



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**ANALISI DI MECCANICA DELLE TERRE E DELLE
ROCCE SU TERRENI E CAMPIONI LITOIDI
PROVENIENTI DALL'AREA DI VIALE TIZIANO
(ROMA), INTERESSATA DALL'EVENTO FRANOSO
DEL NOVEMBRE 2007**

Tutor

Dott. Paolo Censi Neri

Stagista

Monica Zanini

Co- Tutor

Dott. Andrea Morri

Data	Firma Stagista	Firma Tutor	Firma responsabile Servizio

A mia nonna..

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare le due persone che mi hanno permesso lo svolgimento di questo stage, il Dott. Paolo Censi Neri e il Dott. Andrea Morri, per i loro insegnamenti, il loro aiuto e la loro disponibilità.

Un grazie particolare desidero rivolgerlo a Serafina, per avermi insegnato ad affrontare le sfide della vita.

Indice

RINGRAZIAMENTI	3
ABSTRACT.....	5
PREFAZIONE.....	6
1 INTRODUZIONE.....	7
1.1 LA FRANA DI VIALE TIZIANO.....	7
2 CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO.....	13
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI VIALE TIZIANO.....	13
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ROMANA.....	15
2.2.1 <i>Evoluzione tettonica dell'area romana</i>	16
2.2.2 <i>Evoluzione del margine tirrenico laziale</i>	16
2.3 EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA DELL'AREA ROMANA.....	18
2.3.1 <i>Ambiente marino Plio-Pleistocenico: ingressione marina</i>	18
2.3.2 <i>Verso ambienti continentali: regressione marina</i>	19
2.3.3 <i>L'attività vulcanica</i>	20
2.3.4 <i>Il modellamento dei reticoli fluviali</i>	24
2.3.5 <i>Le glaciazioni</i>	25
2.4 I TRAVERTINI DI ROMA.....	28
3 METODOLOGIE DI RICERCA.....	29
3.1 ANALISI GRANULOMETRICHE.....	29
3.2 DENSITÀ.....	32
3.3 PESO SPECIFICO.....	32
3.4 CONTENUTO D'ACQUA.....	34
3.5 CARATTERISTICHE FISICHE DERIVATE.....	34
3.6 LIMITI LIQUIDO E PLASTICO (DI ATTERBERG).....	36
3.7 EDOMETRIA E PERMEABILITÀ IN CELLA EDOMETRICA.....	38
3.8 PROVA DI TAGLIO DIRETTO.....	43
3.9 PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE DI CAMPIONI ROCCIOSI.....	46
3.10 PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA BRASILIANA.....	47
3.11 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE SU PROVINI DI ROCCIA.....	48
4 RISULTATI.....	49
4.1 SABBIE.....	49
4.2 SONDAGGIO BH 1.....	58
4.3 TRAVERTINI.....	65
5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI.....	79
5.1 SABBIE.....	79
5.2 SONDAGGIO BH 1.....	80
5.3 TRAVERTINI.....	81
6 CONCLUSIONI.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	84

ABSTRACT

“Analisi di meccanica delle terre e delle rocce su terreni e campioni litoidi provenienti dall’area di Viale Tiziano (RM), interessata dall’evento franoso del Novembre 2007.”

Questa tesi di stage espone i risultati relativi ad analisi di meccanica delle terre e delle rocce su campioni prelevati nelle aree interessate dall’evento franoso verificatosi in V.le Tiziano (RM) nel novembre 2007. Le sabbie ed i travertini analizzati appartengono alla Formazione di Valle Giulia (VGU), lo studio si è esteso ad un sondaggio effettuato sulla sottostante Formazione di Monte Vaticano (MVA), costituita dalle cosiddette “*argille azzurre auctt*”.

Le sabbie hanno evidenziato φ di 29° , c di 12 KPa e regolarità dei moduli edometrici; i travertini resistenza alla compressione assiale compresa tra 0.7 e 5 MPa, con modulo di Young secante compreso tra 0.2 e 2.6 GPa, resistenza alla trazione compresa tra 0.2 e 1.6 MPa, φ di 47° e c di 0.2 MPa da prova triassiale. Del sondaggio sono stati studiati limi argillosi o sabbiosi ed un’argilla limosa.

“Soil and rocks mechanics analysis on lithoid samples coming from the area of Viale Tiziano (Rome), involved in the landslide event of November 2007.”

This thesis expounds the results concerning the rock and soil mechanics analysis on samples collected in the areas involved in the landslide of November 2007, along Viale Tiziano (Rome). Sand and travertine analyzed are part of the so called “Valle Giulia Formation(VGU)”. Another study has been carried out in the lower part of the formation the “Monte Vaticano Formation(MVA)”, also called “*argille azzurre auctt*”.

Sand presents φ of 29° , c of 12 KPa and a regular edometric modulus; travertines show axial compression strength within 0.7 e 5 MPa, with a secant Young modulus within 0.2 e 2.6 GPa, traction strength within 0.2 e 1.6 MPa, φ of 47° and c of 0.2 MPa (triaxial). From MVA formation silt, clay and sandy samples also have been taken into consideration.

PREFAZIONE

La collaborazione scientifica della Dott.ssa Monica Zanini presso il Laboratorio di Meccanica delle Terre e delle Rocce – Dipartimento Difesa del Suolo – Geologia Applicata, si è incentrata sull'approfondimento degli studi su terreni e corpi rocciosi interessati dall'evento franoso verificatosi in Viale Tiziano il 13 Novembre 2007.

La tesi in oggetto si è sviluppata sui seguenti argomenti:

- ✓ Inquadramento geologico della zona in esame e delle aree prospicienti, con relativa indagine bibliografica.
- ✓ Studio delle metodologie di analisi, conoscenza della strumentazione e delle tecniche di esecuzione delle prove, uso dei programmi esistenti circa l'acquisizione dei dati, partecipazione attiva alle varie fasi lavorative, con acquisizione dell'apposita manualità.
- ✓ Elaborazione dei dati e discussione dei risultati al fine di produrre una sintesi ed effettuare un confronto con i risultati ottenuti dai precedenti studi.

La collaborazione della Dott.ssa Monica Zanini si è distinta per l'impegno profuso, unito ad entusiasmo e spirito di iniziativa, con apporto di conoscenze precedentemente acquisite in ambito podologico ed ambientalista.

Dott. Paolo Censi Neri

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro di Tesi è stato realizzato durante lo stage di formazione tenutosi presso l' I.S.P.R.A. (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), nell'ambito del dipartimento Difesa del Suolo, laboratorio meccanica delle terre e delle rocce.

Oggetto di questa tesi è stata la frana che ha interessato Viale Tiziano il 13 Novembre 2007 e l'analisi dei campioni di roccia e terra prelevati, al fine di stabilirne le caratteristiche fisiche e meccaniche.

I campioni consistono in un blocco di sabbia indisturbato prelevato a mano, cinque campioni rimaneggiati provenienti dal sondaggio BH1 effettuato nel 2008 a Viale Tiziano nell'area sottostante il versante franato, e un numero di blocchi travertinosi coinvolti nella frana. Dal sondaggio BH1, in particolare, sono stati analizzati due campioni indisturbati C1 (16,50 – 17 m) e C3 (22-22,90 m) e sei campioni prelevati dalle cassette di sondaggio con profondità che va dai 15 ai 29 m.

Sui campioni indisturbati sono state determinate le caratteristiche fisiche e meccaniche, su quelli delle cassette sono state effettuate prove granulometriche, caratterizzazione fisica e limiti di Atterberg.

1.1 LA FRANA DI VIALE TIZIANO

L'area di Viale Tiziano è stata da sempre soggetta a fenomeni franosi. Uno dei più grandi dissesti avvenuti fu quello che occorre nell'Aprile del 1972, interessando il versante ovest dei Monti Parioli. In questa occasione il fenomeno si esplicò in due episodi, il primo interessò circa 40 m³ di materiale, mentre il secondo coinvolse altri 10 m³ circa di materiale.

Alla fine degli anni '70 sono stati effettuati degli interventi di consolidamento del versante, attraverso la realizzazione di gradonature per ridurre l'acclività del pendio. Prima di questo episodio, altri crolli avevano già interessato l'area, negli anni '30 e '60.

Le cause di questi eventi, tra cui quello da noi considerato del 2007, sono da ricercarsi nella costituzione geologica del versante a cui si uniscono l'azione degli agenti morfologici e il lavoro delle radici della fitta vegetazione sovrastante.

A questi, andrebbero aggiunti gli interventi antropici sul tessuto urbano (quali sbancamenti al piede del versante che ne rettificarono il profilo originario, accentuandone l'acclività nella parte inferiore) e la presenza di numerose grotte lungo tutto il versante (Amanti, *et alii*, 2008).

Come diremo più in là, il versante NW dei Monti Parioli è caratterizzato dall'alternanza di quattro grandi formazioni; in particolare, la *Formazione di Valle Giulia* sembra essere quella maggiormente coinvolta nella genesi di questi fenomeni franosi. E' costituita da sabbie giallastre con elementi quarzosi e formazioni travertinose, mentre verso il basso è costituita da argille grigie, sabbia grossolana ed elementi vulcanici. Tali materiali, tipici di un ambiente di sedimentazione fluvio-palustre, costituiscono tutto il versante occidentale del monte creando pareti subverticali di circa 20 metri.

Le pareti mostrano forme di erosione selettiva e di distacco di blocchi di dimensioni fino a 1 m³. Il grado di cementazione dei materiali è variabile da un settore all'altro, creando differenti gradi di erodibilità; gli elementi più litoidi risultano essere le facies travertinose.

Di particolare rilevanza sono le cavità presenti nel settore meridionale del versante, lungo Viale Tiziano, poiché costituiscono un importante fattore di debolezza, interrompendone la continuità strutturale e creando delle fratture (Amanti, *et alii* 2008).

Ed è proprio in prossimità di uno di questi settori fratturati che nel Novembre del 2007 è avvenuto un nuovo collasso: tale crollo, infatti, è avvenuto in corrispondenza di due cavità, interessando un fronte di circa 20 metri e alto 30. La cubatura del materiale franato è di circa **400 m³**.

Attualmente è stata realizzata una barriera a protezione dell'area di Viale Tiziano e sono in corso studi per individuare delle soluzioni progettuali per la messa in sicurezza dell'intero versante.

Una particolare attenzione va riposta negli interventi urbanistici che si sono susseguiti nell'area. La zona dei Parioli infatti, presenta una serie di vincoli naturali tra cui gli argini del Tevere, Villa Borghese o Villa Ada. Ciò nonostante la speculazione urbanistica ha sconvolto l'originale assetto del quartiere, sfruttando al massimo la limitata area disponibile. A partire dagli anni '50 infatti, tale quartiere diventò uno dei più densamente popolati e anche le poche aree verdi rimaste, tra cui Villa Balestra sovrastante Viale Tiziano, vennero sfruttate per far posto all'edilizia (Colosimo P., 1974), a sfavore della già precaria situazione dell'area.



Fig. 1 – Viale Tiziano visto dall'alto. In rosso l'area interessata dalla frana (Amanti et alii, 2008).



Fig. 2 – Particolare della frana subito dopo l'evento.

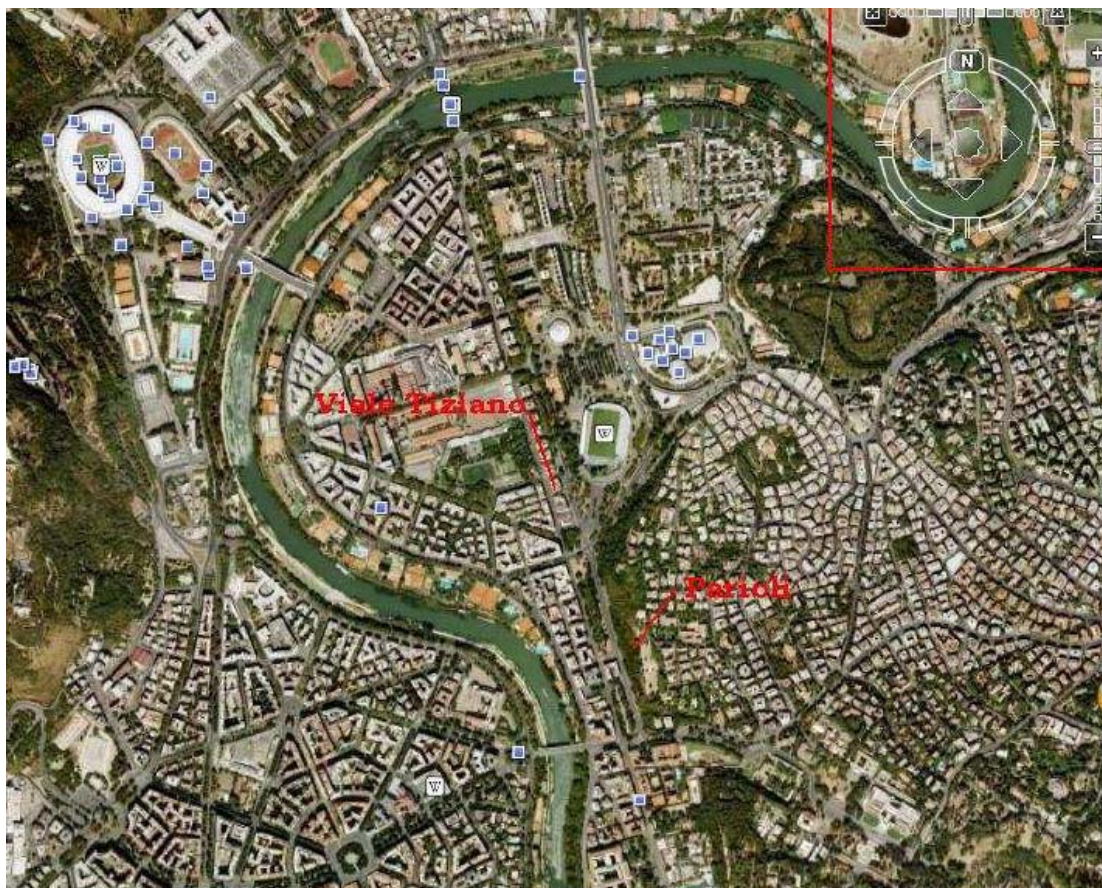


Fig. 3 – Viale Tiziano visto dall'alto, in un immagine presa dal satellite (Google earth).



Fig. 4 – In rosso sono indicati gli eventi franosi che hanno interessato Viale Tiziano (Amanti et alii, 2007. Modificata).



Fig. 5 – *Versante della frana sottostante Villa Balestra, dopo i lavori di disgaggio e sistemazione del versante.*



Fig. 6 – *Nicchia di distacco.*



Fig. 7 – *Particolare di un blocco.*



Fig. 8 – *Particolare dei depositi travertinosi.*




Fig. 9 – *Particolare delle ghiaie.*

2 CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI VIALE TIZIANO

Viale Tiziano è situato presso i Monti Parioli, nella parte centro-settentrionale della città di Roma, sulla riva sinistra del Tevere. Dal punto di vista geologico è caratterizzata da sabbie spesso cementate con presenza di strati travertinosi, che poggiano sulla Formazione argillo-sabbio-ghiaiosa del Siciliano medio-inf.

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di quattro formazioni, di seguito elencate dal basso verso l'alto e riportate sul Foglio di Roma N. 374 della nuova Carta Geologica Italiana (scala 1:50000):


 **MVA - Formazione di Monte Vaticano:** detta anche delle “Argille Azzurre”, è costituita in prevalenza da argille marnose grigio-azzurre sovraconsolidate, alternate a strati sottili di sabbie fini, grigio-giallastre, contenenti quarzo e miche. Il residuo è costituito da quarzo, calcite, muscovite e ossidi di ferro.

Le argille presentano una tipica frattura concoide, mentre le sabbie sono sciolte e poco consolidate.

L'analisi della microfauna presente rivela la presenza di ostracodi batiali che indicano un ambiente di tipo batiale superiore, con profondità tra 200-350 metri. L'analisi dei foraminiferi indica, invece, la presenza di *Globorotalia punctulata* (Pliocene inf.), *Globorotalia aemiliana* e *Globorotalia inflata* (Pliocene sup.).

Tale formazione affiora in riva destra del Tevere, lungo la struttura di Monte Mario- Gianicolo, per uno spessore di circa 110 m.

Pliocene superiore p.p.(Gelasiano p.p.) – Inferiore p.p. (Zancleano p.p.)

 **VGU – Formazione di Valle Giulia:** è costituita da ghiaie poligeniche, con ciottoli calcarei, di selce, di travertino, in abbondante matrice sabbiosa; è presente inoltre del materiale vulcanico costituito da ceneri, pirosseni, leucite e scorie grigio-giallastre; travertini e travertini terrosi in banchi, inglobanti lenti di sabbie e ghiaie vulcanoclastiche; sabbie e limi sabbiosi con concrezioni carbonatiche.

I banchi di travertino più grandi, terrosi e stratificati, si trovano sulla riva sinistra del Tevere (tra Villa Glori e Valle Giulia).

Sulla riva destra invece (zona Vigna Clara) i depositi si presentano stratificati con banchi di ghiaie alla base, un paleosuolo rossastro e livelli sabbioso-limosi biancastri al di sopra della formazione: tali livelli biancastri sono ricchi in fluorite e sono noti col nome di “*Formazione fluvio-palustre*”.

Pleistocene medio p.p.

✚ **SKF – Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano:** questa formazione affiora in quasi tutta l’area del Foglio, ben visibile nella parte settentrionale del G.R.A. e lungo le vie consolari che escono da Roma verso nord. Tale successione è costituita da un’alternanza di depositi piroclastici lapillosi e cineritici in strati contenenti scorie, intervallati da livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenetici e depositi limno-palustri. All’interno della successione sono presenti depositi di ricaduta che costituiscono degli orizzonti guida per l’identificazione di tale unità.

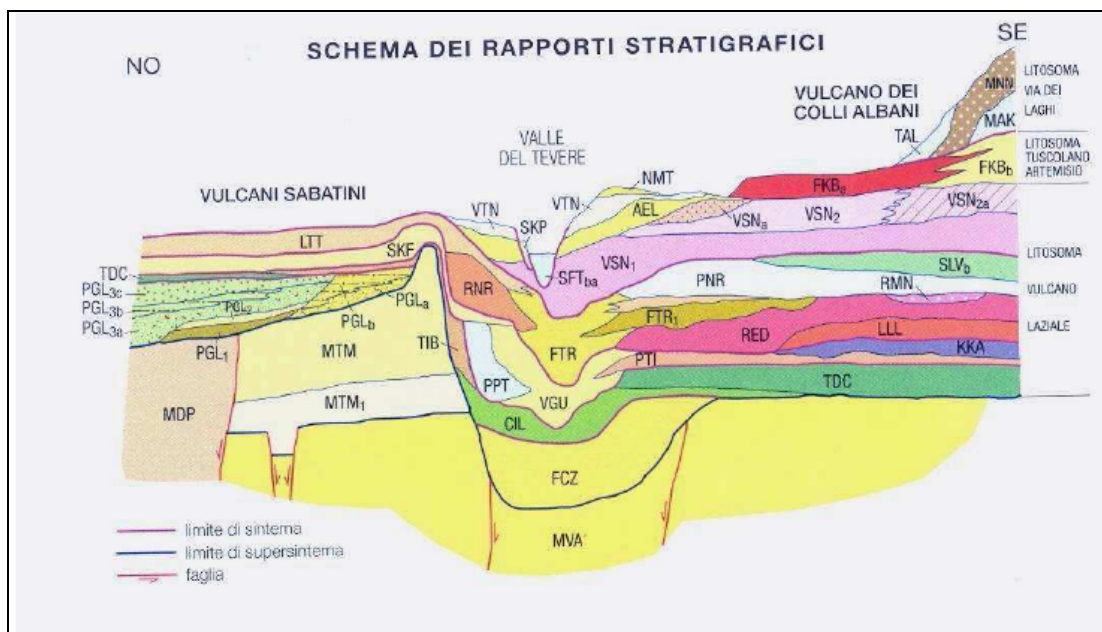
Tali prodotti appartengono alle eruzioni del Vulcano Sabatino e la presenza di paleosuoli altrenati a depositi rimaneggiati, di orizzonti ossidati, indicano che questa formazione si è deposta durante un lungo intervallo di tempo.

Pleistocene medio p.p.

✚ **LTT – Tufi Stratificati Varicolori di La Storta:** è una successione costituita da livelli pomicei e scoriacei alternati a livelli cineritici pedogenizzati. Alla base della successione sono presenti due livelli di pomici di ricaduta: il primo costituito da pomici giallastre con sanidino e pirosseno; il secondo costituito da pomici grigio-verdi, con pirosseno, leucite e sanidino.

Tale formazione rappresenta la messa in posto di unità di ricaduta da centri del Vulcano Sabatino.

Pleistocene medio p.p.



2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ROMANA

L'assetto attuale del territorio romano è il risultato di una complessa evoluzione geologica che si è sviluppata in seguito a intensi fenomeni avvenuti durante il Cenozoico, come si evince dal lavoro di Giordano e Funiciello (2008).

Durante tutto il Neogene (circa 23 Ma) il precesso geodinamico che interessa l'area italiana è quello della subduzione della litosfera africana al di sotto di quella europea.

Nel Miocene medio, in particolare, in Italia centrale si assiste alla costruzione della catena appenninica con lo sviluppo di una struttura a pieghe e sovrascorrimenti. Con la fine del Miocene, in particolare nell'area laziale, inizia lo smembramento della catena appenninica ad opera della tettonica estensionale, con la formazione del bacino di retroarco del Mar Tirreno. L'apertura di quest'ultimo è accompagnato da una costante attività vulcanica, di particolare importanza e intensità nell'area laziale.

Nel Pleistocene inferiore (circa 1 Ma) si ha un cambiamento nel regime geodinamico, che diviene controllato dalla cinematica della microplacca adriatica, indipendente da quella africana e in movimento verso NE rispetto all' Eurasia.

La tettonica estensionale del margine tirrenico ha dato vita ad una serie di bacini sedimentari , bordati da faglie normali ad andamento NW-SE, che nell'area del crinale appenninico sono responsabili dei principali eventi sismici avvenuti nella penisola italiana.

L'insieme di tutti questi processi ha dato luogo alla formazione del paesaggio romano sul quale si è poi innestata la civiltà romana (Mattei *et alii* 2008).

2.2.1 Evoluzione tettonica dell'area romana

La città di Roma è compresa tra i rilievi della struttura appenninica e quelli dei grandi edifici vulcanici quaternari, quello Sabatino a NW e dei Colli Albani a SE.

L'attuale assetto geologico di tutta l'area romana e dell'intera penisola deriva dai processi di convergenza e successiva subduzione della placca africana al di sotto di quella europea che ha portato alla formazione della catena appenninica e all'apertura del bacino tirrenico, durante il Miocene e il Pliocene. Il tutto accompagnato da un'intensa attività vulcanica che in molte zone persiste tutt'oggi.

L'assetto strutturale dei rilievi appenninici intorno a Roma è molto peculiare per via della coesistenza di strutture tettoniche con orientamento e deformazioni diversi, il cui limite è dato da un'importante fascia di deformazione, la *Linea Olevano-Antrdoco*, che segna il limite tra i rilievi sabini e prenestini (con prevalente sedimentazione carbonatica) e i rilievi lepini e simbruini (con sedimentazione in facies di piattaforma carbonatica e di margine).

Durante il Miocene lo sviluppo della tettonica estensionale ha portato ad un assottigliamento della crosta continentale e ad un'attività vulcanica intensa. Il risultato della disarticolazione della catena appenninica ad opera dei processi estensionali è lo sviluppo del bacino tirrenico diviso in due settori, settentrionale e meridionale, che seguono una differente evoluzione.

2.2.2 Evoluzione del margine tirrenico laziale

L'attività tettonica che ha accompagnato lo sviluppo del margine tirrenico laziale è legata alla presenza di faglie orientate NO-SE. In particolare, in corrispondenza dei Monti Cornicolani e di Bagni Albule, gli elementi meridionali trascorrenti destri generano un campo di fratturazione (NE-SO), che è sede di una circolazione di fluidi ricchi in carbonati, responsabili della desposizione delle vaste placche di travertino che affiorano in tutta l'area.

Dall'intersezione tra gli elementi tettonici trasversali e quelli appenninici, si formano la maggior parte dei centri vulcanici Pliocenici e Quaternari, in quanto tali elementi rappresentano la struttura preferenziale per la risalita del magma.

Durante il Pliocene e il Pleistocene il margine tirrenico laziale subisce una serie di modifiche:

- Nel Pleistocene inf., il margine tirrenico laziale e l'area della campagna romana sono oggetto di ripetute ingressioni e trasgressioni marine, che portano allo sviluppo della successione sedimentaria che rappresenta il più antico nucleo affiorante nella città di Roma:
 - nelle fasi di ingressione, il mare arriva a lambire i rilievi appenninici dei Monti Lucretili e Sabini, isolando i piccoli rilievi del Monte Soratte e Monti Cornicolani;
 - nel Pleistocene inf. invece, il mare si ritira e la campagna romana diventa dominata da un reticolo fluviale organizzato intorno al Paleotevere e si intravedono i rilievi di Monte Mario e del Gianicolo.
- Nel Pleistocene medio, il paesaggio della campagna romana viene modificato dall'intenso vulcanismo dei distretti vulcanici sabatino e albano: i prodotti esplosivi ricoprono gli antichi depositi sedimentari e causano un'ulteriore modifica nel reticolo fluviale e nel percorso del Paleotevere.
- Nel Pleistocene medio fino all'Attuale, l'evoluzione del paesaggio romano viene condizionata dalle variazioni relative del livello del mare: l'incisione profonda delle valli alluvionali e il loro riempimento definiscono l'andamento dell'attuale reticolo di drenaggio e determinano l'aspetto attuale del paesaggio romano.

Dunque l'evoluzione del margine tirrenico laziale rappresenta il risultato dell'interazione tra tettonica, vulcanismo ed eustatismo.

2.3 EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA DELL'AREA ROMANA

In linea generale possiamo riassumere tale evoluzione in due momenti.

Durante il Pliocene inf. si assiste alla messa in posto di cinque formazioni:

- *Formazione di Monte Vaticano*: la sedimentazione post-orogena nell'area romana ha inizio nel Pleistocene inf. con spessori variabili di facies argillose della formazione di Monte vaticano, che si sono deposte su un substrato calcareo-silico-marnoso.
- *Formazione di Monte Mario*: i suoi sedimenti ricoprono le argille della formazione precedente. Si tratta di sedimenti di ambiente infralitorale esterno.
- *Formazione di Monte delle Piche*: si tratta di facies argillose di mare aperto. Il passaggio definitivo ad ambiente continentale è segnato da una superficie di discontinuità stratigrafica, che comprende la formazione successiva.
- *Formazione di Ponte Galeria*: è il prodotto dell'evoluzione del delta del Paleotevere che aggirava a NO il Monte Soratte e raggiungeva il mare.
- *Formazione del Fosso della Crescenza*: il successivo innalzamento della dorsale di Monte Mario (direzione NO-SE), costrinse il Tevere a deviare il suo corso verso SSE, lungo una fascia costellata di aree lacustri/palustri.

Il Pleistocene medio-sup. è, invece, caratterizzato dall'intenso vulcanismo sabatino e albano: la messa in posto dei prodotti vulcanici sabatini nel settore orientale (caldera di Sacrofano), sbarrò il Tevere e lo costrinse ad incidere un nuovo corso che aggirava a est il Monte Soratte, per poi raggiungere la costa all'altezza dei Monti Lepini.

Il successivo vulcanismo albano provocò un nuovo sbarramento del Tevere che seguì una nuova strada molto simile all'attuale.

A questi eventi vanno aggiunte le ripetute oscillazioni eustatiche del livello del mare: le attuali successioni sedimentarie rappresentano gli alti stazionamenti del livello del mare, mentre le superfici di erosione corrispondono ai bassi stazionamenti.

2.3.1 Ambiente marino Plio-Pleistocenico: ingressione marina

L'evoluzione geologica della Campagna Romana inizia con l'ingressione marina Pliocenica, con la quale ampi settori dell'edificio orogenico sollevato entrano in subsidenza e vengono sommersi dalle acque del Tirreno, che arrivava a lambire gli attuali

Monti Lucretili e Tiburtini (l'antica linea di costa è stata ricostruita in base alle tracce, fori di litodomi, che oggi affiorano a circa 240m presso Palombara Sabina). Le isole che emergevano corrispondono oggi al Monte Soratte, Monti Cornicolani, Monti della Tolfa e Monte Circeo (Parotto, 2008).

Il substrato su cui avanzava il mare era molto articolato e dunque i depositi marini pliocenici hanno spessori diversi. Tali sedimenti non appartengono ad un unico ciclo.

- la parte inferiore è quella caratterizzata dalle cosiddette “Argille azzurre *Auctt.*”, che affiorano a Monte Mario e raggiungono gli spessori maggiori (110 m). Costituiscono la Formazione di Monte Vaticano.
- Sopra queste argille giace una successione di argille argille sabbiose, limi sabbiosi e sabbie grigie, ricche in malacofauna (tra cui l'ospite freddo *Arctica islandica*), che costituiscono la Formazione di Monte Mario.

Mentre le argille azzurre sono di ambiente batiale, la formazione successiva si è deposta in acque poco profonde; inoltre, mentre le argille azzurre sono del Pliocene inf.-sup., la formazione di Monte Mario è del pleistocene inf. Tutto ciò indica che tra la fine del Pliocene e il Pleistocene inf. si è verificato un sollevamento dell'area con conseguente erosione, seguita poi da una successiva trasgressione che ha inondato nuovamente tutta l'area, ma con profondità minori, a favorire l'impostarsi di una facies di transizione: tale sollevamento ha prodotto nella formazione di Monte Vaticano una serie di faglie riempite dai sedimenti della formazione di Monte Mario.

Verso ovest si trovano nuovamente facies di mare aperto, le argille della Formazione di Monti delle Picche.

2.3.2 Verso ambienti continentali: regressione marina

Alla precedente trasgressione marina corrisponde una regressione, dovuta al sollevamento del margine appenninico che provocò il ritiro del mare verso ovest. La nuova superficie esposta comincia ad essere modellata dall'attività fluviale (soprattutto dal Paleotevere e dai suoi affluenti), con conseguente accumulo di sedimenti alluvionali.

- l'insieme di tutti i depositi sedimentari (conglomerati, sabbie, limi), che forma un ampio delta, con passaggi da facies continentali (spiaggia-duna-retroduna-laguna costiera-fiumi) a infralitorali, costituisce la Formazione di Ponte Galeria.

Inoltre, la presenza dell'inversione di polarità *Matuyama-Bruhnes* nei livelli inferiori della formazione, permette di collocarla nel Pleistocene inf.-medio. L'inversione di polarità M-B è un evento geologico occorso quando il campo magnetico terrestre subì l'ultima inversione di polarità (passaggio da un'epoca a polarità inversa, Matuyama, a polarità normale-attuale, Bruhnes). Tale evento durò tra 1200 e 10000 anni circa. Tale fenomeno è utile per la datazione dei sedimenti oceanici.

2.3.3 L'attività vulcanica

- Formazione del Fosso della Crescenza: è costituita da depositi vulcanici, ad indicare l'inizio di un nuovo evento che ha notevolmente condizionato l'evoluzione del margine tirrenico laziale.

Circa 600000 anni fa si sviluppa un intenso vulcanismo esplosivo. Infatti, in seguito all'assottigliamento e alla subsidenza della crosta si ebbe la risalita di grandi quantità di magma che alimentarono il vulcanismo tosco-laziale-campano. Il vulcanismo laziale fa parte della Provincia vulcanica tosco-laziale che si estende dal Monte Amiata fino al Vesuvio. Questa regione è interessata da due sistemi di faglie, uno esteso in direzione NO-SE e l'altro in direzione NE-SO; a tali sistemi sono collegati i vari centri vulcanici di questa regione che sono, da N verso S: il Distretto vulcanico vulsino, il Distretto cimino-vicano, il Distretto sabatino (a cui è associato il distretto Tolfa-Ceriti-Manziana), e il Distretto dei Colli Albani (a cui è associato anche il vulcanismo delle Isole Ponziane settentrionali), tutti caratterizzati da una prevalente attività esplosiva subaerea (Zanini, 2008).

I vulcani laziali possono essere suddivisi in due serie, sulla base del loro magmatismo:

- alla prima serie appartengono quelli a carattere acido-riolitico, ovvero i Distretti vulcanici di Tolfa-Ceriti e quello cimino;
- alla seconda serie appartengono invece quelli a carattere potassico-alciano, ovvero i Distretti vulcanici vulsino, vicano, sabatino e albano.

La prima serie presenta forti analogie petrografiche con la Provincia Magmatica Toscana (dall'Isola d'Elba al Monte Amiata), mentre la seconda serie è legata ai vulcani alcalini campani (da Roccamonfina ai Campi Flegrei e Vesuvio) (De Rita e Funiciello, 1982).

Il convergere dei sistemi di faglie in corrispondenza della zona sud di Roma, ha fatto sì che il basamento si fratturasse in zolle, con la formazione di zone di minor resistenza che hanno costituito dei condotti di ascesa della massa magmatica dando così origine al vulcanismo dei Colli Albani.

Il Vulcano Laziale è dunque il più meridionale dei distretti vulcanici ed occupa una posizione particolarmente significativa; è infatti situato a S delle unità mesocenozoiche alloctone dei Monti della Tolfa, a N della piattaforma carbonatica mesozoica dei Monti Lepini e in prossimità delle successioni meso-cenozoiche dei Monti Prenestini e Tiburtini e poggia su di un substrato sedimentario costituito da unità delle successioni pelagiche mesozoiche (Funicello e Parotto, 1978).

In particolare, l'evoluzione della Campagna Romana fu condizionata dall'attività di due grandi apparati vulcanici, quello sabatino e quello albano.

- **Il Distretto vulcanico sabatino**, localizzato circa 30 Km a NW di Roma, inizia la sua attività circa 550 Ka fa, in concomitanza con l'inizio dell'attività vulcanica laziale. La prima fase inizia con la messa in posto di lave e prodotti piroclastici nell'area di Morlupo-Castelnuovo di Porto. L'attività poi prosegue verso ovest, nell'area di Sacrofano, un'enorme caldera che ha dato luogo ai prodotti ignimbrici di Via Tiberina e Prima Porta, ai tufi stratificati varicolori di Sacrofano e ai tufi stratificati varicolori di La Storta. Circa 400 Ka fa, l'attività vulcanica si estende sempre più a ovest, a formare la struttura calderica del lago di Bracciano. Tra 250 Ka e 80 Ka l'attività vulcanica si riduce, dando luogo a vulcanismo da coni di scorie e da maar (come quelli di Martignano e Baccano). I suoi prodotti raggiunsero il Monte Mario a sud e il Monte Soratte a est, sbarrando il corso del Paleotevere il quale dovette aggirare il monte ad est (come avviene tuttora).
- **Il Distretto vulcanico dei Colli Albani** ebbe conseguenze ancora maggiori. Localizzato circa 25 Km a SE di Roma, la sua attività iniziò circa 600000 anni fa e fu caratterizzata da tre grandi fasi esplosive che misero in posto un enorme volume di materiale che giunse ai rilievi tiburtini e prenestini sbarrando completamente la valle del Paleotevere. Il corso fu costretto ad una nuova deviazione verso ovest.

Tale vulcanismo cambiò il paesaggio con gigantesche eruzioni ignimbriche: i suoi prodotti si estendevano dai rilievi appenninici fino alla costa, a formare un vasto plateau a debole pendenza che circondava l'area centrale calderica. Le varie unità sono spesso separate da paleosuoli, segno di una ridotta attività vulcanica tra un'eruzione esplosiva e l'altra.

Nei due distretti vulcanici, si osserva una corrispondenza tra gli alti strutturali e le zone con flusso di calore termico anomalo. A questi alti strutturali corrispondono in superficie i centri eruttivi freatomagmatici del ciclo esplosivo più recente. I due vulcani mostrano però delle caratteristiche vulcanotettoniche assai diverse: il Vulcano Laziale è costituito da quasi 300 Km³ di prodotti relativi ad un edificio centrale principale, mentre il Vulcano Sabatino, di dimensioni notevolmente ridotte, è costituito da più centri separati, ad attività più o meno contemporanea (Centro di Morlupo, Centro di Sacrofano, Centro di Baccano e cratere di Bracciano).

Nell'area romana i prodotti distali dei due distretti vulcanici convergono, colmando e livellando le articolate paleomorfologie indotte dalle variazioni glacio-eustatiche del Pleistocene (Marra e Rosa, 1995).

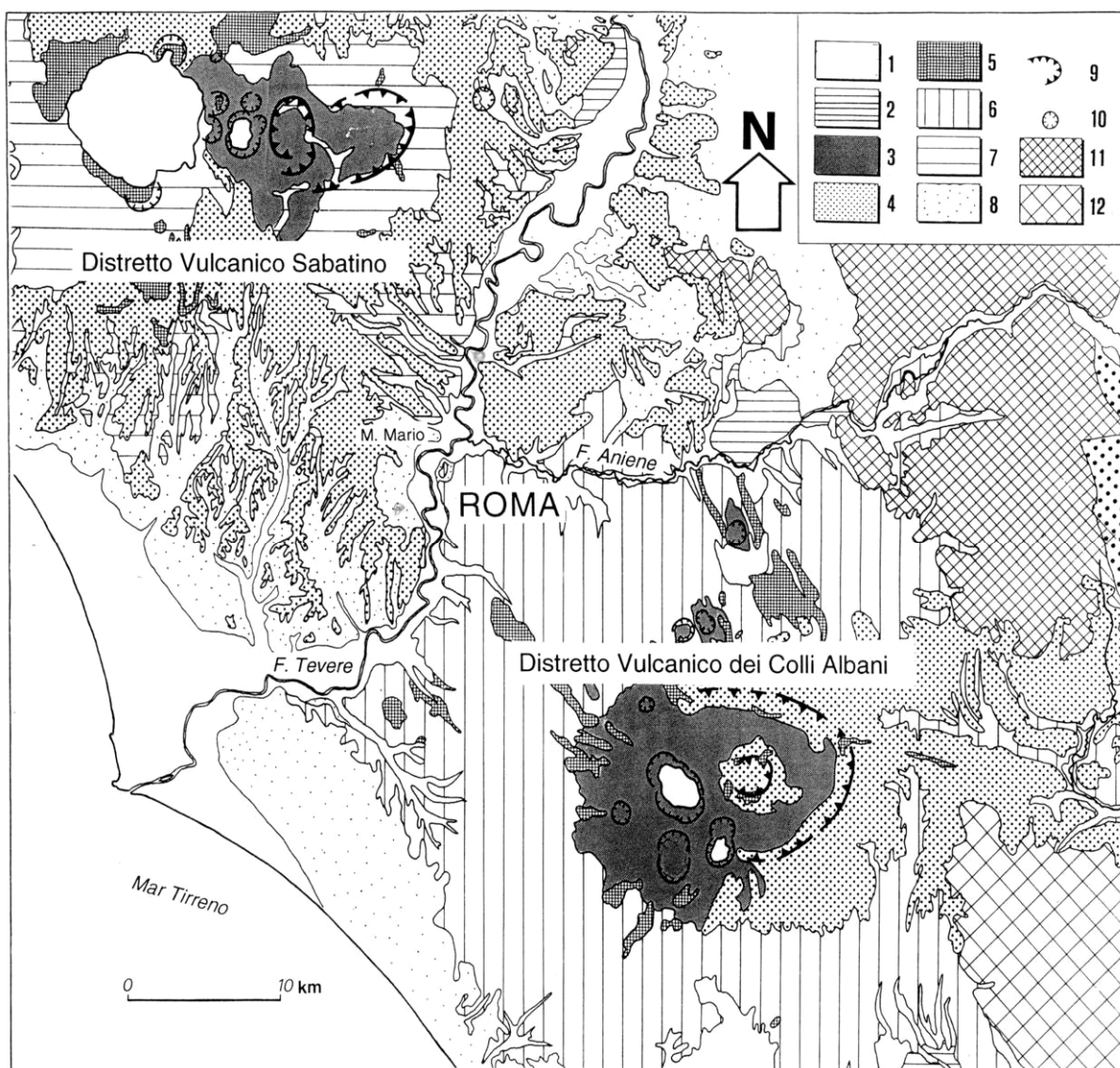


Fig. 11 - Distretti vulcanici Sabatino e Albano. *Legenda: 1) depositi alluvionali recenti e attuali; 2) travertini; 3) unità idromagmatiche; 4) depositi piroclastici di ricaduta; 5) colate di lava; 6) unità ignimbratiche dei Colli Albani; 7) unità ignimbratiche sabatine; 8) unità sedimentarie plio-pleistoceniche; 9) orlo di caldera; 10) orlo di cratere; 11) unità sedimentarie pelagiche meso-cenozoiche; 12) unità sedimentarie meso-cenozoiche di piattaforma carbonatica (Da: Marra e Rosa, 1995).*

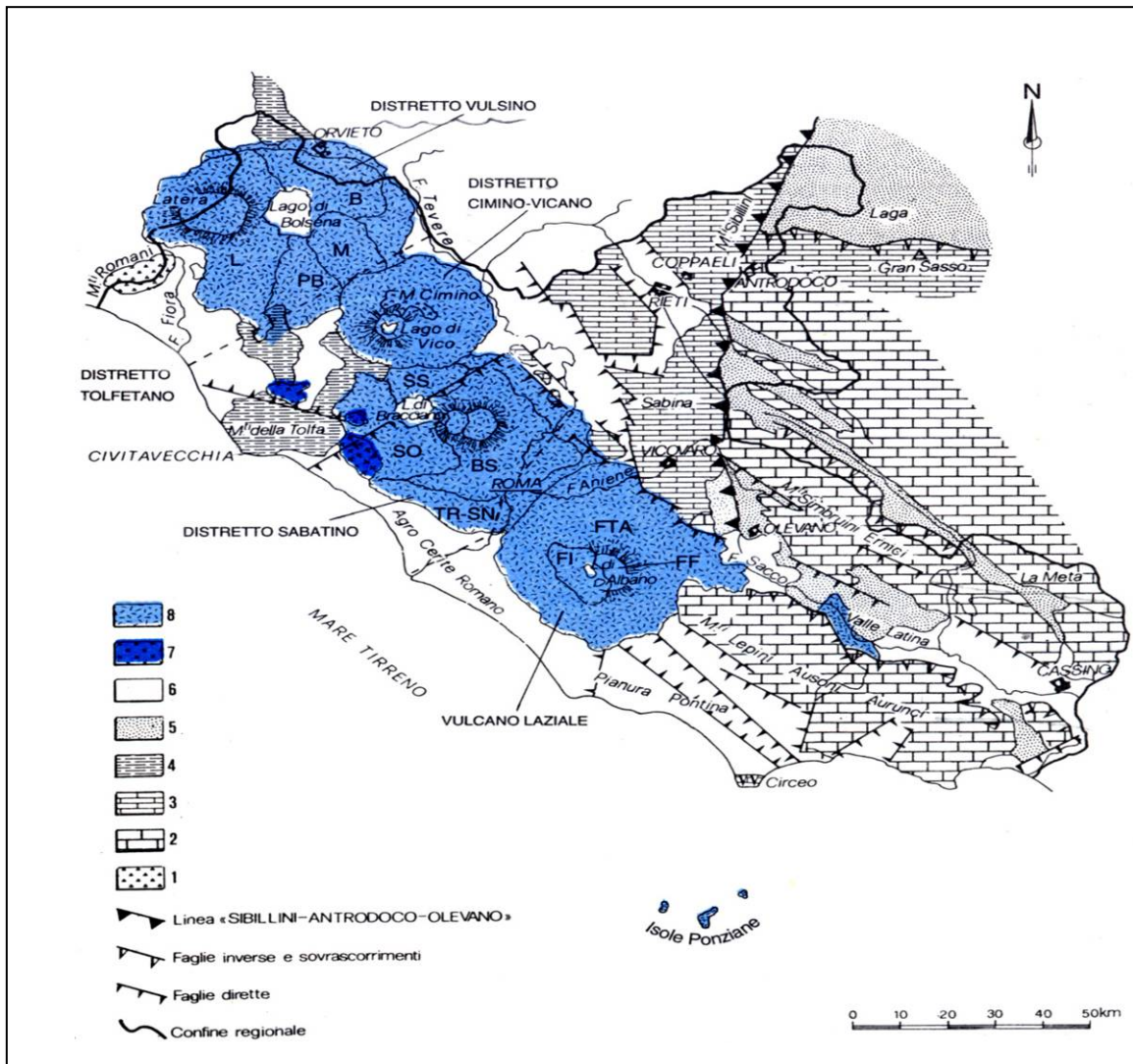


Fig.12 – Distribuzione dei principali distretti e complessi vulcanici del Lazio. **1:** rocce del basamento metamorfosato; **2:** sedimenti della piattaforma laziale-abruzzese; **3:** sedimenti del bacino pelagico umbro-marchigiano; **4:** sedimenti alloctoni del Complesso ligure e subligure; **5:** sedimenti alloctoni flyschoidi; **6:** sedimenti sabbioso-argilloso-ghiaiosi neoautoctoni; **7:** distretti vulcanici a chimismo da acido ad intermedio; **8:** distretti vulcanici a carattere da potassico ad altamente potassico; **PB:** complesso vulcanico del Paleobolsena; **B:** complesso vulcanico di Bolsena; **M:** complesso vulcanico di Montefiascone; **L:** complesso vulcanico di Latera; **MO:** complesso vulcanico di Morlupo-Castelnuovo di Porto; **SB:** complesso di Sacrofano-Baccano; **SO:** attività del settore occidentale; **SS:** attività del settore settentrionale; **TRSN:** colata piroclastica del Tufo rosso a scorie nere; **FTA:** fase Tuscolano-Artemisio; **FF:** fase delle Faete; **FI:** fase idromagmatica finale. (Da: De Rita, 1993).

2.3.4 Il modellamento dei reticoli fluviali

L'attività dei reticoli fluviali andava di pari passo con le varie oscillazioni eustatiche del Plio-Pleistocene: ad ogni basso stazionamento del mare l'attività erosiva si intensificava e i precedenti depositi venivano incisi, con la formazione di superfici di erosione; ad ogni alto stazionamento le superfici di erosione venivano ricoperte di sedimenti (Parotto, 2008).

Oggi queste oscillazioni sono state messe in evidenza riunendo i depositi accumulatisi su una superficie di erosione e tagliati da una successiva superficie di erosione, in unità dette *Sintemi*.

Un'estesa superficie di discontinuità stratigrafica separa le due Formazioni di Ponte Galeria e Fosso della Crescenza dai successivi depositi. Tale superficie si origina in seguito ad una grande fase erosiva assieme ad un abbassamento del livello del mare. L'erosione portò alla formazione di un vasto reticolo di corsi d'acqua. La successiva fase di risalita del mare, portò all'accumularsi negli alvei di depositi fluviali e palustri, caratterizzati da abbondanti prodotti vulcanici. Tutti questi depositi sedimentari sono riuniti nella Formazione di Valle Giulia e sono accompagnati da numerose unità vulcaniche albane e sabatine.

2.3.5 La glaciazione

L'evoluzione dell'area romana si conclude con l'ultima glaciazione (Würm) quando, 80000 anni fa, l'abbassamento del livello del mare scese di 110 m.

L'attività erosiva si intensificò e il Tevere e i suoi affluenti incisero profonde valli nei depositi vulcanici.

Con la fine della glaciazione e la risalita del mare, le incisioni fluviali vennero riempite da sedimenti fluviali e lacustri che nella valle del Tevere raggiunsero i 60 m di spessore. Si arrivò così all'attuale piana che attraversa tutta la città e all'interno della quale si è inciso l'odierno corso del fiume.

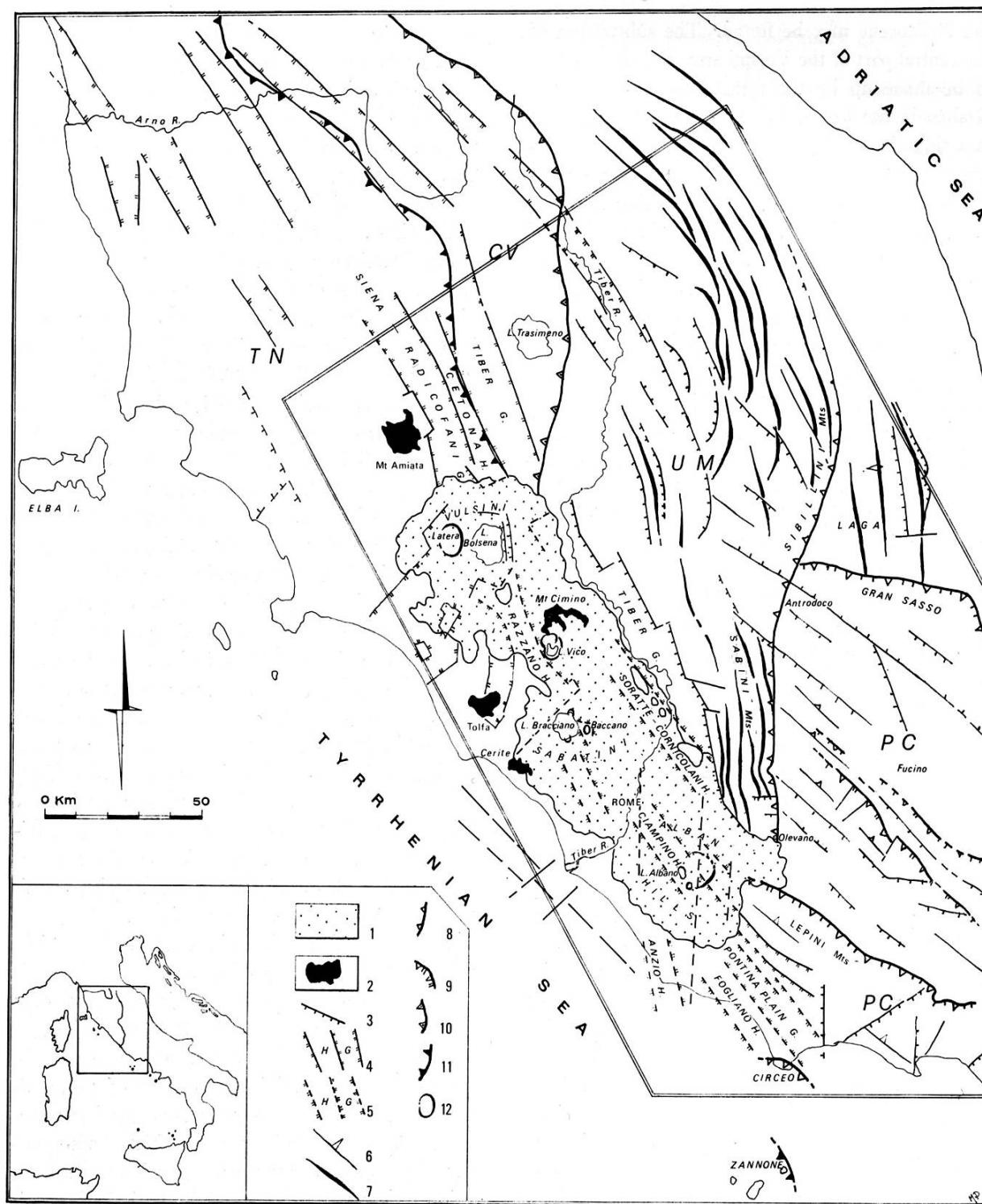


Fig. 13 - Schema dei lineamenti tettonici regionali dell'Italia centrale. I motivi della tettonica distensiva tagliano le strutture dovute alla precedente tettonica compressiva; essi configurano una serie di Horst e Graben che si susseguono ininterrottamente dalla Toscana alla Pianura Pontina, anche al di sotto della copertura vulcanica laziale.

Legenda: 1: Vulcaniti laziali alcalino-potassiche (Pleistocene); 2: Vulcaniti acide (Pliocene sup.-Pleistocene); 3: Faglie distensive (i trattini indicano il lato ribassato); 4: Graben (G) e Horst (H) (Plio-Pleistocene); 5: Horst e Graben sotto la copertura vulcanica; 6: Strutture monocliniche del Complesso Panormide, con immersione generale verso NE; 7: Assi di pieghe, rovesciate verso E o NE; 8: Fronte di accavallamento del Complesso umbro-marchigiano-sabino (Miocene sup.-Pliocene inf.); 9: Fronti di accavallamento all'interno del Complesso Panormide (Miocene sup.); 10: Fronte del Complesso M. Modino - M. Cervarola (Miocene med.); 11: Fronte della Falda Toscana (Miocene med.). Probabilmente prosegue verso S, sotto le vulcaniti; 12: Margini di caldere o crateri; PC: Complesso Panormide (facies di piattaforma carbonatica); UM: Complesso di bacino umbro-marchigiano-sabino (facies pelagica); TN: Falda Toscana; CV: Complesso di M. Modino - M. Cervarola. (da: Funicello et alii, 1976).

2.4 I TRAVERTINI DI ROMA

Dal lavoro condotto da Manfra, Masi e Turi (1976), sulla composizione isotopica dei travertini del Lazio, si evince come alla formazione di tali travertini abbia partecipato CO₂ di differente origine: l'anidride carbonica dei travertini del Lazio orientale e meridionale, sembra derivi dall'atmosfera e da fonti biogeniche; quella dei depositi occidentali e centrali invece, sembra derivi dalla decarbonatazione delle formazioni sedimentarie marine presenti nel sottosuolo.

La maggior parte dei travertini, inoltre, si sono originati da acque meteoriche.

Per ciò che riguarda l'area di Roma, i depositi di travertino assumono in questa area spessori variabili, fino ad un massimo di alcune decine di metri circa e costituiscono l'ossatura di alcuni dei principali "colli" situati nella parte settentrionale e centrale della città su entrambe le sponde del Tevere (Monte Antenne, Villa Glori, Monte Parioli, ecc.).

Tali travertini poggiano su delle ghiaie fluviali che al tetto si presentano erosi e coperti da una coltre piroclastica. Secondo Bonadonna (1968) l'età di questi terreni è da ricondursi all'interglaciale Mindel-Riss (110 Ma); inoltre, il ritrovamento di impronte di foglie di *Fagus sylvatica* nei travertini indica un periodo climatico più freddo dell'attuale.

Sempre secondo Bonadonna, la genesi di tali depositi è fluvio-palustre. Circa la provenienza del carbonato necessario alla precipitazione di questi travertini si osserva che al di sotto dei depositi pleistocenici si rinvenivano le marne plioceniche, che a loro volta poggiano su altre formazioni terziarie a prevalenti carbonati.

Nell'insieme il complesso calcareo-marnoso-diatomitico indica nel passato un livello di base più alto dell'attuale, che determinò la formazione di numerosi stagni e paludi.

I travertini di Roma non hanno valore merceologico a causa del loro aspetto incrostante e terroso, ricco di resti vegetali di varia origine (Manfra, Masi e Turi, 1976).

3 METODOLOGIE DI RICERCA

3.1 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 sabbiosi:

L'analisi è stata eseguita esclusivamente tramite setacciatura su una quantità di campione corrispondente a 200 g. I setacci usati sono i seguenti: 2 mm, 1 mm, 0.425 mm, 0.180 mm, 0.075 mm.

- Campioni argillosi e limosi:

A seconda della tipologia di campione sono state applicate metodologie diverse.

- Per i campioni del sondaggio BH 1, prelevati a 7 e 10 m di profondità, è stata eseguita una setacciatura umida al setaccio 0,075 mm, con recupero del passante. Sul trattenuto è stata eseguita la setacciatura tramite i setacci 4, 2, 1, 0.425 mm. Per il passante è stata eseguita un'analisi per via densimetrica su un campione rappresentativo di circa 40g.

- Per il campione prelevato a 9 m invece, si è eseguita direttamente l'analisi densimetrica su un campione di circa 50 g; successivamente sul trattenuto al setaccio 0.075 mm è stata effettuata la setacciatura delle frazioni superiori.

- Per il campione prelevato a 11 m è stata effettuata una setacciatura a secco su un campione di circa 200 g ai setacci 4, 2, 1, 0.075 mm e analisi densimetrica di circa 40 g di materiale.

L'analisi per sedimentazione è stata effettuata in una vasca piena d'acqua ove sono stati collocati un cilindro da 1000 ml con una soluzione di esametafosfato sodico, un altro cilindro da 1000 ml con acqua distillata ove è stato posto il densimetro¹ tra una lettura e l'altra e infine uno o più cilindri graduati da 1000 ml con i campioni in sospensione.

Il metodo fa riferimento all'equazione di Stokes² 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.

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 (Figura 15); quello utilizzato in queste prove è contrassegnato dalla sigla 152H nella norma ASTM D422.

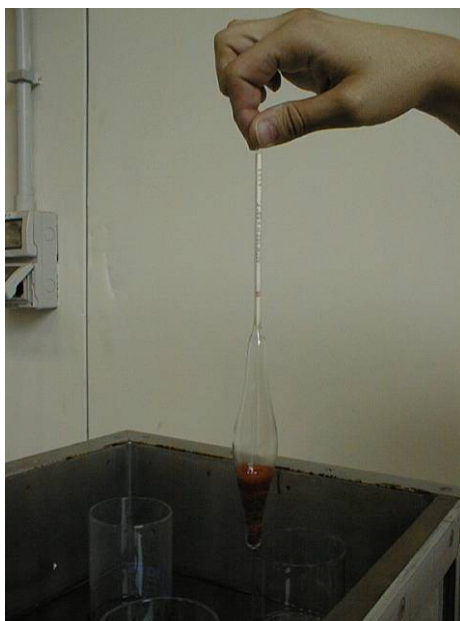


Figura 15 - Densimetro 152H.

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 più volte durante la prova.

¹ Il densimetro è noto anche con i nomi di areometro e idrometro.

² 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.

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 tabella³;
- L il valore letto sul densimetro con le opportune correzioni⁴;
- W è il peso secco iniziale del campione;

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

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

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 tabella⁵;
- H_r è la profondità effettiva del densimetro al tempo t ;
- t è il tempo in minuti primi.

³ ASTM D422, tab1

⁴ 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.

⁵ ASTM D422, tab3

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* dove, in scala semilogaritmica, l'asse delle ascisse rappresenta i diametri delle particelle e l'asse delle ordinate le percentuali.

3.2 DENSITA'

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 10-2g e si effettuano i calcoli.

Elaborazione dei dati

Si calcola il rapporto tra il peso netto e il volume del campione, esprimendo i risultati in g/cm³.

3.3 PESO SPECIFICO

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 prova⁶.

Si è preso, per ogni prova, un picnometro (Figura 16) a beuta 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.

⁶ Per ogni campione sono state svolte almeno due prove.



Figura 16: *picnometro a beuta da 250ml.*

Il campione, dopo essere stato mescolato 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' sottovuoto.

Il picnometro è stato riempito fino a metà del collo con acqua distillata e si è lasciato scivolare il tappo 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 800 ml, 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/cm³, 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.

3.4 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 campione⁸ 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 nuovamente pesato. In alcuni casi, il contenuto d'acqua è stato calcolato 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.

3.5 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.

⁸Il numero dei campioni è in funzione della variazione verticale di granulometria lungo il campione indisturbato.

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

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

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 formule¹⁷

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

(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 e il volume dell'acqua V_w ricavabile dal contenuto d'acqua, assumendo la densità dell'acqua di 1.00 g/cm³:

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

- 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/cm³ (ovvero 9.81kN/m³)

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

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

3.6 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 ottone⁹ 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 13 mm.

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

Procedure di laboratorio

Limite liquido

- Sono stati pesati 200g di campione essiccato all'aria passanti al setaccio con apertura 0.425 mm.
- 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 almeno 12 ore.
- Dopo avere approntato lo strumento di Casagrande¹⁰ (Figura 17) 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 13 mm, appuntando il numero di colpi effettuati.

⁹Lo 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.

¹⁰Lo strumento di Casagrande consiste in una coppa di ottone che colpisce il supporto in maniera uniforme e determinata.

- 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 rimossa 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 3 mm.
- 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 17: *Apparecchio di Casagrande e lama solcatrice.*

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:

$$IP = LL - LP$$

dove IP è l'indice di plasticità, LL il limite liquido e LP il limite plastico.

3.7 EDOMETRIA E PERMEABILITA' 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} corrispondono, rispettivamente, al tempo e all'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 *sovracconsolidata* (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 18) tra una pietra porosa inferiore ed una superiore.



Figura 18: 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 edometrica¹². 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.

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 esaminare²³⁷ 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 ad intervalli lineari;
- Al termine della prova, svuotamento fino a sotto la scala graduata della buretta.

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).

¹²In questo caso, la cella edometrica è munita di un rubinetto di trabocco, inoltre è presente una buretta graduata con rubinetto collegata alla cella medesima.

- 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 effettuata 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.

3.8 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 “*inviluppo di rottura*”.

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 $\operatorname{tg} \phi'$ 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 movimento⁸.

Procedure di laboratorio

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



Figura 19: Scatola di taglio e componenti.



Figura 20: Apparecchio per la prova di taglio diretto

Ogni provino, dopo la pesatura, è stato inserito in una scatola di taglio (Figura 19) e lasciato, immerso, in consolidazione direttamente nella macchina di taglio (Figura 20) o in banco di consolidazione per almeno 24h sotto il carico assiale da utilizzare durante la prova.

I carichi assiali sono stati i seguenti: 49 KPa, 98 KPa, 147 KPa, 196 KPa, 245 KPa, 294 KPa. 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; 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 orizzontale 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 kN/m^2 , con la retta di inviluppo 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.

3.9 PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE DI CAMPIONI ROCCIOSI

Normativa: ASTM D7012

Procedure di laboratorio

Per il confezionamento del provino si è ricorsi ad una fustella in acciaio munita di corona diamantata (diametro 55 mm, lunghezza 200 mm) e mandrino ad acqua, collegata ad un trapano montato su supporto a colonna.

Successivamente sono stati selezionati i provini, cilindri circolari retti, il più possibile rispondenti ai requisiti richiesti, come il rapporto tra altezza e diametro compreso tra 2.5 e 3, o la planarità delle facce con uno scostamento inferiore a 0.02 mm.

La misura del diametro e dell'altezza è stata determinata tramite un calibro digitale con misura utile di 150 mm, risoluzione 0.01 mm, precisione 0.03 mm.

Per l'applicazione del carico assiale si è provveduto a modificare in alcuni componenti la macchina usata per le comuni prove triassiali su terre in dotazione al laboratorio. Innanzi tutto la si è munita di una cella di carico da 50 KN alla quale si è collegato un piatto di compressione cromato e, per la misura delle deformazioni assiali, è stato montato un supporto di precisione, una prolunga ed un'apposita incudine per trasduttore per prova in confinata.

Le velocità di prova più frequentemente usate sono state di 0.2, 0.25, 0.5 mm/min, mentre le rilevazioni sono state effettuate, a seconda dei casi, ad intervalli di 4 – 6 secondi.

Elaborazione dei dati

Al termine delle prove si sono avuti a disposizione una serie di valori del carico di compressione P , espressi in KN ed una serie di valori della variazione della lunghezza assiale Δl espressi in mm.

I valori del carico di compressione e quindi della resistenza alla compressione per provini non rispondenti alla condizione che prevede un rapporto lunghezza/diametro =2, sono stati modificati usando la seguente espressione:

$$C = \frac{C_a}{0.88 + (0.24 \cdot d / h)}$$

dove C è il carico di compressione calcolato per un campione equivalente con rapporto $h/d=2$; C_a è il carico di compressione misurato; h e d rispettivamente la lunghezza ed il diametro del provino.

Una volta effettuate le opportune correzioni è stato possibile determinare le seguenti espressioni, collegate ad altrettante definizioni:

Deformazione assiale: $\varepsilon^a = \frac{\Delta l}{l_0}$ dove l_0 è la misura iniziale della lunghezza assiale; Δl è la variazione della misura della lunghezza assiale.

Tensione di compressione del campione $\sigma = \frac{P}{A_0}$ dove P = Carico di compressione; A_0 = Area iniziale della sezione trasversale.

Dal diagramma deformazione assiale tensione di compressione è possibile calcolare il *modulo di Young*, definito come rapporto tra la variazione della tensione assiale e la conseguente variazione di deformazione assiale prodotta.

Di seguito sono riportati i metodi di calcolo più usati:

- *Modulo di Young tangente* E_t , calcolato sulla curva ad una percentuale prefissata della resistenza ultima, in genere il 50%.
- *Modulo di Young Medio* E_m , calcolato considerando la parte quasi rettilinea della curva.
- *Modulo di Young secante* E_s , calcolato dalla tensione nulla sino ad una percentuale prefissata, in genere il 50%.

3.10 PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA (BRASILIANA)

Normativa: ASTM D 3967 – 2005

Scopo dell'analisi

Questa metodologia serve ad ottenere la misura della resistenza a trazione indiretta di un campione roccioso.

Procedure di laboratorio

La strumentazione usata per confezionare i provini è stata la stessa impiegata per le prove di compressione monoassiale.

Le norme vigenti prevedono, in particolare, provini con rapporto lunghezza/diametro compreso tra 0.2 e 0.75, e facce piane, parallele e perpendicolari all'asse del provino. La resistenza a trazione del provino è stata calcolata in base alla seguente espressione:

$$\sigma_t = \frac{2p}{\pi LD}$$

dove: σ_t è la resistenza a trazione in Mpa; P è il carico a rottura in N; L è la lunghezza del provino in mm; D è il diametro del provino in mm.

3.11 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE SU PROVINI DI ROCCIA

Normativa: ASTM D70012

Procedure di laboratorio

Anche per questa prova è stata usata la macchina usata per le comuni prove triassiali su terre, apportando le seguenti modifiche:

Il plinto per provini di 38.1 mm di diametro è stato sostituito con un plinto per provini da 50 mm di diametro. Sono stati inoltre acquisiti:

- Un piattello superiore con dreno per provini di 50 mm di diametro
- Una base piana in perspex per provini da 50 mm di diametro
- Un tendimembrana a suzione per provini da 50mm di diametro
- Una serie di membrane in lattice gomma per provini da 50 mm di diametro
- Una serie di anelli serratmembrana in neoprene per provini di 50 mm di diametro.

I provini una volta confezionati , sistemati sul plinto , avvolti dalla membrana in lattice, sono stati sottoposti alla pressione di cella tramite una sorgente di pressione costante con sistema aria/acqua con membrana di interfaccia. La fase di compressione si è sviluppata con una velocità di avanzamento di 0.2 mm/min.

Elaborazione dei dati

Sono stati registrati i valori del carico di compressione rilevati da una cella di carico da 50 KN ed avanzamento espresso in mm, rilevato dall'apposito trasduttore di spostamento. Le registrazioni sono avvenute ad intervalli di 6 secondi

I *cerchi di Mohr* sono stati costruiti, per ogni provino, considerando il diametro dei singoli cerchi pari alla differenza tra la resistenza alla compressione e la pressione di cella, entrambe espresse in Kpa.

4 RISULTATI

SABBIE

Nel corso del 2008 era stato studiato un primo blocco indisturbato di sabbia estratto a mano nella nicchia di distacco della frana, su cui erano state effettuate analisi per poterle caratterizzare dal punto di vista fisico e meccanico.

Successivamente è stato prelevato un secondo blocco indisturbato ad una profondità di circa un metro più a valle del precedente.

Su questo campione sono state effettuate le seguenti analisi di laboratorio:

- una sezione sottile petrografica;
- una analisi granulometrica;
- la misura del contenuto d'acqua;
- la misura del peso di volume;
- la misura del peso di volume della parte solida;
- tre prove edometriche, di cui una destinata alla prova di permeabilità diretta;
- una prova di taglio diretto, alla velocità di 0.02 mm/min, con sei provini sottoposti alle seguenti pressioni verticali: 49.03 – 98.07 – 147.10 – 196.13 – 245.17 – 294.20.



Fig. 21 – *Campioni di sabbie dopo la prova di taglio diretto.*

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

Committente : SUO GEA
Progetto : Viale Tiziano
Lotto :
Sondaggio :
Campione :
Profondità di prelievo, da metri : 0.00 a metri: 0.50

PROVA EDOMETRICA 1

Dimensioni del provino :

Diametro (cm): 5.05
Altezza (cm) : 2.00
Volume (cm³): 40.00

Caratteristiche iniziali :

Peso di volume (kN/m³) : 14.84
Contenuto in acqua (%) : 16.07
Peso specifico (kN/m³) : 26.28
Indice dei vuoti : 1.056
Grado di saturazione (%): 41

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	0.033	1.022	726	1.979	37	5.2E-03	7.0E-07
24	0.046	1.008	1733	1.959	133	1.4E-03	8.0E-08
49	0.071	0.983	2008	1.942	5	3.7E-02	1.8E-06
98	0.103	0.951	3036	1.914	5	3.6E-02	1.2E-06
196	0.142	0.911	4780	1.878	5	3.5E-02	7.1E-07
392	0.193	0.858	7067	1.840	5	3.3E-02	4.6E-07
784	0.265	0.784	9842	1.790	5	3.2E-02	3.1E-07
1569	0.363	0.683	13866	1.701	5	2.9E-02	2.0E-07
3138	0.482	0.561	21644	1.609	5	2.6E-02	1.2E-07
784		0.567					
196		0.577					

Fig. 22 – Prova edometrica 1.

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

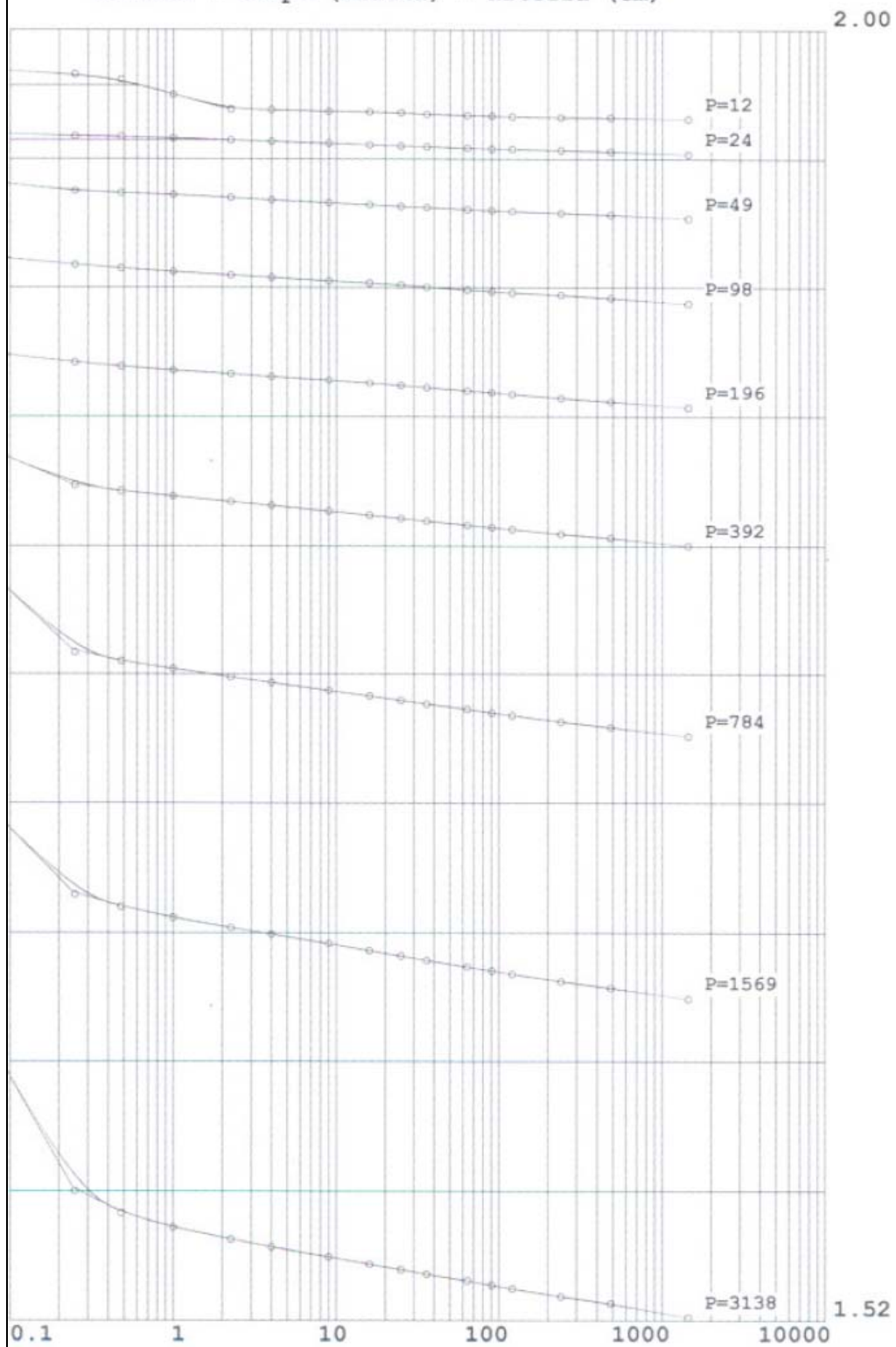


Fig. 23 – Prova edometrica I.

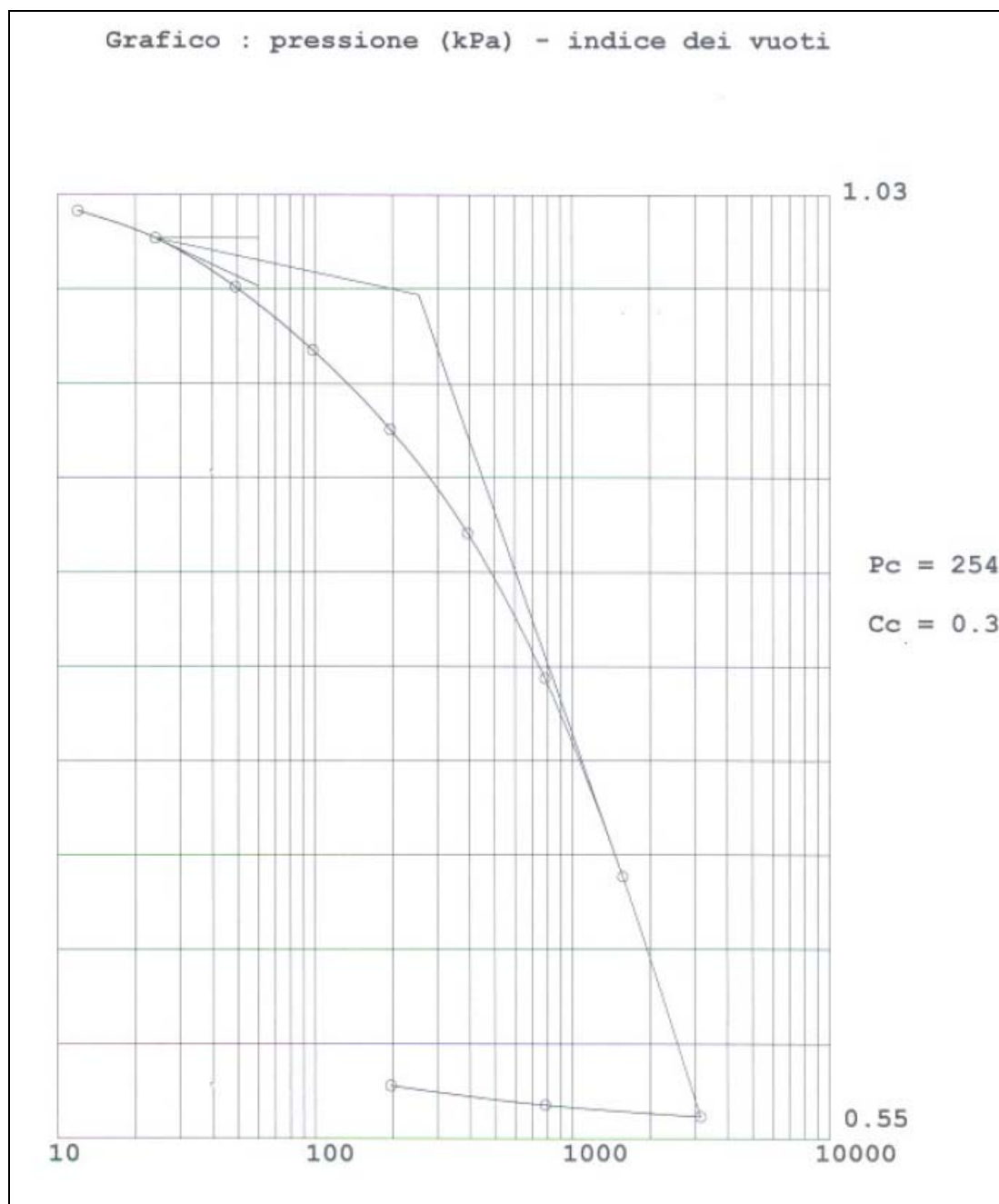


Fig. 24 – Prova edometrica I.

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

Committente : SUO GEA
 Progetto : Viale Tiziano
 Lotto :
 Sondaggio :
 Campione :
 Profondità di prelievo, da metri : 0.00 a metri: 0.50

PROVA EDOMETRICA 2

Dimensioni del provino :	Caratteristiche iniziali :
Diametro (cm): 5.05	Peso di volume (kN/m ³) : 14.88
Altezza (cm) : 2.00	Contenuto in acqua (%) : 16.07
Volume (cm ³): 40.00	Peso specifico (kN/m ³) : 26.28
	Indice dei vuoti : 1.050
	Grado di saturazione (%): 41

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	0.009	1.040	2460	1.997	34	5.8E-03	2.3E-07
24	0.018	1.032	3060	1.987	749	2.6E-04	8.3E-09
49	0.034	1.015	2988	1.975	74	2.6E-03	8.5E-08
98	0.057	0.991	4114	1.953	77	2.4E-03	5.8E-08
196	0.090	0.958	5913	1.930	5	3.7E-02	6.1E-07
392	0.132	0.914	8722	1.888	13	1.3E-02	1.5E-07
784	0.196	0.849	11543	1.840	5	3.3E-02	2.8E-07
1569	0.280	0.763	16878	1.786	5	3.1E-02	1.8E-07
3138	0.390	0.650	24479	1.699	6	2.4E-02	9.5E-08
784		0.656					
196		0.667					

Fig. 25 – Prova edometrica 2.

PROVA EDOMETRICA

Grafico : tempo (minuti) - altezza (cm)

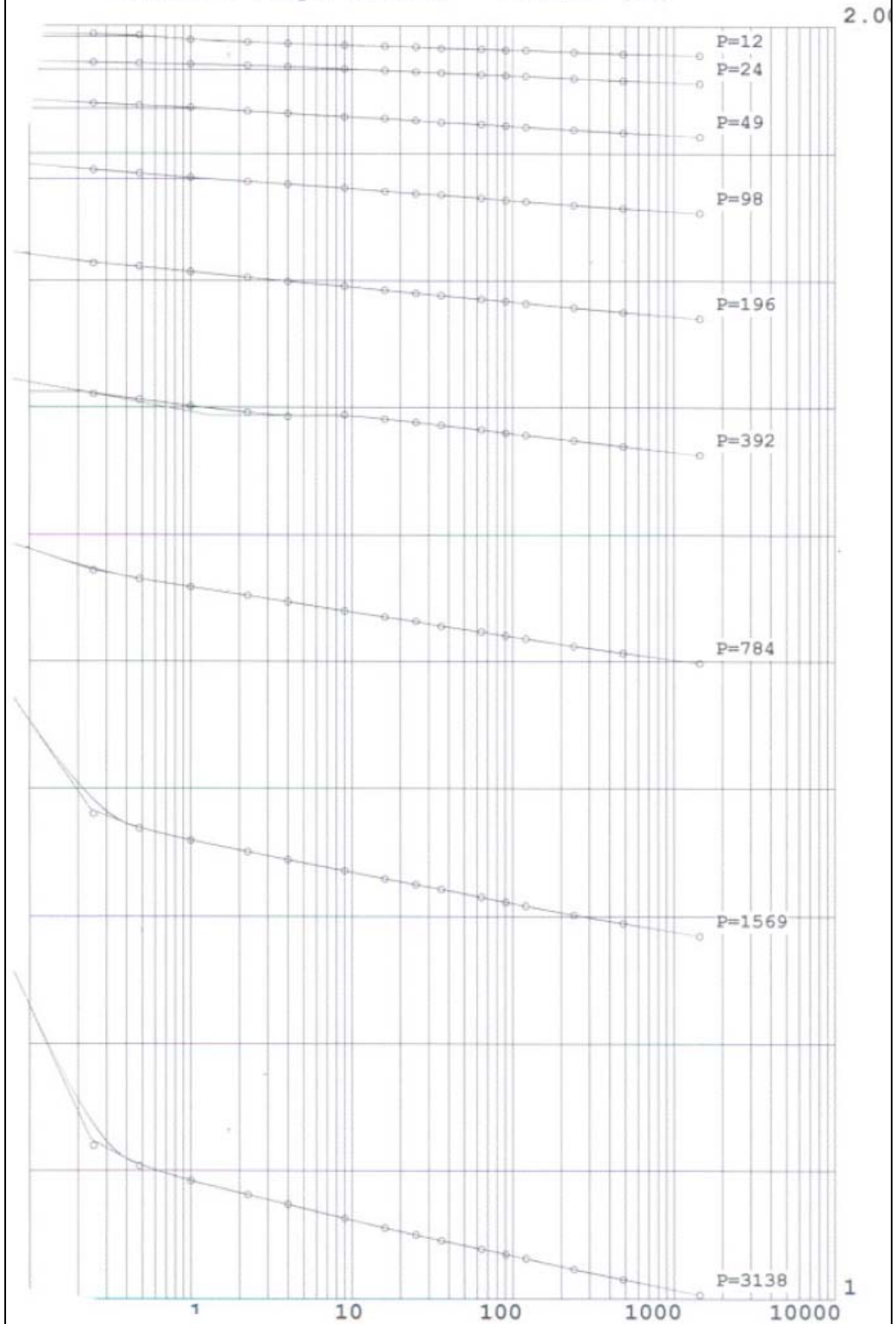


Fig. 26 – Prova edometrica 2.

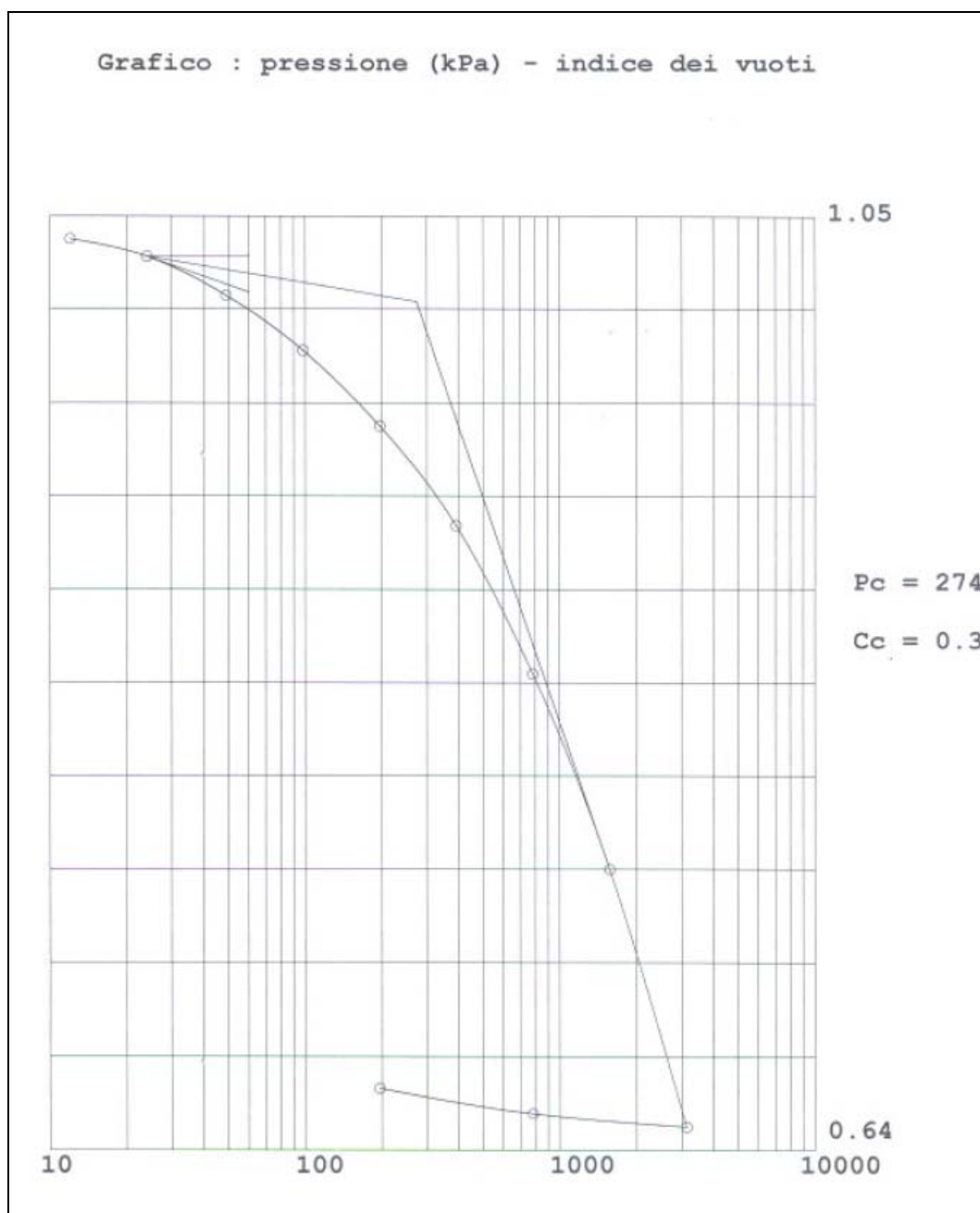
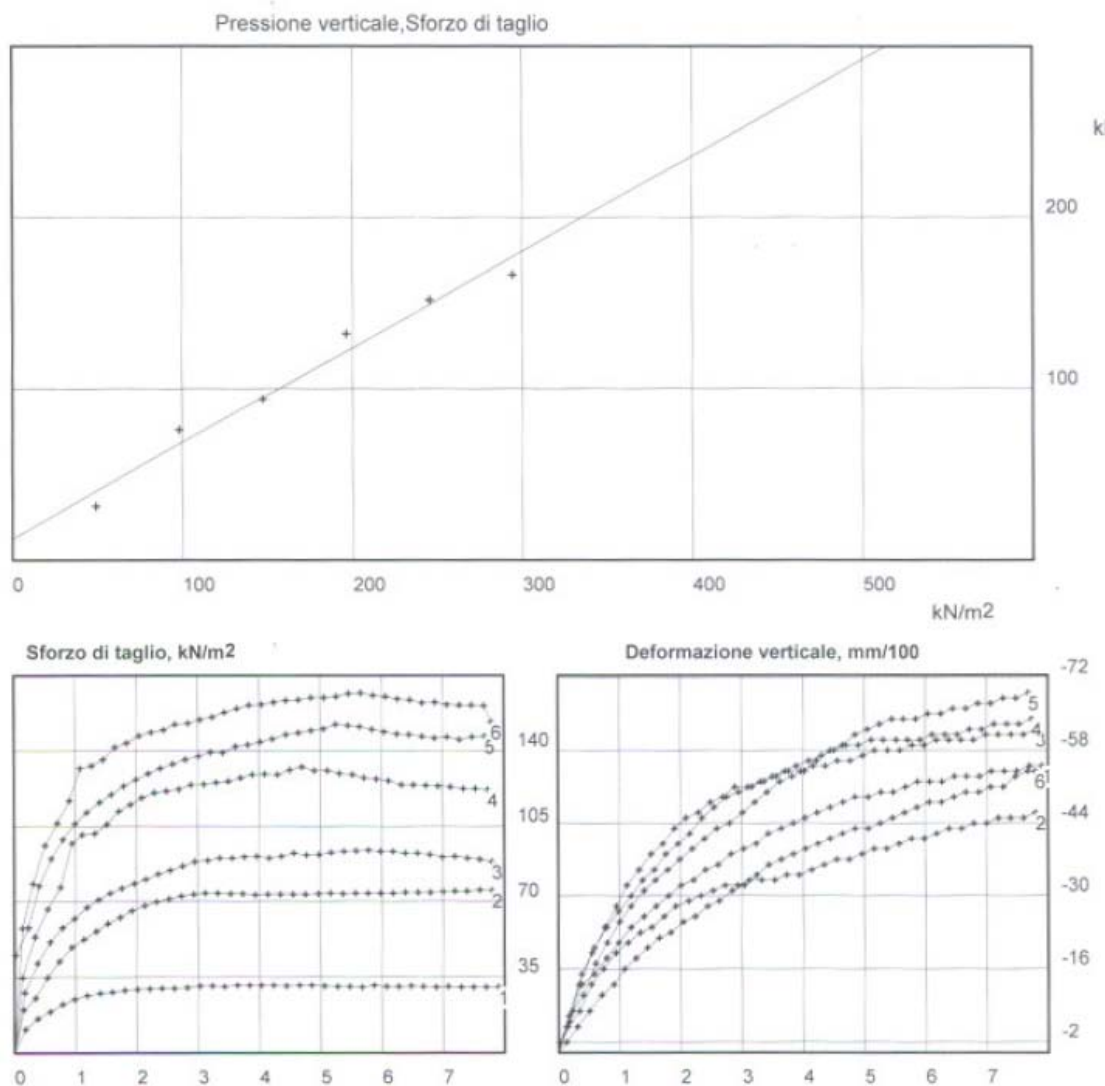


Fig. 27 – Prova edometrica 2.

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITA':

SONDAGGIO:
CAMPIONE:
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
49.03	31.11	3.64	-43.00
98.07	75.28	7.60	-45.00
147.10	93.61	5.78	-59.00
196.14	132.50	4.70	-59.00
245.18	152.22	5.25	-63.00
294.21	166.67	5.66	-46.00

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= 12.13 kN/m²
ANGOLO DI ATTRITO= 29.26 gradi sess.

NOTA:
DATA:

FIRMA:

Fig. 28 – Prova di taglio diretto.

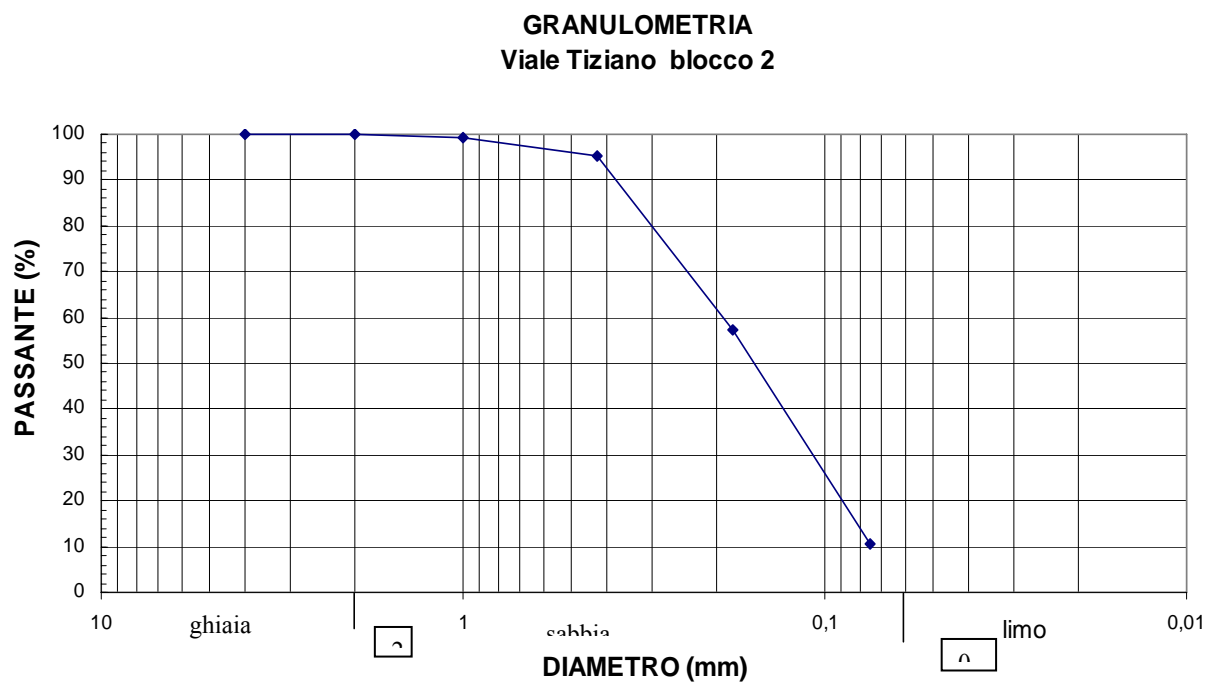


Fig. 29 – *Grafico Granulometria delle sabbie.*

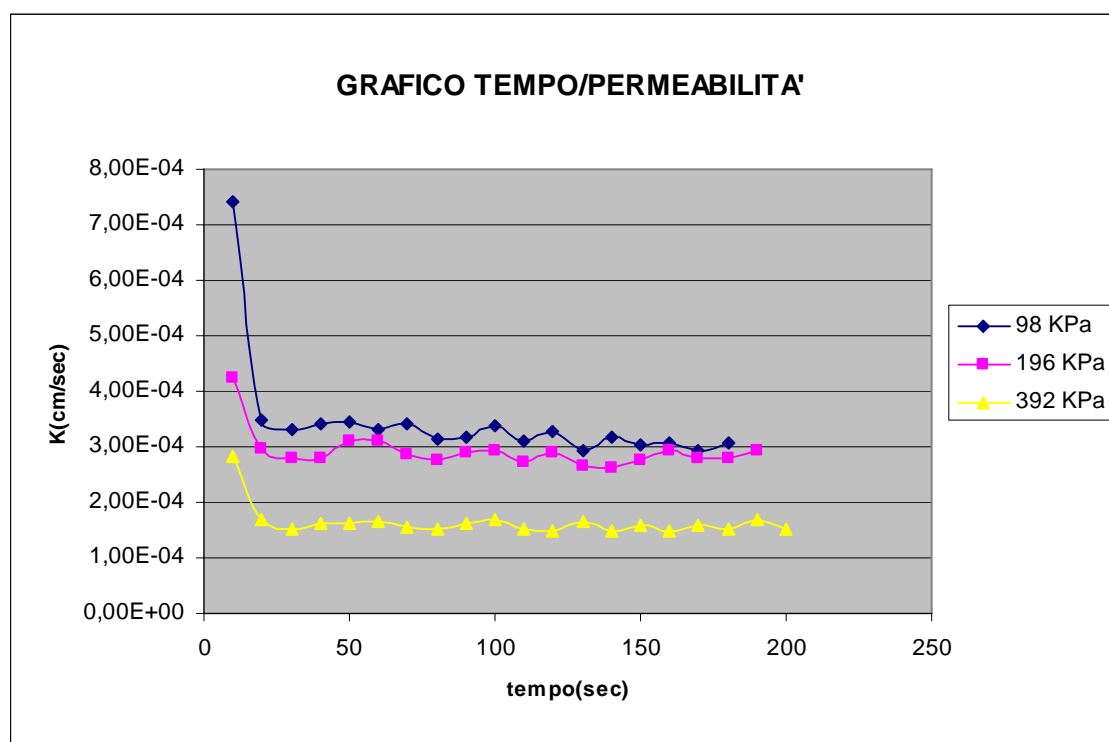


Fig. 30 – *Grafico tempo-permeabilità delle sabbie.*

SONDAGGIO BH 1

Nel corso dell'anno 2008 è stato eseguito un sondaggio presso Viale Tiziano, sul piano stradale alla base del fenomeno franoso: come già precedentemente ricordato, oltre a due campioni indisturbati, erano stati studiati sei campioni disturbati, prelevati dalle cassette di sondaggio, che andavano dai 15 ai 29 metri di profondità.

In questa tesi, sono stati studiati i campioni indisturbati che vanno dai 15 metri al piano di campagna. In particolare, sono stati analizzati i campioni relativi alle seguenti profondità:

7 metri - 9 metri - 10 metri - 11 metri

Su questi campioni sono state effettuate le analisi granulometriche; la misura del peso di volume della parte solida della frazione <0.075 mm, indispensabile per l'analisi densimetrica; sono stati determinati i limiti di Atterberg, con relativa stesura della carta di plasticità.

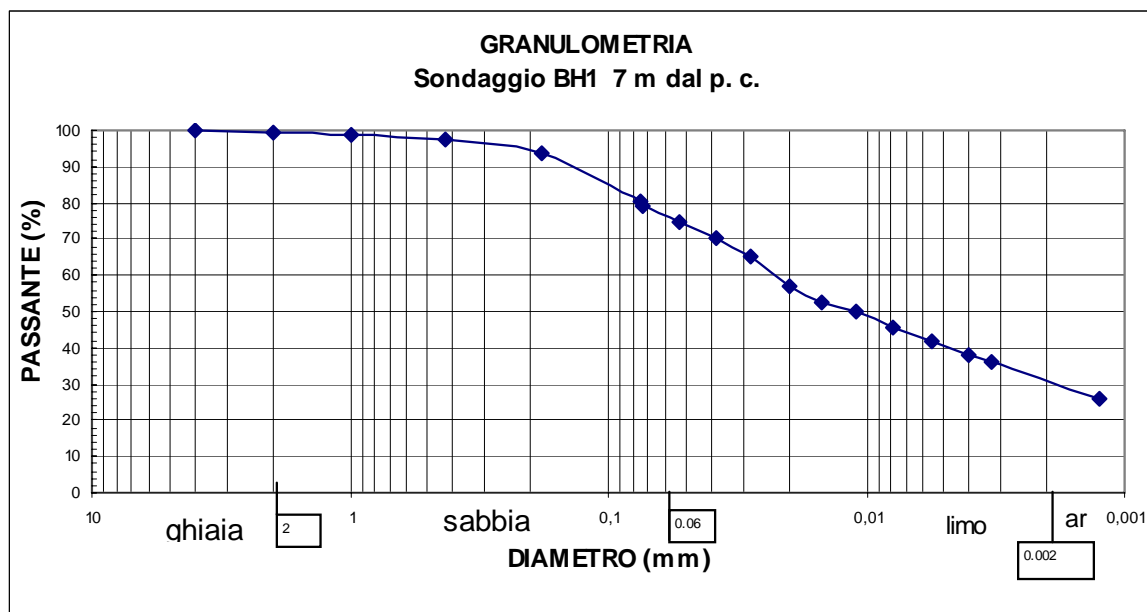


Fig. 31 – Grafico granulometria di un campione limo-argilloso.

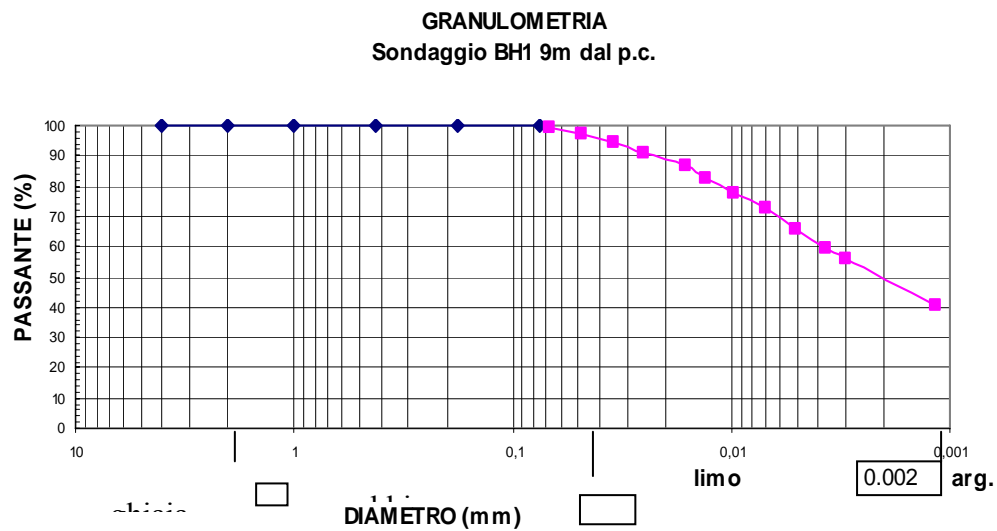


Fig. 32 – Grafico granulometria di un campione di argilla limosa.

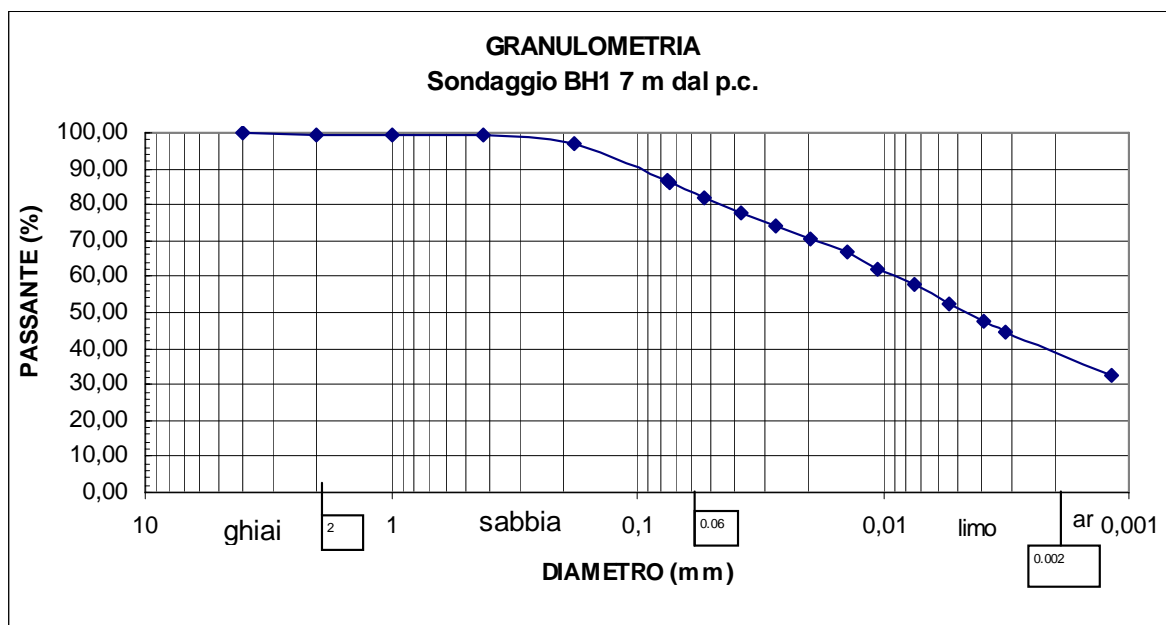


Fig. 33 – Grafico granulometria di un campione limo-argilloso.

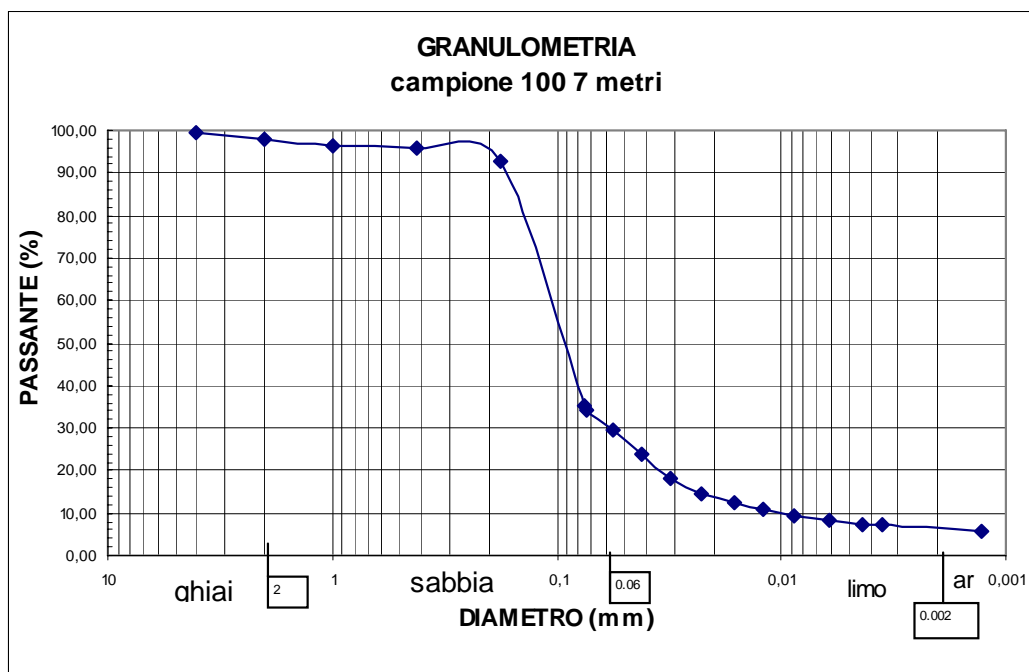


Fig. 34 – Grafico granulometria di un campione limoso-sabbioso.

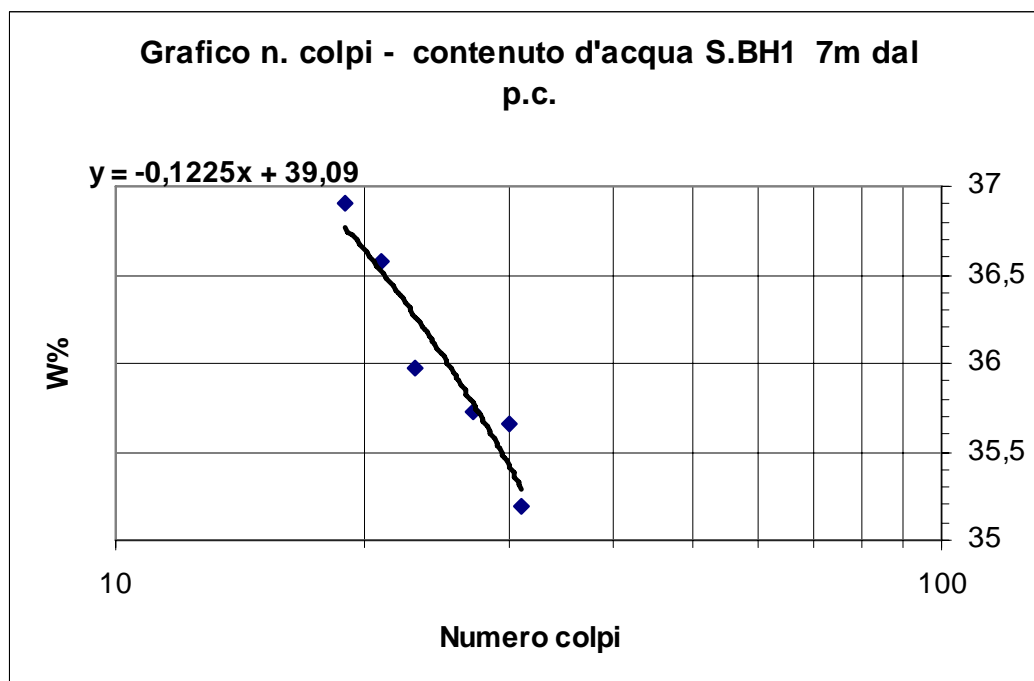


Fig. 35 – Grafico determinazione del limite liquido.

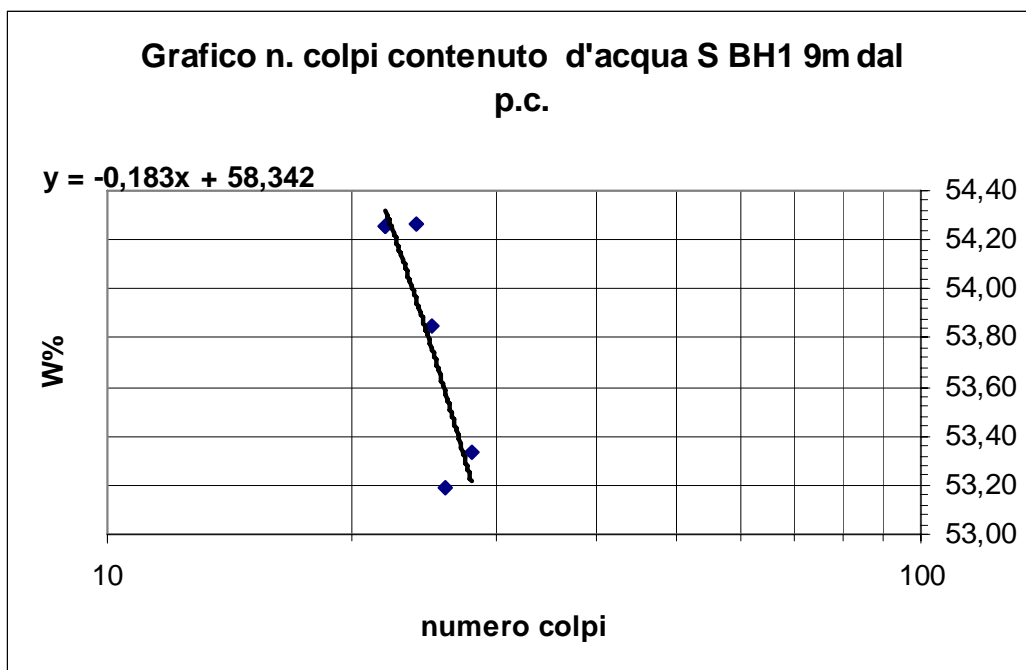


Fig. 36 – *Grafico determinazione del limite liquido.*

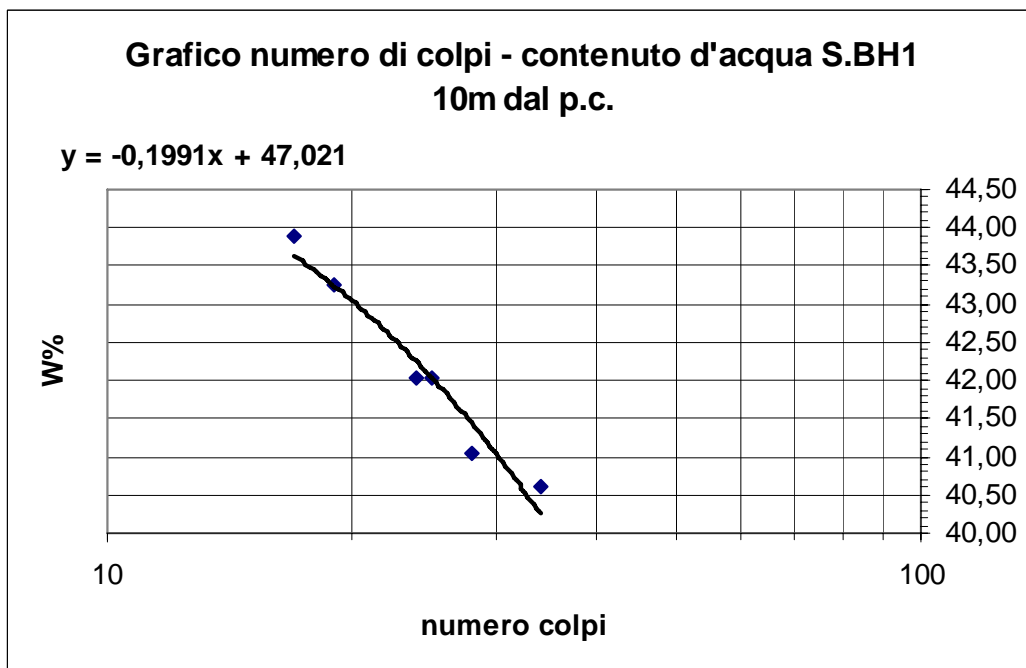


Fig. 37 – *Grafico determinazione del limite liquido.*

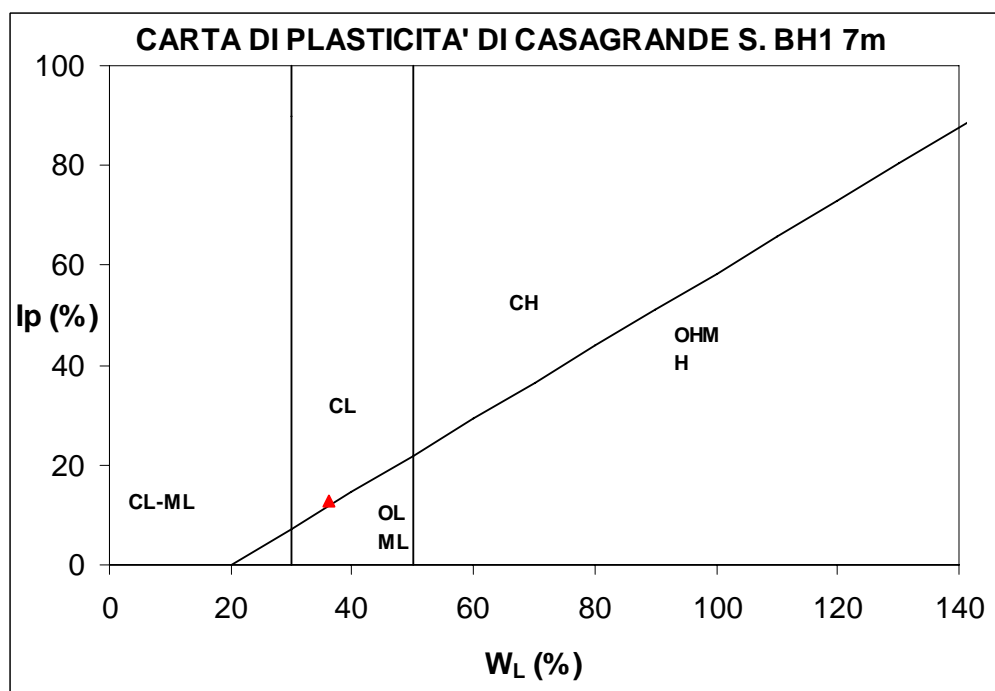


Fig. 38 – Carta della plasticità.

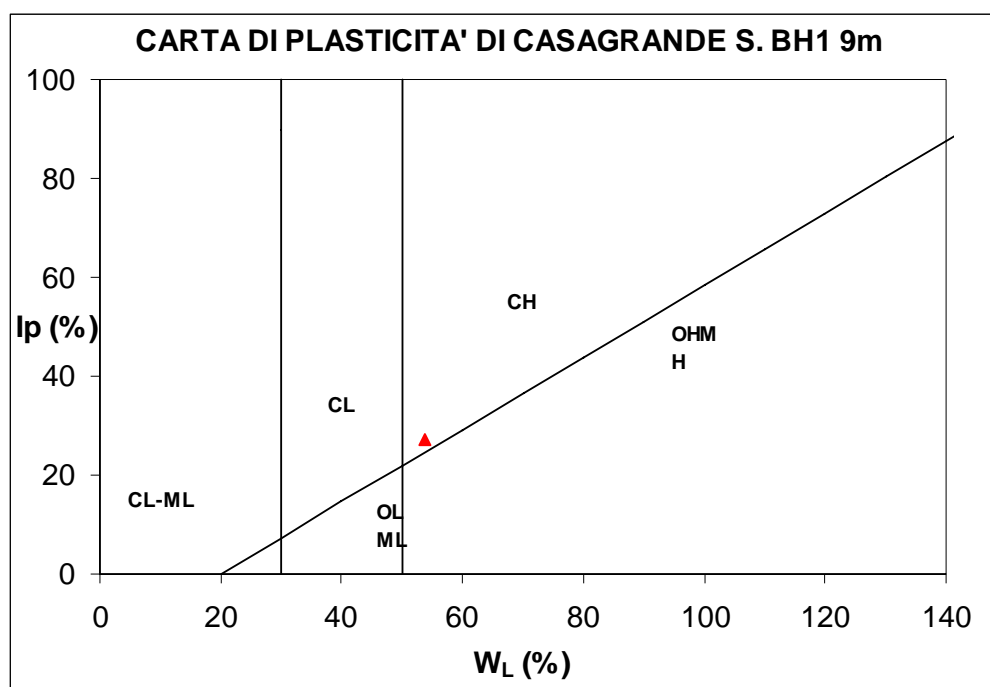


Fig. 39 – Carta della plasticità.



Fig. 40 – *Campione 11 m di profondità del sondaggio BH 1.*



Fig. 41 – *Sondaggio BH 1, profondità 11 m, particolare dei trattenuti a 4, 2 e 1 mm.*

Sono stati, inoltre, presi in esame due campioni del sondaggio BH 1, uno a profondità 9 m e l'altro a profondità 28 m e sono stati sottoposti ad ulteriore indagine micropaleontologica.

Analisi micropaleontologica:

I campioni sono stati dapprima sottoposti a lavaggio in acqua ossigenata, dopodiché setacciati a setaccio 0.075 mm, di cui si è analizzato il trattenuto.

Ne è risultato che il residuo del campione 9 m è attribuibile allo Zancleano (Pliocene inf.), zona a *Globorotalia punctulata* per la presenza del relativo markers. L'associazione bentonica e il rapporto plancton/benthos ha evidenziato un ambiente profondo (circalitorale-epibatiale).

Il campione 7 m invece, è costituito da un residuo argilloso con abbondante componente micacea. La fauna autoctona è assente e sono presenti rari individui in cattivo stato di conservazione (ossidati e riempiti) da considerarsi rimaneggiati. Impossibile quindi attribuire un'età.



Fig. 42 – Argille limose del campione 9 m di profondità, sondaggio BH 1.

TRAVERTINI

Nello studio dei materiali coinvolti nel processo di frana di Viale Tiziano si è deciso di determinare anche alcune caratteristiche della componente più litoide della formazione di Valle Giulia ed in particolare dei travertini.

Questi ultimi dal punto di vista giaciturale presentano una situazione alquanto complessa e movimentata, per gli scopi di questa tesi si è cercato di individuare alcune tipologie facilmente identificabili.

Analizzando alcuni blocchi, di cui era nota la polarità si è potuto, dal punto di vista costitutivo e morfologico, confermare una natura prettamente fitolastica con elementi di accrescimento delle concrezioni più o meno saldati tra loro, con presenza di tasche meno coerenti.

Dalle fotografie effettuate si possono identificare:

- Campioni travertinosi di natura decisamente “terrosa”, termine molto efficace, spesso usato in lavori precedenti. Su questi campioni scarsamente cementati non è stato possibile effettuare le operazioni di confezionamento del provino.
- Travertini fitoclastici con cementazione degli elementi di accrescimento, tale da poter permettere il confezionamento del provino. Tra questi si possono distinguere alcuni blocchi di aspetto più massivo, facilmente lavorabili e sagomabili, come testimoniano le fotografie. L’analisi di alcune sezioni sottili di questi ultimi ha evidenziato una struttura micritica costituita da calcite microcristallina con presenza di ossidi.
- Campioni costituiti da successioni di concrezioni, anche di notevoli dimensioni (50 -100 cm), con cristallizzazioni di calcite in buona evidenza e presenza di strati più porosi e fibrosi. Nella foto si può notare un accrescimento sub sferico, ma in situ si osservano, in abbondanza, anche forme cilindriche. In questa categoria si possono inserire piccoli fenomeni pseudo stalattitici. Da questa categoria di campioni sono stati ottenuti provini, ma non sono state effettuate prove di compressione monoassiale, in quanto fuori dalla portata della pressa a disposizione.

Le prove meccaniche quindi si sono concentrate sui travertini fitoclastici.

I campioni sono identificabili da un numero progressivo.

Sono state effettuate 12 prove di compressione uniassiale sui provini corrispondenti ai seguenti numeri di identificazione:

127 – 129 – 130 – 131 – 132 – 133 – 134/2° - 134/2b – 134/2c – 135/1 – 135/1a- 136.

Inoltre sono state effettuate anche 13 prove di trazione indiretta brasiliana sui provini corrispondenti ai seguenti numeri progressivi:

116 – 117 – 121 – 122 – 123 – 124 – 125 – 126 – 134/2(1) – 134/2(2) – 135(1b) – 136 – 137

Sul campione 134 è stata effettuata una prova di compressione triassiale su roccia, con velocità di avanzamento di 0.2 mm/min, su tre provini, sottoposti a pressioni di cella rispettivamente di 200 KPa, 400 KPa e 600 KPa.

Sui campioni 128 e 130 è stato anche determinato il peso di volume della parte solida.

Si ricorda che i provini contrassegnati dai numeri 134 e 135 sono relativi a campioni di aspetto più massivo.

Prove compressione monoassiale:

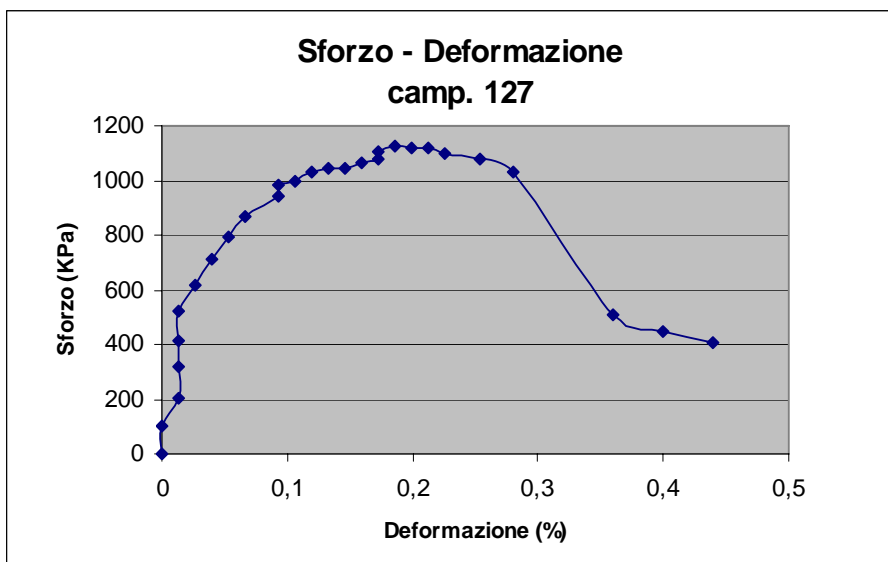


Fig. 43



Fig. 44

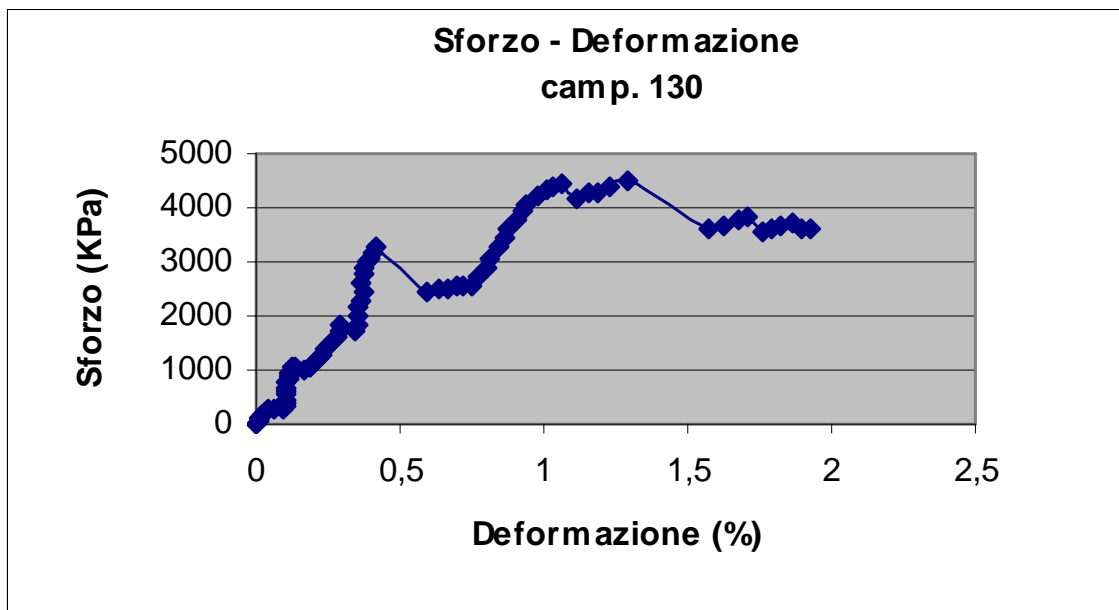


Fig. 45

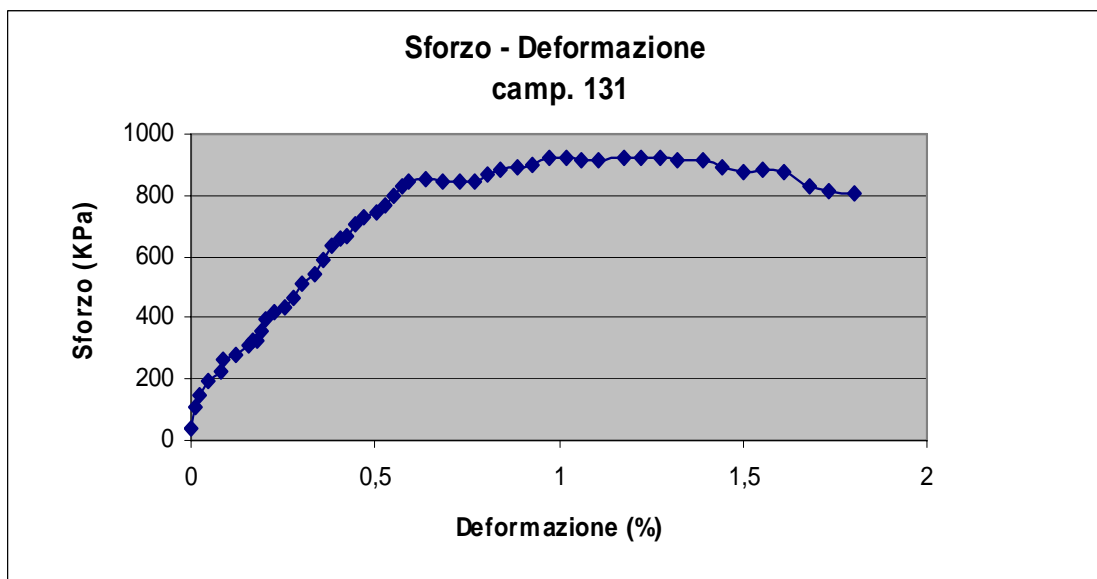


Fig. 46

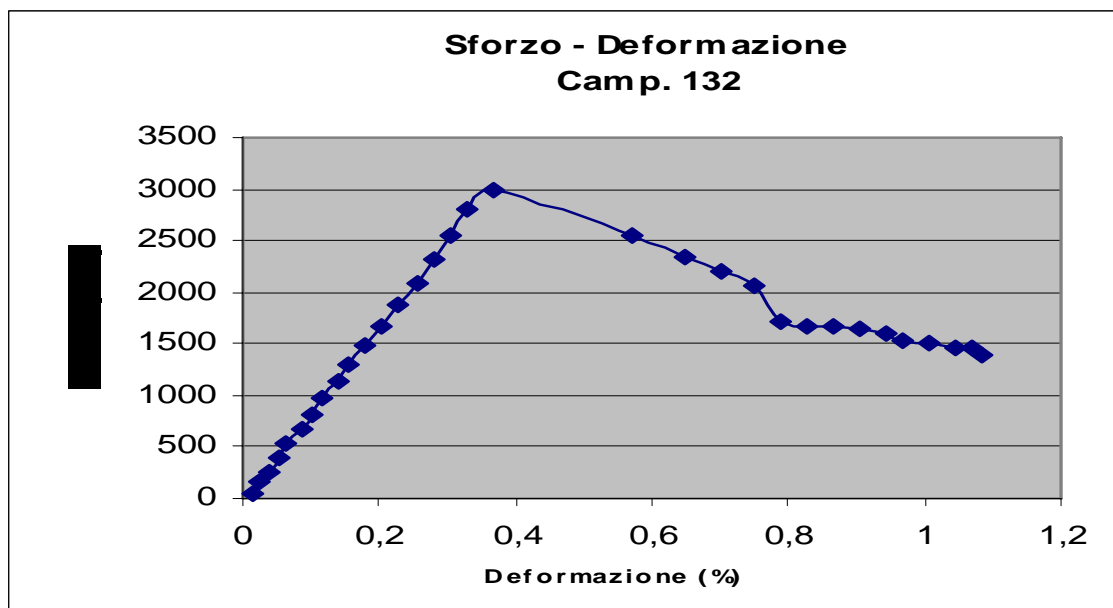


Fig. 47

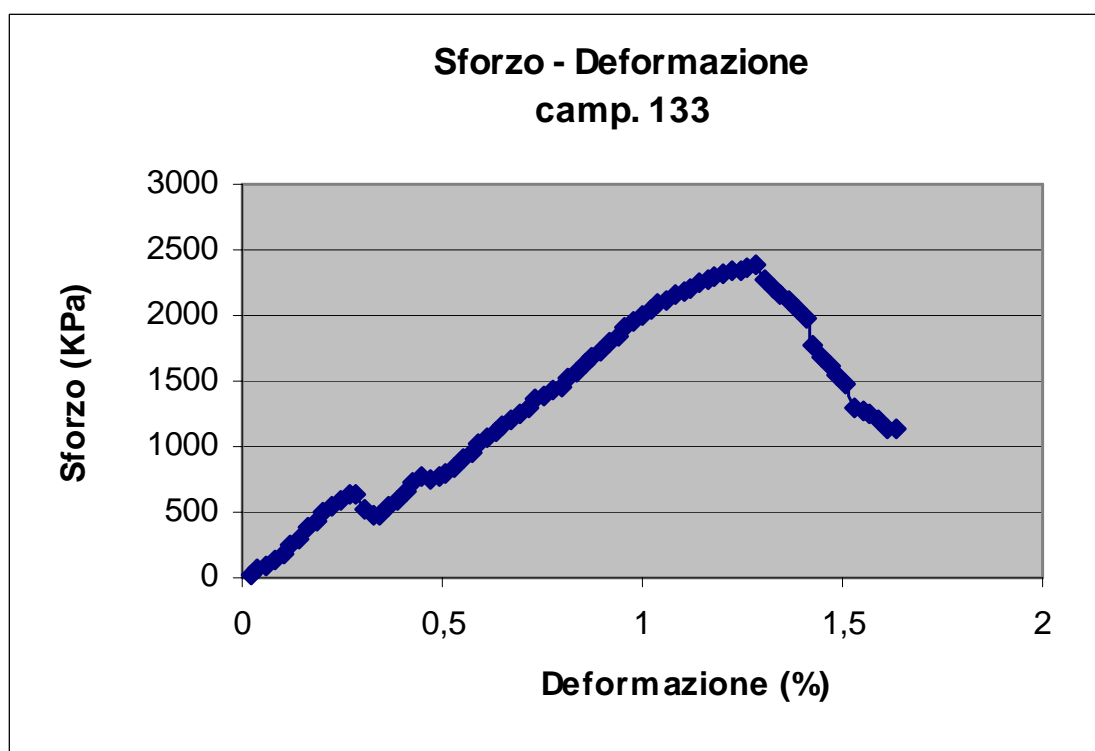


Fig. 48

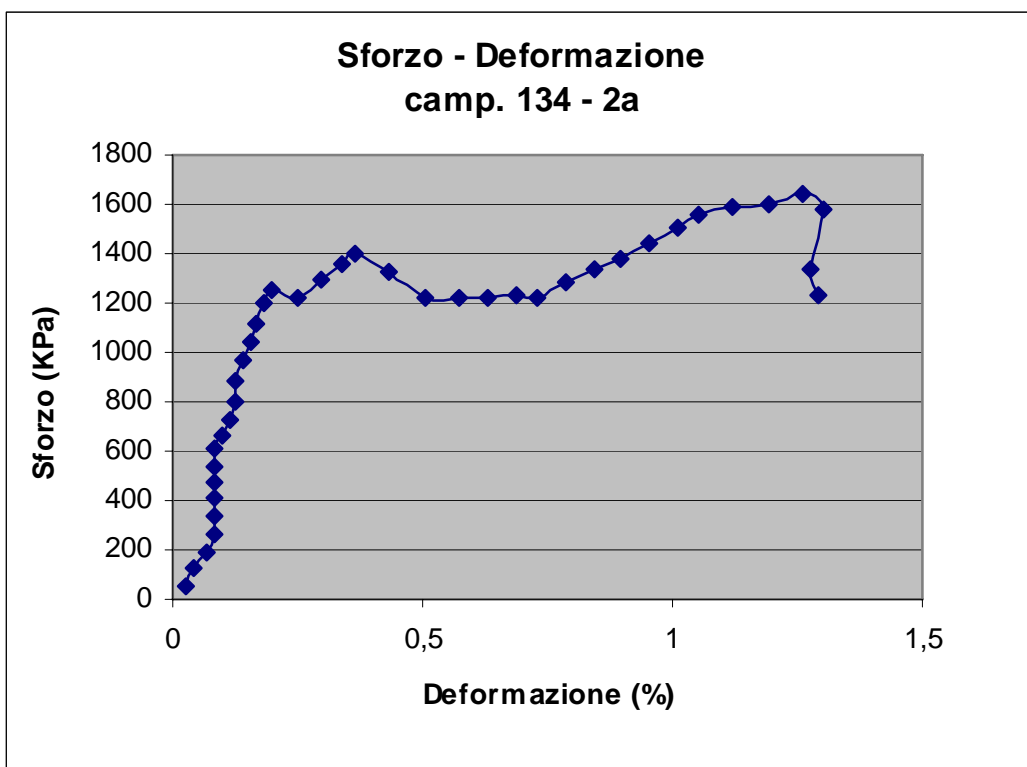


Fig. 49

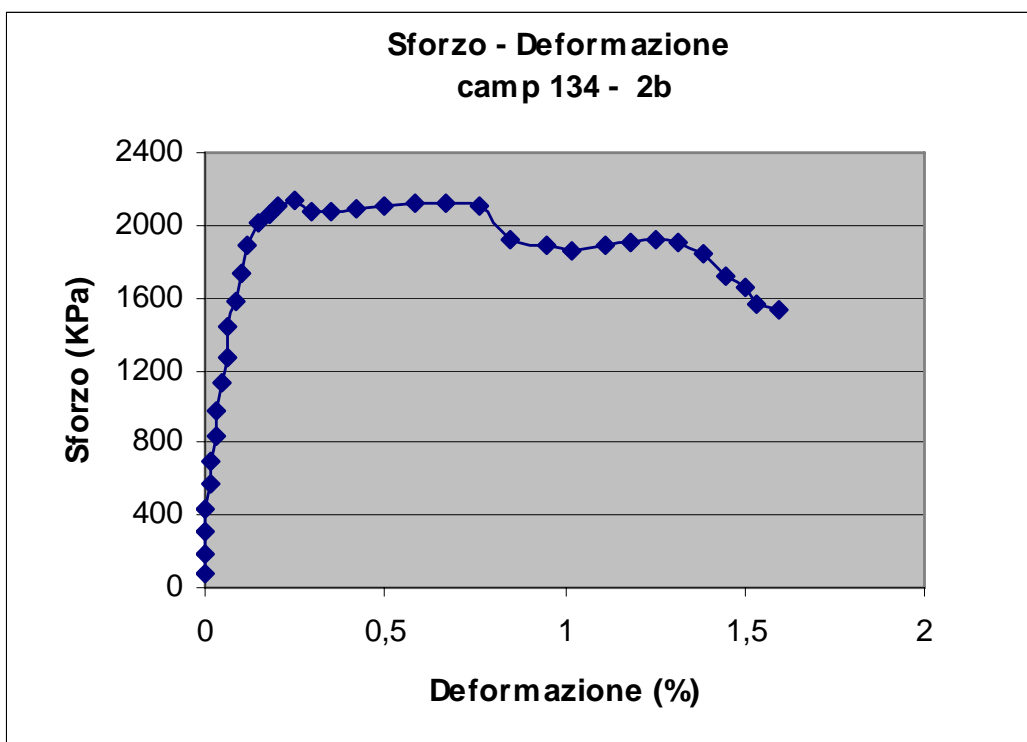


Fig. 50

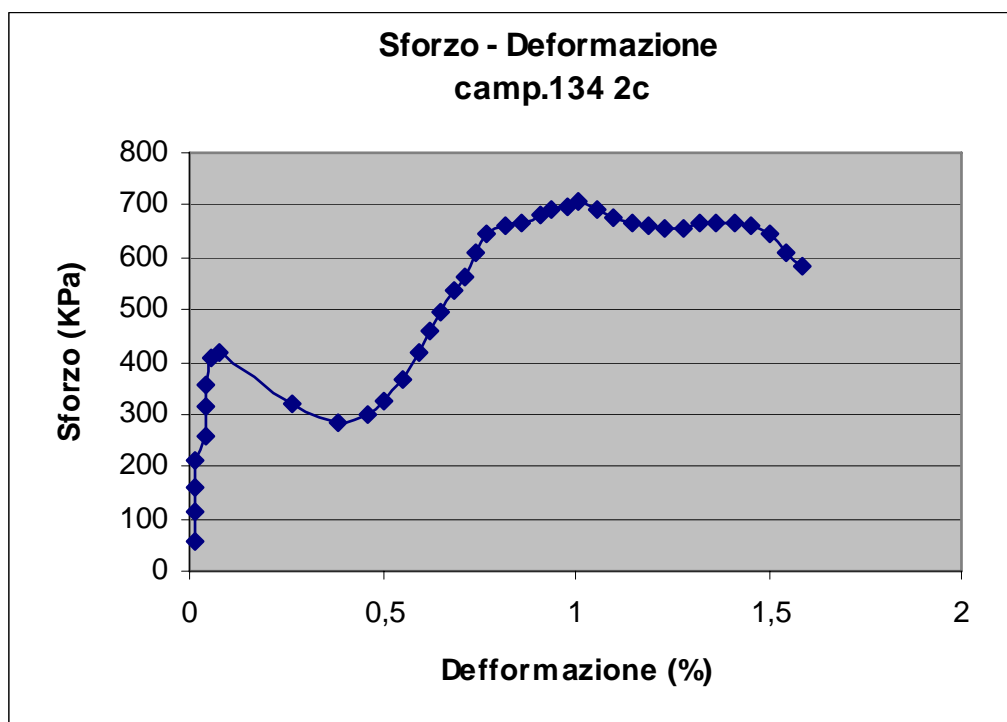


Fig. 51

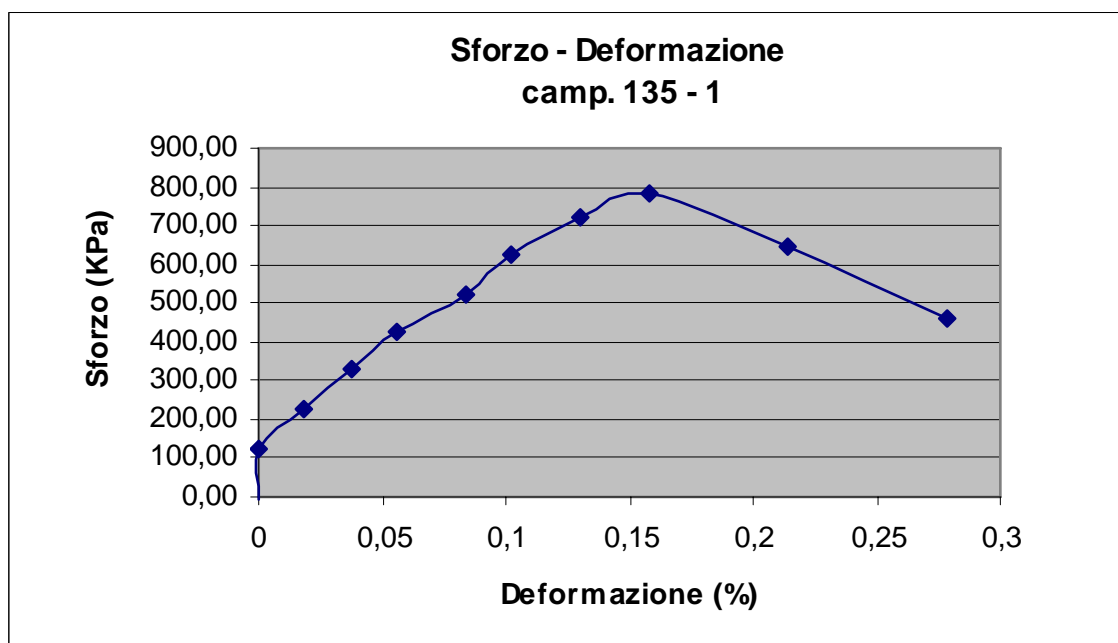


Fig. 52

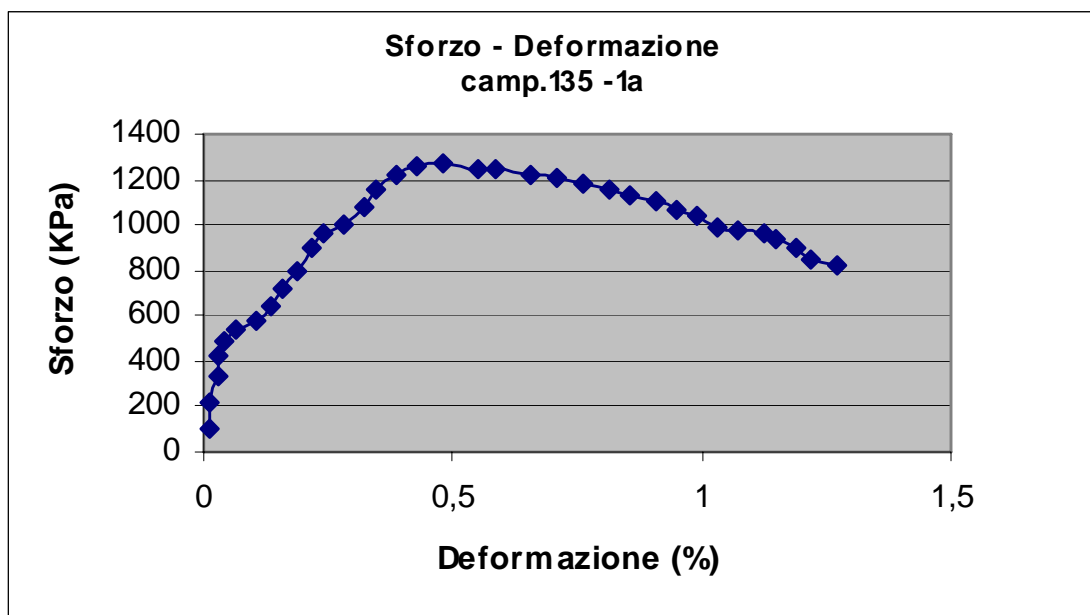


Fig. 53

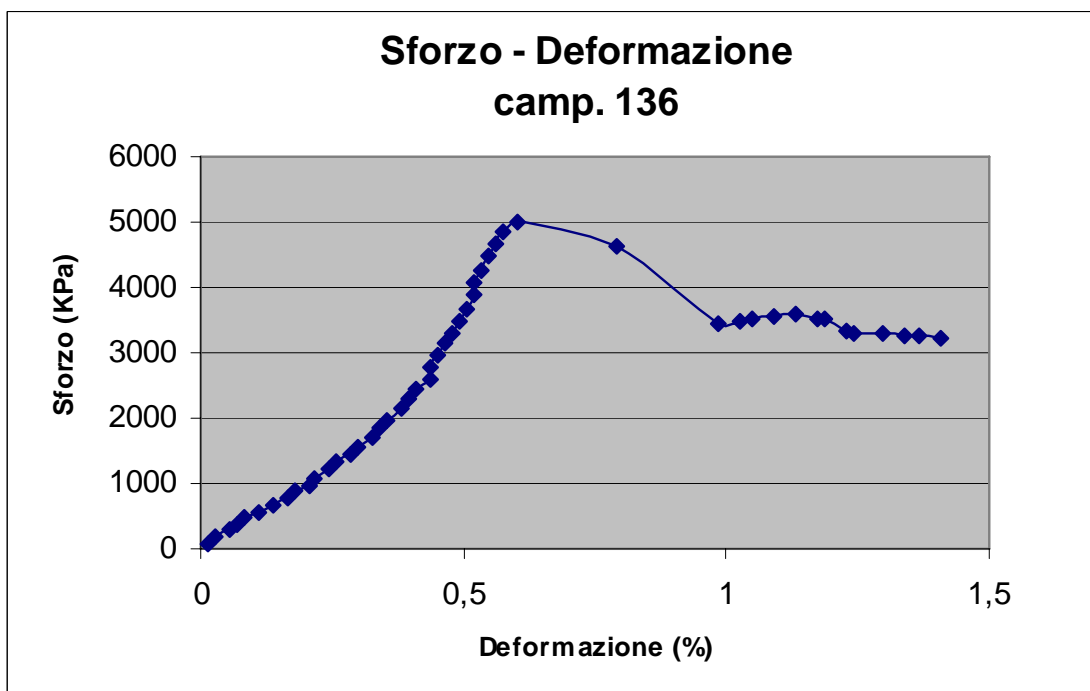


Fig. 54

Prove di compressione triassiale:

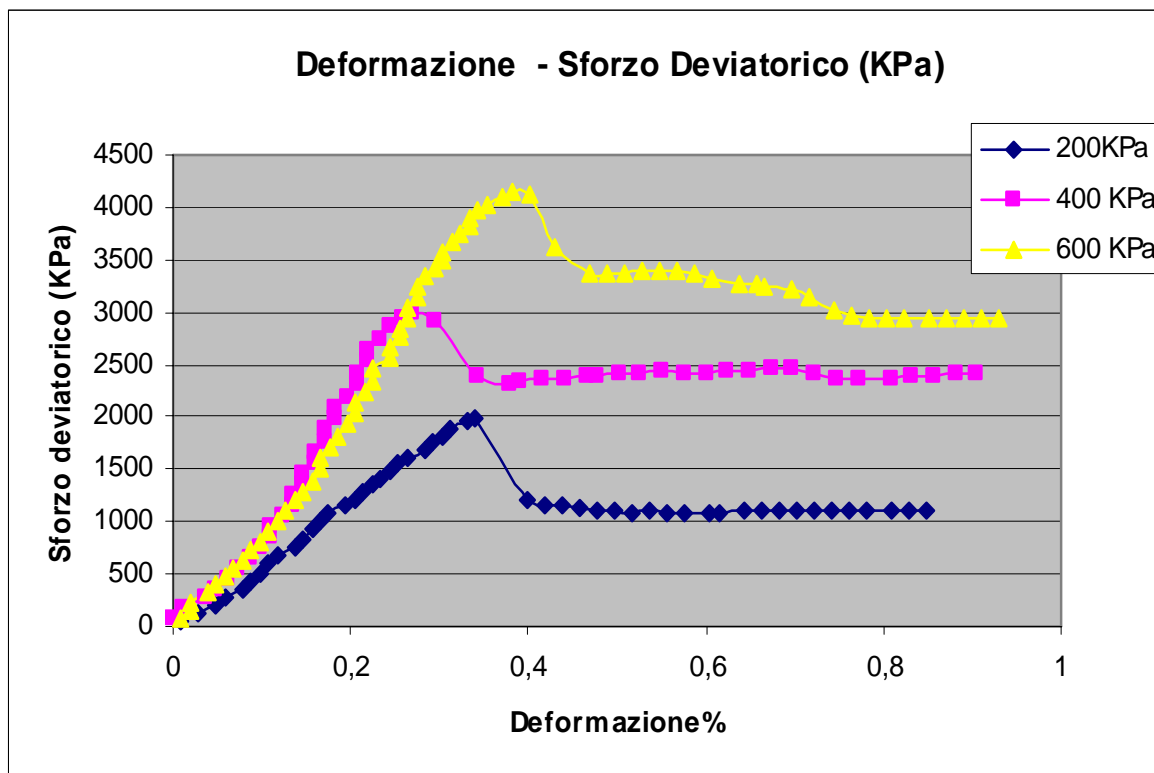


Fig. 55 – Prova triassiale campione 134.

Fig. 56 – Rappresentazione sul piano di mohr della prova triassiale eseguita sul camp 134.

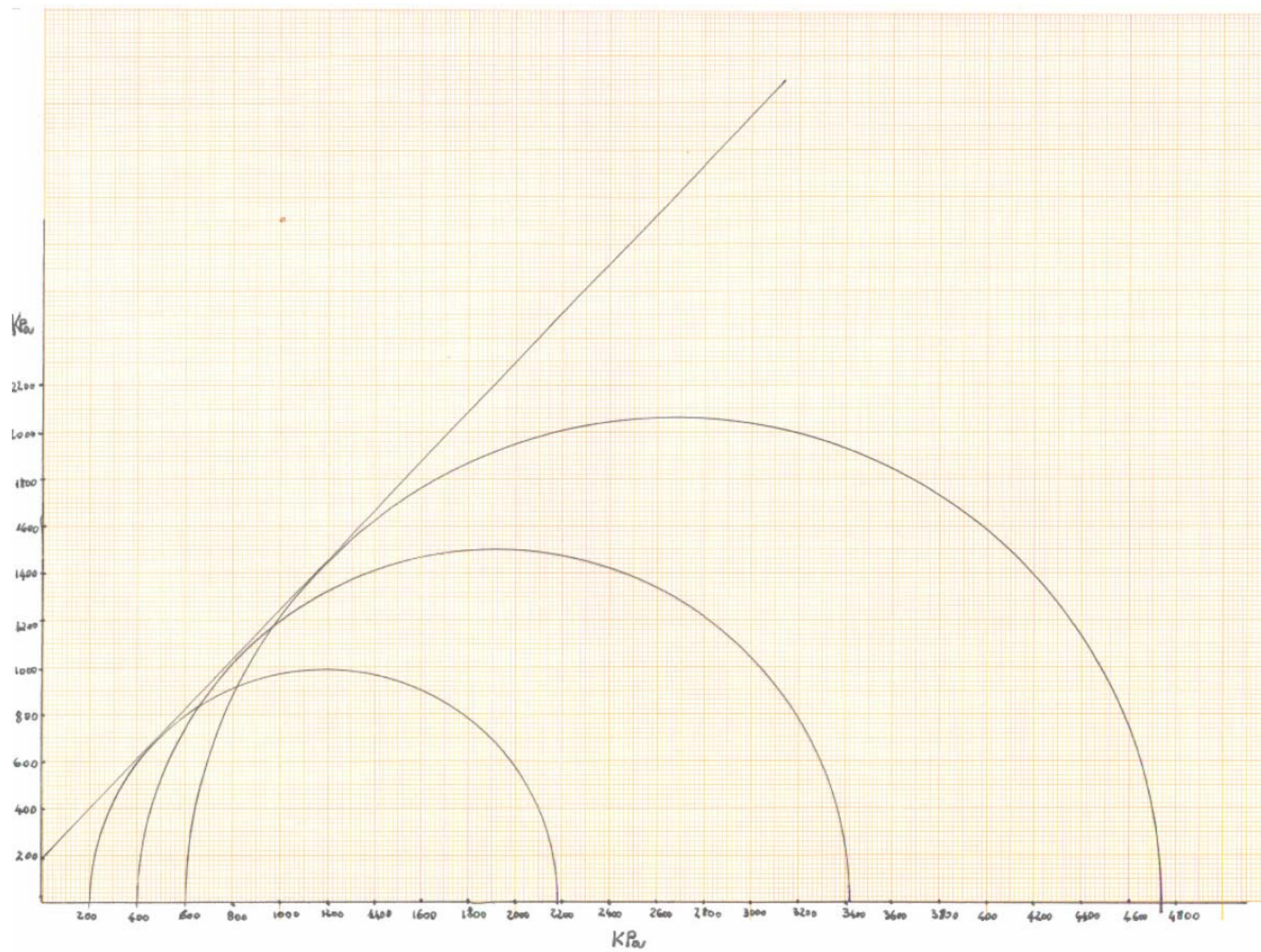




Fig. 57 – *Campione travertinoso-terroso.*



Fig. 58 – *Travertino fitoclastico.*



Fig. 60 – *Travertino fitoclastico ben cementato.*



Fig. 61 – *Travertino di aspetto massivo.*



Fig. 62 – *Travertino fitoclastico con evidenza di resti vegetali.*



Fig. 63 – *Particolare di foglia (probabilmente di Fagus sylvatica).*



Fig. 64 – *Campione con concrezioni e pseudostalattiti.*



Fig. 65 – *Particolare di foglia nel travertino concrezionale.*



Fig. 66-67 – Esempi di rottura da compressione monoassiale.



Fig. 68 e 69 – Esempi di rottura da trazione brasiliana.



Fig. 69

5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

5.1 SABBIE

La sezione petrografica ha evidenziato cristalli di quarzo in abbondanza, miche, presenza di ossidi e calcite microcristallina che a tratti tende a cementare il tutto. Dal punto di vista macroscopico queste sabbie presentano colorazioni che vanno dal giallo all'avana con venature rossastre dovute probabilmente a fenomeni di ossidazione, come si può apprezzare dalle foto eseguite sui provini sottoposti a prova di taglio.

L'analisi granulometria mostra che l'85% dei granuli ricade tutto nell'intervallo 0.425 mm - 0.075 mm di diametro. Il passante al setaccio 0.075 mm di apertura corrisponde al 10.66% del totale contro il 4.14% del blocco precedentemente studiato, per il resto le due curve sono molto simili.

Il peso di volume, come deducibile dalle prove edometriche, si è attestato su valori intorno al 14.8 KN/m³, con un contenuto d'acqua intorno al 16%.

La misura del peso di volume della parte solida ha confermato un valore di 26.28 KN/m³, identico a quello del blocco precedentemente studiato.

Le prove edometriche, molto simili tra loro, mostrano regolarità dei vari moduli, come ad esempio il valore P_c , rispettivamente 2.54 e 2.74 e quello C_c , rispettivamente 0.37 e 0.33. Anche in questo caso ci sono ottime analogie almeno con una prova edometrica effettuata sul blocco precedente ($P_c=2.62$ e $C_c=0.33$).

Le prove di permeabilità diretta in cella edometrica sono state effettuate ai seguenti carichi: 98.07 KPa, 196.13 KPa, 392.27 KPa con valori della permeabilità che sono andati a stabilizzarsi rispettivamente intorno a $3 \cdot 10^{-4}$ cm/sec., $2.8 \cdot 10^{-4}$ cm/sec., $1.5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec.

La prova di taglio ha evidenziato un angolo di attrito interno di 29.26° ed una coesione di 12.13 KN/m², molto prossimi ai valori dell'esperienza precedente (26.15° e 11.65 KN/m²).

5.2 SONDAGGIO BH 1

- Sondaggio BH1 - profondità 7 metri dal piano campagna: il campione corrisponde ad un limo argilloso con sabbia.

Peso di volume della parte solida della frazione $< 0.075 \text{ mm} = 26.87 \text{ KN/m}^3$.

Nella carta di plasticità si ricade a cavallo tra le argille CL con basso limite di liquidità ed i limi ML con basso limite di liquidità.

- Sondaggio BH1 - profondità 9 metri dal piano campagna: il campione corrisponde ad un'argilla limosa.

Peso di volume della parte solida della frazione $< 0.075 \text{ mm} = 26.75 \text{ KN/m}^3$.

Nella carta di plasticità si ricade nel campo delle argille CH con alto limite di liquidità, ma in prossimità del confine con i limi MH, con alto limite di liquidità.

- Sondaggio BH1 - profondità 10 metri dal piano campagna: il campione corrisponde ad un limo argilloso

Peso di volume della parte solida della frazione $< 0.075 \text{ mm} = 26.83 \text{ KN/m}^3$.

Nella carta di plasticità si ricade nel campo delle argille CL con basso limite di liquidità anche se in prossimità della linea di confine con i limi ML a basso limite di liquidità.

- Sondaggio BH1 profondità 11 metri dal piano campagna: il campione corrisponde ad un limo sabbioso.

Peso di volume della parte solida della frazione $> 0.075 \text{ mm} = 26.72 \text{ Kn/m}^3$

Data la natura prettamente sabbiosa del campione non si è proceduto alla determinazione dei limiti di Atterberg.

5.3 TRAVERTINI

Nella seguente tabella sono riportati, a fianco dei numeri identificativi, i valori espressi in KPa e MPa della relativa resistenza a compressione monoassiale e del valore del modulo di Young secante espresso in GPa:

N° secante	Carico di rottura		Modulo di Young (GPa)
	(KPa)	(MPa)	
	1126	1.1	
127	2535	2.5	2.3
129	4461	4.5	0.3
130	925	0.9	0.6
131	2993	3.0	0.2
132	2381	2.4	0.8
133	1639	1.6	0.4
134/2a	2127	2.1	0.2
134/2b	707	0.7	2.6
134/2c	772	0.8	0.8
135/1	1277	1.3	0.8
135/1a	5001	5.0	0.3
136			0.6

Tab. 1

Nella seguente tabella sono riportati, a fianco dei numeri identificativi, i valori espressi in KPa e MPa i valori di resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana):

N°provini	Resistenza a trazione indiretta	
	(KPa)	(MPa)
116	216	0.2
117	194	0.2
121	947	0.9
122	1196	1.2
123	168	0.2
124	549	0.5
125	1569	1.6
126	368	0.4
134/2(1)	408	0.4
134/2(2)	393	0.4
134/1b	309	0.3
136	984	1.0
137	1530	1.5

Tab. 2

Peso di volume della parte solida:

N°	(KN/m3)
128	26.29
130	26.48

I risultati della prova di compressione triassiale, espressi sul piano di Mohr, mostrano una linea di involuppo relativa ad un angolo di attrito interno di 47° ed una coesione di 200 KPa.

6 CONCLUSIONI

✚ Le indagini geotecniche effettuate sulle sabbie hanno confermato le risultanze scaturite dal precedente stage di formazione incentrato sul fenomeno franoso in oggetto. Ulteriori indagini mineralogiche e geochimiche potrebbero apportare ulteriori elementi circa l'origine e la genesi di questi terreni, la cui particolare curva granulometrica risulta concentrata per l'85% nell'intervallo 0.425 – 0.075 mm.

✚ L'analisi dei campioni relativi al sondaggio BH 1 hanno fornito, oltre alle indicazioni circa le caratteristiche granulometriche e i limiti di Atterberg, anche elementi utili per lo studio della messa in posto della Formazione di Monte Vaticano caratterizzata soprattutto nell'intervallo studiato, da alternanze di argille limose, limi sabbiosi e limi argillosi.

✚ Per quanto riguarda lo studio dei travertini invece, si è cercato di individuarne alcune tipologie specifiche, adattando la strumentazione in dotazione allo studio delle caratteristiche meccaniche dei campioni prettamente fitoclastici. Per estendere lo studio anche a campioni più resistenti occorrerà incrementare la dotazione tecnica con ulteriori macchinari, quali presse di maggiore potenza o la *cella di Hoek*, specifica per prove di compressione triassiale su provini di roccia.

BIBLIOGRAFIA

AMANTI M., CESI C., VITALE V. (2008) – Le frane nel territorio di Roma. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXX: 83-117. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale). Servizio Geologico d'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo.

ASTM – Standard method of test for unconfined compressive strength of rock core specimens: American Society for Testing and Materials, ASTM Designation, D 2938 – 71a.

CARTA GEOLOGICA DEL COMUNE DI ROMA (2008) – Foglio N. 374 di Roma. Scala 1: 50000. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXX. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale). Servizio Geologico d'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo.

COLOSIMO P. (1974) – Il dissesto di Viale Tiziano in Roma: studio di geologia ambientale applicata alla tecnologia dell'architettura. *Geologia Tecnica*. Vol. 3/1974. pp: 129-142.

DE RITA D., FUNICIELLO R. (1982) – Guidebook for the field excursion to Alban Hills: workshop on explosive volcanism. C.N.R. – National Sciences Foundation.

DE RITA D. (1993) – Il Vulcanismo. In: D. Cosentino *et alii* "Guide Geologiche Regionali, 14 itinerari nel Lazio". Società Geologica Italiana, BE-MA Editrice, Milano. pp: 50-64.

FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1976) – The main volcanic groups of Latium (Italy): relations between structural evolution and petrogenesis. *Geologica Romana*, XV: 279-300.

FUNICIELLO R., GIORDANO G. (2008) – La nuova carta geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXX: 39-85. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale). Servizio Geologico d'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo.

HAWKES I., MELLOR M. (1970) – Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. *Engineering Geology*, n. 4. pp. 177 – 285.

ISRM (1994) – Raccomandazioni per determinare la resistenza a compressione monoassiale e la deformabilità dei materiali rocciosi. *Rivista Italiana di Geotecnica* 3/94, pp. 247 – 251.

ISRM (1995) – Raccomandazioni sulla determinazione della resistenza a compressione triassiale di materiali rocciosi: versione aggiornata. *Rivista Italiana di Geotecnica* 1/95, pp. 63 – 71.

MANFRA L., MASI U., TURI B. (1976) – La composizione isotopica dei travertini del Lazio. *Geologica Romana*, XV: 127-174.

MARRA F., ROSA C. (1995) – Inquadramento geologico strutturale dell'area romana. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, L: 49-118. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i servizi tecnici nazionali. Servizio Geologico Nazionale.

MATTEI M., FUNICIELLO R., PAROTTO M. (2008) – Roma e contesto geodinamico recente dell'Italia centrale. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXX: 13-24. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale). Servizio Geologico d'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo.

PALMA A. (2008) – Analisi geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati provenienti dalla nicchia di frana di Viale Tiziano, Roma Novembre 2007. Tesina di Stage presso l'ISPRA (Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale).

PAROTTO M. (2008) – Evoluzione paleogeografica dell'area romana: una breve sintesi. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXX: 25-38. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale). Servizio Geologico d'Italia. Dipartimento Difesa del Suolo.

ZANINI M. (2008) – Indagini pedologiche nel versante settentrionale del Monte Artemisio 8Colli Albani – Roma). Tesi di Laurea. Università “Sapienza” di Roma- Dipartimento di Biologia Vegetale.

