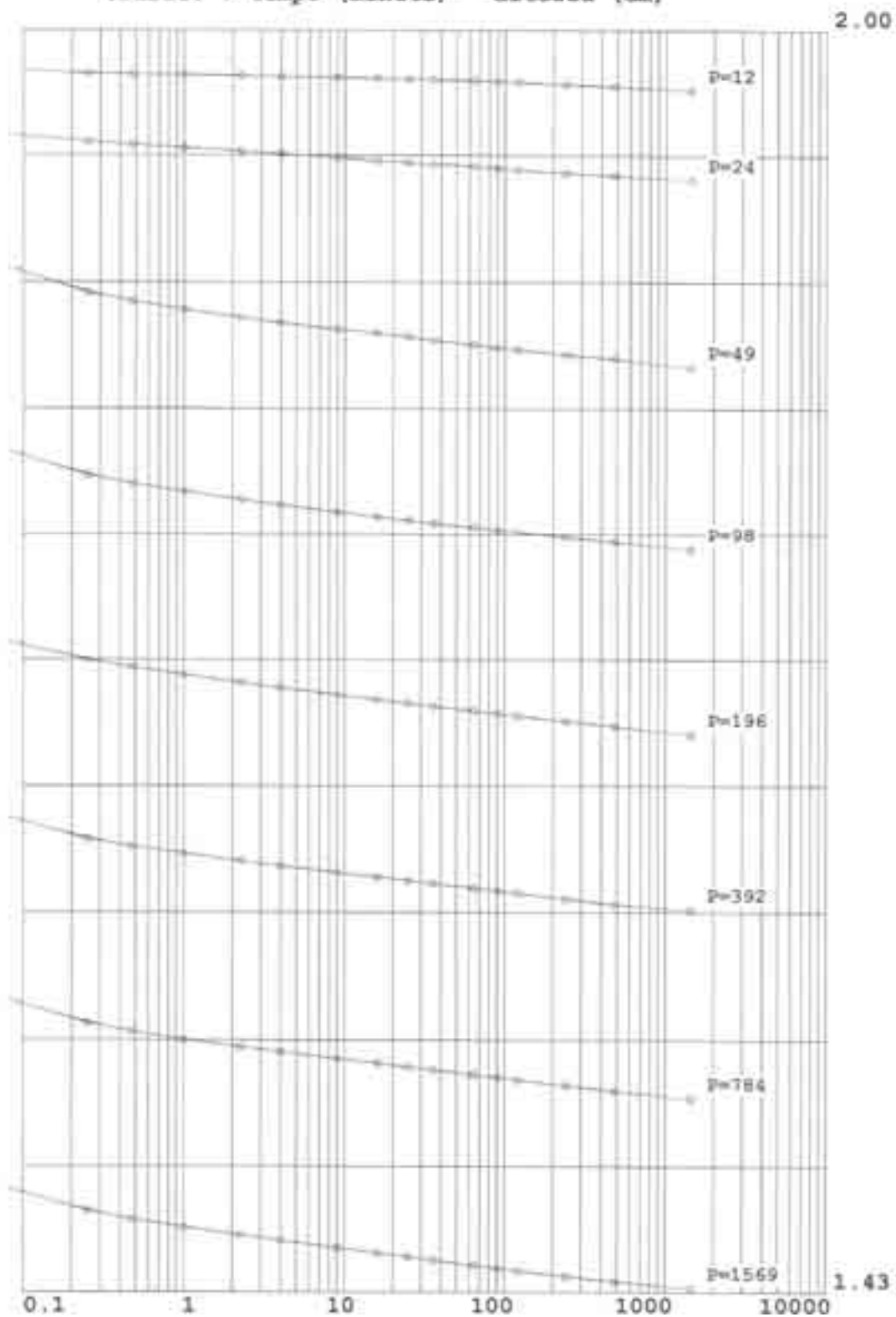
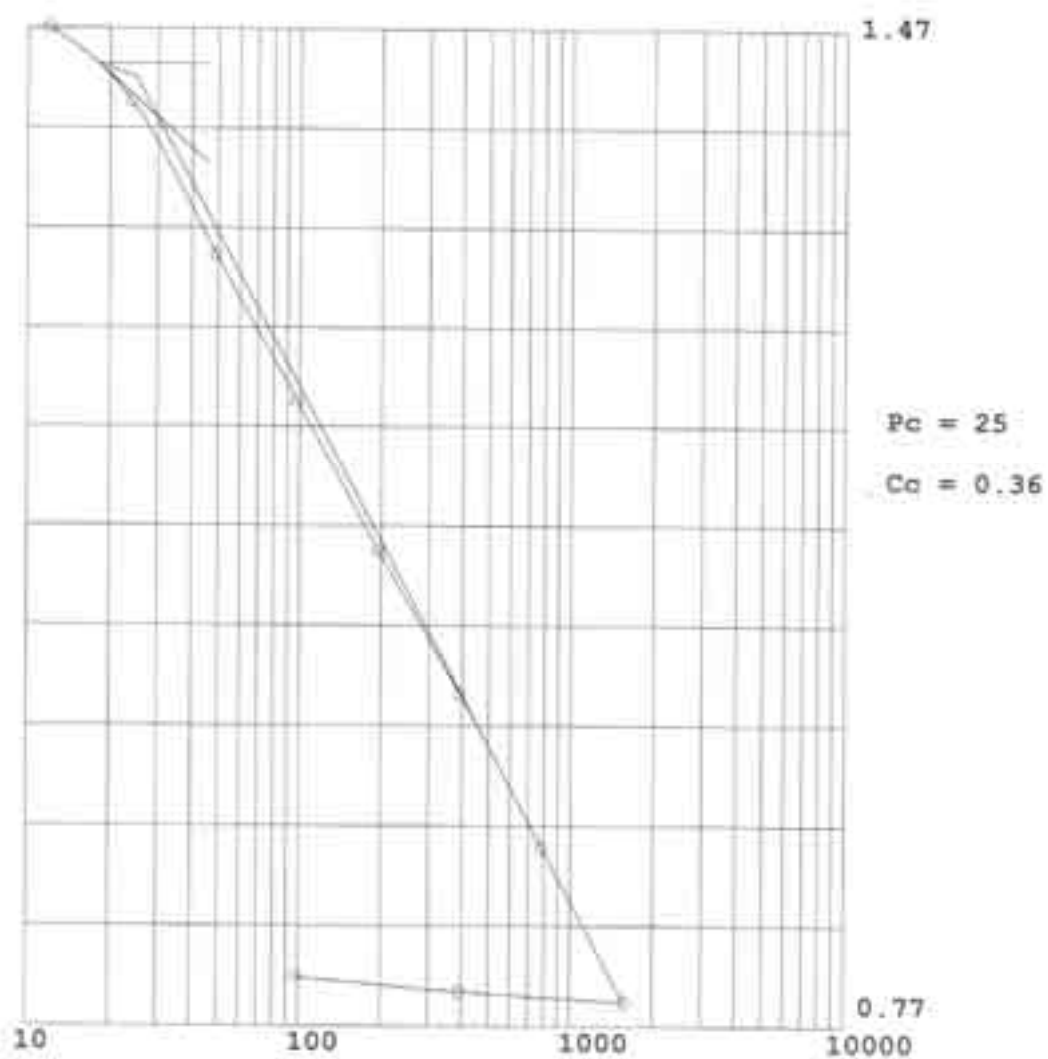


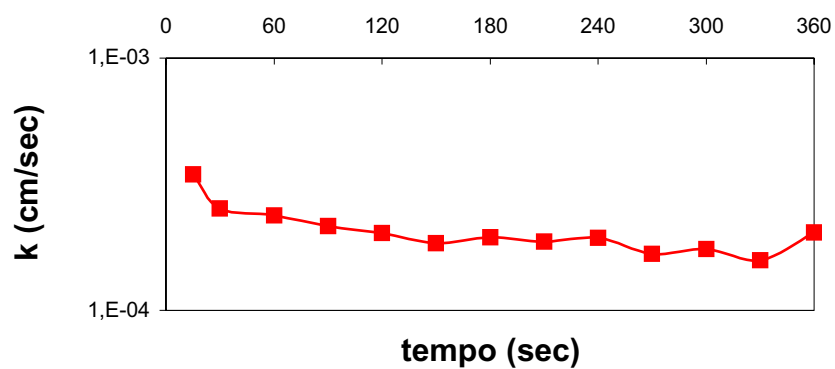
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



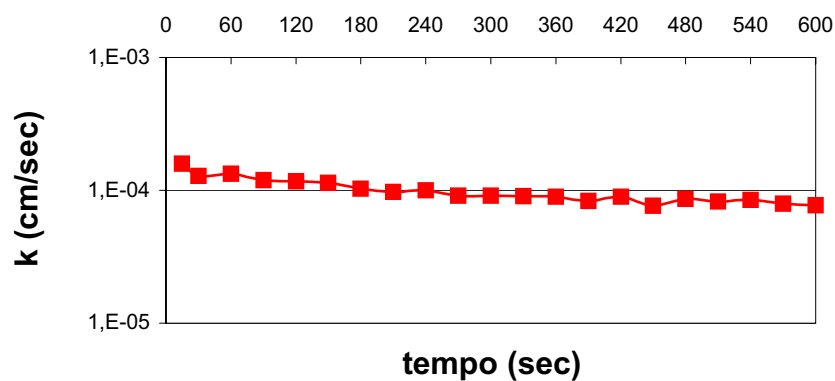
Note :

Il Direttore del Laboratorio : _____

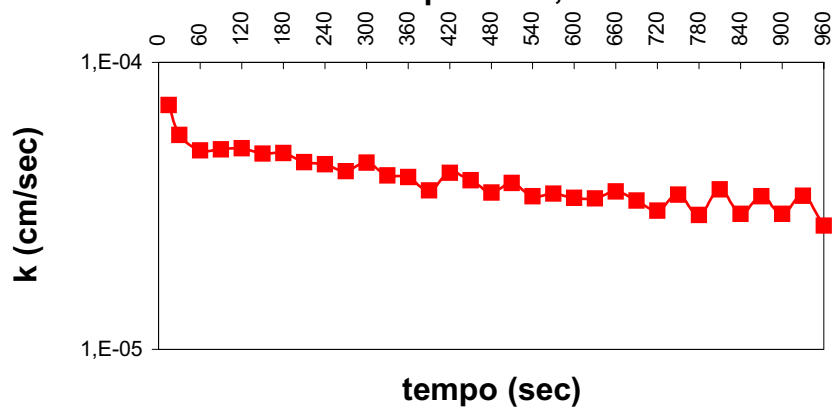
**grafici tempo - permeabilità
campione 53, P=24kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 53, P=49kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 53, P=98kPa**



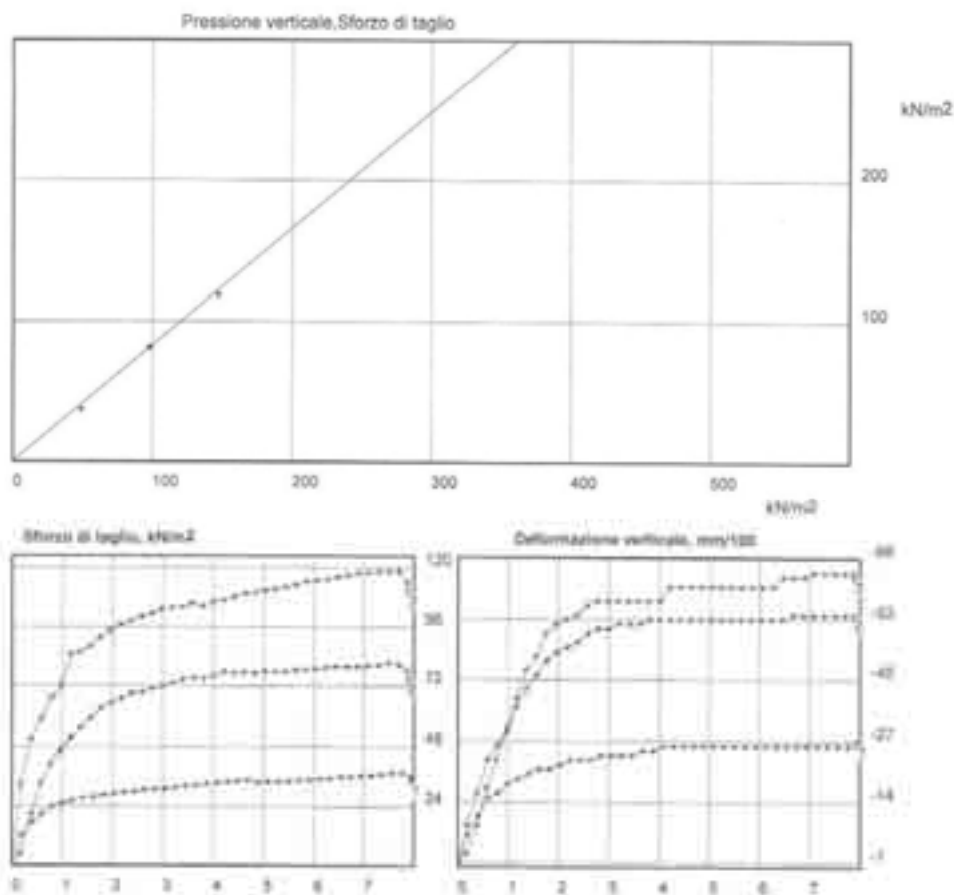
Resistenza al taglio diretto

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: MINISTERO AMBIENTE
CANTIERE: NICCHIA DISTACCO FRANA
LOCALITA': ISCHIA

SONDAGGIO: A MANO
CAMPIONE: INDISTURBATO
PROF.: m: 0.5 METRI dal P.C.
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
49.03	37.50	7.56	-26.00
98.07	81.39	7.50	-54.00
147.10	118.61	7.70	-63.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0300

Tipo di prova:
Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %=
Peso di volume, g/cm³=
Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 0.56 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 39.59 gradi sess.

NOTA:

DATA: 22/05/06

Lo Sperimentatore

Il Direttore di laboratorio

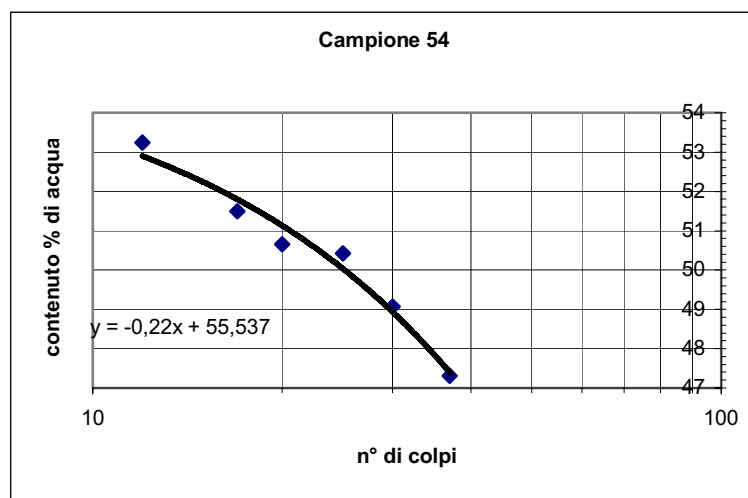
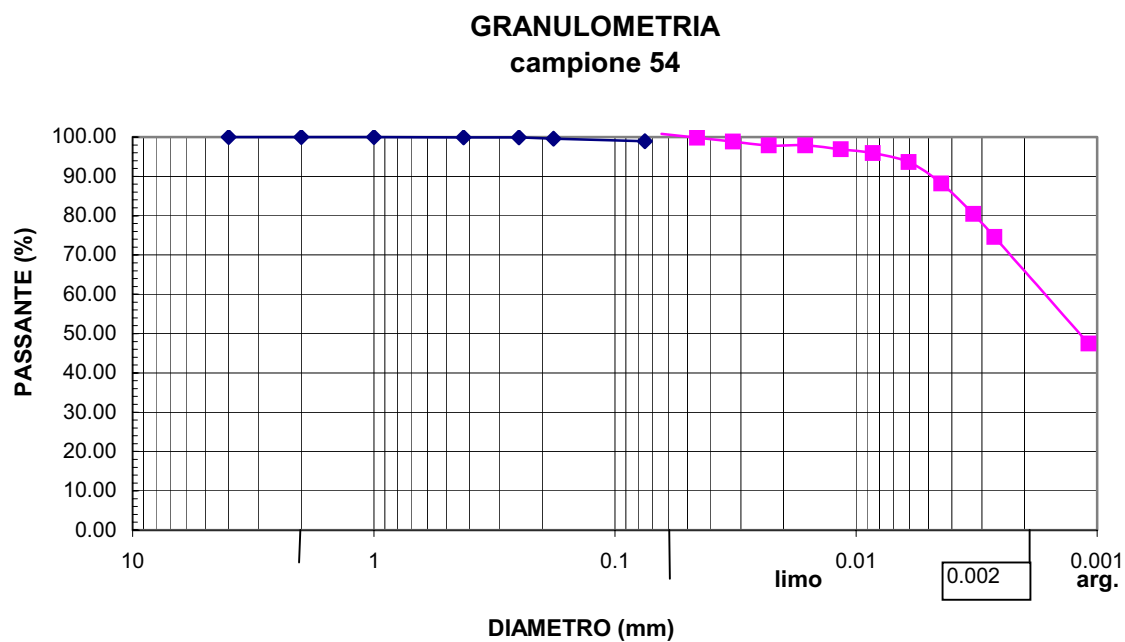
3.6 Campione 54



Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 18.48 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.16 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 40.39%
- Indice dei vuoti e : 1.06
- Porosità n : 51.53%
- Peso di volume secco: 13.17 kN/m^3
- Grado di saturazione: $>100\%$

Analisi granulometrica



Limiti plastico e liquido di Atterberg

N° COLPI	LL
25	50.04
	LP
	28.06
INDICE PLASTICO	21.98

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
Progetto : SUBSIDENZA COMO
Lotto :
Sondaggio : S1
Campione : SlC8 - 54
Profondità di prelievo, da metri : 46.50 a metri: 47.00

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :
Diametro (cm) : 5.05
Altezza (cm) : 2.00
Volume (cm³) : 40.00

Caratteristiche iniziali :
Peso di volume (kN/m³) : 18.48
Contenuto in acqua (%) : 40.39
Peso specifico (kN/m³) : 27.16
Indice dei vuoti : 1.063

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E ^s (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
24	0.102	0.958	472	1.928	60	3.1E-03	6.3E-07
49	0.122	0.937	2331	1.893	31	5.7E-03	2.4E-07
98	0.157	0.901	2636	1.867	60	2.9E-03	1.1E-07
196	0.197	0.859	4436	1.831	38	4.3E-03	9.6E-08
392	0.245	0.810	7436	1.786	27	5.8E-03	7.7E-08
784	0.306	0.748	11444	1.734	22	6.7E-03	5.8E-08
1569	0.380	0.671	17821	1.668	16	8.6E-03	4.7E-08
3138	0.473	0.575	27310	1.587	12	1.0E-02	3.7E-08
784		0.603					
196		0.638					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

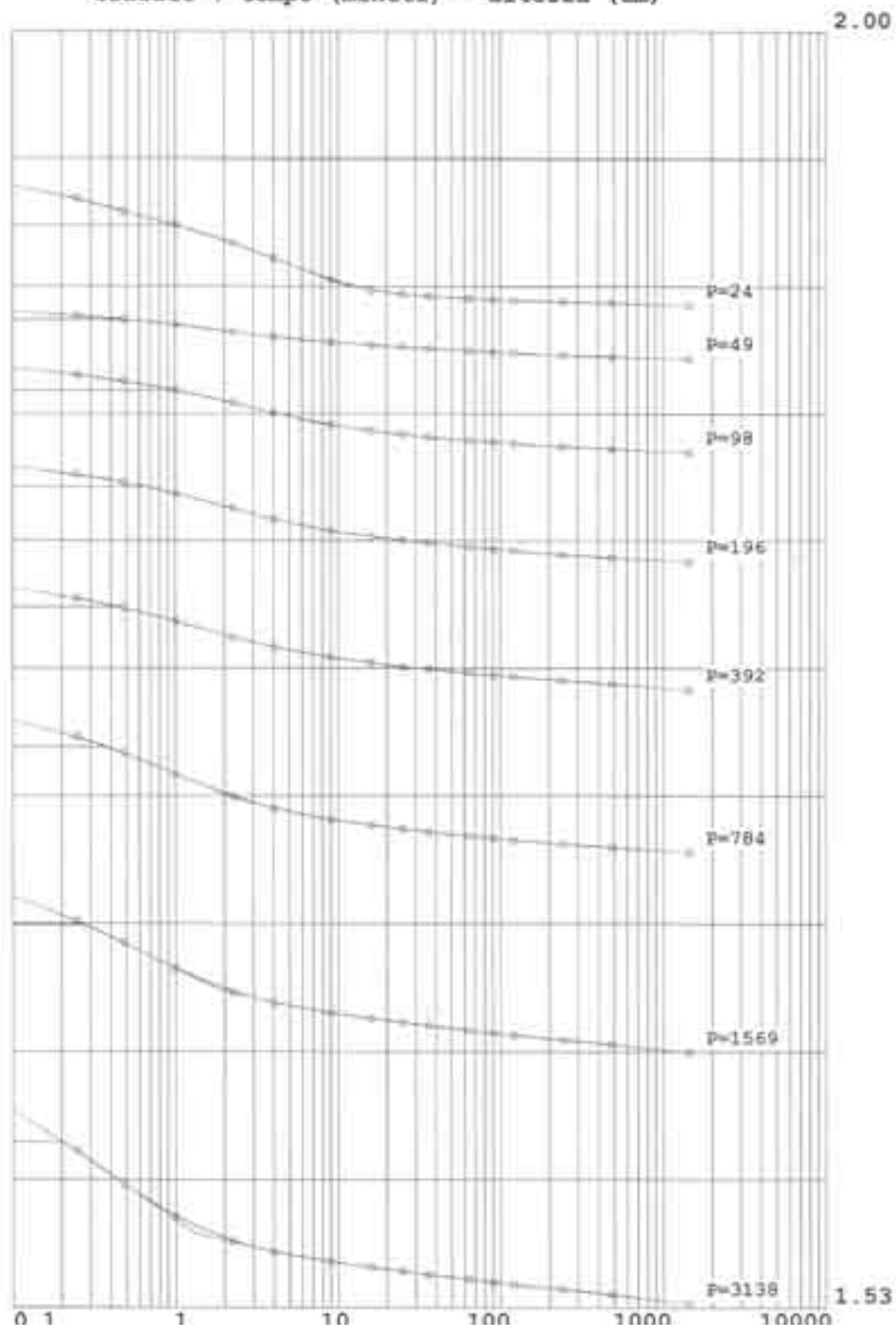
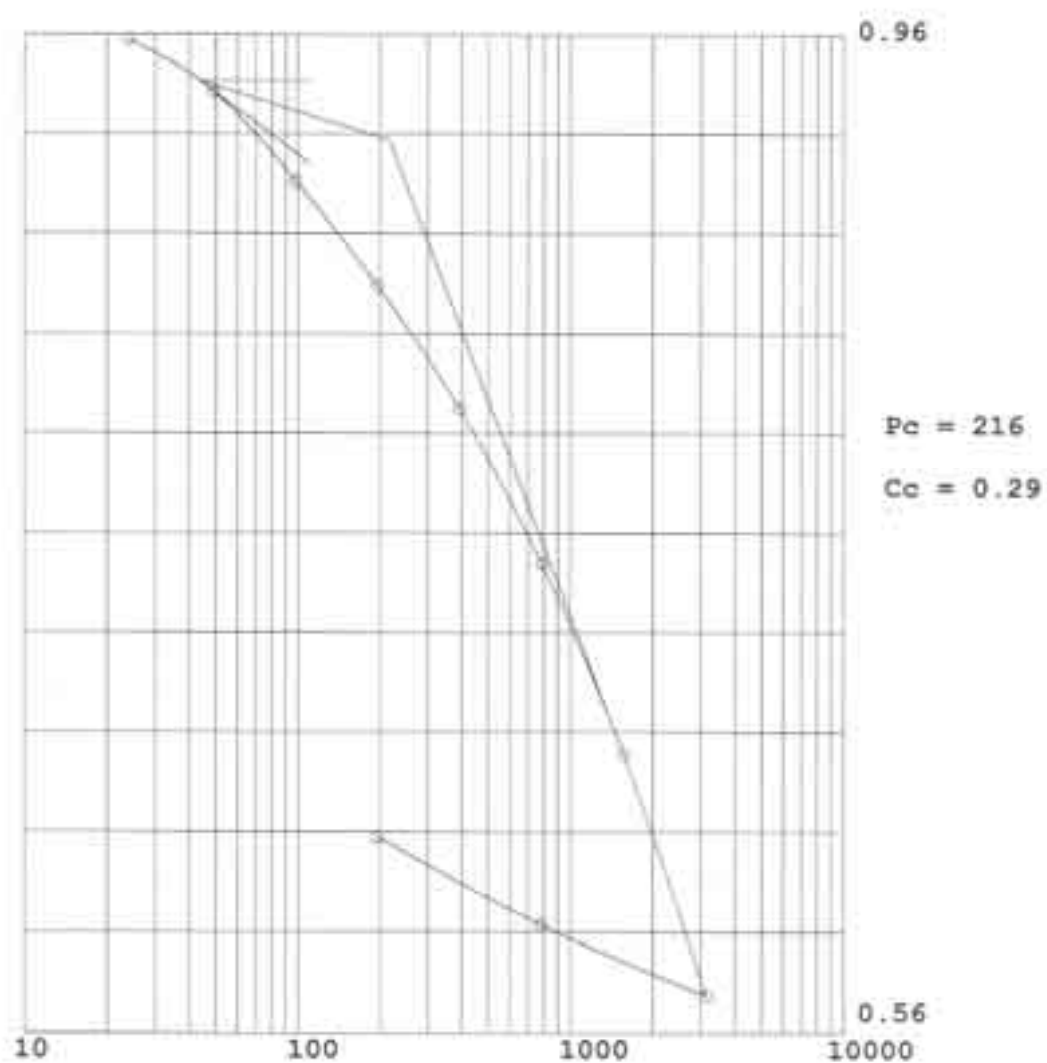


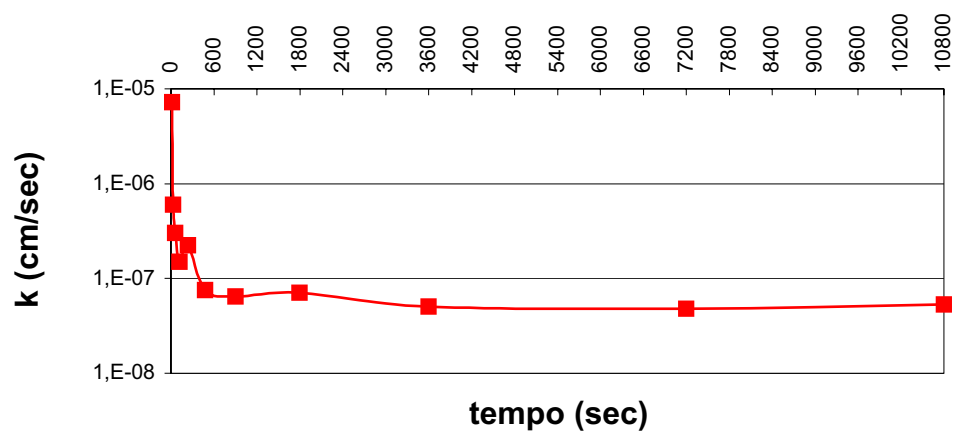
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



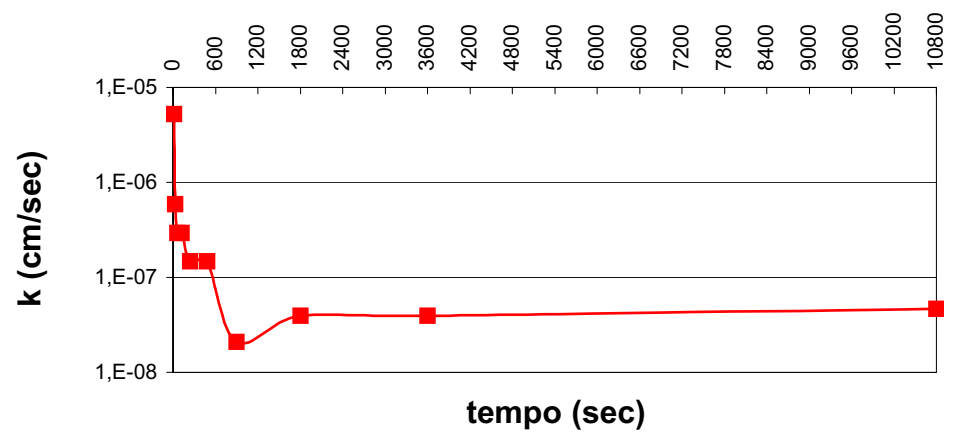
Note :

Il Direttore del Laboratorio : _____

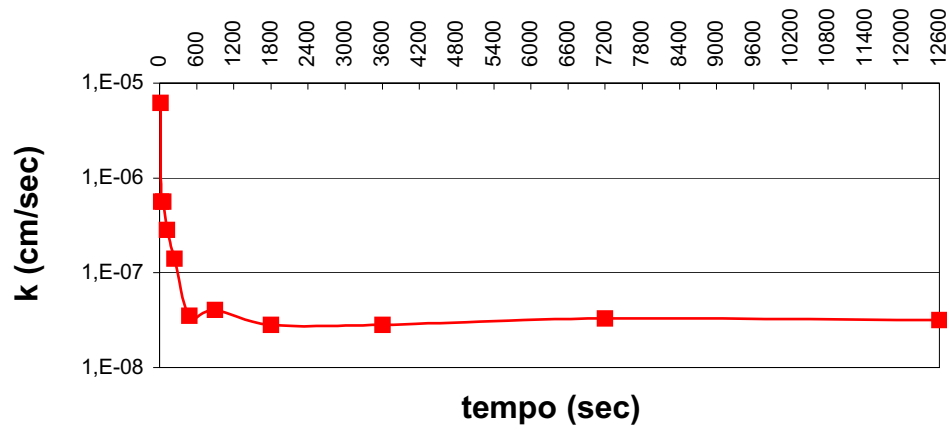
**grafico tempo - permeabilità
campione 54, P=196kPa**



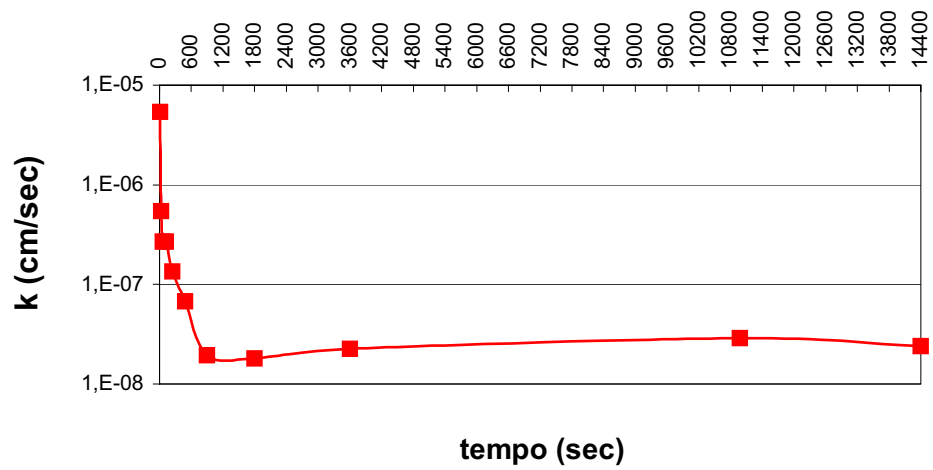
**grafico tempo - permeabilità
campione 54, P=392kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 54, P=784kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 54, P=1569kPa**



Resistenza al taglio diretto

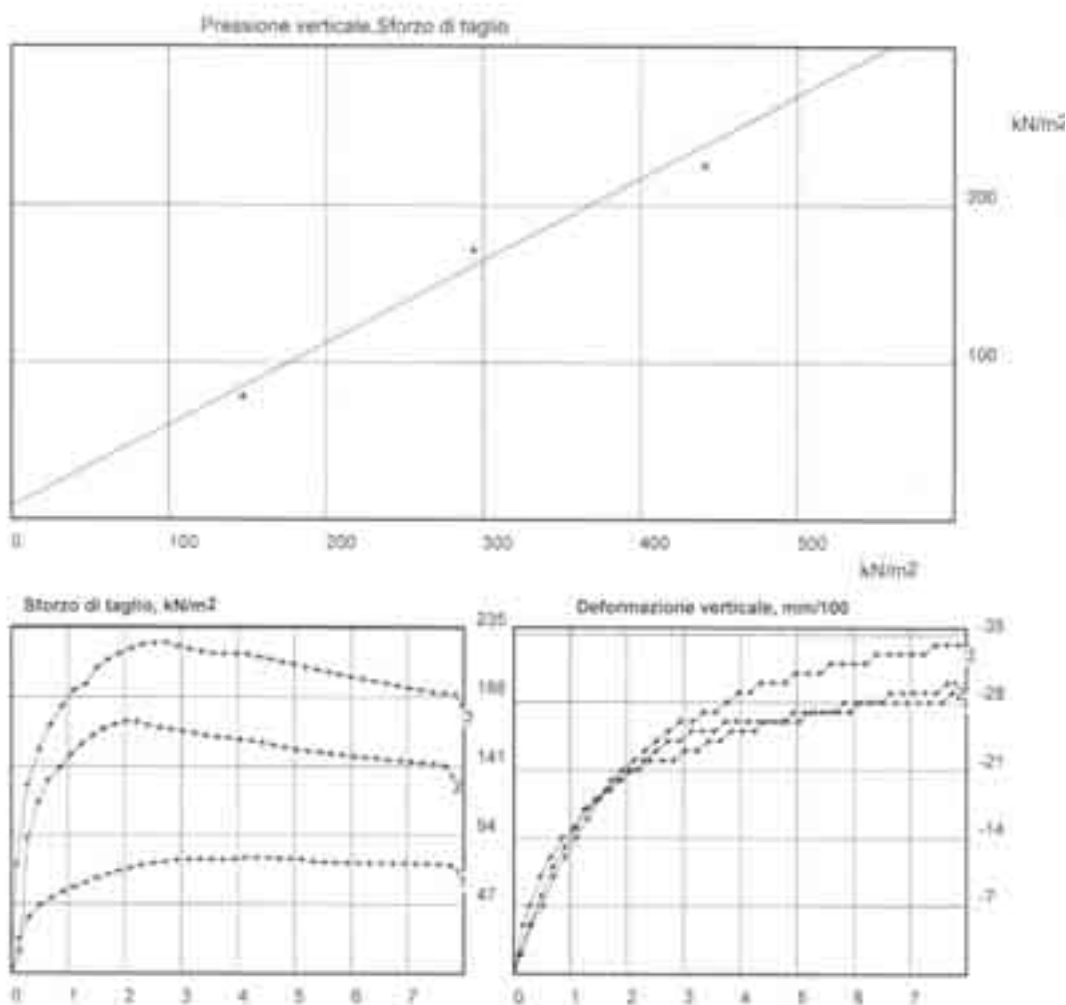
54

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITA':

SONDAGGIO:
CAMPIONE:
PROF., m:
PAGINA N.

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	SFORZO kN/m²	VALORI A ROTTURA AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	78.33	4.13	25.00
294.21	171.11	2.03	21.00
441.31	225.00	2.52	24.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0100
Tipo di prova:
Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %
Peso di volume, g/cm³
Densità secca, g/cm³
COESIONE= 8.48 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 27.50 gradi sess.

NOTA:

DATA:

Lo Sperimentatore

Il Direttore di laboratorio

3.7 Campione 55



Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 15.45 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 25.39 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 29.50%
- Indice dei vuoti e : 1.13
- Porosità n : 53.02%
- Peso di volume saturo: 17.12 kN/m^3
- Peso di volume secco: 11.93 kN/m^3
- Grado di saturazione: 67.69%

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : MINISTERO AMBIENTE
Progetto : FRANE DI ISCHIA
Lotto :
Sondaggio : PRELIEVO A MANO
Campione : 2 - 55
Profondità di prelievo, da metri : 0.40 a metri: 1.00

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 15.45
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 29.50
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 25.39
	Indice dei vuoti : 1.129
	Grado di saturazione (%) : 68

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E [*] (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
12	0.008	1.121	3193	1.995	734	2.7E-04	8.2E-09
24	0.017	1.110	2314	1.987	622	3.1E-04	1.3E-08
49	0.033	1.093	3103	1.973	133	1.4E-03	4.6E-08
98	0.061	1.063	3419				
196	0.101	1.021	4814	1.920	5	3.6E-02	7.4E-07
392	0.153	0.966	7202	1.874	5	3.5E-02	4.7E-07
784	0.216	0.899	11503	1.816	5	3.2E-02	2.8E-07
1177	0.259	0.853	16224	1.760	448	3.4E-04	2.1E-09
1569	0.293	0.817	20177	1.723	928	1.6E-04	7.7E-10
392		0.827					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

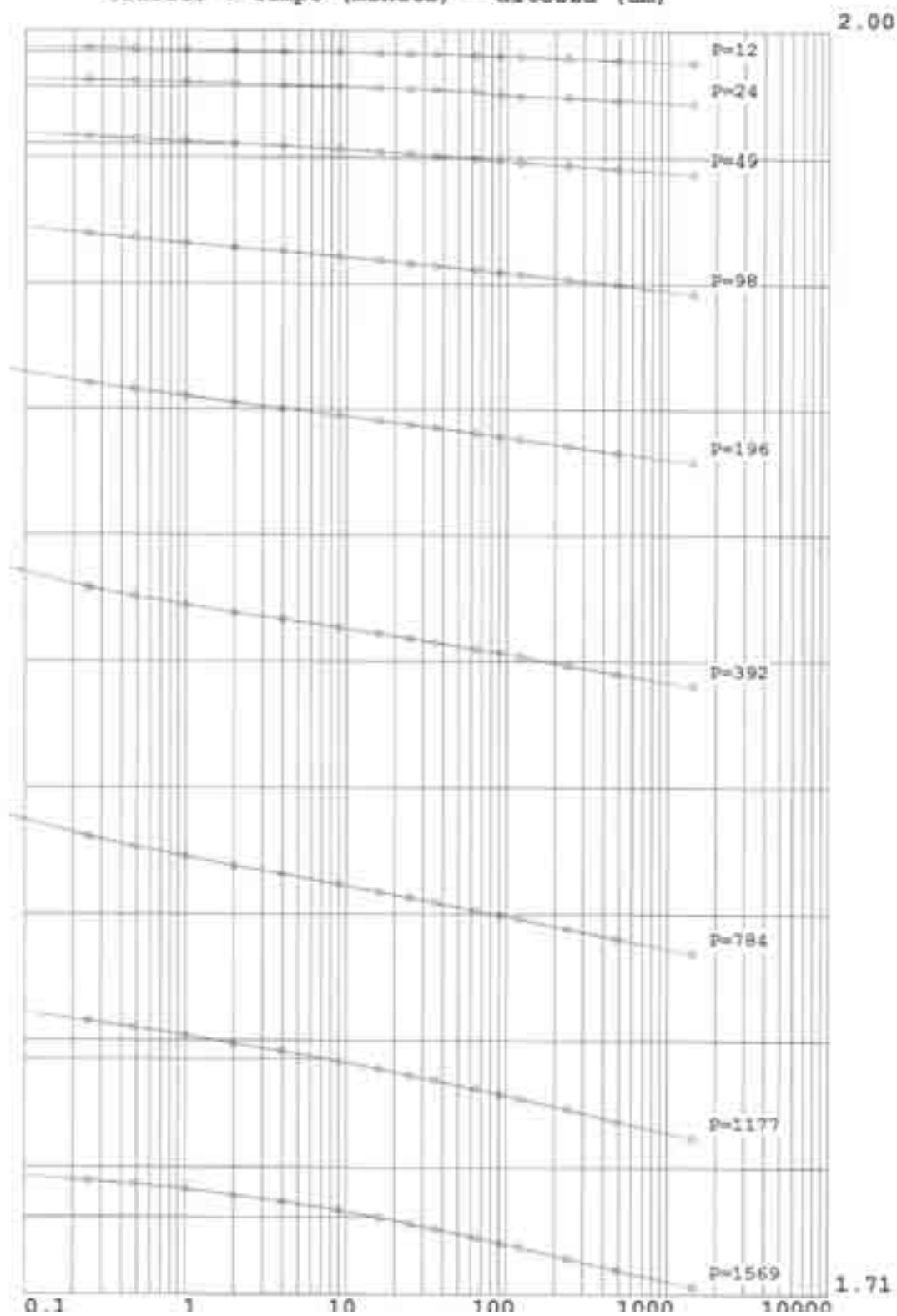
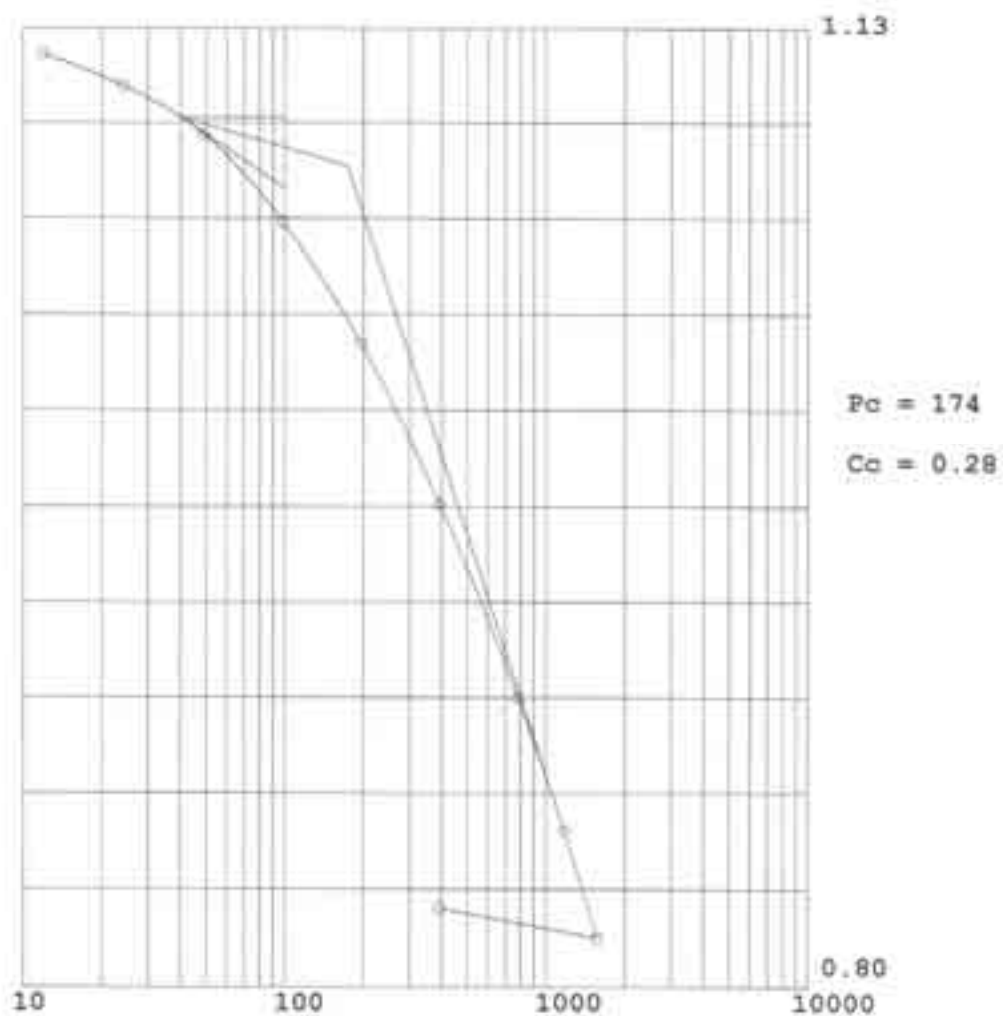


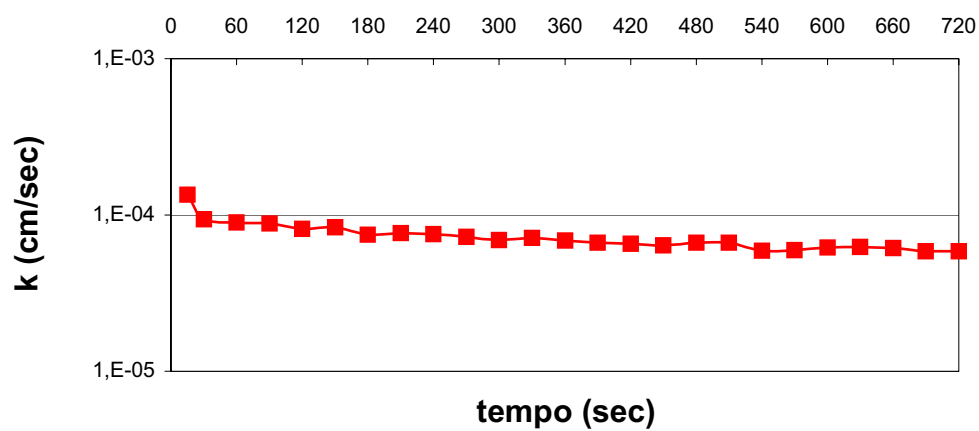
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



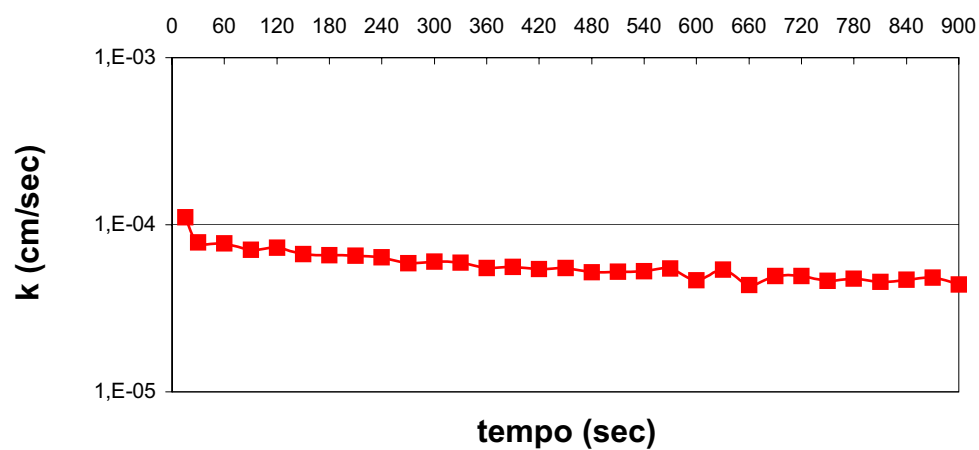
Note : PIROCLASTITE

Il Direttore del Laboratorio : _____

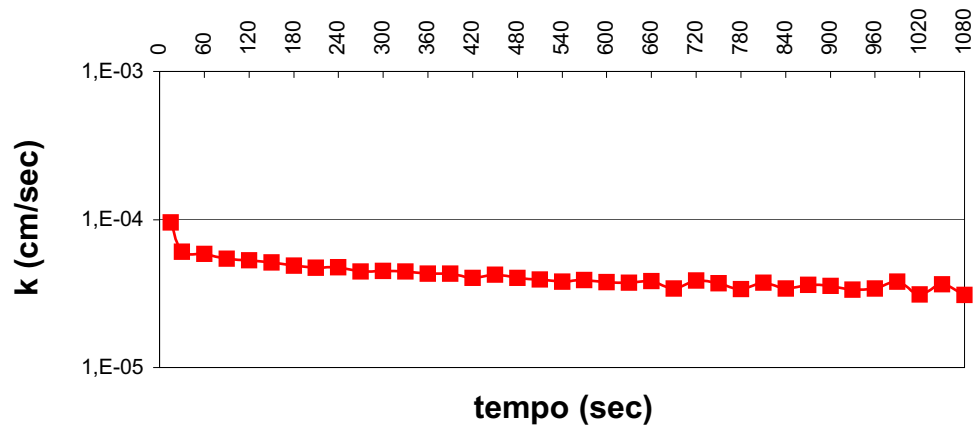
**grafico tempo - permeabilità
campione 55, P=24kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 55, P=49kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 55, P=98kPa**



Resistenza al taglio diretto

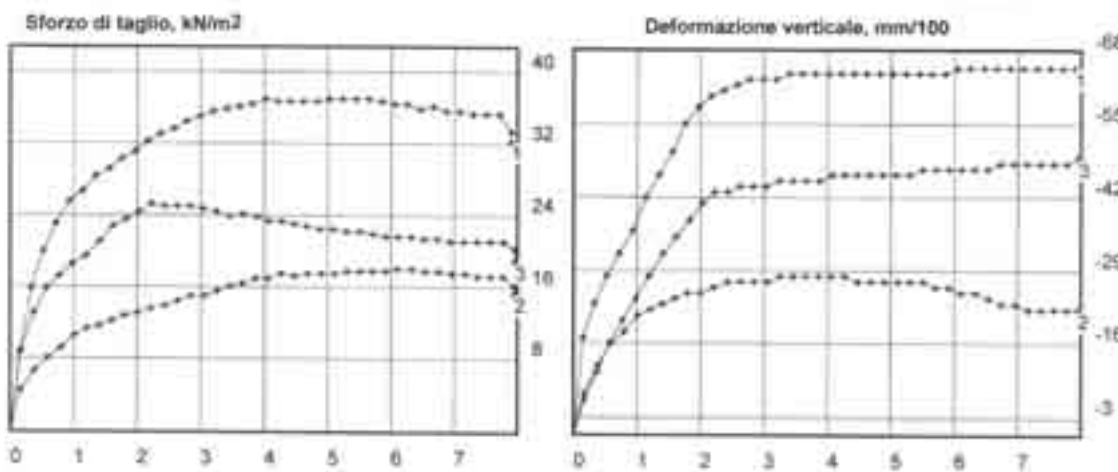
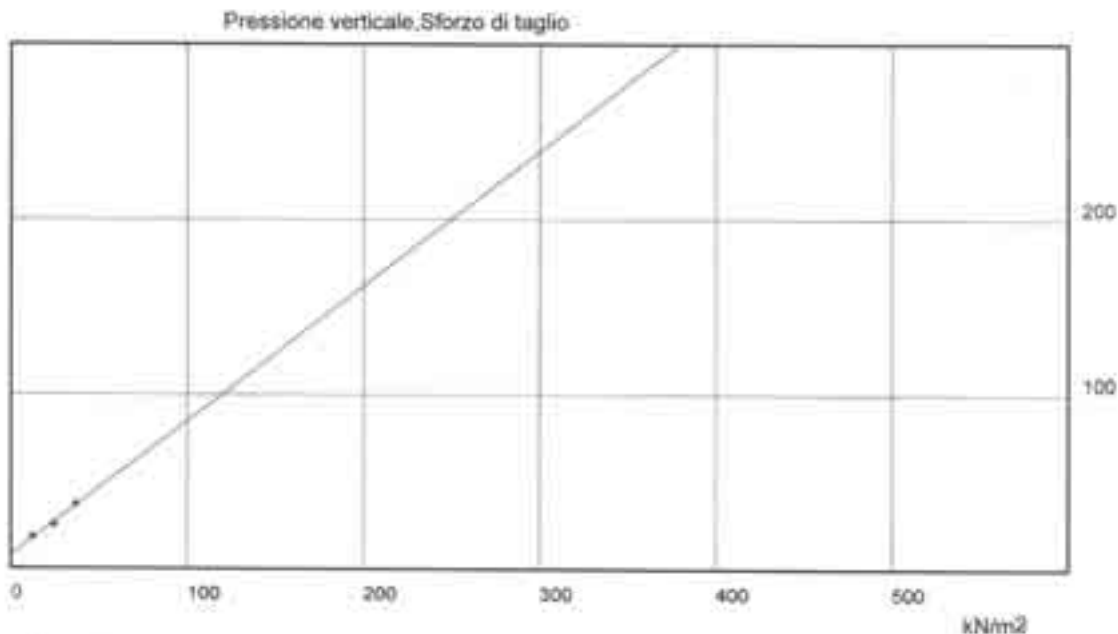
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITA':

SONDAGGIO:
CAMPIONE:
PROF., m:
PAGINA N.

55

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m ²	SFORZO kN/m ²	VALORI A ROTTURA AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
36.78	36.94	4.02	-64.00
12.25	18.06	6.11	-25.00
24.52	25.28	2.23	-43.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0340
Tipo di prova:
Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %=
Peso di volume, g/cm³=
Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 7.87 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 37.61 gradi sess.

NOTA:
DATA:

Il Sperimentatore

Il Direttore di Laboratorio

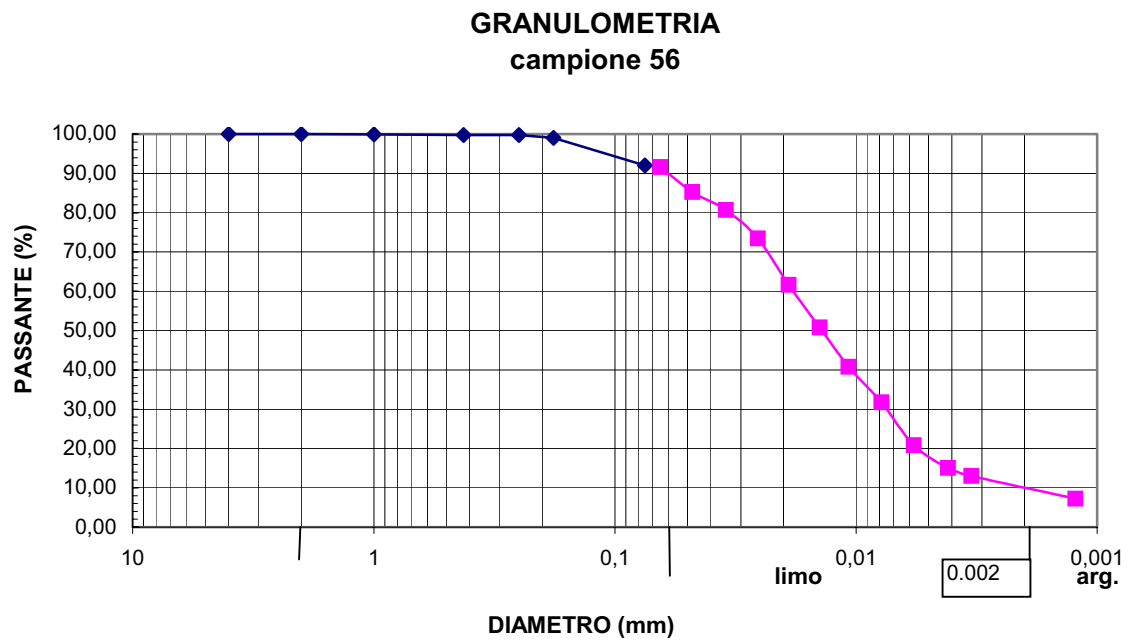
3.8 Campione 56



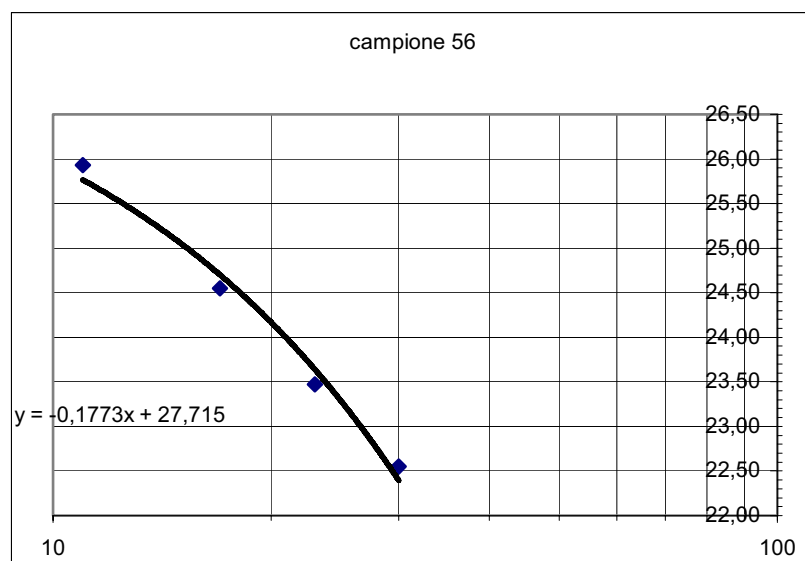
Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:
 21.05 kN/m^3
- Peso specifico dei solidi:
 27.36 kN/m^3
- Contenuto d'acqua: 22.59%
- Indice dei vuoti e : 0.59
- Porosità n : 37.24%
- Peso di volume saturo: 21.08 kN/m^3
- Peso di volume secco: 17.17 kN/m^3
- Grado di saturazione: $>100\%$

Analisi granulometrica



Limiti plastico e liquido di Atterberg



N° COLPI	LL
25	23,28
	LP
	20,36

INDICE PLASTICO **2,92**

APAT SUO GEA
Laboratorio meccanica delle terre

Committente : COMERCI VALERIO
 Progetto : SUBSIDENZA COMO
 Lotto :
 Sondaggio : S1
 Campione : S1C9
 Profondità di prelievo, da metri : 51.00 a metri: 51.50

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 21.05
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 22.59
Volume (cm ³) : 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 27.36
	Indice dei vuoti : 0.593
	Grado di saturazione (%) : 106

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm ² /s)	k (cm/s)
12	0.025	0.574	1006	1.989	9	2.2E-02	2.1E-06
24	0.032	0.568	3148	1.971	37	5.2E-03	1.6E-07
49	0.041	0.561	5600	1.963	6	3.2E-02	5.5E-07
98	0.054	0.551	7649	1.950	68	2.8E-03	3.5E-08
196	0.067	0.540	13818	1.938	6	3.1E-02	2.2E-07
392	0.084	0.526	21560	1.920	165	1.1E-03	5.0E-09
784	0.103	0.512	42728	1.902	155	1.1E-03	2.6E-09
1569	0.129	0.490	53951				
3138	0.164	0.462	83493	1.848	5	3.4E-02	4.0E-08
784		0.471					
196		0.470					

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

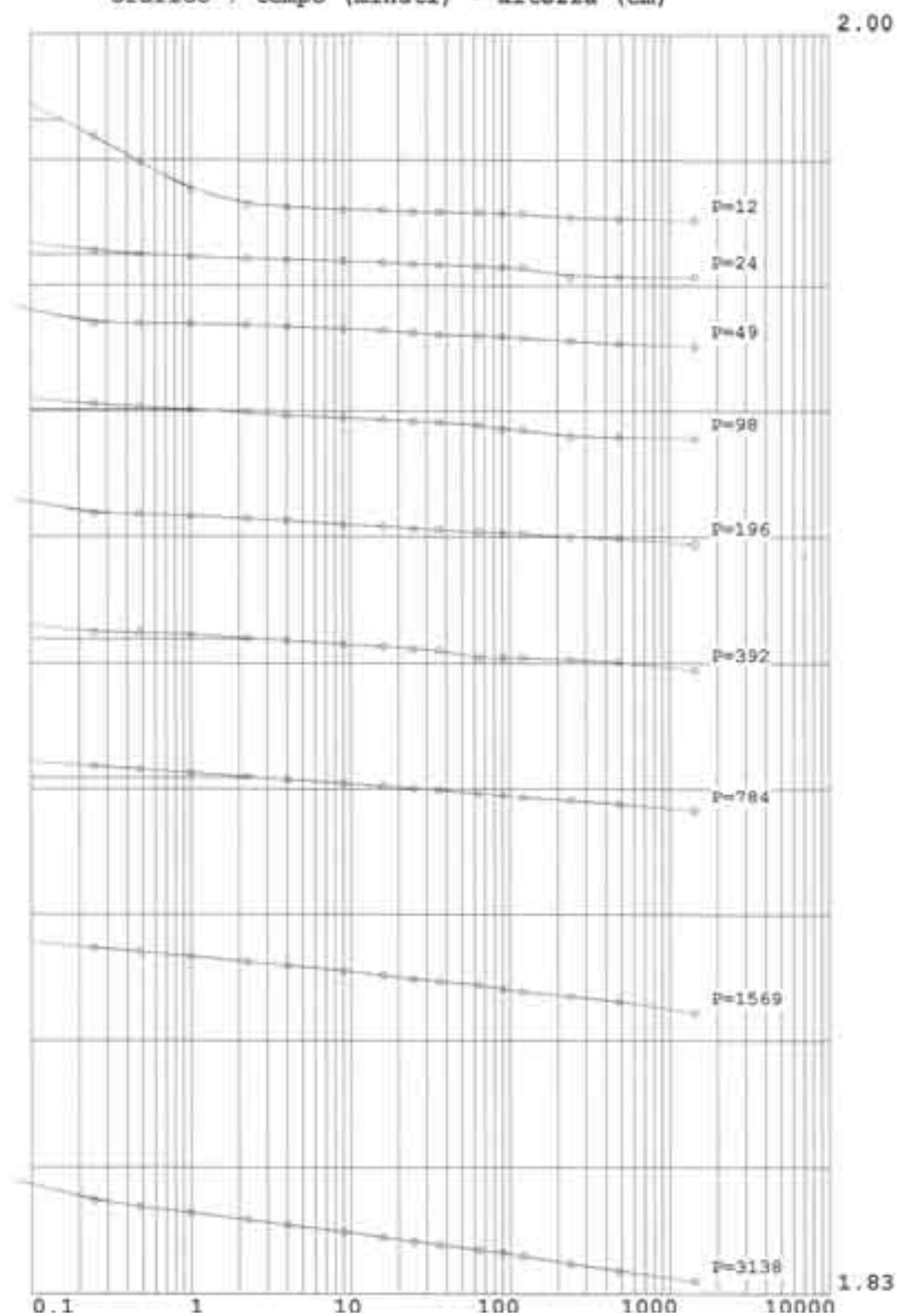
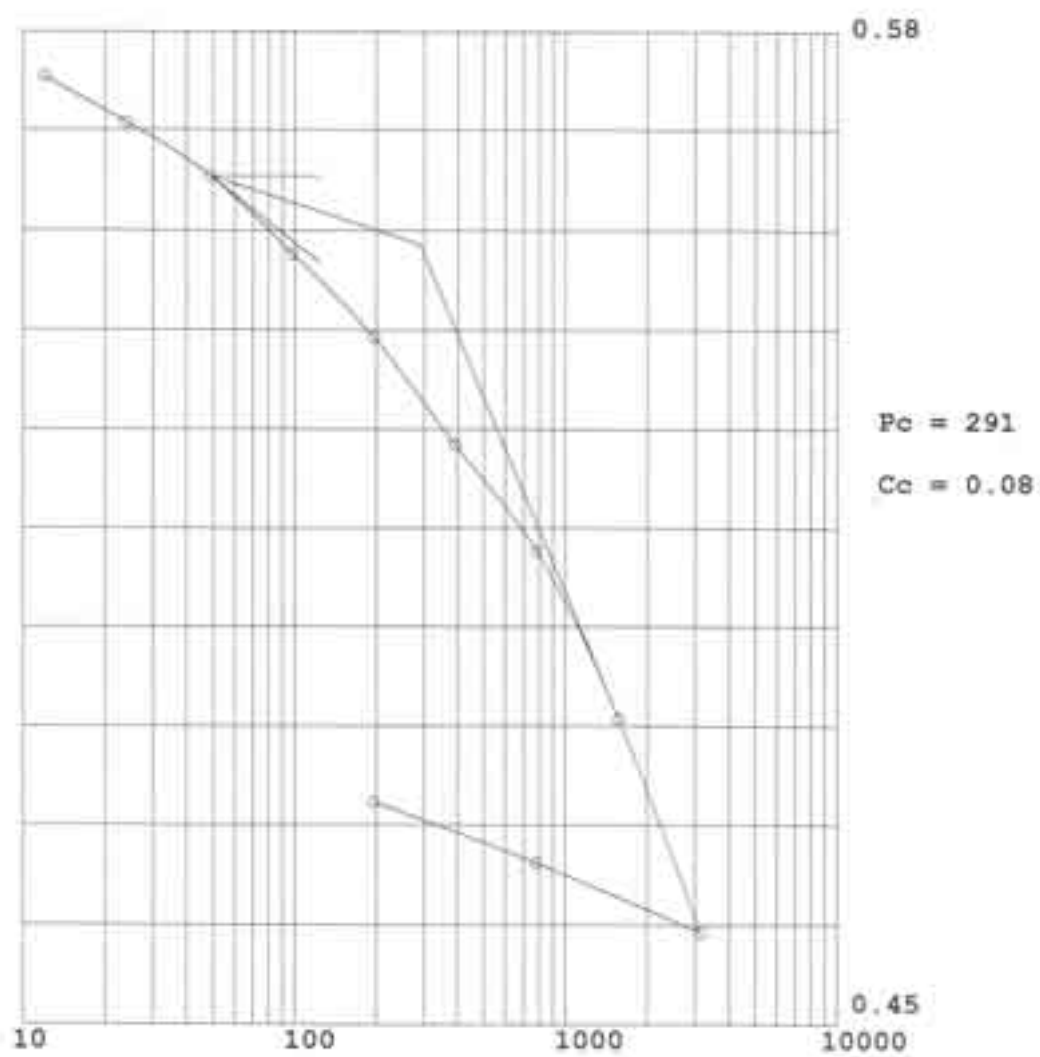


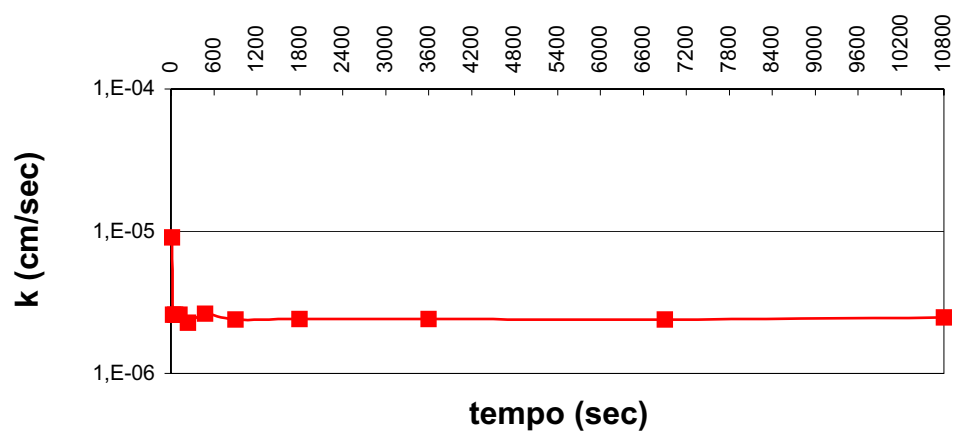
Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



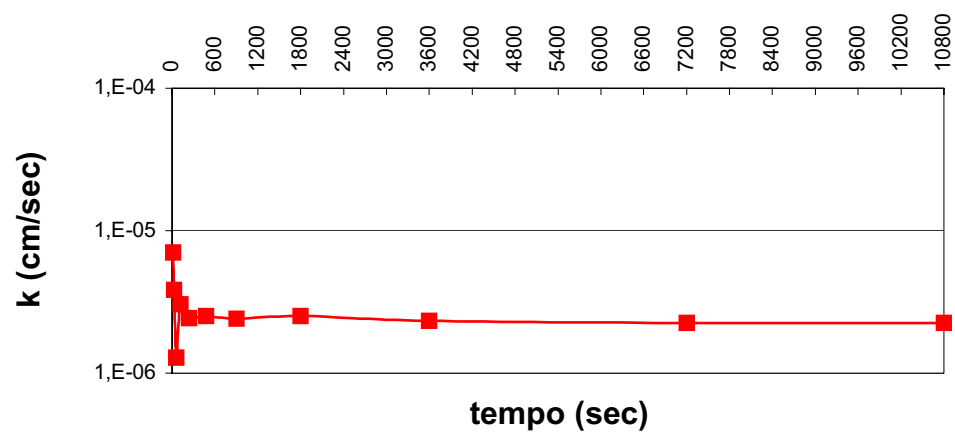
Note :

Il Direttore del Laboratorio : _____

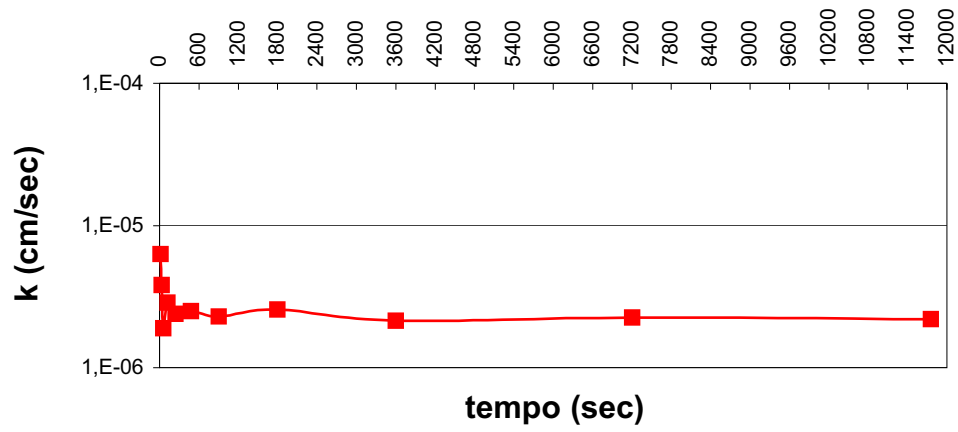
**grafico tempo - permeabilità
campione 56, P=196kPa**



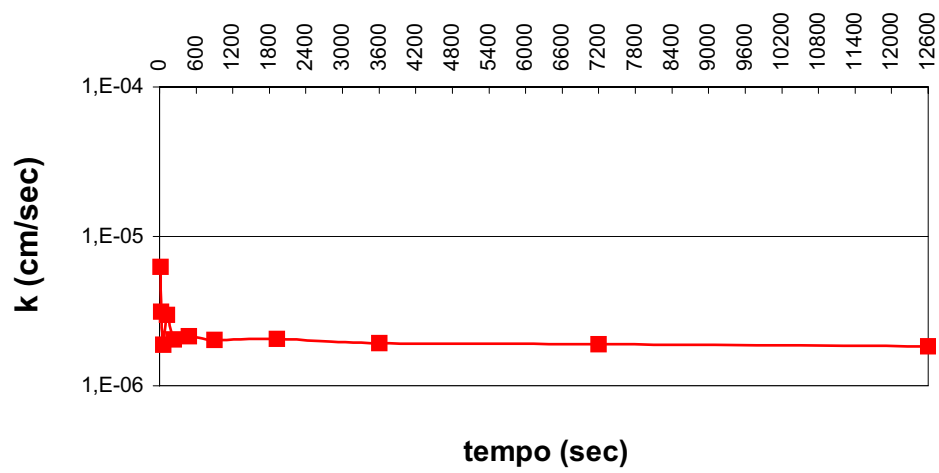
**grafico tempo - permeabilità
campione 56, P=392kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 56, P=784kPa**



**grafico tempo - permeabilità
campione 56, P=1569kPa**



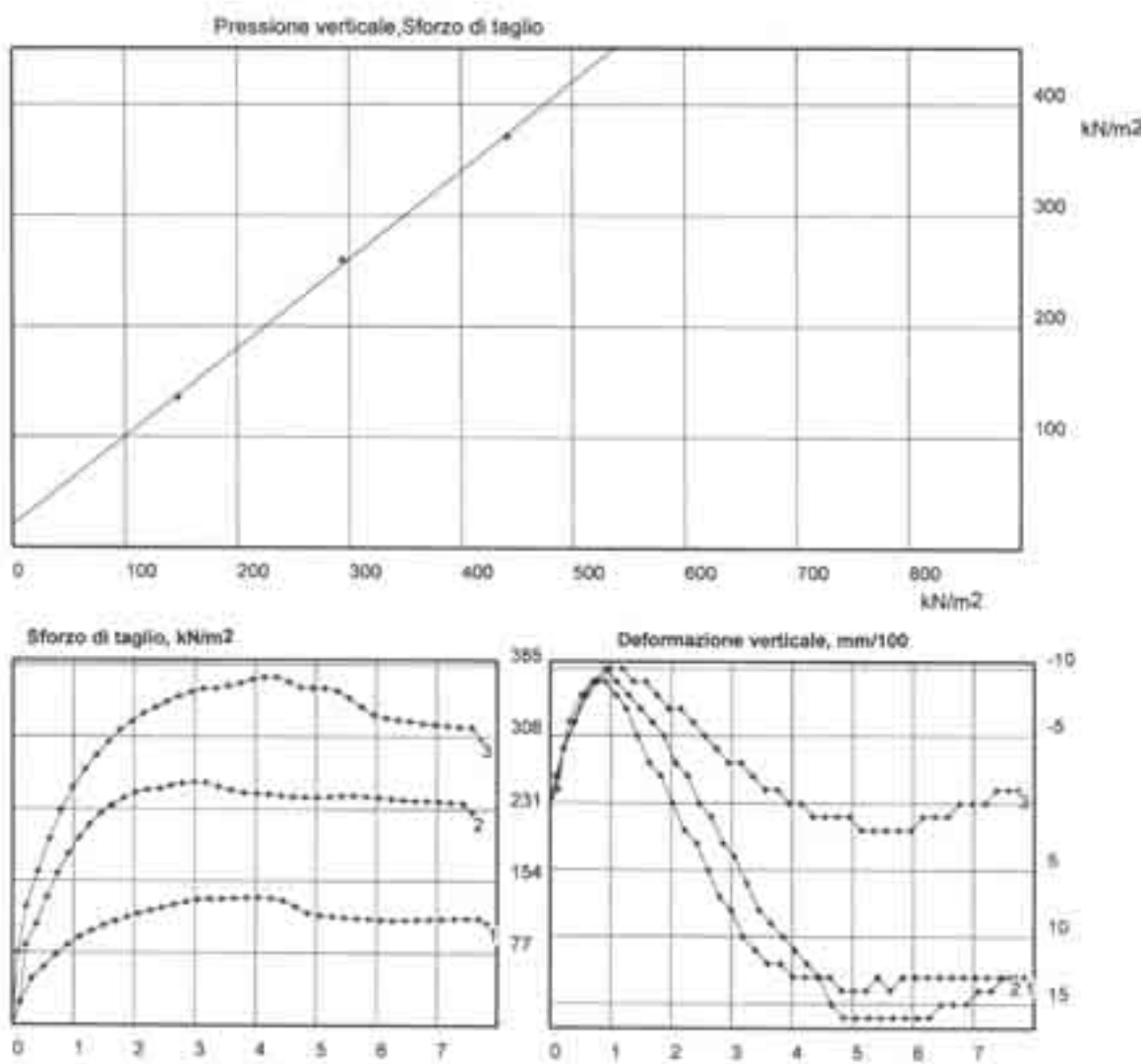
Resistenza al taglio diretto

A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: COMERCI
CANTIERE:
LOCALITA': COMO

SONDAGGIO: STC9
CAMPIONE: 56
PROF.: m:51.00-51.50
PAGINA N. 1

PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	136.11	4.05	11.00
294.21	259.44	2.99	8.00
441.31	371.39	4.15	0.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0900
Tipo di prova:
Tipo di campione:

Contenuto in acqua, %=
Peso di volume, g/cm³=
Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 20.37 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 38.65 gradi sess.

NOTA:

DATA: 03/07/06

Lo Sperimentatore

Il Direttore di laboratorio

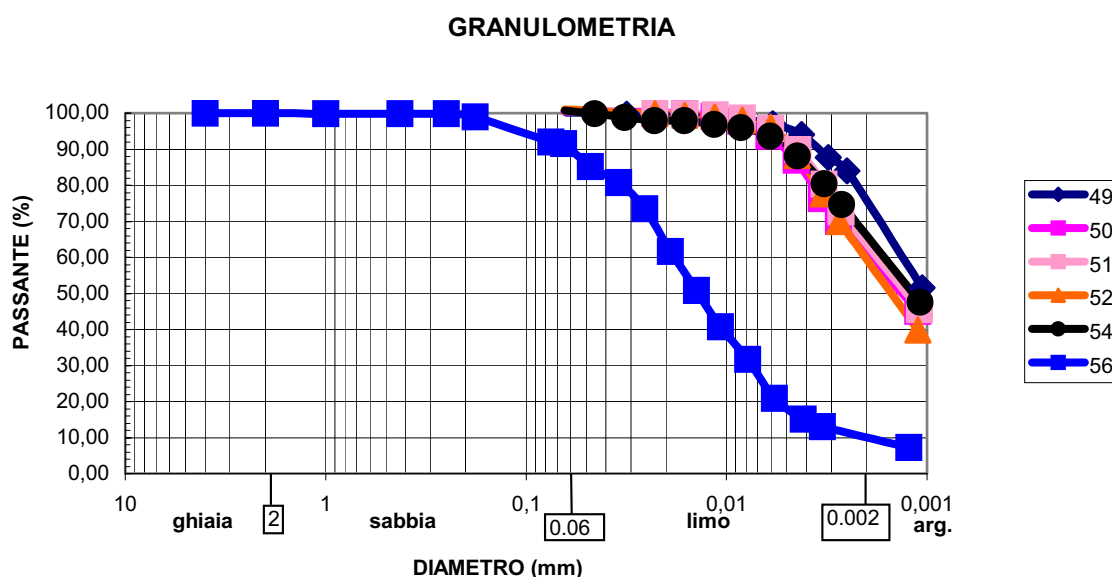
CAPITOLO 4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Campioni dal sondaggio di Como

Analisi granulometriche.

Dall'osservazione delle curve cumulative della granulometria, ottenute elaborando i dati delle setacciature e delle analisi di sedimentazione, si può osservare che:

- I campioni 49, 50, 51, 52 e 54 corrispondono argille limose; il campione 49 presenta una granulometria più marcatamente argillosa.
- Il campione 56 è assimilabile ad un limo.

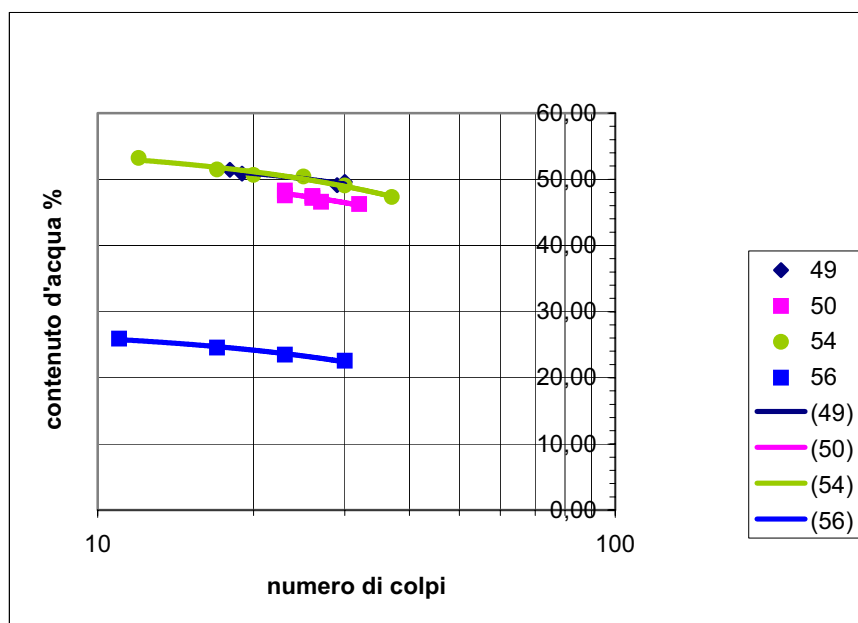


Caratteristiche fisiche

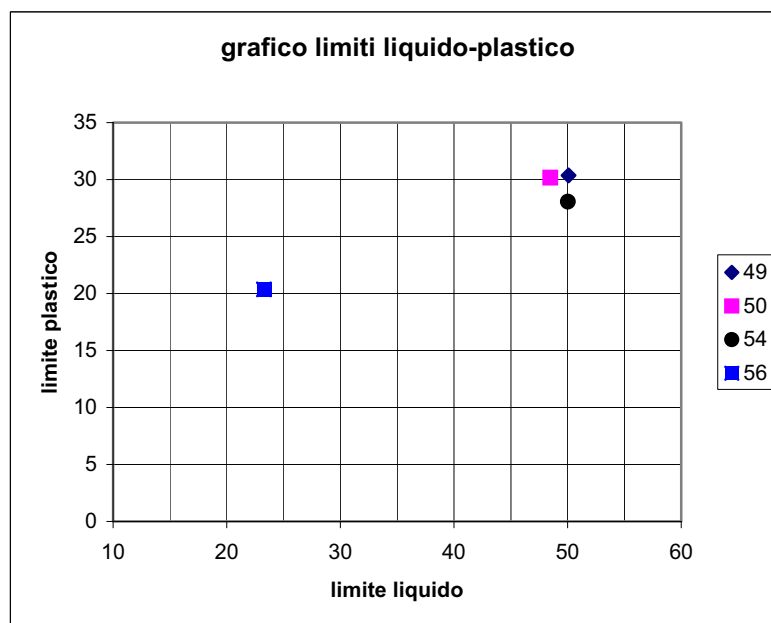
- Densità – peso di volume: i campioni 49, 50, 51, 52 e 54 hanno presentato valori compresi tra 17.58 e 18.62 kN/m³, il campione 56 invece 21.05 kN/m³
- Contenuto d'acqua: il campione 56 ha presentato il 22.59% di acqua, il campione 51 il 33.91%, il campione 50 il 37.83%, i campioni 54, 51 e 49 rispettivamente 40.39%, 40.63% e 42.69%.
- Peso specifico: il campione 49 ha presentato un peso specifico di 27.95 kN/m³, gli altri campioni valori compresi tra 27.16 e 27.36 kN/m³

Limiti liquido e plastico di Atterberg

- I campioni sottoposti alle prove hanno presentato i seguenti risultati:

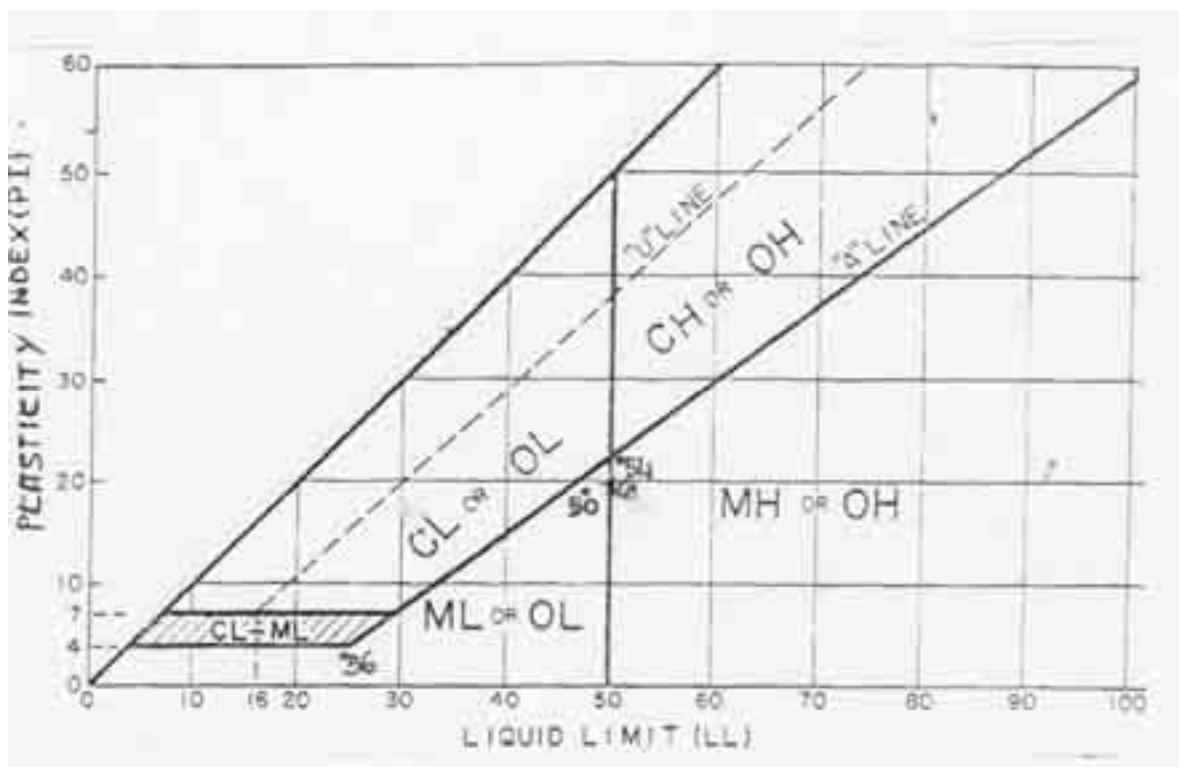


	LL	LP
C 49	50,08	30,36
C 50	48,48	30,17
C 54	50,04	28,06
C 56	23,28	20,36



- I valori degli indici di plasticità dei campioni 49, 50, 54 e 56 sono stati rispettivamente: 19.72, 19.31, 21.98 e 20.36.

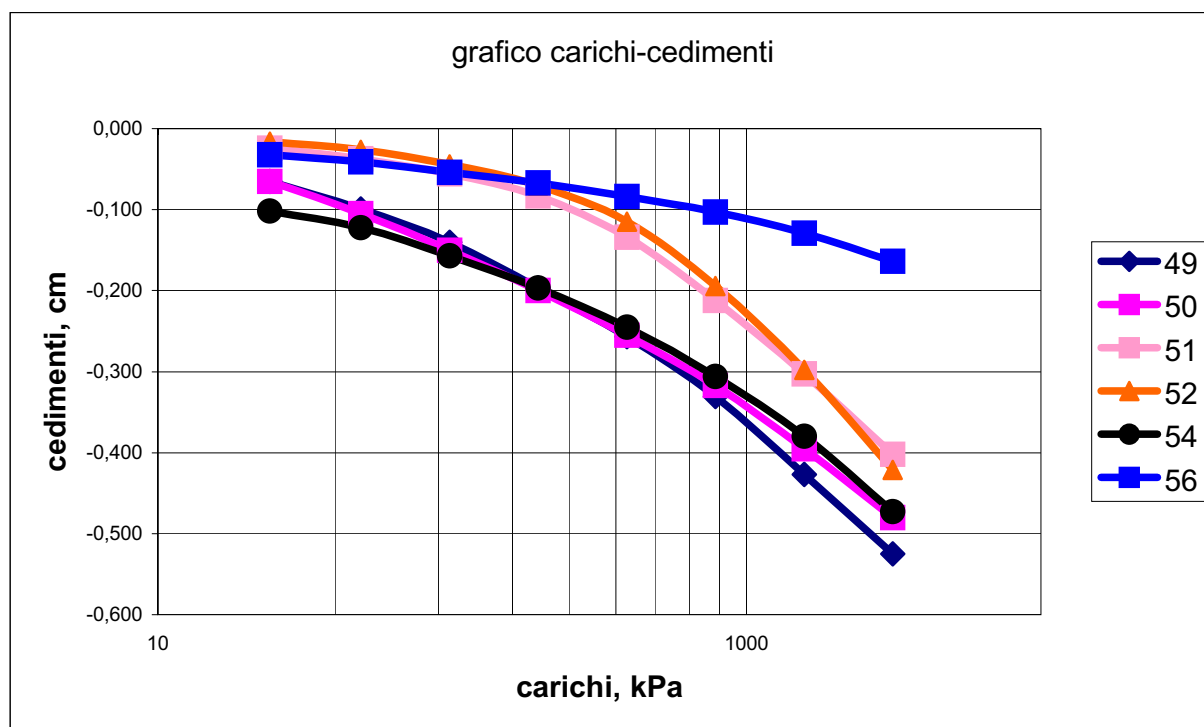
- Il grafico “numero di colpi – contenuto d’acqua” evidenzia le differenze sia di granulometria sia di contenuto d’acqua dei campioni 49, 50 e 54 (argille limose) rispetto al campione 56 che è un limo; il grafico “limite liquido – limite plastico” conferma le differenze tra i termini argillosi e il limo.
- Riportando i valori dei limiti liquidi e degli indici di plasticità su una carta di Casagrande, si è riscontrato che:
 - ✓ I campioni 49 e 54 sono classificabili come “limi organici ad alta compressibilità” o “argille organiche”.
 - ✓ Il campione 50 è classificabile come “limo inorganico di media compressibilità” o “limo organico”.
 - ✓ Il campione 56 è classificabile come un “limo inorganico di scarsa compressibilità”.



Prove edometriche

Il grafico “carichi – cedimenti” e la tabella dei “delta H” evidenziano che il campione 56, che è un limo, è meno compressibile e presenta cedimenti minori rispetto agli altri

campioni che sono argille limose; ciò è dovuto al fatto che il limo ha un indice dei vuoti minore rispetto alle argille.

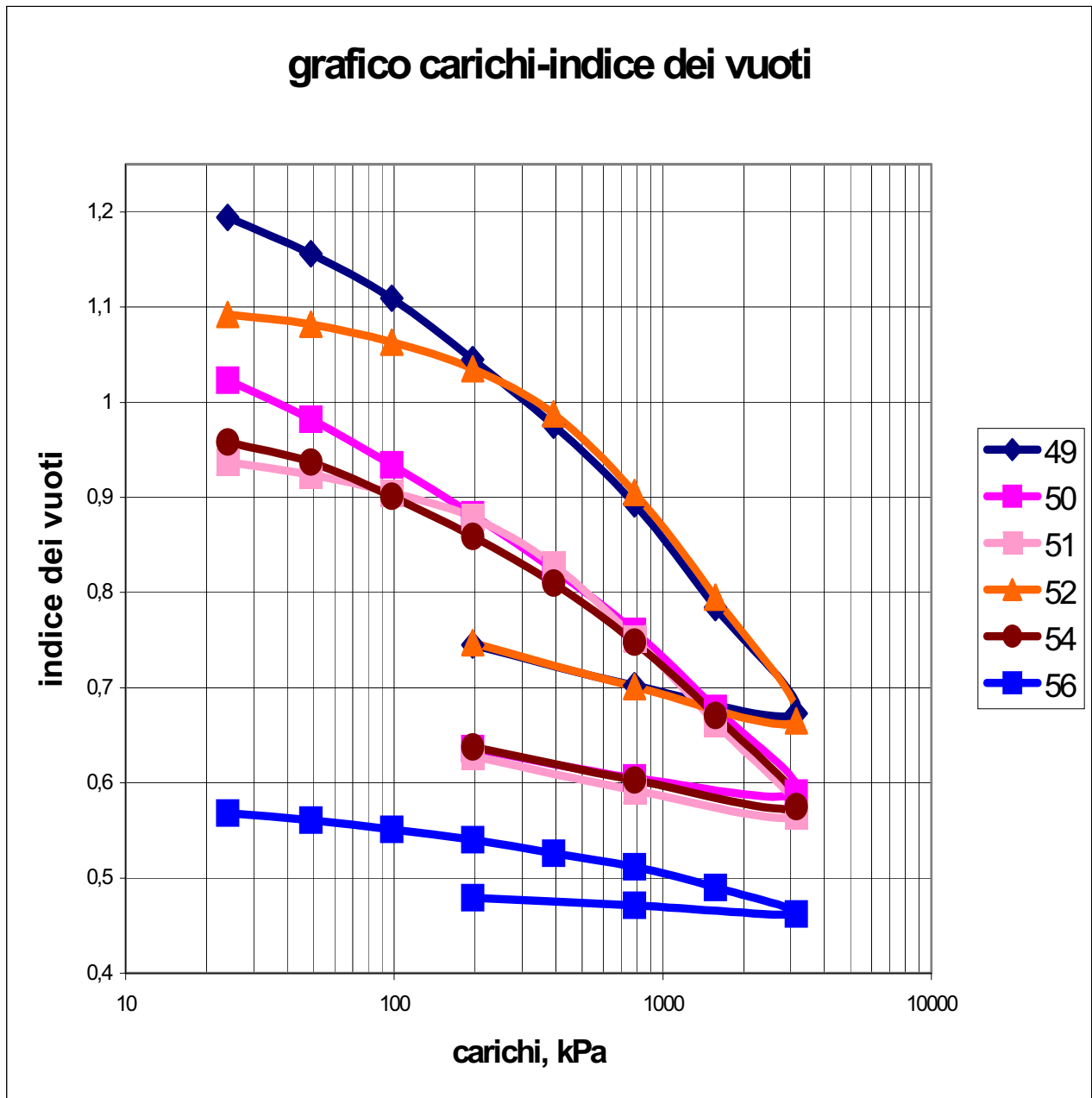


campioni	Delta H, cm
49	0,525
50	0,48
51	0,307
52	0,421
54	0,473
56	0,164

Il grafico “carichi – indice dei vuoti” evidenzia apprezzabili differenze tra il campione 56 (limo) e i campioni di argille limose:

- La rilevante differenza tra l’indice dei vuoti iniziale del campione 56 ($e = 0.57$) rispetto a quello degli altri campioni (da $e = 1.19$ del campione 49 a $e = 0.94$ del campione 51).
- Il campione 56, a parità di carico, tende a perdere una proporzione molto minore di indice dei vuoti rispetto ai campioni argillosi.
- I campioni argillosi tendono in maniera molto più marcata rispetto al campione limoso a rigonfiarsi nelle fasi di scarico.

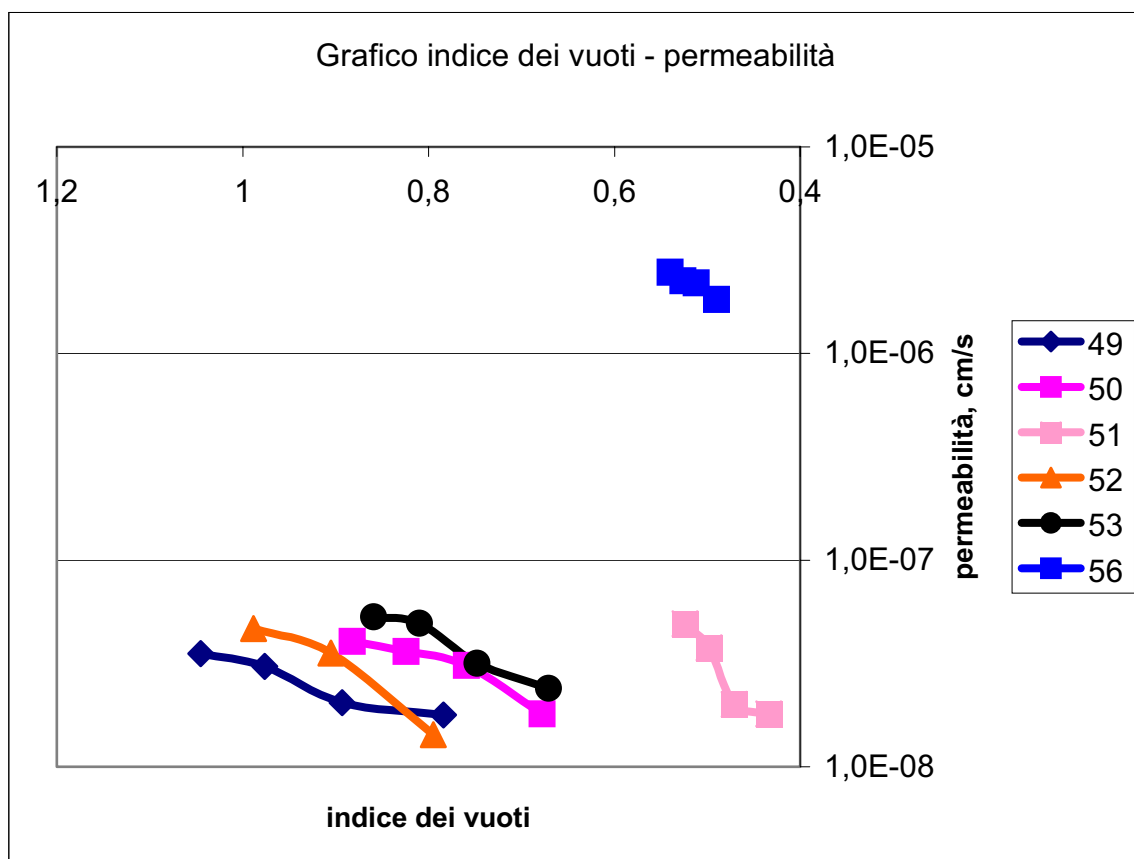
Le diverse reazioni alla compressione, sia nello schiacciamento sia nel rigonfiamento, sono dovute ad un comportamento più plastico dei terreni argillosi rispetto al limo.



Permeabilità in cella edometrica

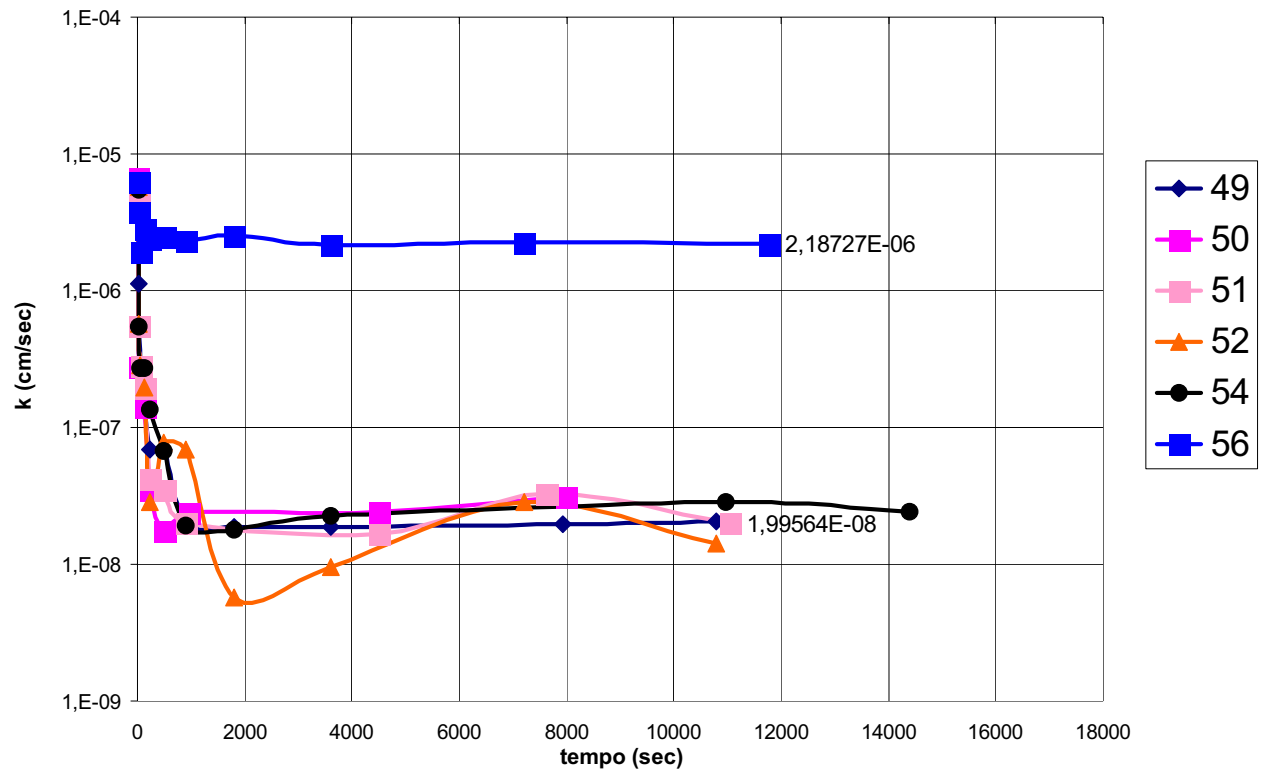
L'indice dei vuoti e , al pari di altri fattori quali i carichi verticali (sia litostatici sia idraulici) e le condizioni ambientali di temperatura e umidità, è un parametro determinante la permeabilità k , quindi a variazioni sensibili di e conseguono marcati cambiamenti di k .

Dal grafico “indice dei vuoti – permeabilità” elaborato con i dati relativi ai carichi di 196, 392, 784 e 1569 kPa, si possono apprezzare le differenze di permeabilità tra il campione limoso (56) e quelli argillosi; il limo presenta variazioni di indice dei pori e di permeabilità abbastanza lievi, contrariamente a quanto avviene nei campioni argillosi.



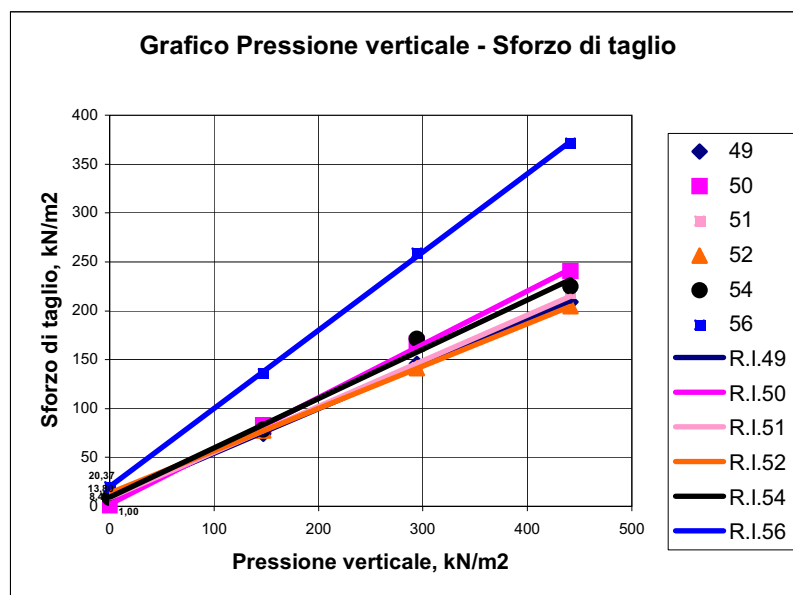
Nel grafico “tempo – permeabilità”, elaborato con i dati relativi alla prova con carico di 784 kPa, è molto evidente la differenza di permeabilità tra il campione 56 rispetto agli altri campioni, che tende ad accentuarsi nel tempo; nella curva relativa al limo, inoltre, si nota un tratto irregolare (ovvero moto turbolento dell’acqua) molto più breve rispetto alle argille, così come il tratto corrispondente al moto laminare dell’acqua resta costante.

grafico tempo / permeabilità
al carico 784kPa

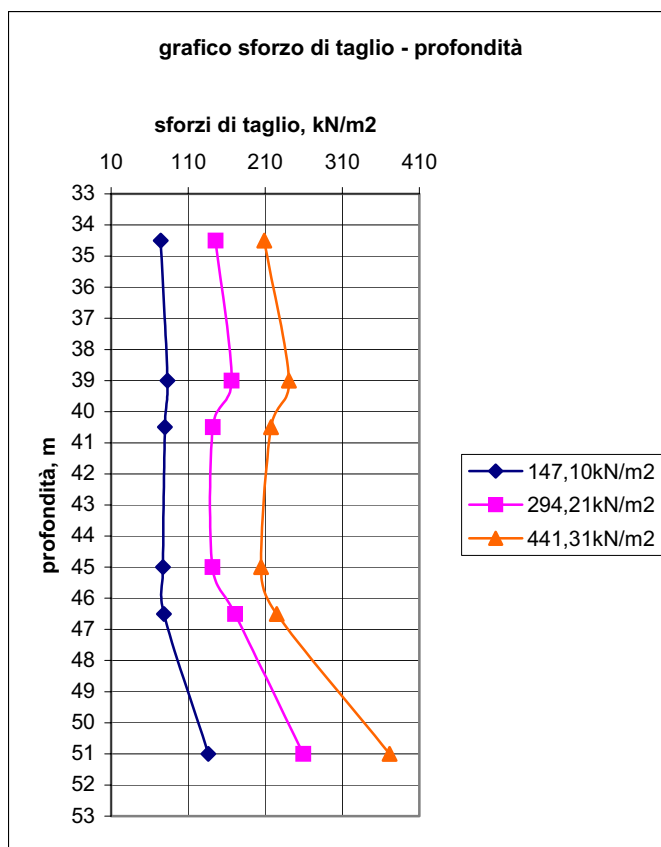


Prove di taglio diretto

Il grafico pressione verticale – sforzo di taglio evidenzia che il campione 56, limo, presenta valori di resistenza al taglio, angolo di attrito e coesione maggiori rispetto alle argille limose degli altri campioni.

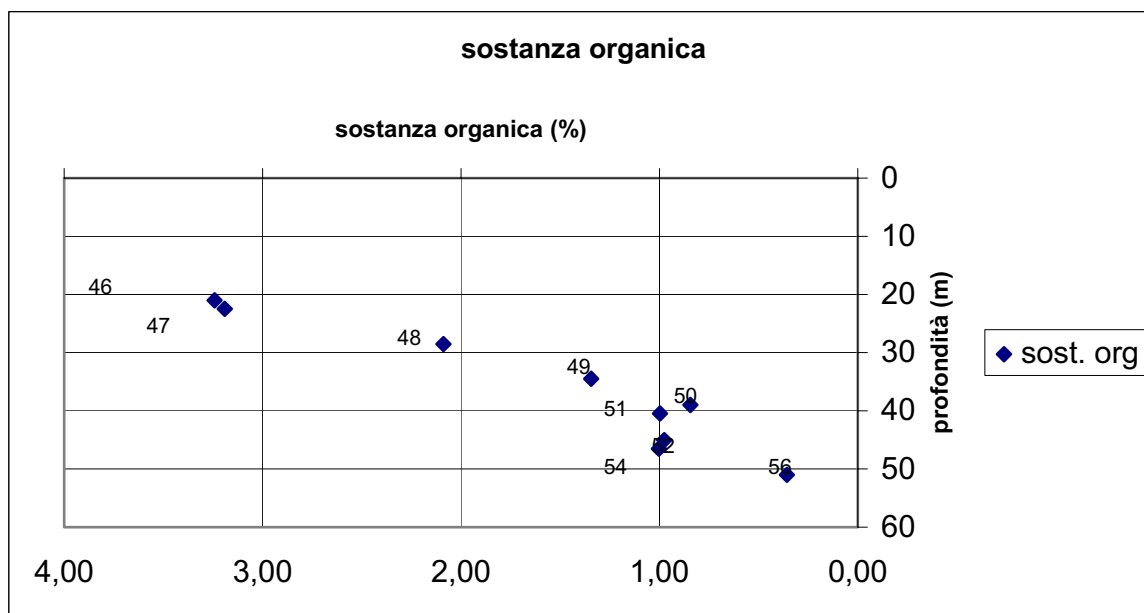


Dall'interpretazione del grafico “sforzo di taglio – profondità” sembra che nel determinare gli sforzi di taglio intervengano sia le caratteristiche granulometriche sia la profondità (a parità di granulometria). Il limo (campione 56) presenta uno sforzo di taglio decisamente maggiore ai campioni argillosi.



Contenuto di sostanza organica

Dall'interpretazione del grafico, si evince che il contenuto di sostanza organica tende a diminuire con la profondità; tuttavia i campioni 51, 52 e 54 presentano valori contro tendenza.



FONTI BIBLIOGRAFICHE

Associazione Geotecnica Italiana – AGI, 1994, *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*, Servizi Grafici Editoriali, Padova

A.S.T.M., 1994, *1994 Annual Book of ASTM Standards*, tomo 04.08, A.S.T.M., Philadelphia (U.S.A.)

A.S.T.M., riferimenti normativi aggiornati:

C 40 *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*

D 420 *Guide for investigating and Sampling Soil and Rock*

D 421 *Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle- Size Analysis and Determination of Soil Constants*

D 422 *Method for Particle-Size Analysis of Soils*

D 854 *Test Method for Specific Gravity of Soils*

D 1140 *Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75- μ m) Sieve*

D 2168 *Standard Test Methods for Calibration of Laboratory Mechanical-Rammer Soil Compactors*

D 2217 *Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle Size Analysis and Determination of Soil Constants*

D 2434 *Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*

D 2435 *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils*

D 2487 *Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*

D 2488 *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*

D 2850 *Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression*

D 2974 *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*

D 3080 *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*

D 3282 *Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*

D 4253 *Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table*

D 4254 *Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*

D 4318 *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*

Casadio M., Elmi C., 1999, *Il Manuale del Geologo*, Pitagora Editrice, Bologna

Chunga K., Rossi S., 2005, *Analisi stratigrafiche in Piazza Verdi, Como (perforazione 1)*, Dip.to di Scienze Chimiche ed Ambientali, Università dell'Insubria, Como.

Colombo P., 1974, *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli, Bologna

Colombo P., Colleselli F., 1996, *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli, Bologna

Comerci V., 2004, *Evoluzione geologica e ambientale recente in aree subsidenti. Esempio di studio nella città di Como*, Tesi di Dottorato, Università dell'Insubria, sede di Como.

Lancellotta R., 1987, *Geotecnica*, Zanichelli, Bologna

Raviolo P.L., 1993, *Il laboratorio geotecnico*, Editrice Controls, Cernusco s/N (MI)

Rittmann A., Gottini V., 1980, *L'isola d'Ischia – Geologia*, Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, tomo 101, pp. 131 – 274, I.P.Z.S., Roma

Terzaghi K., Peck R. B., 1974, *Geotecnica*, UTET, Torino

Vezzoli L., 1988, *Island of Ischia*, Quaderni de “La Ricerca Scientifica”, n°114, tomo 10, C.N.R., Roma