



**ISPRA**  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO SU CAMPIONI INDISTURBATI  
E RIMANEGGIATI PROVENIENTI DALLA NICCHIA DI FRANA DI VIALE  
TIZIANO, ROMA NOVEMBRE 2007.**

***Dr.ssa Anna Palma***

**Tutor: Dr Paolo Censi Neri**

**Co tutor: Dr. Andrea Morri**

Data	Firma Stagista	Firma Tutor	Firma Responsabile Servizio

## ABSTRACT

### ***“Analisi geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati provenienti dalla nicchia di frana di Viale Tiziano, Roma Novembre 2007.”***

Questa tesi di *stage* raccoglie i dati provenienti dalle elaborazioni di analisi geotecniche effettuate su campioni riguardanti la nicchia di frana di Viale Tiziano, del Novembre 2007.

L'area interessata dal fenomeno franoso è caratterizzata, dal basso verso l'alto, da argille marnose grigie, alternate a sabbie fini giallo ocre (MVA Formazione di Monte Vaticano), passanti alla Formazione di Valle Giulia (VGU) caratterizzata alla base da livelli di ghiaie poligeniche passanti a sabbie e limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche chiudendo verso l'alto con travertini fitoclastici (Pleistocene Medio).

Sono stati presi in esame i seguenti campioni

- un campione prelevato manualmente in prossimità della corona di frana, a profondità di 0.50 – 0.80 m dal p.c.;
- due campioni indisturbati CI2 e CI3 provenienti dal sondaggio S1 sul piano stradale, rispettivamente alla profondità di 16.50 m – 17.00 m e 22.00 m – 22.60 m dal p.c..
- 5 campioni rimaneggiati prelevati dalle cassette del sondaggio S1.

In generale, le analisi granulometriche hanno evidenziato composizioni litologiche sia di natura argillosa che sabbiosa. La carta di Plasticità mostra litologie a cavallo delle classi CL e CH. Le prove di taglio diretto mostrano angoli di attrito interno compresi tra i 26° ed i 38° e valori di coesione tra i 2 ed i 52 kPa. Le prove edometriche dei campioni argillosi sono state caratterizzate da un iniziale tendenza al rigonfiamento contrastato con un aumento del carico, ed in generale si è osservato un andamento regolare dei moduli.

**“Laboratory Geotechnical analysis about undisturbed and disturbed samples taken out from the niche of landslide of Viale Tiziano, Rome: November 2007”.**

This thesis gathers data obtained from elaboration about geotechnical analysis made on samples taken out the niche of landslide of Viale Tiziano, Rome: November 2007.

The area interested by the landslide is characterized, from the bottom to the top, by grey marly clay alternated with yellow sand (MVA Formation of Monte Vaticano) followed by the Formation of Valle Giulia (VGU) characterized in the bottom by levels of polygenic gravel followed by sand and silty sand with concretions closed to the top by phytoclastic travertines (Middle Pleistocene).

We examined the following samples:

One sample taken by hand near the circle of landslide, 0.50 – 0.80 m deep from the surface.

Two undisturbed samples C.I. 2 16.50 – 17.00 deep and C.I. 3 22.00 – 22.60 deep from the surface, taken from the bore hole S1 driven into roadway ground.

Five disturbed samples taken from the box of the bore hole S1.

Generally the particle size-analysis emphasized clayey and sandy lithologies. The plasticity chart shows lithologies ranging from CL class to CH class. The results of the cut tests show values of friction angle ranging from  $26^{\circ}$  to  $38^{\circ}$  and values of cohesion ranging from 2 to 52 Kpa. The edometric tests of the clayey samples show an initial swelling trend hindered by the load increasing and regular course of the modules.

## **PREFAZIONE**

La collaborazione scientifica della Dott.ssa Palma Anna presso il laboratorio di Meccanica delle Terre e delle Rocce Dipartimento Difesa del Suolo – Geologia Applicata si è sviluppata sullo studio dei terreni interessati dall'evento franoso avvenuto presso Viale Tiziano in Roma 13 Novembre 2007.

In una prima fase, il lavoro si è incentrato sull'analisi delle litologie direttamente interessate dal fenomeno gravitativo, sabbie giallo ocra appartenenti alla Formazione di Valle Giulia, per poi, successivamente, concentrarsi su campioni indisturbati e rimaneggiati provenienti da un sondaggio effettuato dal piano stradale di Viale Tiziano, sottostante la nicchia di distacco fino alla profondità di -40 m.

In particolare la tesi in oggetto si è sviluppata secondo le seguenti direttrici:

- 1) Inquadramento geologico delle aree oggetto di studio con incremento della bibliografia già esistente.
- 2) 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.
- 3) 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.

La collaborazione della Dott.ssa Palma Anna è stata svolta con grande impegno, dedizione ed entusiasmo con apporto di spirito di iniziativa e di proprie esperienze maturate in altri ambiti geotecnici.

Dott. Paolo Censi Neri

PREFAZIONE .....	4
“Analisi geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati provenienti dalla nicchia di frana di Viale Tiziano, Roma Novembre 2007.” .....	4
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE .....	7
1.1: La frana di Viale Tiziano .....	8
CAPITOLO 2: METODOLOGIE DI STUDIO .....	16
2.1 Analisi granulometrica .....	16
2.2 Densità .....	19
2.3 Peso specifico .....	19
2.4 Contenuto d’acqua .....	21
2.5 Caratteristiche fisiche derivate .....	21
2.6 Limiti liquido e plastico (di Atterberg) .....	23
2.7 Edometria .....	25
2.8 Prova di Taglio Diretto .....	29
CAPITOLO 3: RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO .....	32
3.1 <i>Blocco scavato a mano</i> .....	32
Proprietà fisiche .....	32
Analisi granulometrica .....	32
Emometria n°1 .....	33
Emometria n°2 .....	35
Resistenza al taglio diretto .....	37
3.2 <i>Campione Indisturbato n°2</i> .....	38
Proprietà fisiche .....	38
Analisi granulometrica .....	39
Emometria n°1 .....	40
Emometria n°2 .....	42
Resistenza al taglio diretto .....	44
3.3 <i>Campione Indisturbato n°3</i> .....	45
3.3.1 <i>Campione Indisturbato n°3 A</i> .....	45
Proprietà fisiche .....	45
Analisi granulometrica .....	46
Limiti liquido e plastico (di Atterberg) .....	46
Emometria .....	47
Resistenza al taglio diretto .....	49
3.3.2 <i>Campione Indisturbato n°3 B</i> .....	50
Proprietà fisiche .....	50
Analisi granulometrica .....	50
Edometria .....	51
Resistenza al taglio diretto .....	53
3.3.3 <i>Campione Indisturbato n°3 C</i> .....	54
Analisi granulometrica .....	54
3.3.2 <i>Campione Indisturbato n°3 D</i> .....	55
Proprietà fisiche .....	55
Analisi granulometrica .....	55
Emometria .....	56
Resistenza al taglio diretto .....	58
3.4 <i>Campioni prelevati da cassette di sondaggio (S1)</i> .....	60
3.4.1 <i>Campione A</i> .....	61

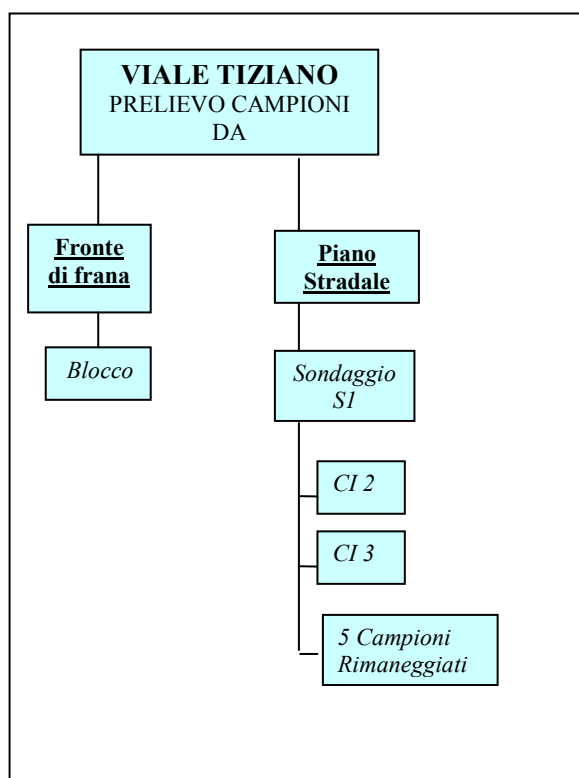
Analisi granulometrica.....	61
3.4 .2 <i>Campione B</i> .....	62
Analisi granulometrica.....	62
Limiti liquido e plastico (di Atterberg).....	62
3.4 .3 <i>Campione C</i> .....	63
Analisi granulometrica.....	63
Limiti liquido e plastico (di Atterberg).....	63
3.4 .4 <i>Campione D</i> .....	64
Analisi granulometrica.....	64
Limiti liquido e plastico (di Atterberg).....	64
3.4 .5 <i>Campione E</i> .....	65
Analisi granulometrica.....	65
Limiti liquido e plastico (di Atterberg).....	65
CAPITOLO 4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....	66
FONTI BIBLIOGRAFICHE.....	75

## CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Il presente lavoro di *stage* svolto presso l' ISPRA <sup>1</sup>, nell'ambito della difesa del suolo ha avuto come obiettivo, l'acquisizione di conoscenze teoriche e pratiche relative alle metodologie di indagine geotecniche di laboratorio.

I campioni in analisi, provenienti dal centro di Roma sono stati prelevati in Viale Tiziano a seguito dell'evento franoso del 13 novembre 2007 che ha colpito la collina dei Monti Parioli.

I campioni consistono in due campioni indisturbati prelevati durante il sondaggio S1, un blocco indisturbato prelevato a mano, e cinque campioni rimaneggiati provenienti dal sondaggio S1 (Fig.1).



**Figura 1** – Schema prelievo campioni

Le indagini effettuate hanno consentito la caratterizzazione fisica dei terreni, lo studio della loro resistenza al Taglio e il loro comportamento se sottoposti a compressione edometrica.

---

<sup>1</sup> Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

### ***1.1: La frana di Viale Tiziano***

Nella tarda mattinata del 13 Novembre 2007, un evento franoso ha interessato il versante occidentale dei Monti Parioli, nella zona di viale Tiziano all'altezza dei giardini di Piazzale Fratelli Archibugi (Fig.2); il crollo ha interessato il costone di roccia sottostante il complesso di Villa Balestra; il materiale franato si è abbattuto sulla carreggiata, sulle auto in sosta e sulla sottostante pista ciclabile senza fortunatamente causare grossi danni;



Figura 2 – Viale Tiziano dall'alto. In rosso l'area interessata dalla frana.  
Immagine tratta dal Rapporto Preliminare APAT di Amanti - Cesi

L'estensione del fronte di frana è stato di circa 20 metri di lunghezza e 30 metri di altezza.

Il materiale franato, occupava una superficie di circa 10x20 m, con uno spessore variabile da 1 a 4÷5 m, per una cubatura stimata di circa 300÷400 m<sup>3</sup> (Fig.3).

In figura 4 è mostrato nel dettaglio uno dei blocchi crollati. Dalla figura si evince la natura fitoclastica e concrezionale della roccia, tipica dei travertini di Valle Giulia.





**Figura 3** – Luogo della frana ed ubicazione dei campioni. Immagine tratta da Internet

In seguito all'evento franoso, l'Università Roma 3 ha commissionato una serie di Indagini in Sito allo scopo di redigere uno studio sulla stabilità del fronte di rupe. Nell'ambito di tale studio sono stati effettuati, 2 sondaggi a carotaggio continuo (di cui uno in esecuzione presso Villa Balestra nel Settembre 2008), con prelievo di campioni indisturbati. Due di questi campioni, sono stati elaborati presso il Laboratorio di Meccanica delle terre e delle Rocce dell' ISPRA e precisamente i campioni CI2 e CI3 provenienti dal sondaggio S1. Dalle cassette di sondaggio S1 sono stati inoltre prelevati altri 5 campioni, per i quali il suddetto laboratorio ha effettuato Analisi per la caratterizzazione fisica e limiti di Atterberg.



**Figura 4** – Uno dei blocco presenti sul luogo del crollo.



### 1.2: La geologia nell'area della frana di Viale Tiziano

Viale Tiziano situato presso i Monti Parioli, nella parte centro-settentrionale della città di Roma, dal punto di vista geologico, come si evince dall'opera "La geologia della città di Roma" di Ugo Ventriglia è caratterizzata da *formazioni fluvio-palustri* (sabbie più o meno travertinose) del Siciliano superiore che sovrastano *le formazioni argillo-sabbio-ghiaiose* del Siciliano medio-inferiore con erodibilità delle pareti esposte variabile, da punto a punto.



Dal foglio 374 Roma, in scala 1:50000 la zona in esame è caratterizzata alla base dalla *Formazione di Monte Vaticano* seguita al tetto dalla *Formazione di Valle Giulia* e coperte superiormente dai *Tufo Stratificati Varicolori di Sacrofano* passanti a *Tufo Stratificati varicolori di La Storta*.

Di seguito sono riportate le descrizioni delle suddette Formazioni:

- **MVA *Formazione di Monte Vaticano*:** Argille grigie stratificate di ambiente batiale superiore, da consolidate a molto consolidate, alternate a sabbie fini micacee da grigie a giallo ocra in strati da sottili a banchi, affioranti lungo la struttura di Monte Mario-Gianicolo, Viale Tiziano e nella zona di Marco Simone. Età compresa tra la zona a *Globorotalia puncticulata* presente nell'area della Farnesina-Monte Mario e la zona a *Globorotalia aemiliana* – *Globorotalia inflata*, presente nell'area di Marco Simone. Spessore massimo in affioramento 110 m in riva destra del Tevere (Via Falcone-Borsellino) e di oltre 70 m nella zona di Marco Simone. “Argille Azzurre” Auctt.

***PLIOCENE SUPERIORE p.p.( Gelasiano p.p.) – INFERIORE p.p. (Zancleano p.p.).***

- **VGU *Formazione di Valle Giulia*:** la Formazione è costituita alla base da livelli di ghiaie minute poligeniche a stratificazione incrociata, passante a sabbie e limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche con stratificazioni suborizzontali. Verso l'alto sono presenti travertini fitoclastici in banchi (“tartaro”), inglobanti lenti di sabbie e ghiaie vulcanoclastiche (Valle Giulia – Collina Parioli). In zona Vigna Clara – Flaminia, sono presenti livelliricchi in fluorite. Ambiente fluviale e fluvio-palustre. Spessore fino a 30 m.

***PLEISTOCENE MEDIO p.p.***

- **(SKF) TUFI STRATIFICATI VARICOLORI DI SACROFANO**

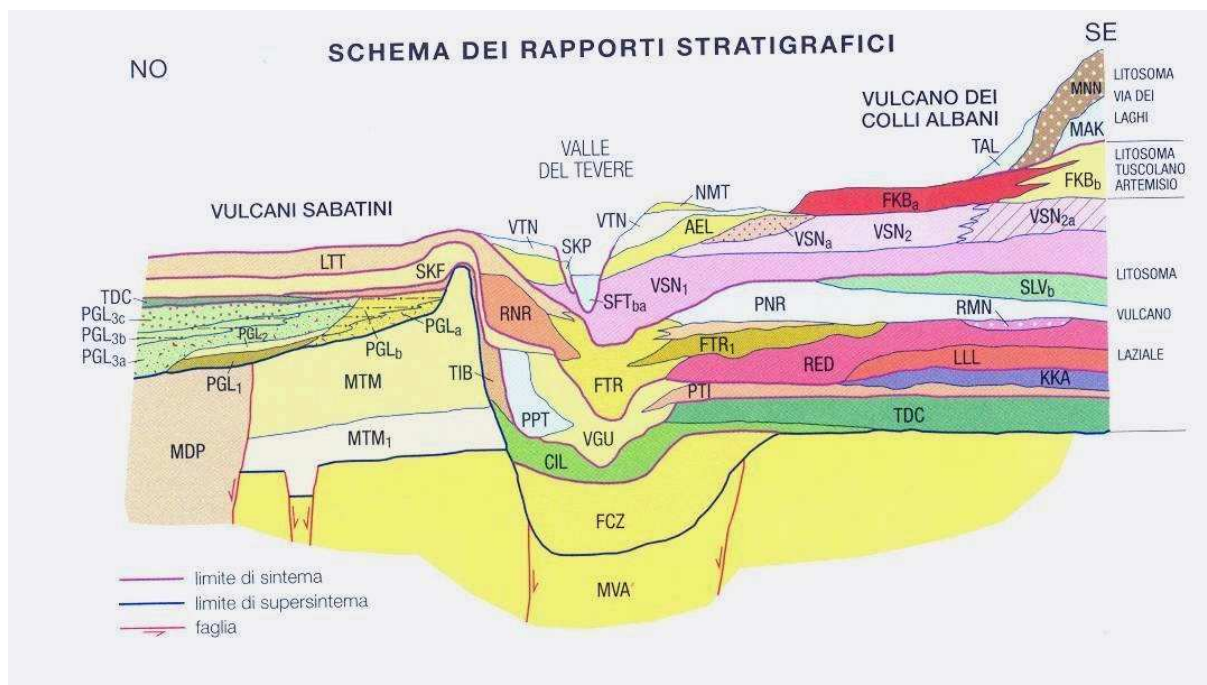
Successione di depositi piroclastici lapillosi e cineritici in strati contenenti scorie e litici lavici di dimensioni centimetriche da ricaduta, intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limo-palustri. Nella parte intermedia della successione i livelli primari sono costituiti da pomici di ricaduta bianco-giallastre a sanidino e clinopirosseno in tre banchi con areali di affioramento differenziati (Granturchi Auctt.). La provenienza prevalente dei depositi di questa successione è dai vulcani sabatini. Spessori fino a 14 m. L'età radiometrica di uno dei livelli di pomici da ricaduta è stimata  $488 \pm 2$  ka (3).

***PLEISTOCENE MEDIO p.p.***

- **(LTT) TUFI STRATIFICATI VARICOLORI DI LA STORTA**

Successione costituita da alternanze di piroclastiti primarie cineritico-lapillose di scorie grigie e pomici da ricaduta e livelli vulcanoclastici rimaneggiati, con orizzonti pedogenizzati. Spessori fino a 10 m. La provenienza dei depositi è dal Distretto Vulcanico

Sabatino. L'età radiometrica di uno dei livelli di pomici da ricaduta è stimata  $416 \pm 6$  ka  
**(3).PLEISTOCENE MEDIO p.p.**



**Schema dei rapporti stratigrafici** - Tratto dal Foglio Roma 374 (in stampa). Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000  
 Progetto CARG




Nel territorio di Roma, Viale Tiziano rappresenta una delle aree, storicamente soggetta a fenomeni franosi. Sono infatti diversi gli eventi susseguitisi nel corso degli ultimi 30 anni. Le cause predisponenti sono da individuarsi sicuramente nella costituzione geologica del versante, che tende ad evolversi per crolli e/ o distacchi di cunei e blocchi di materiale (sia in seguito all'opera degli agenti morfologici che del lavoro delle radici della vegetazione arborea), ma non bisogna escludere né trascurare l'incidenza antropica dovuta allo sviluppo urbano della zona né tanto meno la presenza di ambienti ipogei diffusi a mezza costa lungo il versante. Va infatti ricordato che Viale Tiziano, in epoca etrusca e romana, è stata interessata da attività di scavo in sotterraneo, per l'estrazione di sabbia da costruzione. Sempre nella stessa zona, sono stati evidenziati altri vuoti, costituiti dai tunnels, ex rifugi antiaerei scavati durante la seconda guerra mondiale, utilizzati fino agli anni '60 come officine e depositi.



La figura 5 mostra uno stralcio della nuova carta geologica di Roma (modificata) con l'ubicazione di tali cavità;



**Figura 5** – (da Funiciello *et alii*, Progetto CARG modificato)

-  Gallerie al piano stradale, con rivestimento in mattoni, costruite come rifugio antiaereo e poi adibite in generale a deposito di materiali;
-  Gallerie e grotte aperte nelle pareti subverticali della formazione di Valle Giulia, a circa 10 m dal piano stradale, segnalate in letteratura come cave per estrazione di sabbie e ghiaie;
-  Settori con evidenze recenti di crolli e rotolamento di massi;
- a** Argille grigio azzurre fortemente precomprese con intercalazioni di sabbie molto addensate (Marne Vaticane auct.): *Formazione di Monte Vaticano*.
- d** Travertini fitoclastici in banchi inglobanti lenti di materiali vulcanici rimaneggiati; sabbie e limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche;
- e/f** Depositi piroclastici di caduta.

Gli eventi franosi fino ad oggi registrati sono stati recentemente censiti da *M. Amanti*, *C. Cesi* e *V. Vitale* nel lavoro *Le frane nel territorio di Roma*, facente parte dell' Opera "La geologia di Roma".

La figura 6 mostra la disposizione delle frane lungo il versante dei Monti Parioli.

Ogni frana è contraddistinta da una sigla alfanumerica come riportato nella tavola 28 della sopracitata Opera.

La tabella 1 riporta sinteticamente alcuni dati relativi della suddetta classificazione.



**Figura 6** – Ubicazione degli eventi franosi lungo Viale Tiziano. Immagine tratta dalla “Carta della distribuzione dei dissesti di versante nel territorio comunale di Roma” *Amanti, Cesi e Vitale 2007*(Modificata).

**Tabella 1 – Classificazione degli eventi franosi di Viale Tiaiano**

<b>ID FRANA</b>	<b>NOTE</b>	<b>TIPO FRANA</b>	<b>DATA EVENTO</b>	<b>LITOLOGIA</b>
F120	<p>La frana storica del 1972 ha coinvolto un distributore di benzina costruito ai piedi della collina dei Monti Parioli, inizialmente danneggiato e poi distrutto dalla riattivazione del mese successivo al primo evento. Il versante è stato poi sistemato a metà degli anni '70 con la costruzione di un muro di sostegno in cemento armato e di una gradonatura alle spalle dell'area di servizio. Una pubblicazione degli anni '30 circa del D'Ossat, mostra una foto, probabilmente della stessa area, in cui sono già evidenti e descritti dall'Autore fenomeni di crollo dalla parete travertinosa e di accumulo al piede del versante.</p> <p>Dalla stessa memoria si apprende che il versante era già noto dall'antichità, per la sua franosità</p>	Crollo	Anni '30 4-4-1972 26-4-1972	Terreni sabbiosi
F241	Movimenti lenti del pendio dei Monti parioli che si affacciano sul Viale Pilsudsky. La salita dei parioli è chiusa da tempo a causa dei suddetti movimenti.	area soggetta a frane superf.	1986-2000	Terreni sabbiosi
F340	<p><b>Movimento di crollo innescatosi nella parte alta della Unità di valle Giulia, rappresentata da sabbie travertinizzate. La presenza di cavità artificiali ha aumentato la predisposizione del versante a franare. Il volume stimato del crollo è di 400 m3. Danneggiate 3 auto in sosta o di passaggio. Interruzione della circolazione su viale Tiziano e parziale riapertura dopo il disaggio dei materiali residui e la costruzione di un muro di protezione a metà carreggiata.</b></p>	Crollo	13 Novembre 2007	Travertini
F351	<p>Crollo di massi dalla formazione travertinosa per circa 15 mc.</p> <p>Distrutta una automobile parcheggiata</p>	Crollo	1963	Travertini

## CAPITOLO 2: METODOLOGIE DI STUDIO

### 2.1 Analisi granulometrica

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

#### *Scopo dell'analisi*

Lo scopo dell'analisi granulometrica è la determinazione della distribuzione percentuale per massa dei grani, secondo le dimensioni;

#### *Procedure di laboratorio*

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

A seconda del tipo di terreno da esaminare, sono state seguite due distinte procedure:

- Terreni grossolani.
  1. In presenza di grani superiori ai 2mm in significativa quantità, si è proceduto pesando 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 sodico<sup>2</sup> e lasciato a riposo per un giorno.
  5. Successivamente è stato posto in un apparecchio disperdente e poi travasato in un cilindro graduato di 1000ml (volume raggiunto aggiungendo acqua distillata).
  6. Dopo essere stato agitato<sup>3</sup>, è stato sottoposto ad analisi per sedimentazione<sup>4</sup> secondo la norma ASTM D422.
  7. Dopo l'analisi, 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.
  9. I dati ottenuti sono stati portati su grafico e sono state disegnate le curve cumulative relative alle setacciature e all'analisi di sedimentazione.

---

<sup>2</sup> Questa soluzione ha la funzione di evitare l'aggregazione delle particelle tra di loro; l'azione è definita antiflocculante o disperdente.

<sup>3</sup> Il cilindro con il campione è stato capovolto manualmente almeno 30 volte.

<sup>4</sup> L'analisi per sedimentazione è nota anche con i nomi di areometria e densimetria.



10. Con calcoli di proporzioni, la distribuzione percentuale è stata ricondotta al campione totale di oltre 200g.
- Terreni a grana fine
1. In presenza di terreni in cui quasi tutto il materiale era passante al setaccio con apertura 2mm, si è proceduto direttamente come al punto 3 di cui sopra e si è iniziato col 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. Successivamente è stato posto in un apparecchio disperdente e poi travasato in un cilindro graduato di 1000ml (volume raggiunto aggiungendo acqua distillata).
4. Dopo l'agitazione, è stato sottoposto a sedimentazione secondo la norma ASTM D422.
5. Dopo la prova, il campione è setacciato per via umida al setaccio con apertura di 0.075mm.
6. Il materiale trattenuto al setaccio 0.075mm, dopo l'essiccazione in forno, è stato setacciato attraverso una sequenza di setacci con aperture rispettivamente di 1mm, 0.475mm, 0.180mm e 0.075mm.
7. Infine sono state disegnate le curve cumulative relative alle setacciature e all'analisi per sedimentazione.

L'analisi per sedimentazione è stata effettuata in una vasca piena d'acqua ove sono stati collocati, oltre ai cilindri graduati da 1000ml con i campioni in sospensione, altri due cilindri; un cilindro da 1000ml con una soluzione di esametafosfato sodico, per poter determinare nel corso della prova la densità della soluzione disperdente, ed un cilindro da 1000ml con acqua distillata ove poter riporre il densimetro<sup>5</sup> tra una lettura e l'altra.

Il metodo di analisi considerato, fa riferimento all'equazione di Stokes<sup>6</sup> 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.

---

<sup>5</sup> Il densimetro è noto anche con i nomi di areometro e idrometro.

<sup>6</sup> 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,  $\eta_L$  la viscosità del liquido, in g\*sec/cm<sup>2</sup>,  $\gamma_s$  e  $\gamma_L$  rispettivamente peso specifico della particella e densità del liquido, in g/cm<sup>3</sup> 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; è costituito da uno stelo graduato che termina in un bulbo; quello utilizzato in queste prove è contrassegnato dalla sigla 152H nella norma ASTM D422.

Prima di iniziare l'analisi, sono state rilevate la densità della soluzione disperdente con il densimetro e la temperatura dell'acqua nella vasca;

Le letture densimetriche nel cilindro contenente 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. Tra una lettura e l'altra, durante la prova sono state nuovamente rilevate densità della soluzione disperdente e temperatura dell'acqua nella vasca.

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 tabella<sup>7</sup>
- L il valore letto sul densimetro con le opportune correzioni<sup>8</sup>
- W è il peso secco iniziale del campione

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

---

<sup>7</sup> ASTM D422, tab1

<sup>8</sup> 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.

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

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 tabella<sup>9</sup>.
- Hr è la profondità effettiva del densimetro al tempo t<sup>10</sup>
- 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 granulometrica<sup>11</sup> dove, sono rapportati in scala semilogaritmica, sull'asse delle ascisse i diametri delle particelle e su l'asse delle ordinate le percentuali.

## **2.2 Densità<sup>12</sup>**

### *Scopo dell'analisi*

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

### *Procedura di laboratorio*

Per la determinazione della densità dei campioni in analisi è stata utilizzata un'apposita fustella di dimensioni e peso noti; questa è stata infissa nel campione ed è stata successivamente pesata su una bilancia elettronica con precisione 10<sup>-2</sup>g.

### *Elaborazione dei dati*

Si è proceduto successivamente all'elaborazione, calcolando il rapporto tra il peso netto e il volume del campione ed esprimendo i risultati in g/cm<sup>3</sup>.

## **2.3 Peso specifico<sup>13</sup>**

Norme di riferimento: ASTM C127, C128, D854

---

<sup>9</sup> ASTM D422, tab3

<sup>10</sup> Definizione AGI, 1994.

<sup>11</sup> Si tratta di una curva cumulativa.

<sup>12</sup> Questa caratteristica fisica è nota anche con i nomi di "peso di volume" e "massa volumica apparente".

<sup>13</sup> Questa caratteristica fisica è chiamata anche "massa volumica reale".

### *Scopo dell'analisi*

Consiste, nel 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 prova<sup>14</sup>.

Si è preso, per ogni prova, un picnometro a beuta<sup>15</sup> 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 circa 12h.

Il campione, dopo delicato mescolamento con una bacchetta, è stato messo in una campana per sottovuoto per circa 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 tappo<sup>16</sup> per gravità. Dopo 10' il tappo è stato premuto delicatamente fino a fuoriuscita di acqua; il menisco esterno è stato rimosso.

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 ottenuti 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 è stato ricavato dalla formula

$$V_s = PA + NS - PAS$$

Ed infine il peso specifico, in  $\text{g/cm}^3$ , si ottiene dalla formula

---

<sup>14</sup> Per ogni campione sono state svolte almeno due prove.

<sup>15</sup> Esistono picnometri a forma di matraccio e di pallone.

<sup>16</sup> Ogni picnometro è stato tarato con il proprio tappo, per cui non si devono mai usare i tappi di altri picnometri.

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

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 la determinazione del 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 campione<sup>17</sup> 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 stato ripesato.

### *Elaborazione dei dati*

Conoscendo il peso netto umido ( $P_u$ ) e il peso netto secco ( $P_s$ ), il contenuto d'acqua  $W$  in percentuale 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  $\gamma_s$  dei solidi è possibile ricavare il volume dei solidi con la formula

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

---

<sup>17</sup> Il numero dei campioni è in funzione della variazione verticale di granulometria lungo il campione indisturbato.

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 formule<sup>18</sup>

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

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  $\gamma_s$  e del contenuto d'acqua  $W$  oppure conoscendo il volume dei vuoti  $V_v$  e il volume dell'acqua  $V_w$  ricavabile dal contenuto d'acqua, assumendo la densità dell'acqua di 1.00 g/cm<sup>3</sup>:

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

- Il peso di volume secco  $\gamma_d$  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  $\gamma_{sat}$  è stato calcolato in funzione del peso di volume secco  $\gamma_d$  e della porosità  $n$  con la formula dove  $\gamma_w$  è assunto 1.00 g/cm<sup>3</sup> (ovvero 9.81kN/m<sup>3</sup>)

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

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

---

<sup>18</sup> Volendo ottenere il valore percentuale, basta moltiplicare per 100.

## ***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 ottone<sup>19</sup> 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 13mm<sup>20</sup>.

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.<sup>21</sup>

### *Procedure di laboratorio*

#### Limite liquido

- Sono stati pesati 200g di campione essiccato all'aria passanti al setaccio con apertura 0.425mm.
- 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 25colpi.
- Il campione è stato messo in una capsula di porcellana e lasciato ad inumidirsi per circa 12 ore.
- Dopo avere approntato lo strumento di Casagrande 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.

---

<sup>19</sup> 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.

<sup>20</sup> Raviolo, 1993, pp. 95-97.

<sup>21</sup> Raviolo, 1993, p. 111

- Per i campioni successivi si è aggiunta o si è rimossa<sup>22</sup> 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.

#### *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.

---

<sup>22</sup> L'acqua è stata rimossa rimescolando e "spalmando" più volte il campione su una lastra di vetro.



## 2.7 Edometria

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  $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  $t$  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  $\gamma_a$  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 tra una pietra porosa inferiore ed una superiore.

L'edometro utilizzato per le prove è del tipo a carico frontale, a fulcro fisso e munito dell'apparato per la misura della permeabilità edometrica<sup>23</sup>. 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 0.125 / 0.25 / 0.5 / 1 / 2 / 4 / 8 / 16 / 32 kg/cm<sup>2</sup> con due scarichi rispettivamente a 8 e 2 kg/cm<sup>2</sup>.

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.

### *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<sup>2</sup>/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).

---

<sup>23</sup> 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.

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.

## 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  $c'$ ,  $\phi'$ ,  $\tau_f$  e  $\sigma'_n$ .

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  $\sigma'_n$  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  $\tau$  con la formula

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

Poiché lo spostamento (quindi la forza) è effettuato a velocità costante, la tensione  $\tau$  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  $\tau$  in ordinata, ha il suo massimo nel punto  $(x_f, \tau_f)$  dove  $x_f$  è lo spostamento registrato al momento della rottura e  $\tau_f$  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  $\tau_f$  e la tensione normale  $\sigma_n$  è espressa dall'equazione di Coulomb (1773) dove  $c$  è la coesione e  $\phi$  l'angolo di resistenza al taglio:

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \tan \phi$$

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  $\phi'$  è l'angolo di resistenza al taglio:

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \tan \phi'$$

questa equazione, in un sistema cartesiano con le tensioni  $\sigma'$  sull'asse delle ascisse e con la resistenza al taglio  $\tau$  sull'asse delle ordinate, è rappresentata da una retta nota come “involuppo di rottura”<sup>24</sup>.

In base ai parametri  $c'$  e  $\varphi'$  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.

#### *Procedure di laboratorio*

Da ogni singolo campione in analisi sono stati preparati tre provini, infiggendo un'apposita fustella quadrata con superficie di  $36\text{cm}^2$  e altezza  $2.2\text{cm}$ .

Ogni provino, dopo la pesatura, è stato inserito in una scatola di taglio<sup>25</sup> e lasciato, immerso, in consolidazione direttamente nella macchina di taglio<sup>26</sup> o in banco di consolidazione per almeno 24h sotto il carico assiale da utilizzare durante la prova.

I carichi assiali sono stati  $1.50$ ,  $3.00$  e  $4.50\text{ kg/cm}^2$ . 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 esaminare<sup>27</sup>; 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

---

<sup>24</sup> Raviolo, 1989, pp.395-399.

<sup>25</sup> 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.

<sup>26</sup> 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.

<sup>27</sup> Per i procedimenti di calcolo del  $t_{100}$  e degli altri parametri si veda nel paragrafo relativo all'edometria.

orizzontale<sup>28</sup> 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:

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

---

<sup>28</sup> Nello strumento utilizzato, la deformazione orizzontale non è registrata dall'anello dinamometrico, bensì da una speciale cella.

## CAPITOLO 3: RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

### 3.1 Blocco scavato a mano

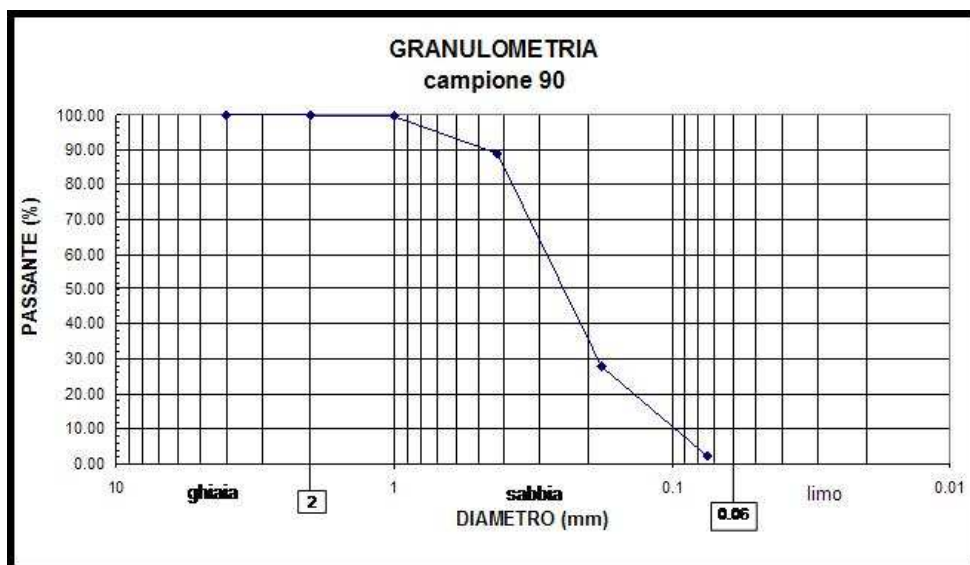


Figura 1 Blocco scavato a mano

#### Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:  $14,64 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei solidi:  $26,28 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto d'acqua: 13,51 %
- Indice dei vuoti  $e$ : 1.038
- Porosità  $n$ : 51 %
- Grado di saturazione: 35 %

#### Analisi granulometrica





A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
Lotto :  
Sondaggio : SCAVO A MANO  
Campione : CUBICO  
Profondità di prelievo, da metri : 0.01 a metri: 0.50

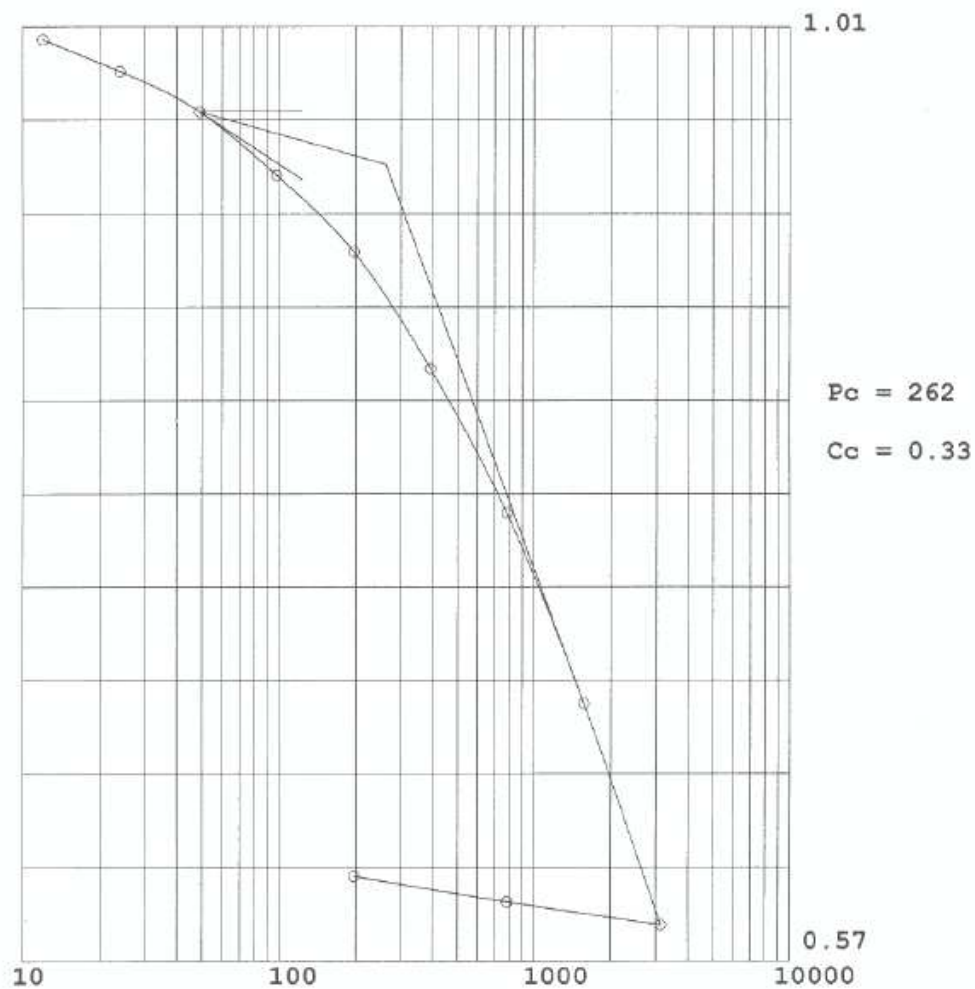
PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm) : 5.05	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> ) : 14.64
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 13.51
Volume (cm <sup>3</sup> ) : 40.00	Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> ) : 26.28
	Indice dei vuoti : 1.038
	Grado di saturazione (%) : 35

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
12	0.033	1.004	719	1.982	55	3.5E-03	4.8E-07
24	0.048	0.989	1603	1.958	54	3.5E-03	2.1E-07
49	0.066	0.970	2617	1.939	190	9.7E-04	3.7E-08
98	0.096	0.940	3218	1.919	10	1.8E-02	5.5E-07
196	0.132	0.904	5281	1.884	25	7.0E-03	1.3E-07
392	0.185	0.849	6785	1.844	5	3.3E-02	4.8E-07
784	0.252	0.781	10659	1.775	23	6.7E-03	6.2E-08
1569	0.340	0.691	15534	1.715	5	2.9E-02	1.8E-07
3138	0.443	0.587	25511	1.623	5	2.6E-02	1.0E-07
784		0.598					
196		0.610					

Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : SABBIA COLOR NOCCIOLA

A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
 Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
 Lotto :  
 Sondaggio : SCAVO A MANO  
 Campione : CUBICO  
 Profondità di prelievo, da metri : 0.01 a metri: 0.50

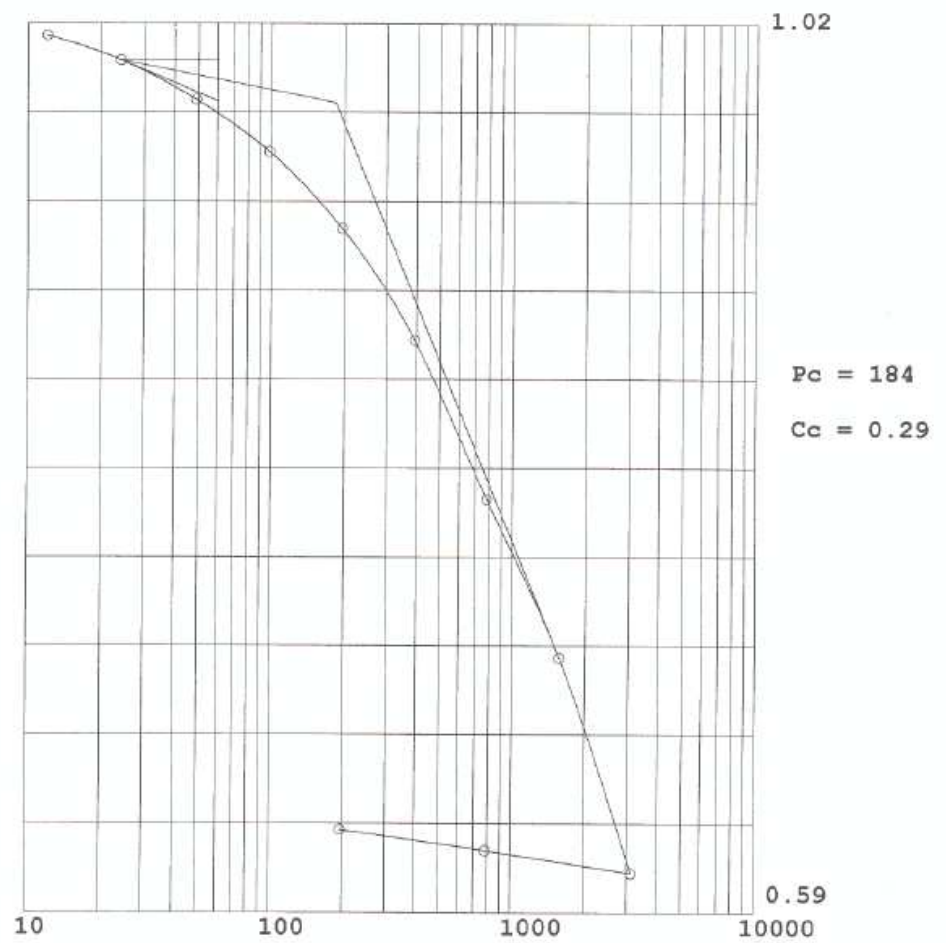
PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm): 5.05	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> ) : 14.65
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 13.51
Volume (cm <sup>3</sup> ): 40.00	Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> ) : 26.28
	Indice dei vuoti : 1.036
	Grado di saturazione (%): 35

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
12	0.022	1.014	1111		60	0.0E00	0.0E00
24	0.034	1.002	2014	1.972	78	2.5E-03	1.2E-07
49	0.052	0.983	2634	1.958	19	9.9E-03	3.7E-07
98	0.077	0.958	3887	1.937	16	1.2E-02	2.9E-07
196	0.114	0.921	5186	1.907	8	2.2E-02	4.2E-07
392	0.166	0.867	6973	1.859	5	3.4E-02	4.8E-07
784	0.242	0.790	9505	1.788	5	3.1E-02	3.2E-07
1569	0.317	0.713	18249	1.726	5	2.9E-02	1.6E-07
3138	0.419	0.609	25843	1.652	5	2.7E-02	1.0E-07
784		0.620					
196		0.630					

Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : SABBIA COLOR NOCCIOLA

## Resistenza al taglio diretto

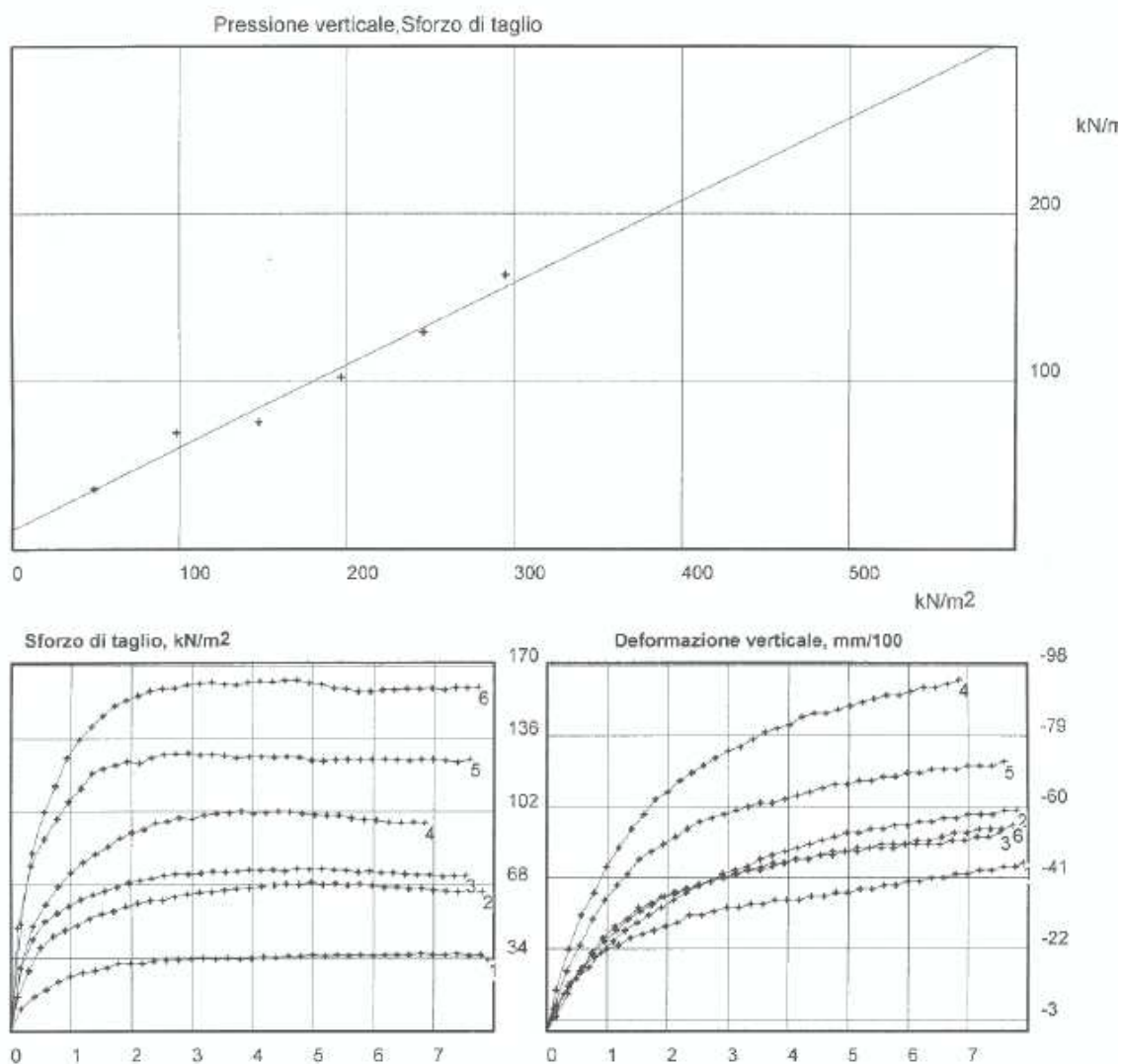
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO  
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su parete  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 91

RIFERIMENTO: 90

SONDAGGIO: a mano  
CAMPIONE: cubico  
PROF., m: 0.00-0.50  
PAGINA N.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
49.03	36.11	6.78	-42.00
98.07	69.17	4.96	-53.00
147.10	75.56	4.73	-47.00
196.14	102.22	3.81	-81.00
245.18	129.17	2.93	-58.00
294.21	163.33	4.53	-47.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²  
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0200  
Tipo di prova:  
Tipo di campione:

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

COESIONE= 11.65 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 26.15 gradi sess.

### 3.2 Campione Indisturbato n°2

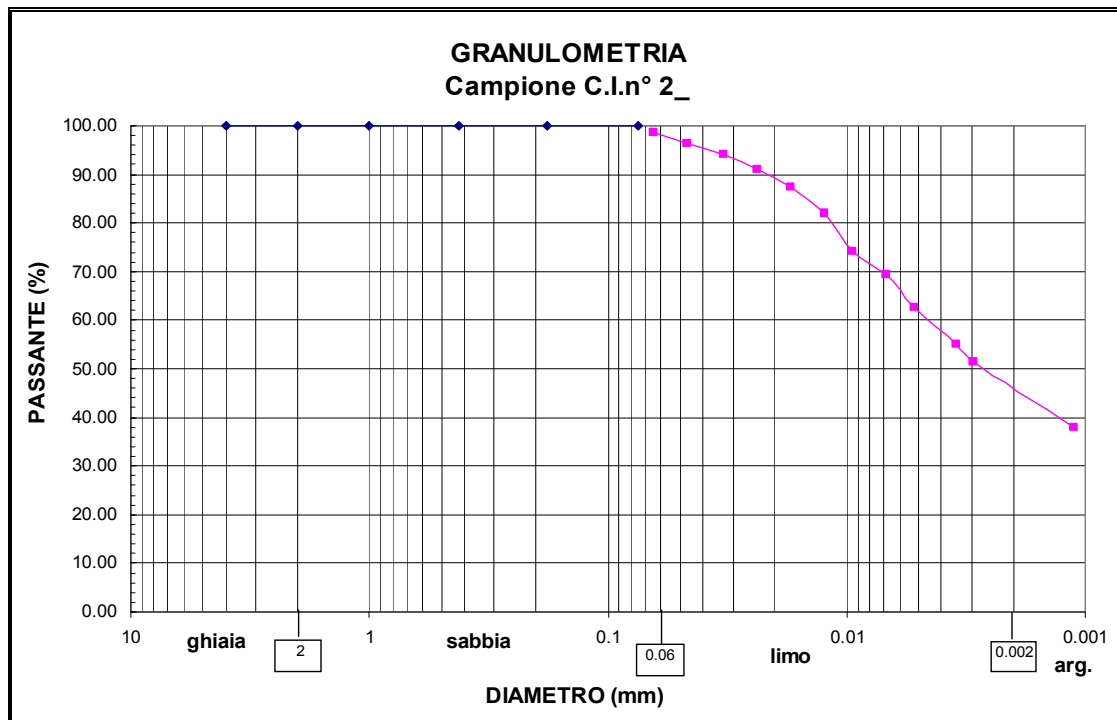


**Figura 2 Campione CI n°2**

#### *Proprietà fisiche*

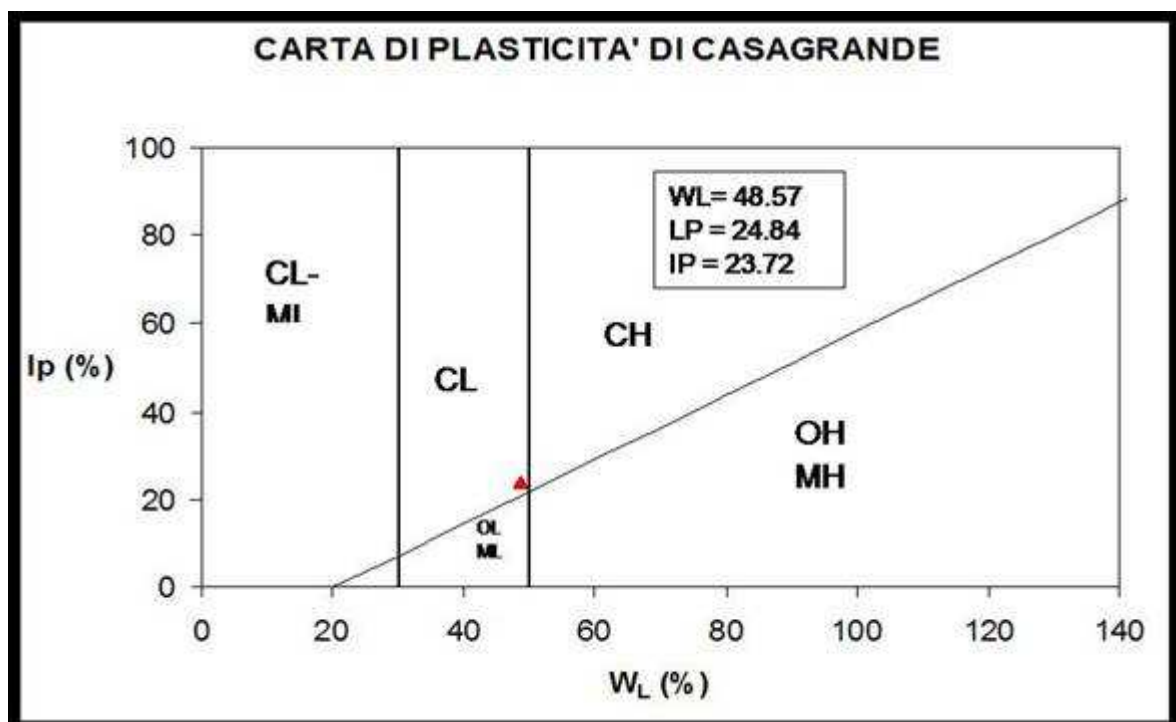
- Densità/Peso di volume:  $19.76 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei solidi:  $26.87 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto d'acqua: 20.55 %
- Indice dei vuoti  $e$ : 0.639
- Porosità  $n$ : 39 %
- Grado di saturazione: 88 %

## Analisi granulometrica



**Limo con Argilla**  
**50% Limo 46% Argilla**

## Limiti plastico e liquido (di Atterberg)





A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
 Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
 Lotto :  
 Sondaggio : S1 (sulla strada)  
 Campione : c.i. n°2  
 Profondità di prelievo, da metri : 16.50 a metri: 17.00

PROVA EDOMETRICA

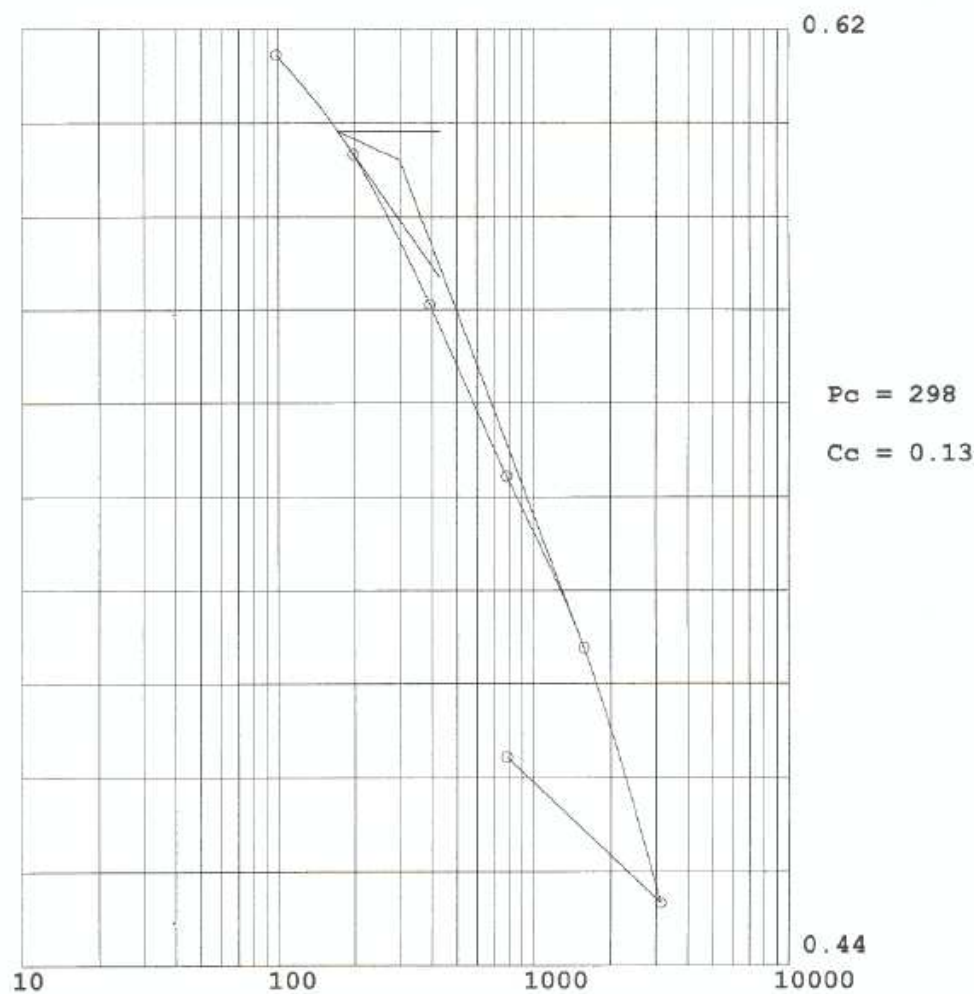
Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm): 5.05	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> ) : 19.76
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 20.55
Volume (cm <sup>3</sup> ): 40.00	Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> ) : 26.87
	Indice dei vuoti : 0.639
	Grado di saturazione (%): 88

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
98	0.029	0.615	6693	1.986	1214	1.6E-04	2.3E-09
196	0.053	0.596	8330	1.960	59	3.2E-03	3.8E-08
392	0.088	0.567	10787	1.929	70	2.6E-03	2.4E-08
784	0.128	0.534	18614	1.891	80	2.2E-03	1.2E-08
1569	0.169	0.501	36491	1.852	55	3.1E-03	8.3E-09
3138	0.228	0.452	48063	1.806	65	2.5E-03	5.0E-09
784		0.480					



Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : argillabris

A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
Lotto :  
Sondaggio : S1 (sulla strada)  
Campione : c.i. n°2  
Profondità di prelievo, da metri : 16.50 a metri: 17.00

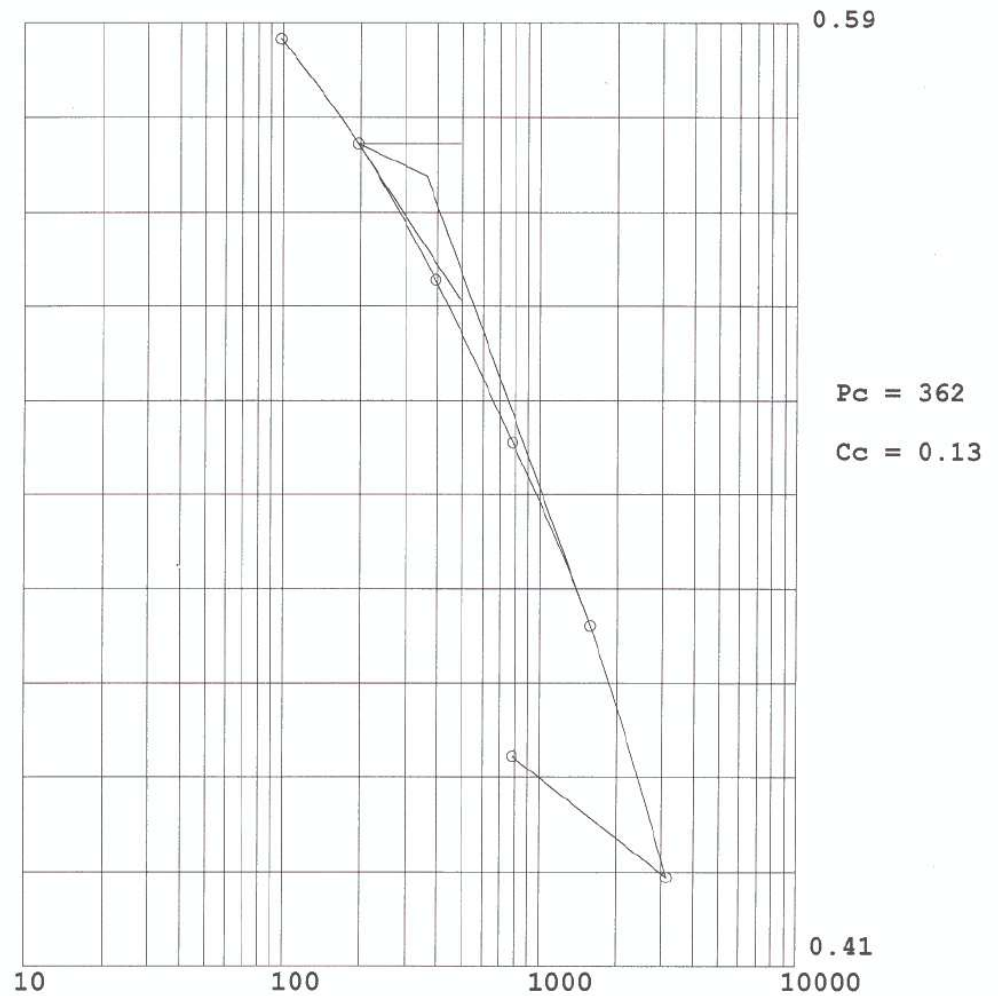
PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm): 5.05	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> ) : 20.16
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 20.55
Volume (cm <sup>3</sup> ): 40.00	Peso specifico (kN/m <sup>3</sup> ) : 26.87
	Indice dei vuoti : 0.607
	Grado di saturazione (%): 93

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
98	0.024	0.587	7874	1.987	644	3.0E-04	3.8E-09
196	0.050	0.567	7776	1.964	38	5.0E-03	6.3E-08
392	0.082	0.541	11813	1.933	49	3.8E-03	3.1E-08
784	0.120	0.510	19486	1.898	84	2.1E-03	1.1E-08
1569	0.164	0.475	33867	1.857	56	3.0E-03	8.8E-09
3138	0.223	0.427	48214	1.810	65	2.5E-03	5.0E-09
784		0.450					

Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : argilla

## Resistenza al taglio diretto

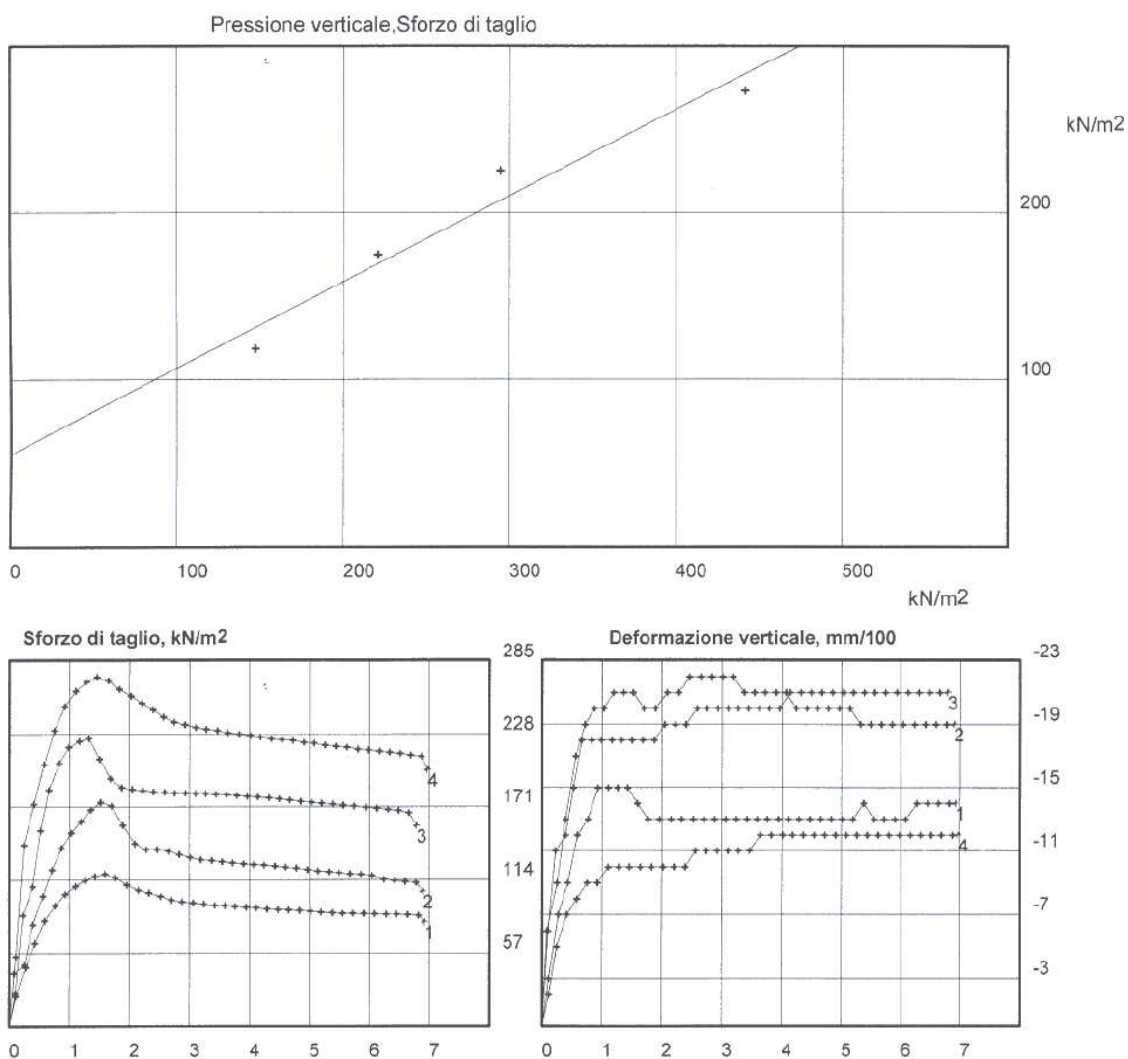
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO  
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su strada  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 90

RIFERIMENTO: 100

SONDAGGIO: S1  
CAMPIONE: c.i. n° 2 - argilla  
PROF., m: 16.00-16.50  
PAGINA N.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	118.61	1.59	-14.00
220.66	174.72	1.52	-21.00
294.21	225.00	1.32	-18.00
441.31	272.78	1.46	-10.00

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= 55.75 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 27.24 gradi sess.

### 3.3 Campione Indisturbato n°3

Il Campione Indisturbato n°3, data l'eterogeneità della carota, è stato in sede d'analisi, suddiviso in diversi spezzoni (vedi Fig. 9).



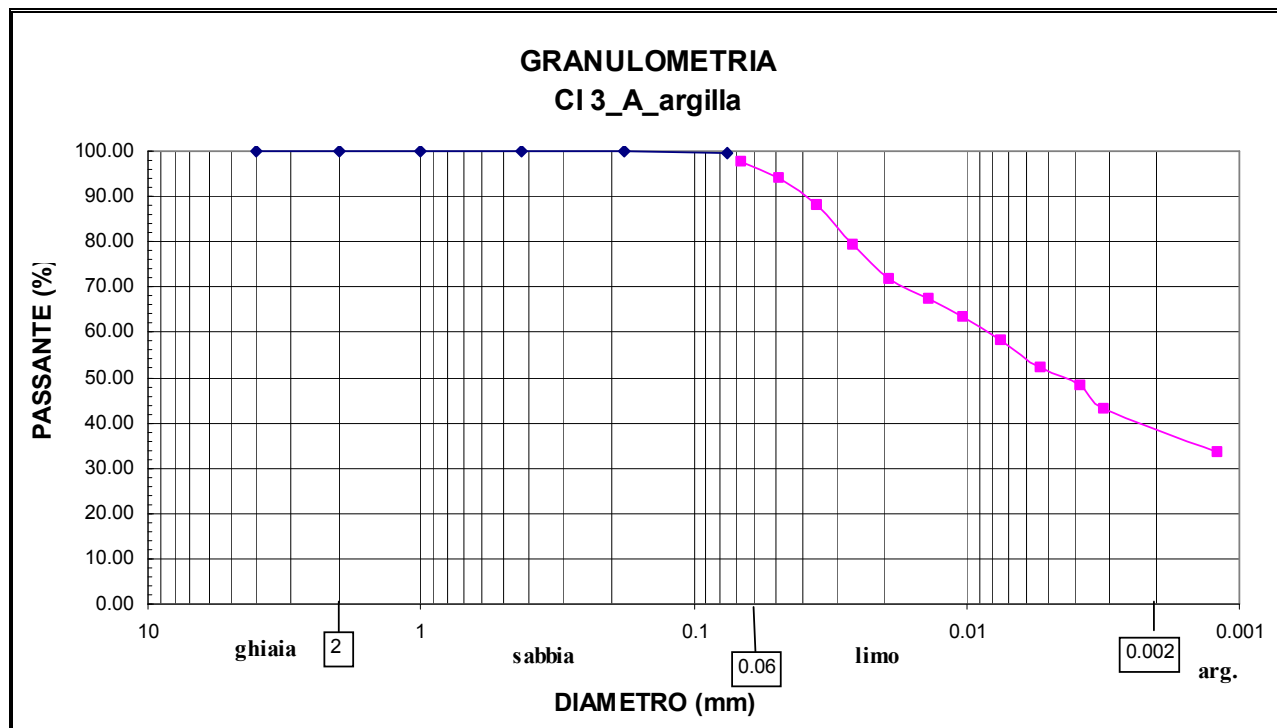
Figura 3 Campione Indisturbato n°3

#### 3.3.1 Campione Indisturbato n°3 A

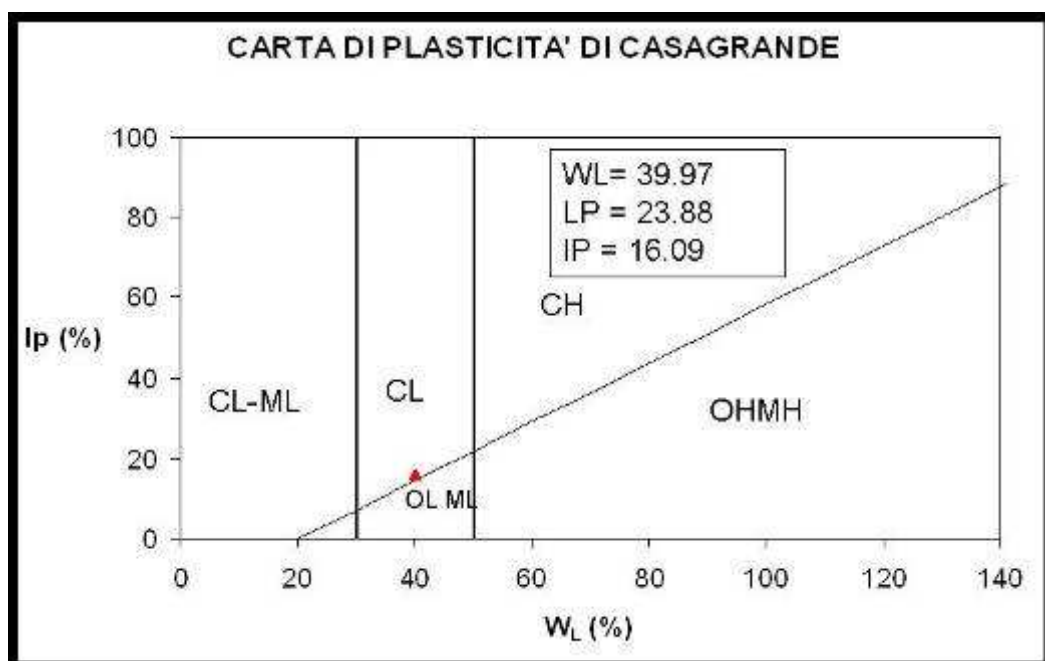
##### *Proprietà fisiche*

- Densità/Peso di volume:  $20.62 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei solidi:  $26.92 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto d'acqua: 21.77 %
- Indice dei vuoti  $e$ : 0.590
- Porosità  $n$ : 37 %
- Grado di saturazione: 100 %

## Analisi granulometrica



*Limiti plastico e liquido (di Atterberg)*



**A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo**  
**Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce**

Committente : SUO - GEA  
 Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
 Lotto :  
 Sondaggio : S1 (sulla strada)  
 Campione : c.i. n°3  
 Profondità di prelievo, da metri : 22.00 a metri: 22.60

**PROVA EDOMETRICA**

**Dimensioni del provino :**

Diametro (cm): 5.05  
 Altezza (cm) : 2.00  
 Volume (cm<sup>3</sup>): 40.00

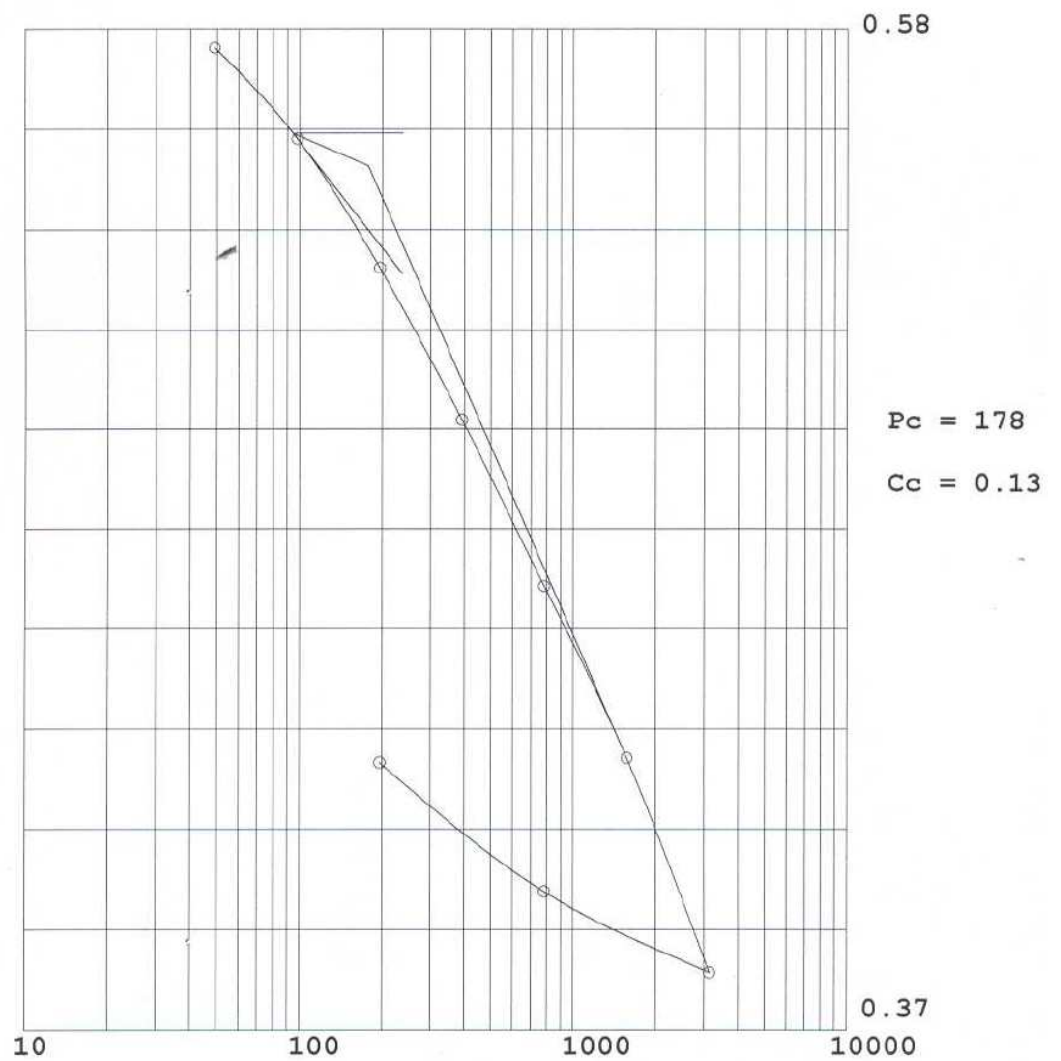
**Caratteristiche iniziali :**

Peso di volume (kN/m<sup>3</sup>) : 20.62  
 Contenuto in acqua (%) : 21.77  
 Peso specifico (kN/m<sup>3</sup>) : 26.92  
 Indice dei vuoti : 0.590  
 Grado di saturazione (%) : 101

**Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :**

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
49	0.017	0.576	5565	1.990	2747	7.1E-05	1.3E-09
98	0.041	0.557	4064	1.969	72	2.7E-03	6.4E-08
196	0.075	0.530	5651	1.941	60	3.1E-03	5.4E-08
392	0.116	0.498	9371	1.903	82	2.2E-03	2.3E-08
784	0.160	0.463	16778	1.862	72	2.4E-03	1.4E-08
1569	0.205	0.427	31902	1.821	37	4.4E-03	1.4E-08
3138	0.262	0.382	49755	1.770	58	2.7E-03	5.2E-09
784		0.399					
196		0.426					

Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : argilla grigia



## Resistenza al taglio diretto

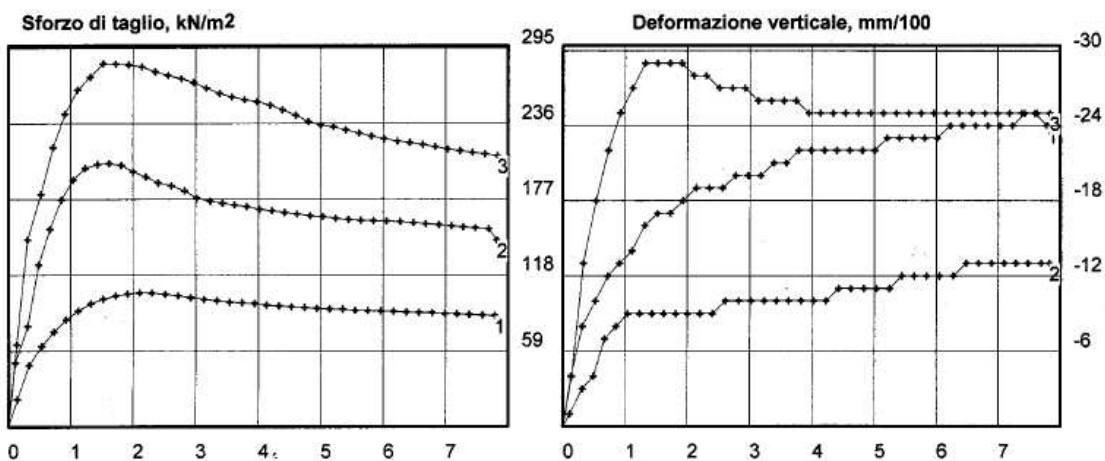
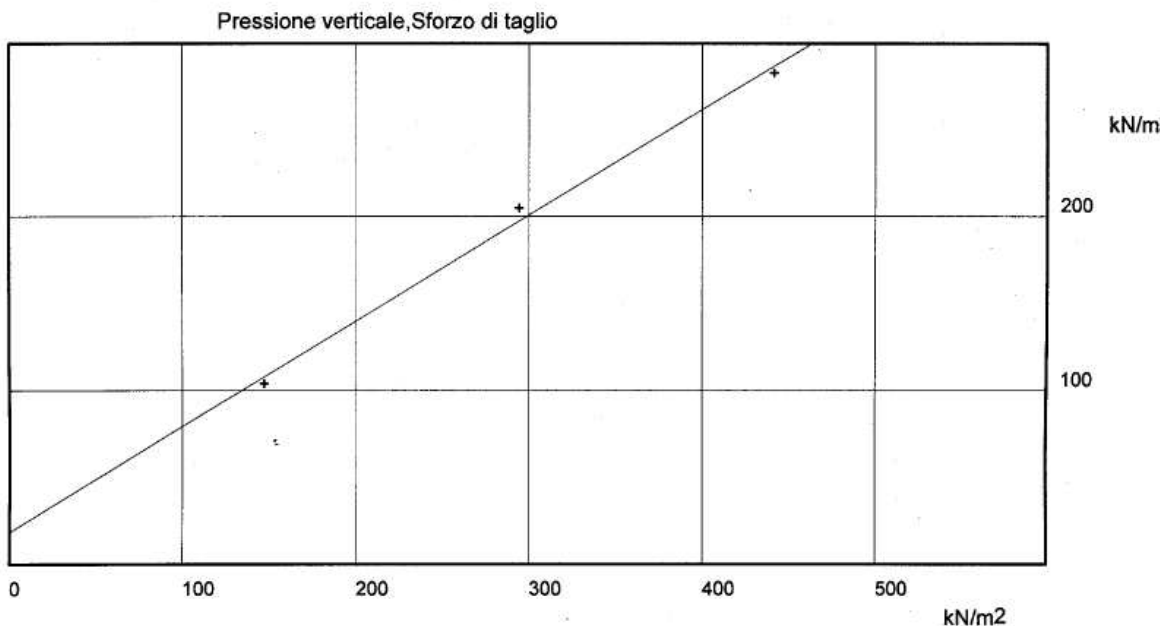
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO  
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su strada  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 89

RIFERIMENTO: 100

SONDAGGIO: S1  
CAMPIONE: c.i. n° 3  
PROF., m: 22.00-22.60  
PAGINA N.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	104.17	2.10	-28.00
294.21	204.72	1.62	-9.00
441.31	282.78	1.52	-17.00

AREA SCATOLA DI TAGLIO= 36.00 cm²  
Vel. avanzamento, mm/min= 0.0400  
Tipo di prova: C.D.  
Tipo di campione: Argilla

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

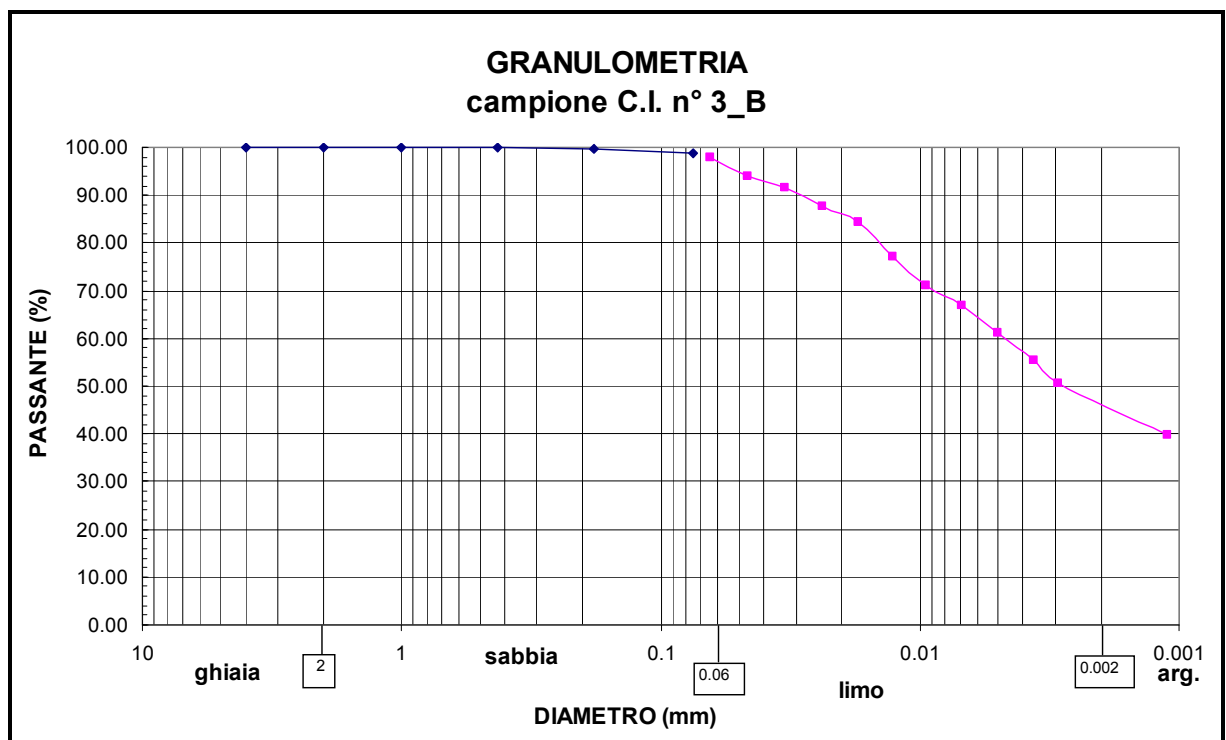
COESIONE= 18.61 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 31.26 gradi sess.

### 3.3.2 Campione Indisturbato n°3 B

#### Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:  $19.45 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei solidi:  $26.87 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto d'acqua: 24.3 %
- Indice dei vuoti  $e$ : 0.717
- Porosità  $n$ : 42 %
- Grado di saturazione: 93 %

#### Analisi granulometrica



**Limo con Argilla**  
**51% Limo 46% Argilla**

A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
 Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
 Lotto :  
 Sondaggio : S1 (sulla strada)  
 Campione : c.i. n°3  
 Profondità di prelievo, da metri : 22.00 a metri: 22.60

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :

Diametro (cm): 5.05  
 Altezza (cm) : 2.00  
 Volume (cm<sup>3</sup>): 40.00

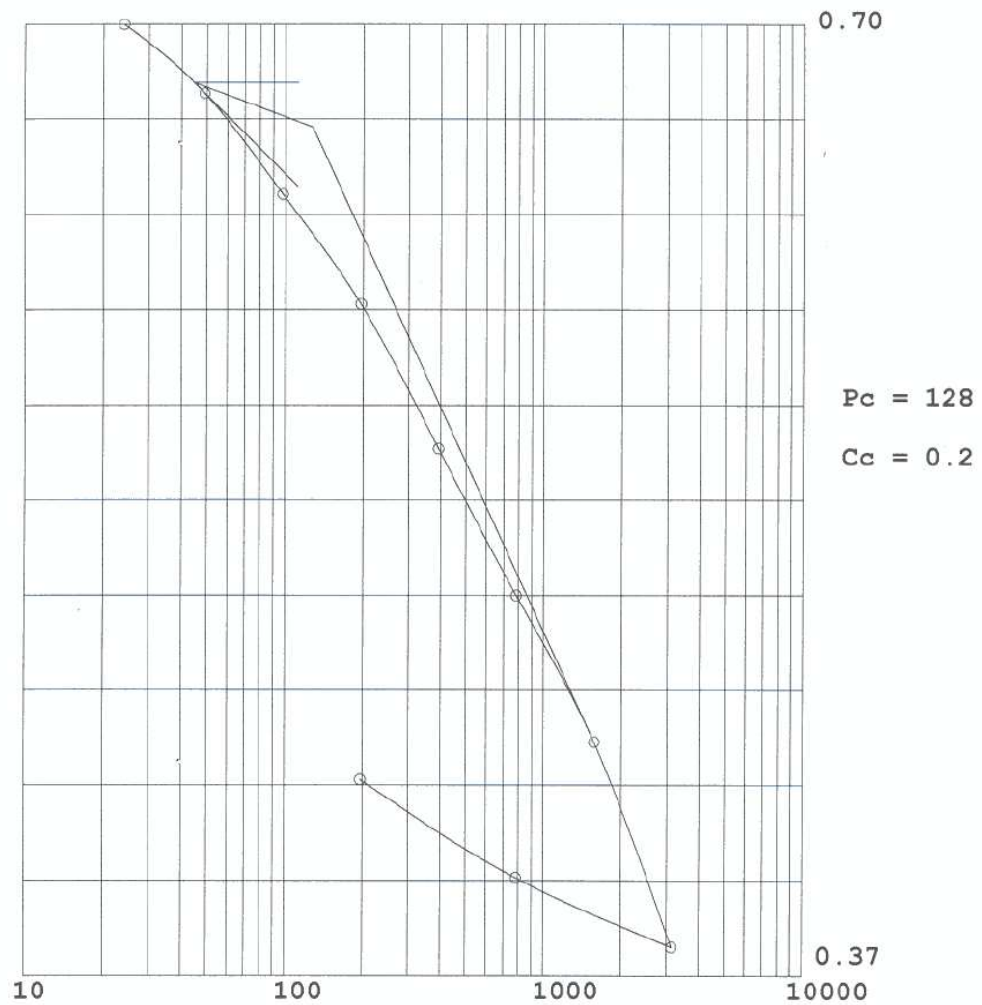
Caratteristiche iniziali :

Peso di volume (kN/m<sup>3</sup>) : 19.45  
 Contenuto in acqua (%) : 24.30  
 Peso specifico (kN/m<sup>3</sup>) : 26.87  
 Indice dei vuoti : 0.717  
 Grado di saturazione (%): 93

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
24	0.020	0.700	2424	1.990	8300	2.3E-05	9.5E-10
49	0.048	0.676	1771	1.968	216	8.8E-04	4.9E-08
98	0.088	0.641	2346	1.933	170	1.1E-03	4.5E-08
196	0.133	0.603	4232	1.896	402	4.4E-04	1.0E-08
392	0.191	0.553	6284	1.838	169	9.8E-04	1.5E-08
784	0.251	0.502	11937	1.781	169	9.2E-04	7.6E-09
1569	0.310	0.451	23119	1.721	168	8.7E-04	3.7E-09
3138	0.392	0.380	32065	1.651	164	8.2E-04	2.5E-09
784		0.404					
196		0.438					

Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : transizione

## Resistenza al taglio diretto

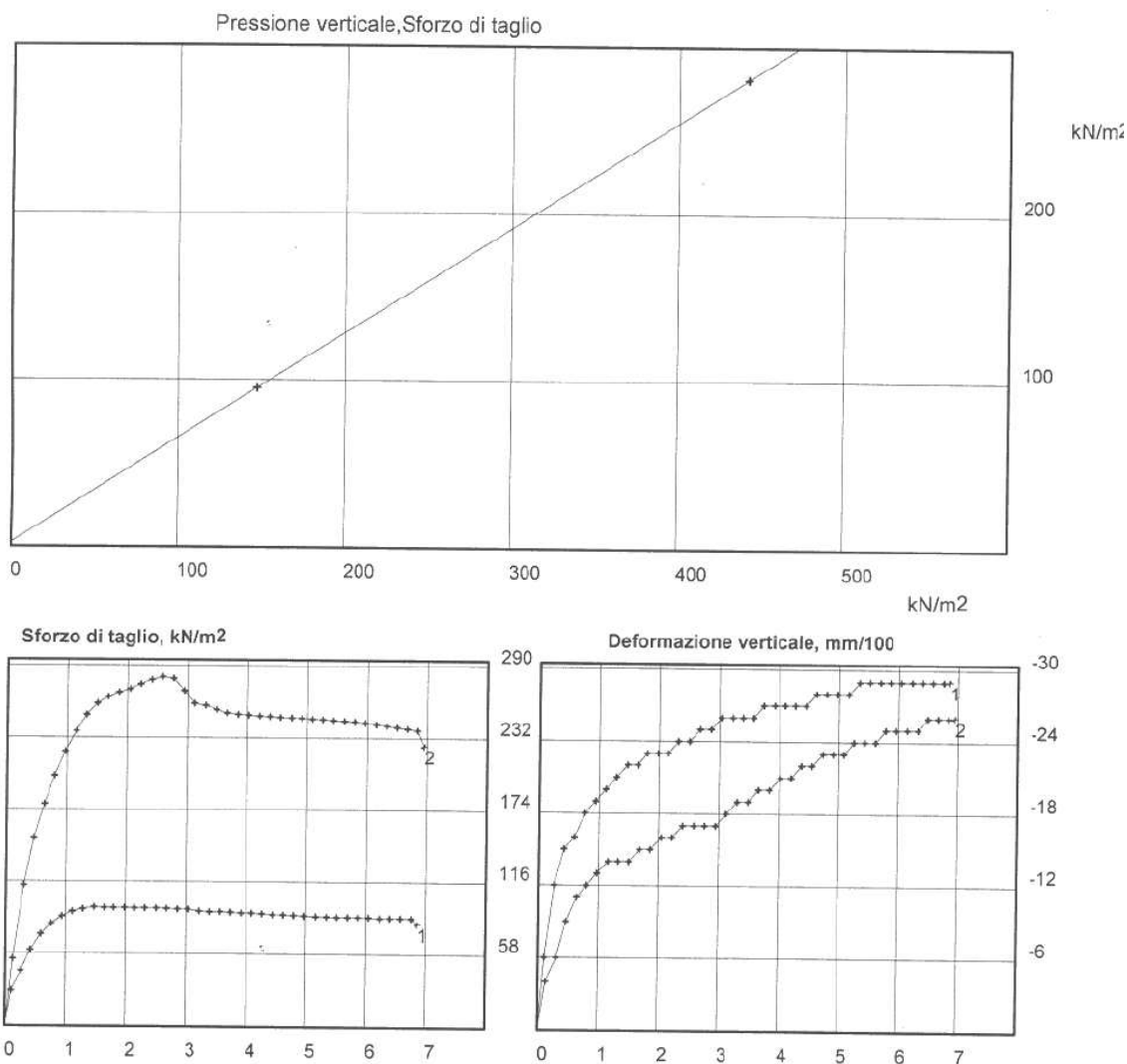
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO  
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su strada  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 89

RIFERIMENTO: 100

SONDAGGIO: S1  
CAMPIONE: c.i. n° 3 - transizione  
PROF., m: 22.00-22.60  
PAGINA N.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO



PRESSIONE VERT. kN/m²	VALORI A ROTTURA		
	SFORZO kN/m²	AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	95.28	1.47	-22.00
441.31	280.83	2.58	-17.00

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

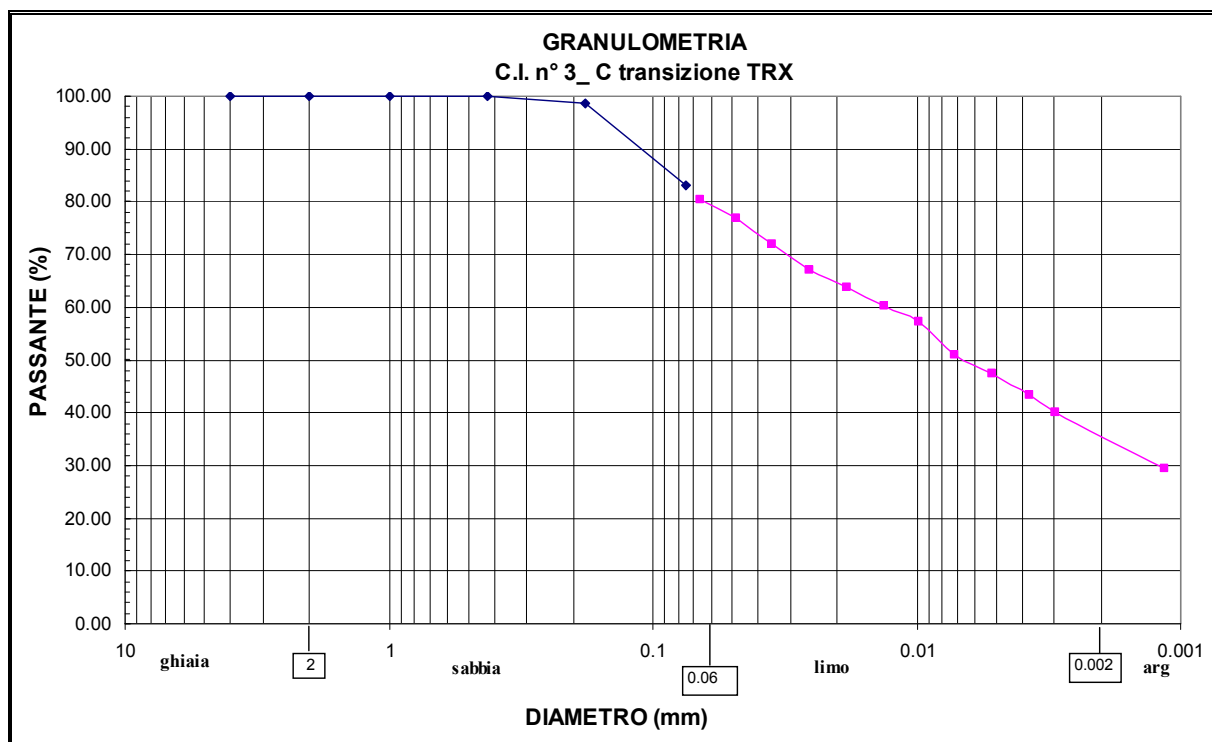
Contenuto in acqua, %=  
Peso di volume, g/cm³=  
Densità secca, g/cm³=

COESIONE= 2.50 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 32.24 gradi sess.

Nota: E' prassi in caso di scarsità di materiale eseguire le prove con il carico più alto ed il carico più basso.

### 3.3.3 Campione Indisturbato n°3 C

#### Analisi granulometrica

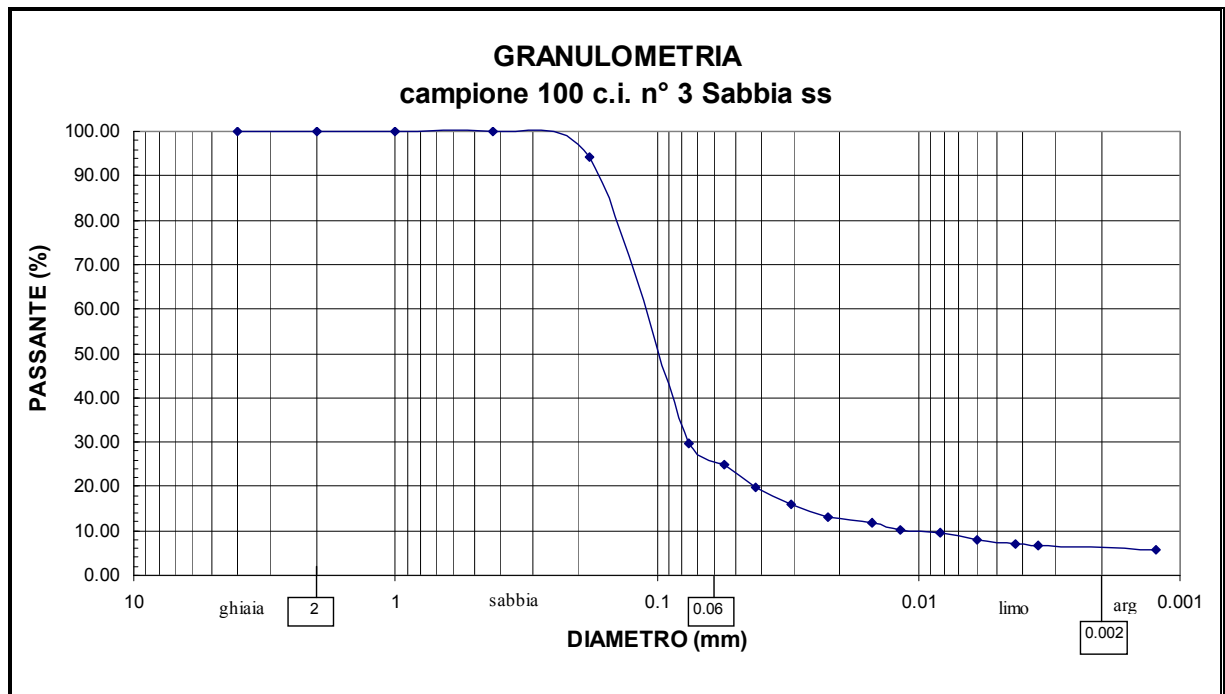


### 3.3.2 Campione Indisturbato n°3 D

#### Proprietà fisiche

- Densità/Peso di volume:  $19.45 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei solidi:  $26.87 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto d'acqua: 24.3 %
- Indice dei vuoti  $e$ : 0.717
- Porosità  $n$ : 42 %
- Grado di saturazione: 93 %

#### Analisi granulometrica



**Sabbia Limosa debolmente Argillosa**  
**74% Sabbia 20% Limo 6% Argilla**

A.P.A.T. Dipartimento Difesa Suolo  
Laboratorio Meccanica delle Terre e delle Rocce

Committente : SUO - GEA  
Progetto : FRANA VIALE TIZIANO-ROMA- 13-14/11/2007  
Lotto :  
Sondaggio : S1 (sulla strada)  
Campione : c.i. n°3  
Profondità di prelievo, da metri : 22.00 a metri: 22.60

PROVA EDOMETRICA

Dimensioni del provino :

Diametro (cm): 5.05  
Altezza (cm) : 2.00  
Volume (cm<sup>3</sup>): 40.00

Caratteristiche iniziali :

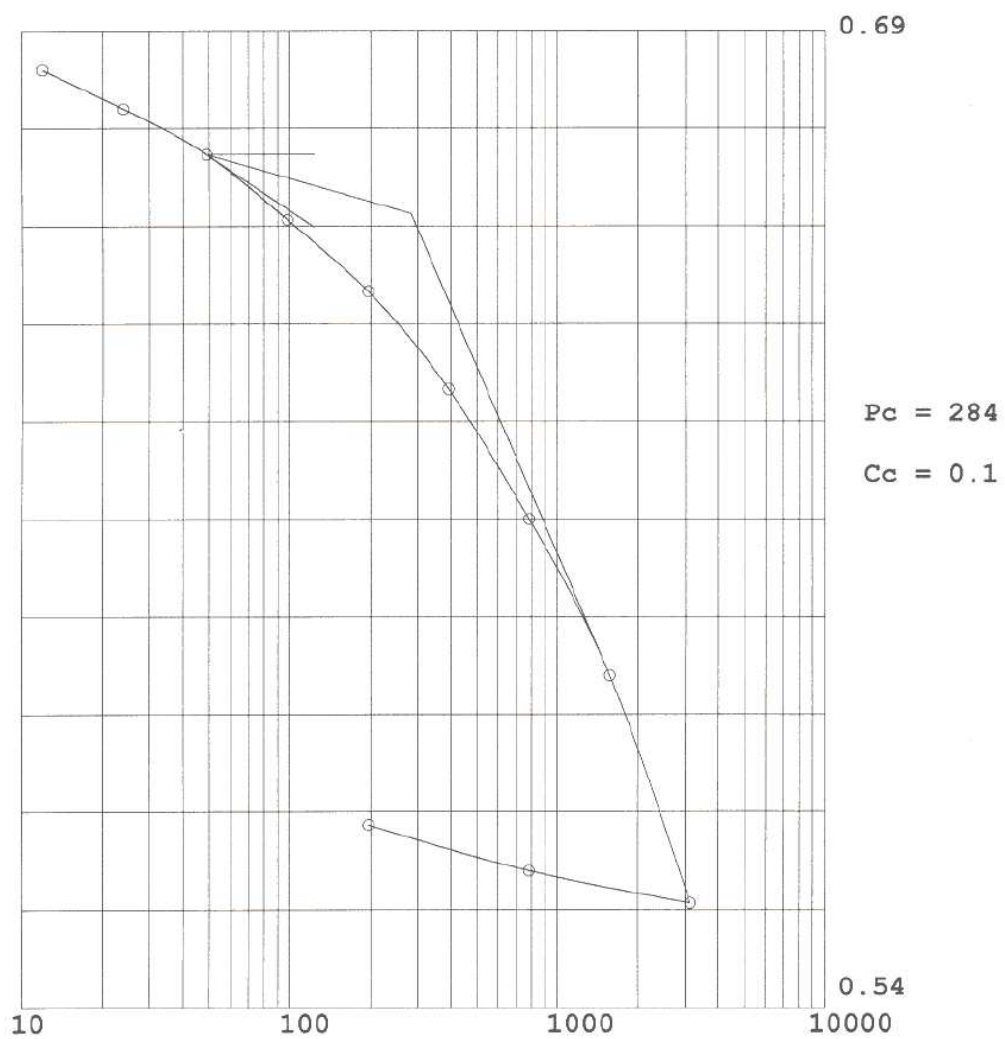
Peso di volume (kN/m<sup>3</sup>) : 19.86  
Contenuto in acqua (%) : 26.48  
Peso specifico (kN/m<sup>3</sup>) : 26.48  
Indice dei vuoti : 0.686  
Grado di saturazione (%): 104

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità :

Pressione (kPa)	Cedimento (cm)	e	E' (kPa)	H50 (cm)	T50 (min)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	k (cm/s)
12	0.004	0.684	10116	1.998	43	4.6E-03	4.4E-08
24	0.010	0.678	3368	1.992	343	5.7E-04	1.7E-08
49	0.019	0.671	5993	1.985	32	6.1E-03	9.9E-08
98	0.030	0.661	8188	1.975	214	9.0E-04	1.1E-08
196	0.043	0.650	14798	1.962	232	8.2E-04	5.4E-09
392	0.061	0.635	21560				
784	0.085	0.615	32046				
1569	0.113	0.591	52824	1.897	380	4.7E-04	8.7E-10
3138	0.155	0.556	71322	1.862	107	1.6E-03	2.2E-09
784		0.561					
196		0.568					



Grafico : pressione (kPa) - indice dei vuoti



Note : sabbia

## Resistenza al taglio diretto

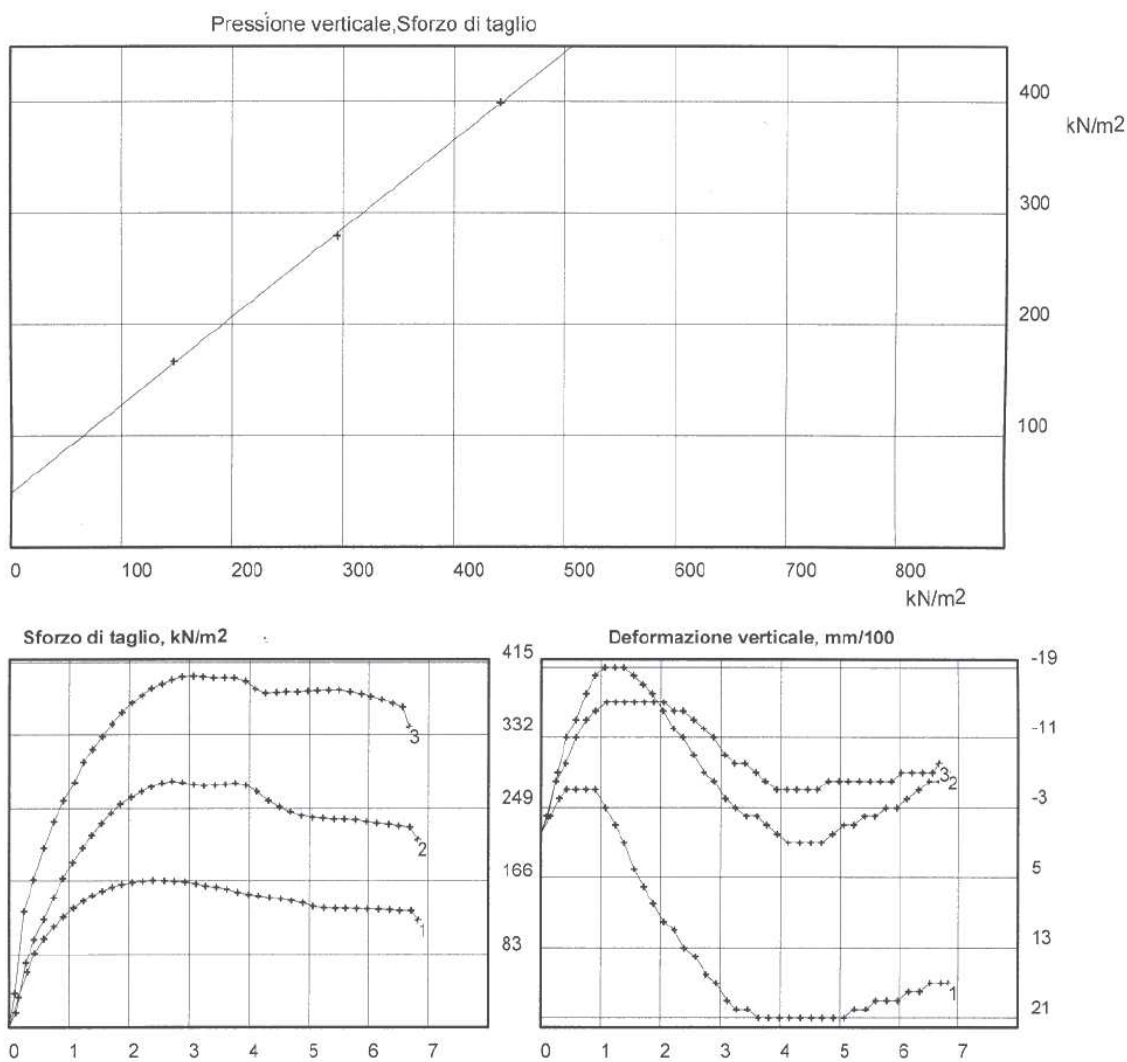
A.P.A.T. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO  
SERVIZIO GEOLOGICO SCIENZE DELLA TERRA E CARTE TEMATICHE

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su strada  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 89

RIFERIMENTO: 100

SONDAGGIO: S1  
CAMPIONE: c.i.n° 3 - sabbia  
PROF., m:22.00-22.60  
PAGINA N.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.



PRESSIONE VERT. kN/m²	SFORZO kN/m²	VALORI A ROTTURA AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	166.39	2.40	13.00
294.21	279.44	2.72	-7.00
441.31	398.89	3.06	-9.00

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

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

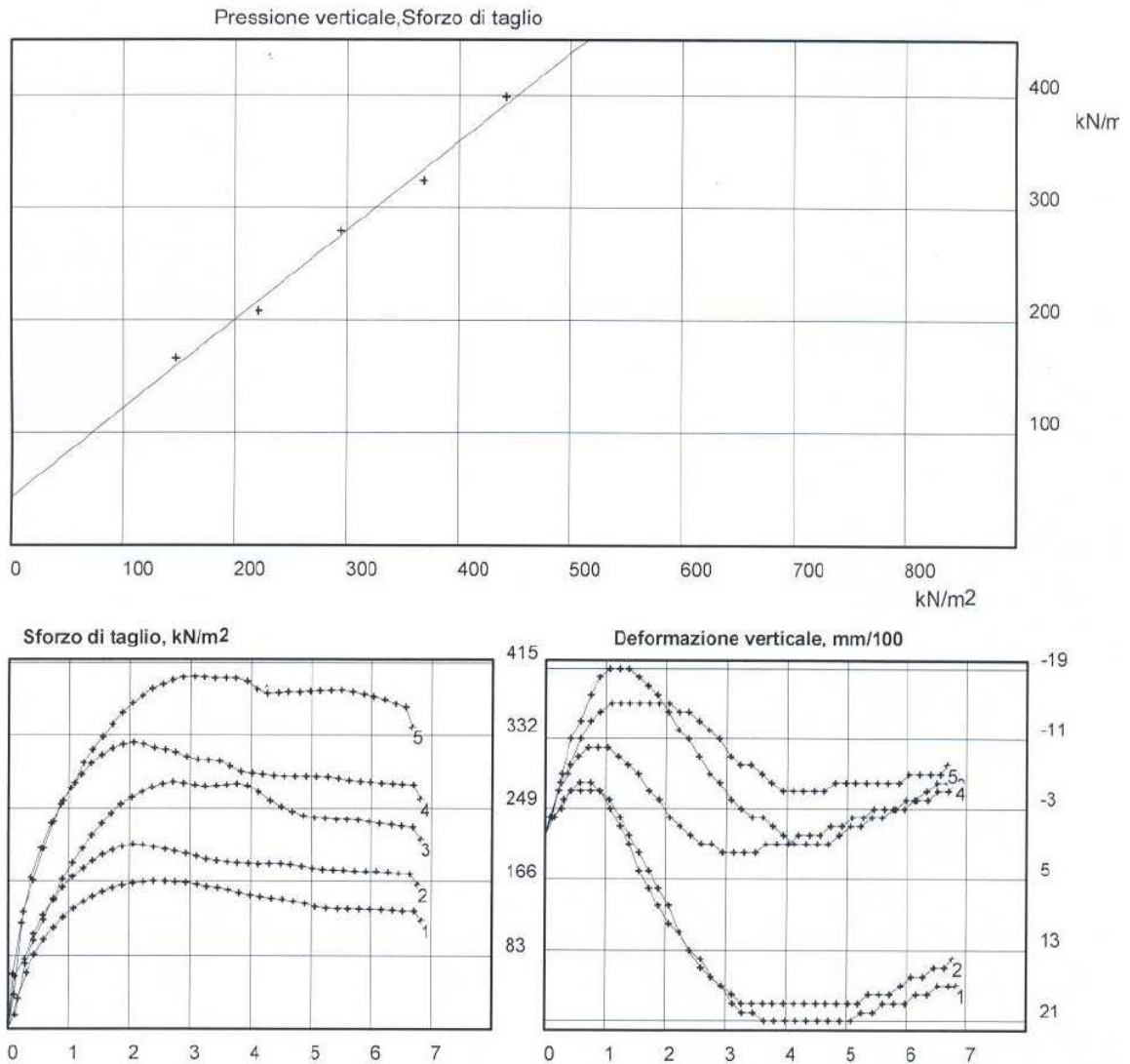
COESIONE= 49.08 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 38.32 gradi sess.

COMMITTENTE: SUO-GEA  
CANTIERE: su strada  
LOCALITA': Roma, V.le Tiziano  
CERTIFICATO: 89

RIFERIMENTO: 100

SONDAGGIO: S1  
CAMPIONE: c.i. n°3 - sabbia  
PROF., m: 22.00-22.60  
PAGINA N.

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.



PRESSIONE VERT. kN/m²	SFORZO kN/m²	VALORI A ROTTURA	
		AVANZ. mm	DEF. VERTICALE mm/100
147.10	166.39	2.40	13.00
220.66	208.33	2.05	8.00
294.21	279.44	2.72	-7.00
367.76	324.17	2.06	-2.00
441.31	398.89	3.06	-9.00

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

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

COESIONE= 43.11 kN/m²  
ANGOLO DI ATTRITO= 38.30 gradi sess.

### 3.4 Campioni prelevati da cassette di sondaggio (S1)

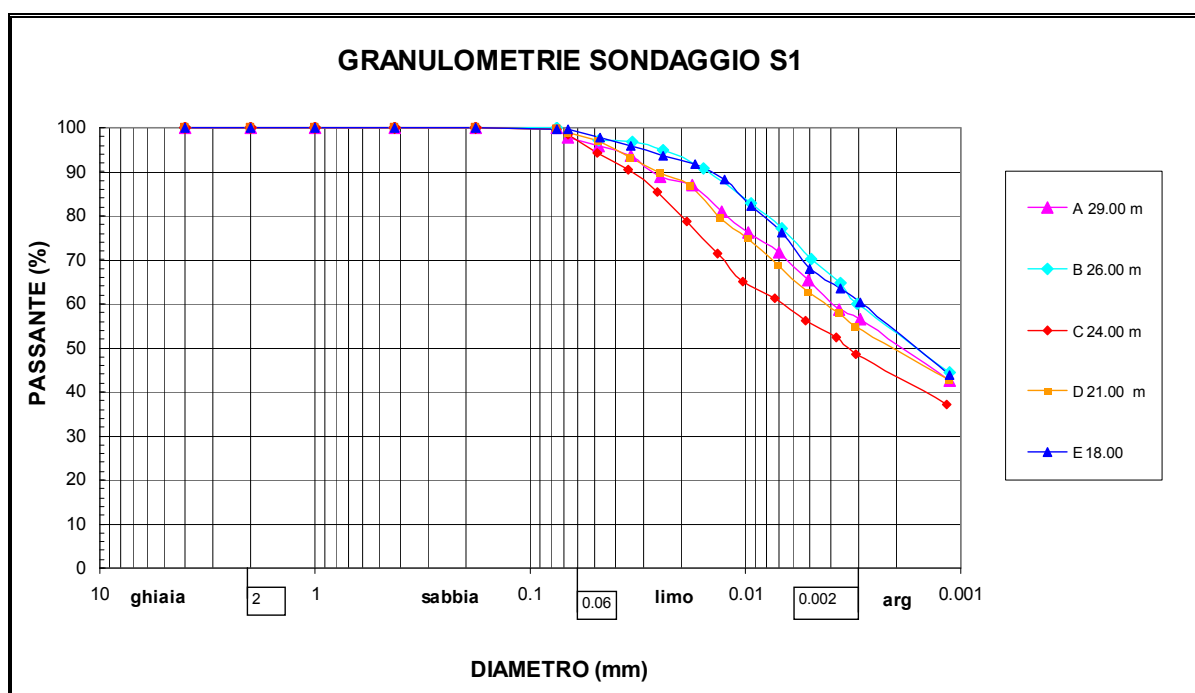
Dalle cassette del sondaggio S1 sono stati prelevati 5 campioni rimaneggiati, per i quali sono state effettuate prove granulometriche e calcolati i Limiti di Atterberg.

In tabella 2 sono mostrate le sigle e le rispettive profondità dei campioni.

Tabella 2

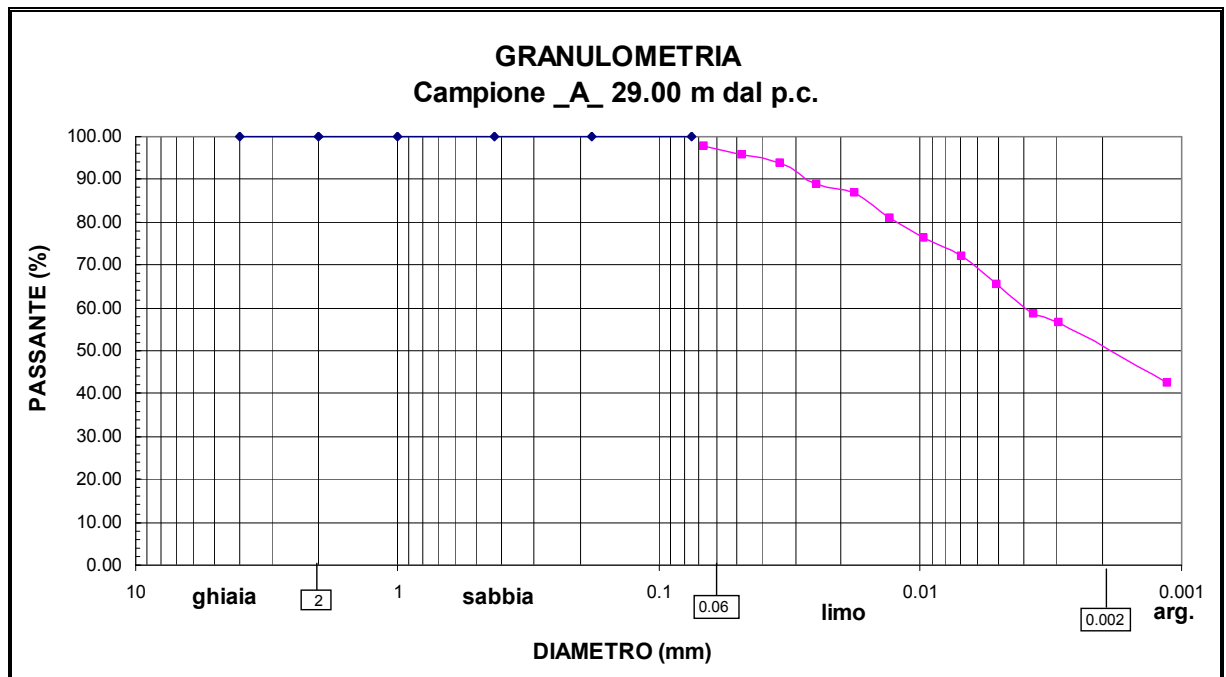
SIGLA CAMPIONE	PROFONDITA' in metri dal p.c.
A	29,00
B	26,00
C	24,00
D	21,00
E	18,00

Si riporta di seguito il quadro d'insieme delle granulometrie relative ai 5 campioni:



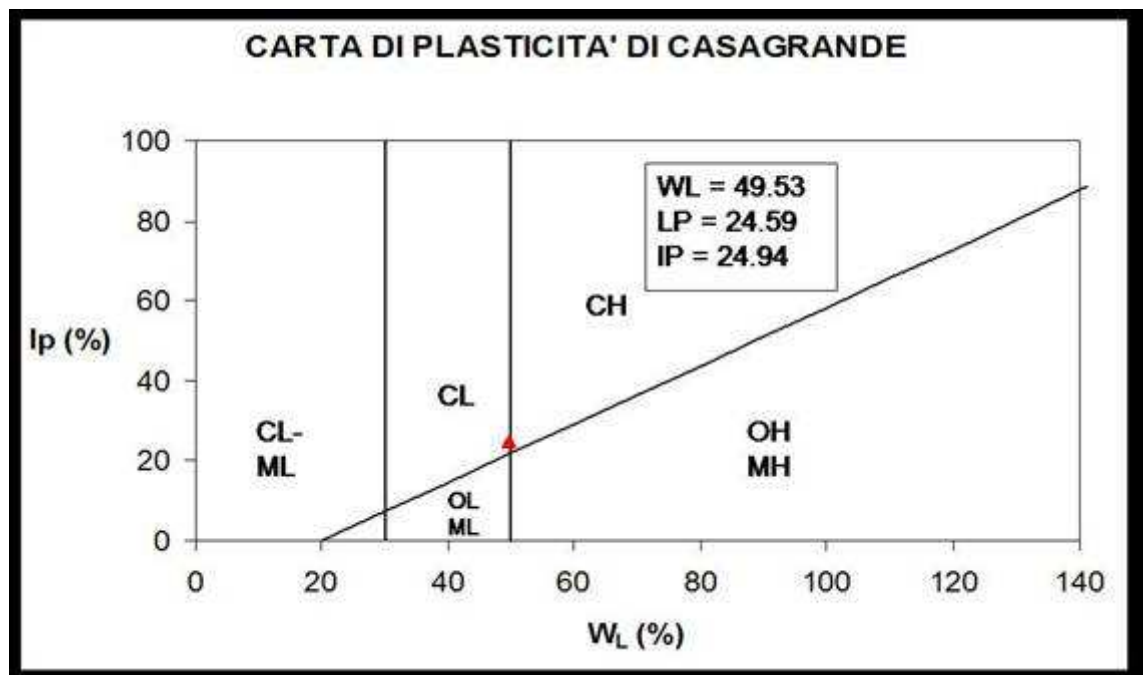
### 3.4.1 Campione A

#### Analisi granulometrica



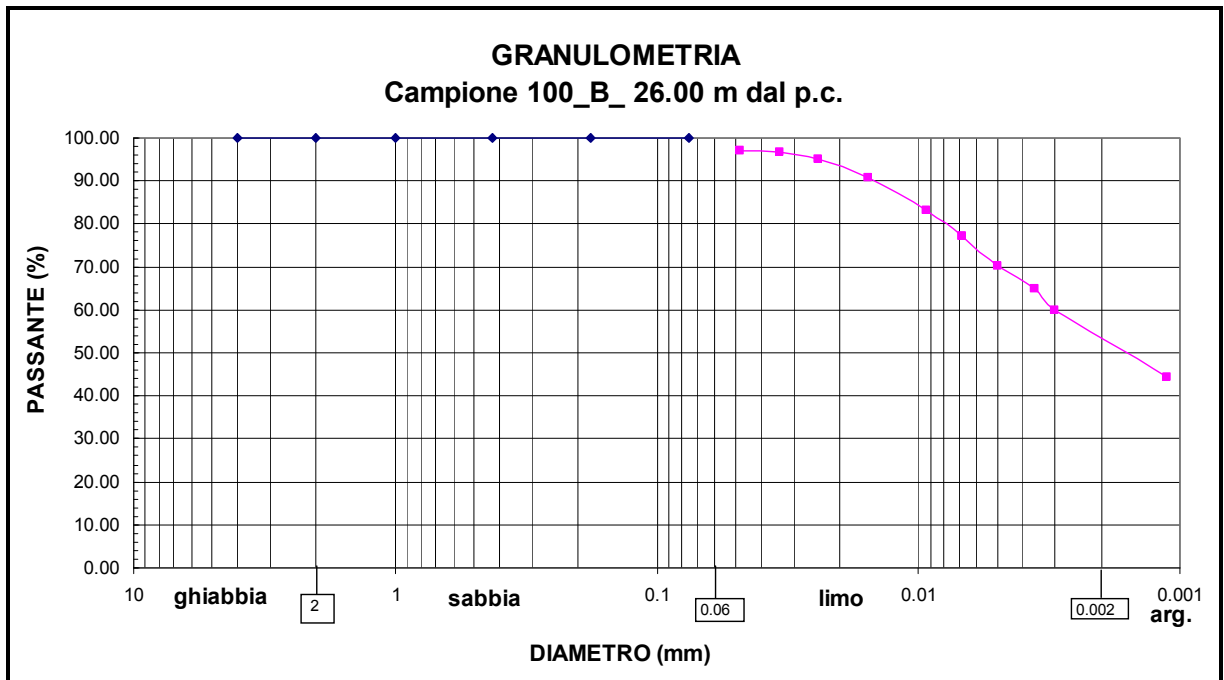
**Limo con Argilla**  
**Limo 46% Argilla 42%**

#### Limiti plastico e liquido di Atterberg



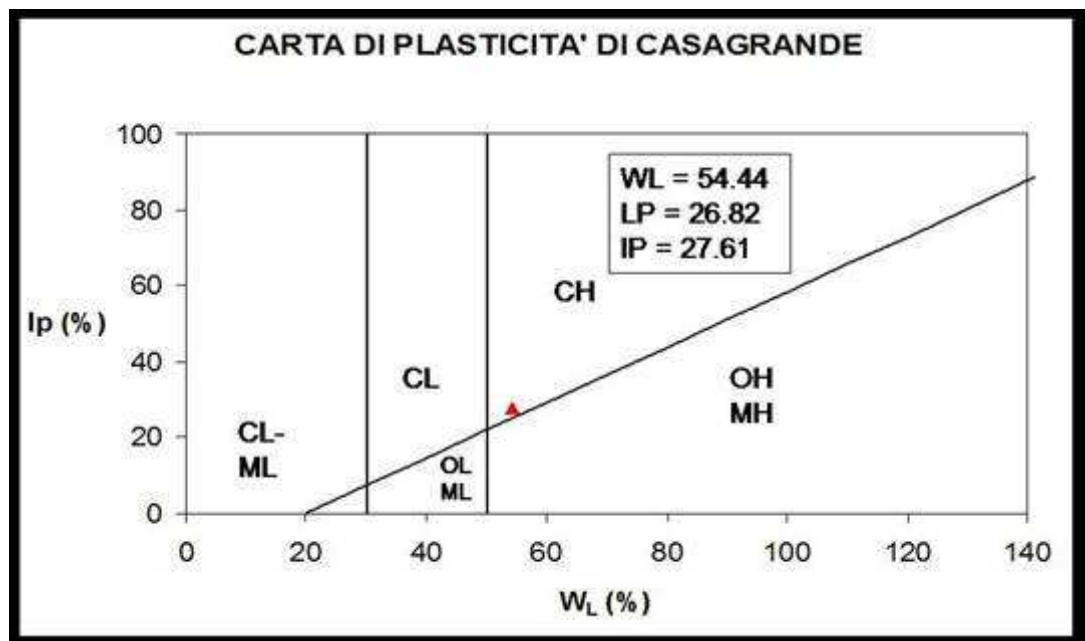
### 3.4.2 Campione B

#### Analisi granulometrica



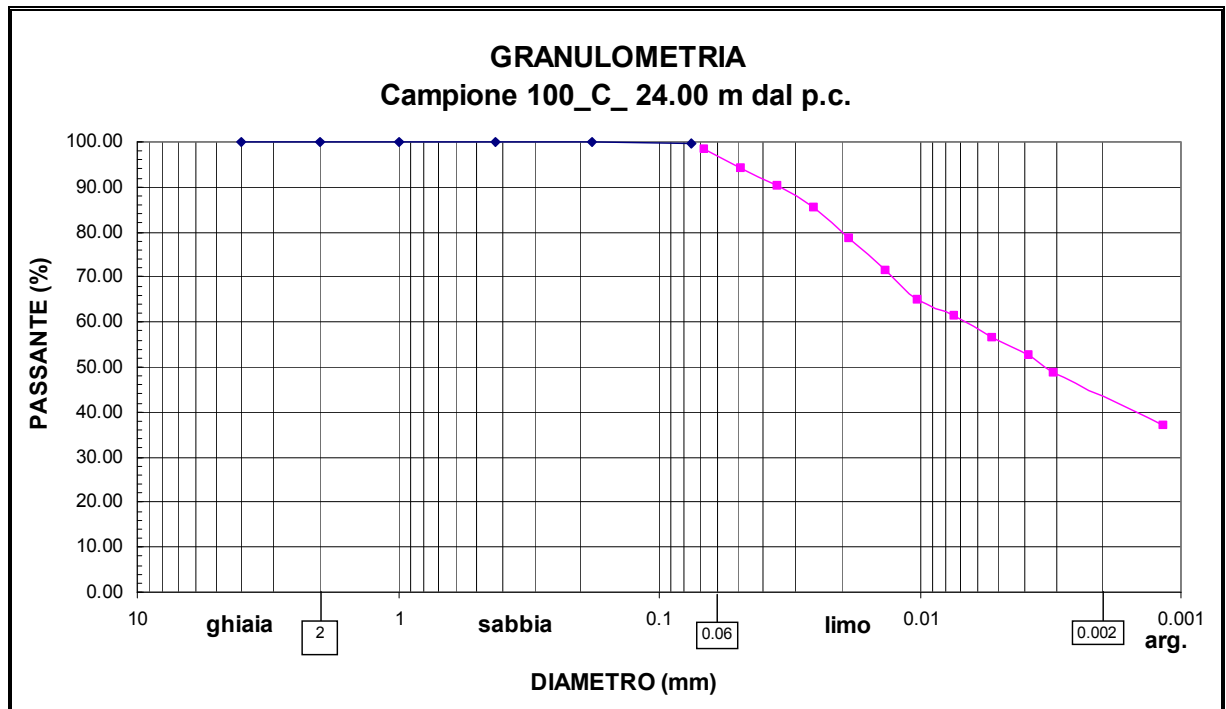
**Argilla con Limo debolmente sabbiosa**  
**Argilla 53% Limo 40% Sabbia 7%**

#### Limiti plastico e liquido di Atterberg



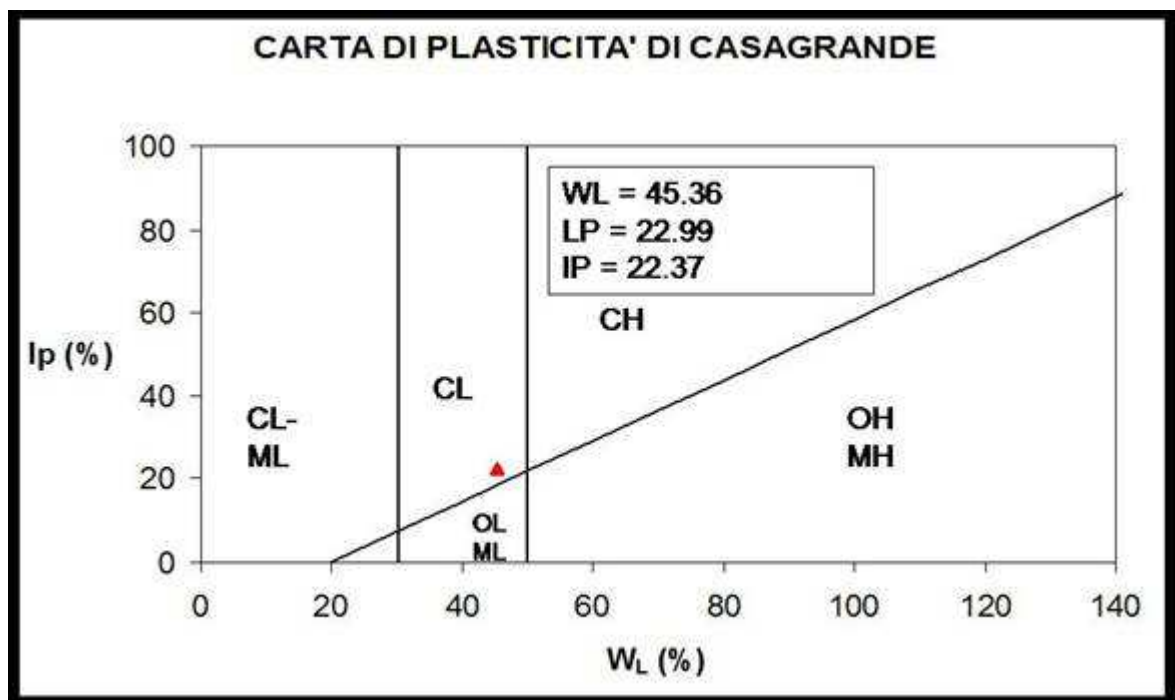
### 3.4.3 Campione C

#### Analisi granulometrica



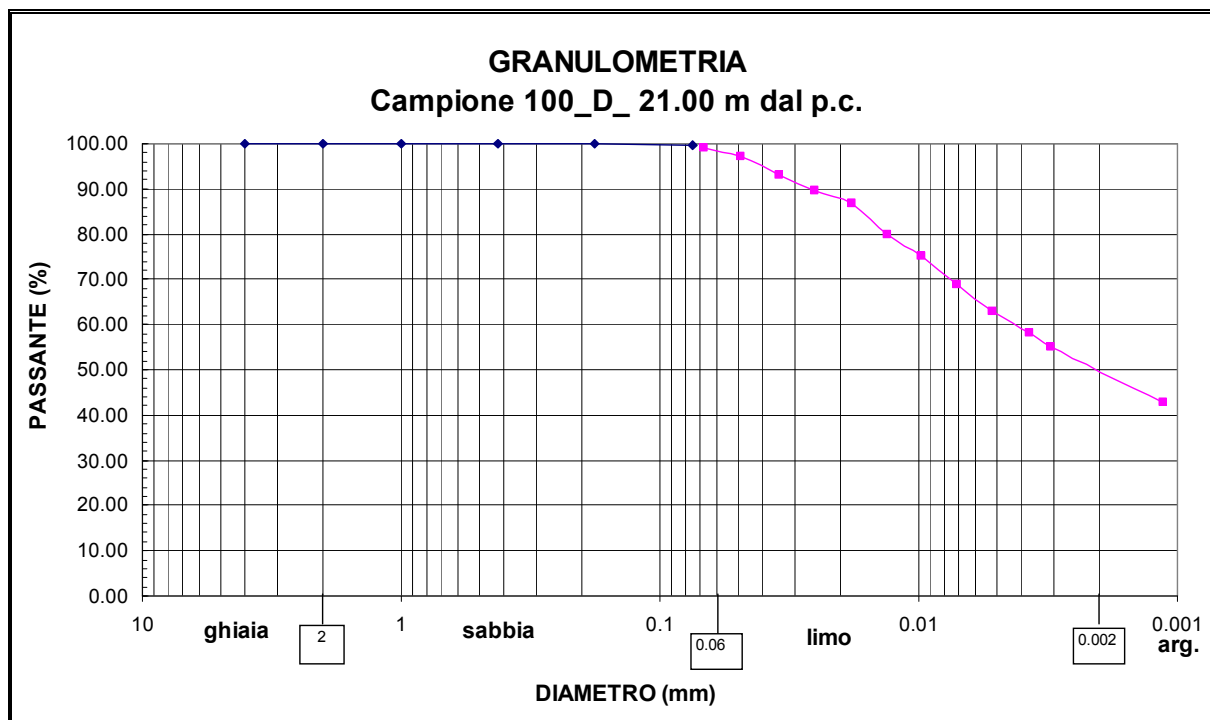
**Limo con Argilla**  
**Limo 53% Argilla 44%**

#### Limiti plastico e liquido di Atterberg

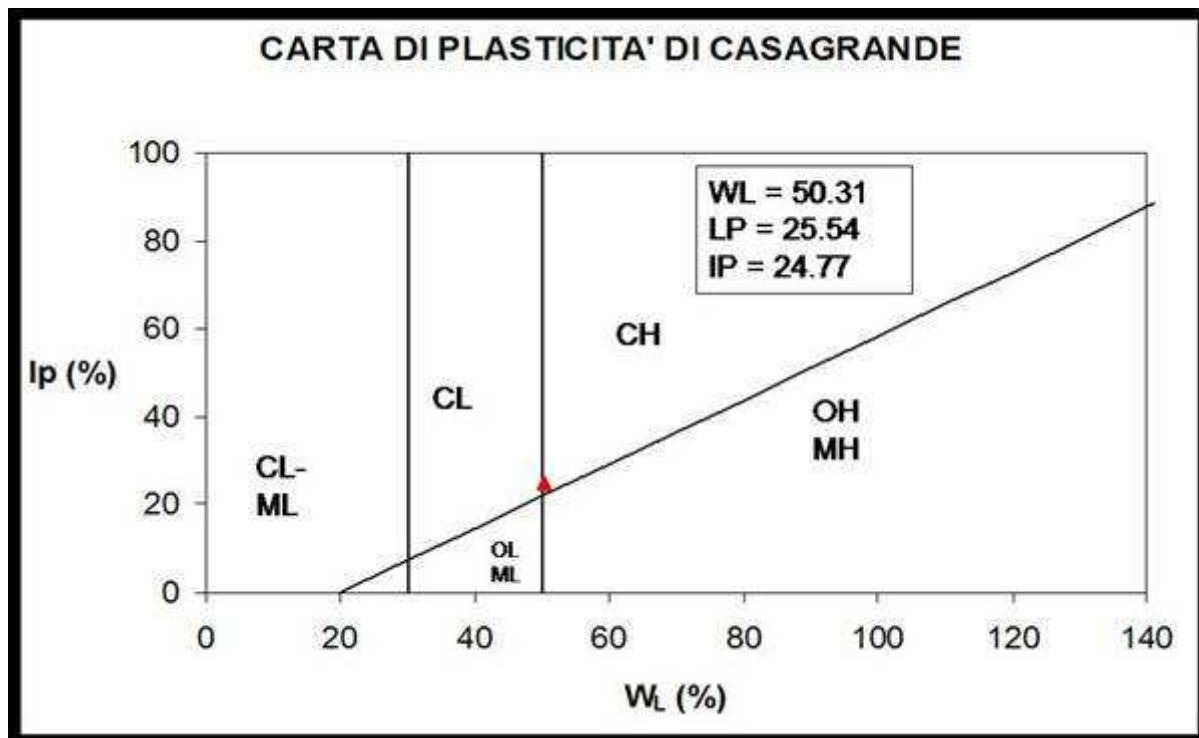


### 3.4.4 Campione D

#### Analisi granulometrica



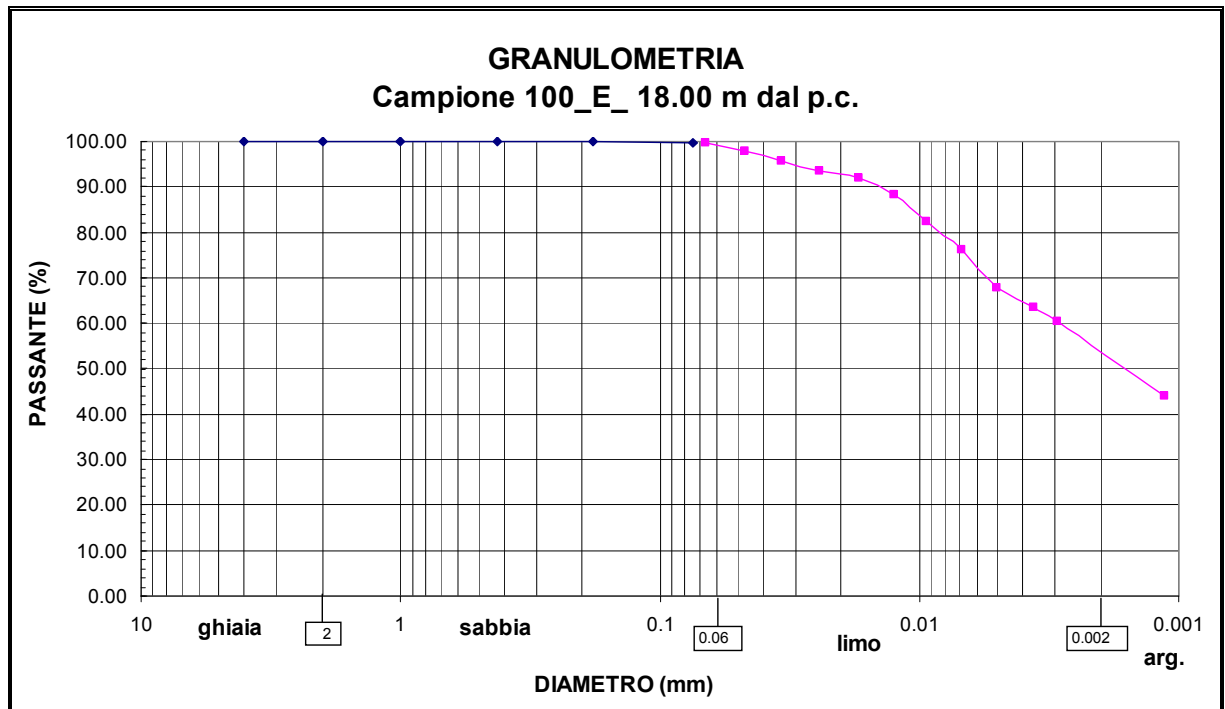
#### Limiti plastico e liquido di Atterberg





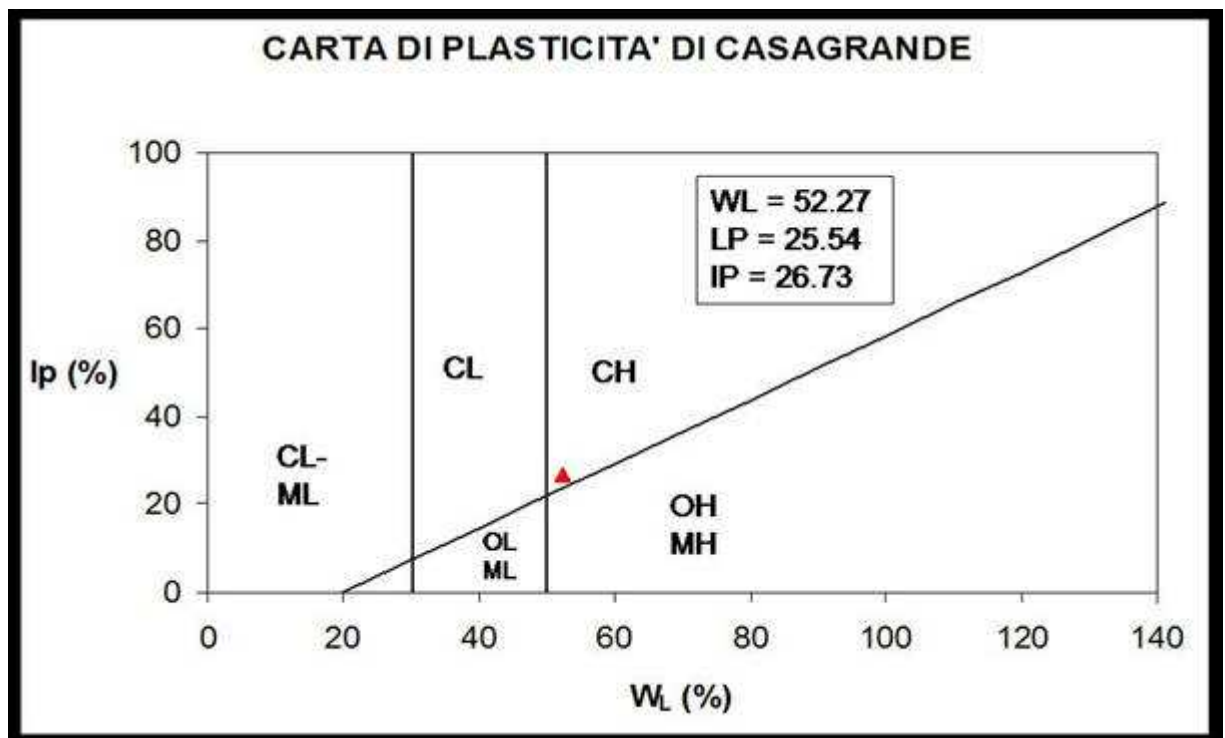
### 3.4.5 Campione E

#### Analisi granulometrica



**Argilla con Limo**  
**Argilla 52% Limo 46%**

#### Limiti plastico e liquido di Atterberg

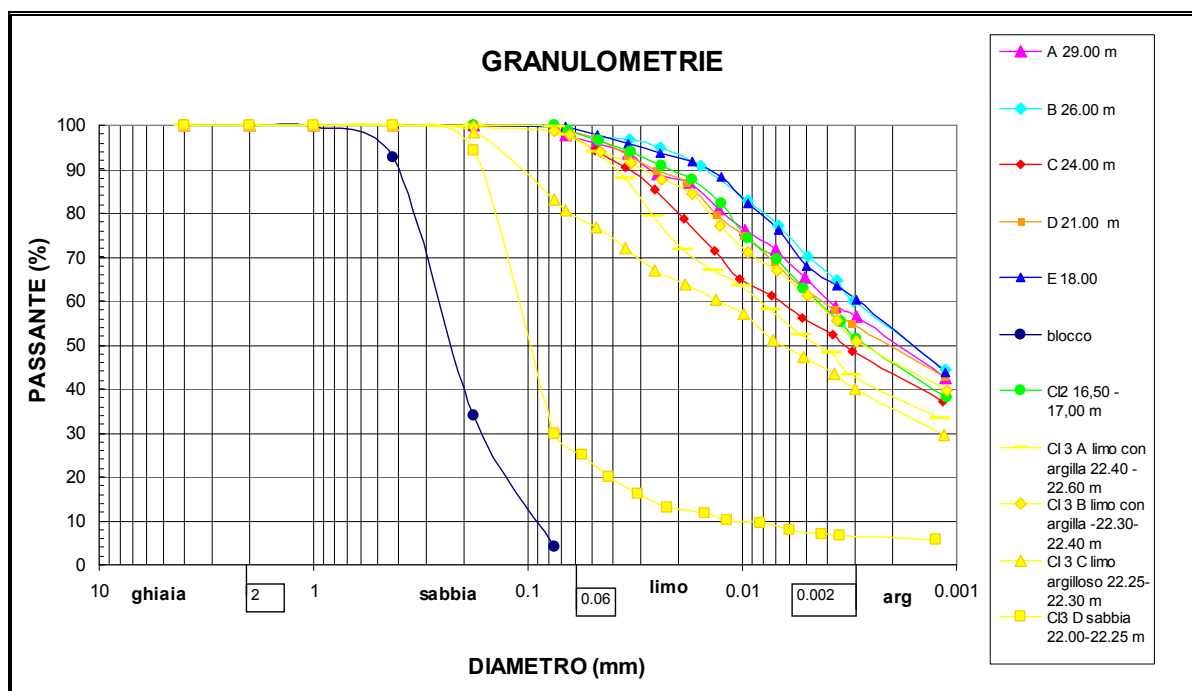


## CAPITOLO 4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

### 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 CI 3 D e Blocco presentano una granulometria sabbiosa, rispettivamente “sabbia limosa debolmente argillosa”, (74% S – 20% L – 6% A), e “sabbia s.s.”.
- I restanti campioni hanno granulometrie marcatamente limose-argillose con percentuali di argilla comprese tra : 39 e 42 %.
- CI 3 C presentando una percentuale in sabbia pari al 22% è classificabile come “limo con argilla sabbioso”.



### *Caratteristiche fisiche*

- Densità – peso di volume: I campioni analizzati hanno presentato valori di densità compresi tra  $14.64 \text{ kN/m}^3$  e  $20.62 \text{ kN/m}^3$ .

**Tabella – Peso di Volume**

<b>CAMPIONE</b>	<b>PESO DI VOLUME <math>\text{kN/m}^3</math></b>
<b>BLOCCO</b>	14.64
<b>CI 2</b>	19.76
<b>CI 3 A</b>	20.62
<b>CI 3 C</b>	19.45
<b>CI 3 D</b>	19.86

- Contenuto d'acqua: Per i campioni analizzati i valori di contenuto d'acqua misurati sono variati dal 12,68% al 24,30%

**Tabella - Limite Contenuto d'Acqua**

<b>CAMPIONE</b>	<b>CONTENUTO D'ACQUA %</b>
<b>BLOCCO</b>	12.68
<b>CI 2</b>	20.55
<b>CI 3 A</b>	21.77
<b>CI 3 C</b>	24.30
<b>CI 3 D</b>	21.68

- **Peso specifico:** Per i campioni analizzati il peso specifico misurato è variato dal 26.31 kN/m<sup>3</sup> e 27.08 kN/m<sup>3</sup>.

In particolare per i campioni in fustella e per il blocco i valori sono i seguenti:

**Tabella – Peso Specifico I**

<b>CAMPIONE</b>	<b>PESO SPECIFICO kN/m<sup>3</sup></b>
<b>BLOCCO</b>	26.31
<b>CI 2</b>	26.87
<b>CI 3 A</b>	26.92
<b>CI 3 C</b>	26.87
<b>CI 3 D</b>	26.48

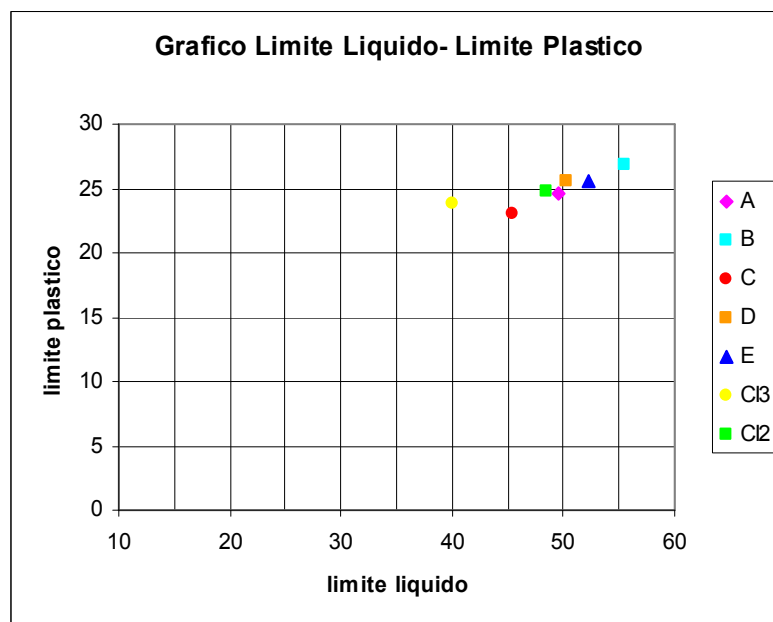
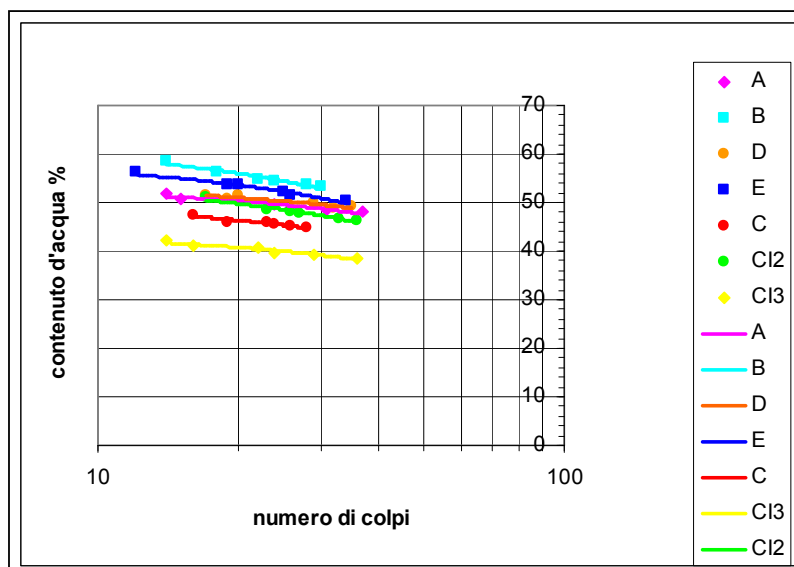
Per i campioni prelevati da cassetta invece:

**Tabella – Peso Specifico II**

<b>CAMPIONE</b>	<b>PESO SPECIFICO kN/m<sup>3</sup></b>
<b>A</b>	27.01
<b>B</b>	26.91
<b>C</b>	26.70
<b>D</b>	27.08
<b>E</b>	27.05

## Limiti liquido e plastico di Atterberg

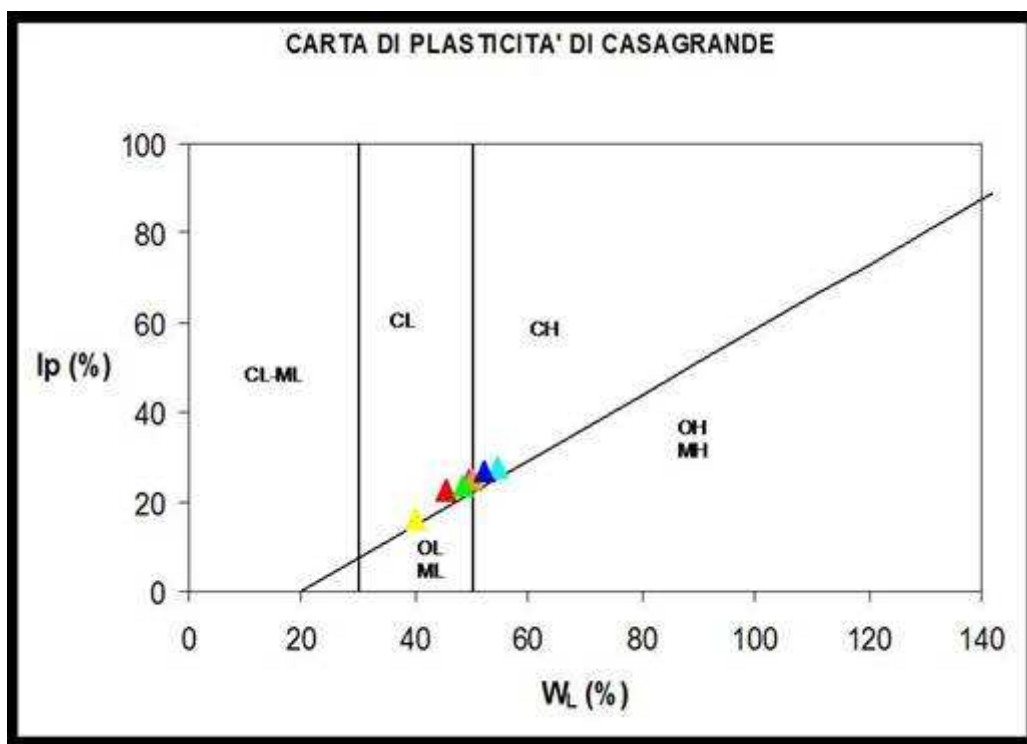
- I campioni sottoposti alle prove hanno presentato i seguenti risultati:



**Tabella - Limite Liquido – Limite Plastico**

CAMPIONE	LL	LP
A	49.53	24.94
B	55.44	27.61
C	45.36	22.37
D	50.31	25.54
E	52.27	25.54
CI 3 A	39.97	23.88
CI 2	48.57	24.84

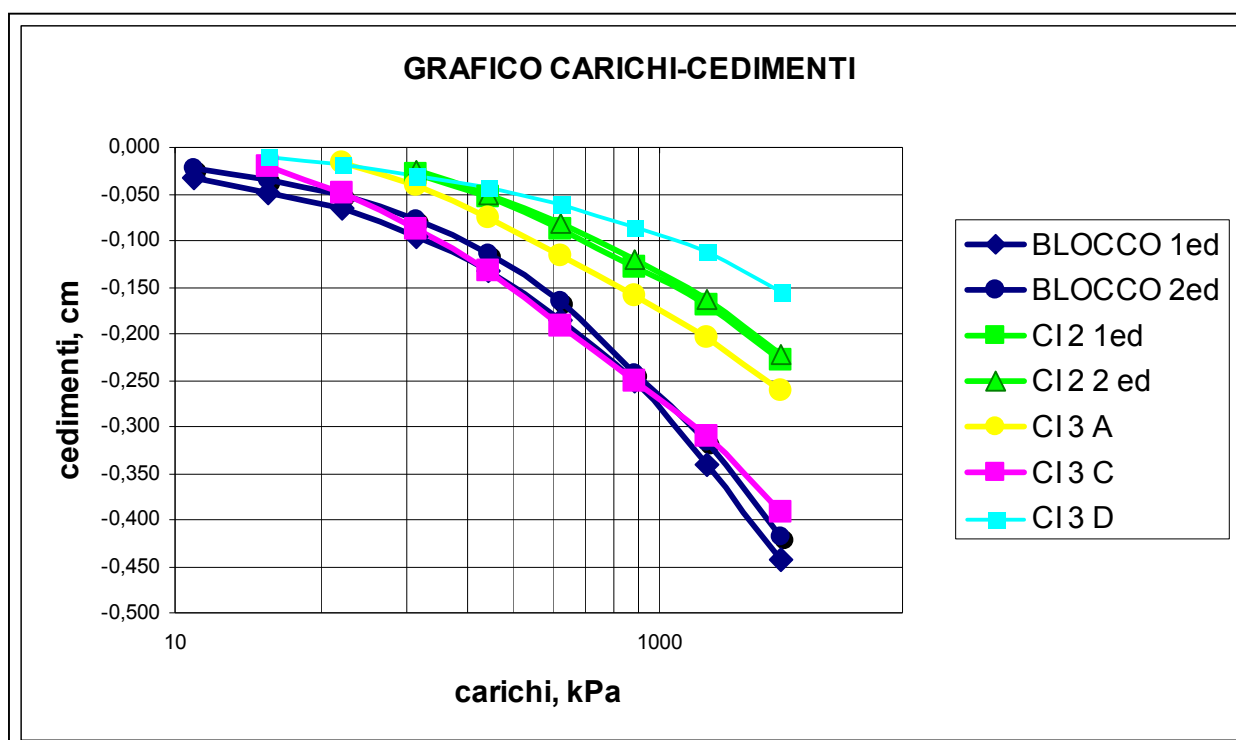
- I valori degli indici di plasticità dei campioni A, B, C, D, E, CI\_3\_A E CI\_2 sono stati rispettivamente: 24.94, 27.61, 22.37, 24.77, 26.73, 16.09 e 23.72.



Riportando tali valori ed i limiti liquidi su una carta di Casagrande, si è riscontrato che tutti i campioni si trovano al di sopra della linea che separa i termini argillosi inorganici (CL-CH) dai limi inorganici (ML-MH) e dalle argille organiche (OH), a cavallo tra il campo delle argille inorganiche di bassa plasticità (CL) e quelle inorganiche ad alta Plasticità (CH) .

### Prove edometriche

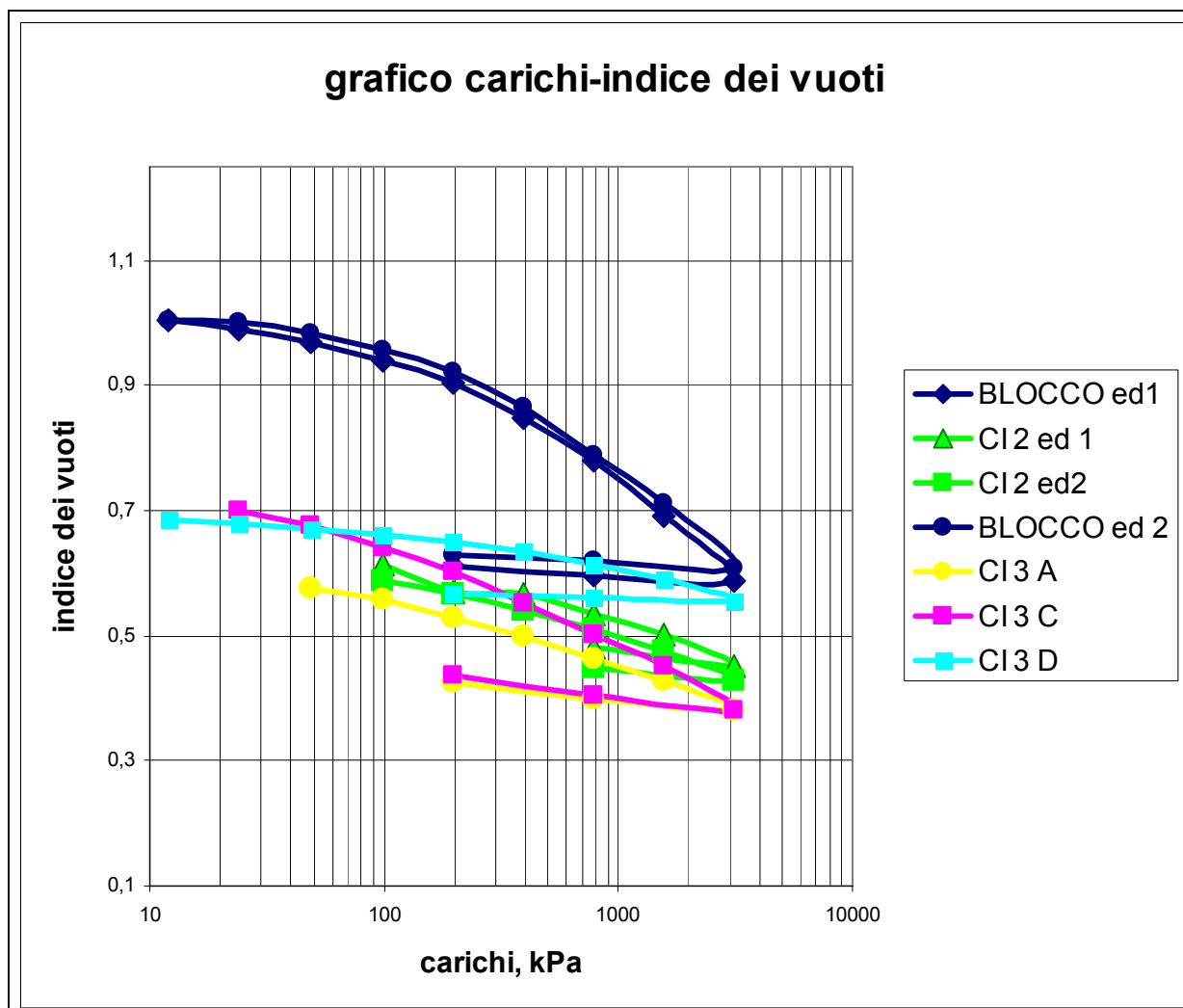
Il grafico “carichi – cedimenti” e la “Tabella delta H” evidenziano come i campioni granulometricamente più sabbiosi, mostrino nella della prova standard ed a parità di carico verticale, una più rapida compressibilità, rispetto ai campioni granulometricamente più limosi e/o argillosi;



**Tabella Delta H**

Campione	Delta H, cm	Litologia
CI2_1	0,180	Limo con argilla
CI2_2	0,177	Limo con argilla
CI3_A	0,220	Limo con Argilla
CI3_C	0,339	Limo con Argilla
CI3_D	0,136	Sabbia limosa debolmente argillosa
BLOCCO1	0,320	Sabbia
BLOCCO2	0,164	Sabbia

Anche il grafico “*carichi – indice dei vuoti*” evidenzia un’ apprezzabile differenza tra i campioni riconducibili a litologie più sabbiose rispetto ai campioni più limosi e/o argillosi; Le diverse reazioni alla compressione, sia nello schiacciamento sia nel rigonfiamento, sono dovute ad un comportamento più plastico dei termini argillosi rispetto al limo.





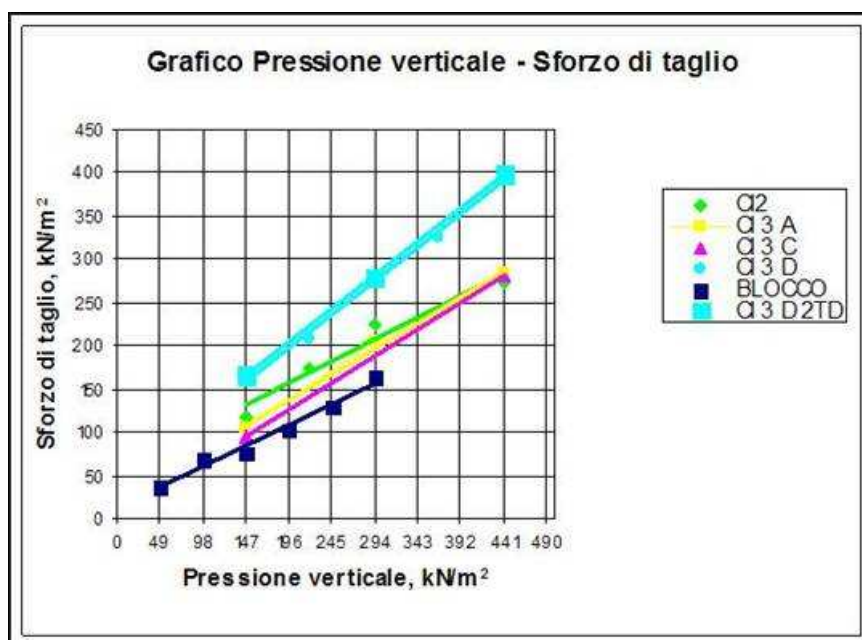
### *Prove di taglio diretto*

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva relativa ad i valori di  $c$  e  $\phi$  ottenuti dalle prove di taglio diretto:

**Tabella – Valori di  $c$  e  $\phi$**

Campione	$c$ (kPa)	$\phi$ (°)
BLOCCO	11,65	26,15
CI2	51,3	27,65
CI3_A	18,61	31,26
CI3_C	2,5	32,24
CI3_D	49,08	38,32
CI3_D_2TD	43,11	38,30

Il grafico pressione verticale – sforzo di taglio evidenzia come i campioni litologicamete assimilabili a dei limi argillosi, assumono un comportamento simile e confrontabile con angoli d'attrito compresi tra 26.15 e 32.24 e coesioni comprese tra 2.5 e 51.3



I due campioni con percentuali di sabbia superiori al 50% presentano angoli di attrito e coesioni confrontabili, ma rispondono in maniera differente alle sollecitazioni verticali

imposte. A parità di carico verticale ( $147 \text{ kN/m}^2$  e  $294 \text{ kN/m}^2$ ) gli sforzi di taglio per il campione profondo (CI3 D) assumono valori di circa  $166,39 \text{ kN/m}$  e  $279,44 \text{ kN/m}$  mentre per il campione superficiale (BLOCCO) i valore sono di  $75,56 \text{ kN/m}$  e  $163,33 \text{ kN/m}$ .

La differenza di sforzo di taglio per il carico di  $147 \text{ kN/m}^2$  è di circa  $90,83 \text{ kN/m}^2$ , mentre per il carico di  $294 \text{ kN/m}^2$  risulta essere  $116,11 \text{ kN/m}^2$ .

Tali comportamenti possono essere messi in relazione con i valori degli indici dei vuoti iniziali, che per il campione profondo è pari a  $0,0717$  (meno spazio tra le particelle ==> più forza di attrito) mentre per il campione superficiale è di  $1,038$ .

In generale le prove di taglio diretto mostrano angoli di attrito interno compresi tra i  $26^\circ$  ed i  $38^\circ$  e valori di coesione tra i  $2$  ed i  $52 \text{ kPa}$

## 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.)

Amanti M., Cesi C., Vitale V. (2008). *Le Frane nel Territorio di Roma in: La Geologia di Roma – il centro Storico alla periferia*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. Vol.80; Servizio Geologico Nazionale.

Amanti M., Gisotti G. & Pecci M. (1995). *I dissesti a Roma in: La Geologia di Roma – il centro Storico*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. Vol.50; Servizio Geologico Nazionale.

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- $\mu$ 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

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

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

Colosimo P., 1974, *Il dissesto di Viale Tiziano in Roma: Studio di geologia ambientale applicato alla tecnologia dell'Architettura*, Geologia Tecnica, 3/1974

Funiciello *et alii* (in stampa) – Foglio 374 – Roma, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Progetto CARG.

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

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

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