

Resistenza al taglio di terreni a grana fina misurata con mezzi diversi *

G. MEARDI **

SOMMARIO: Premessa l'importanza di una buona conoscenza della resistenza al taglio dei terreni nei problemi di stabilità della geotecnica, e quindi la necessità di avere molte misure e ben definite, specialmente per quanto riguarda il consolidamento dei provini, si illustra il modo di avere un numero notevole di misure rapide di resistenza al taglio con spesa assai limitata. Queste, poste a corredare il numero limitato ma indispensabile di prove fondamentali sui terreni caratteristici, possono essere eseguite in numero sufficiente ad illustrare il quadro geotecnico del terreno interessato da un determinato problema.

1. Premessa.

La determinazione della resistenza al taglio dei terreni è fondamentale per i problemi di stabilità nella geotecnica: essa merita quindi tutta la nostra attenzione e ogni sforzo perchè essa sia fatta con la maggiore possibile attendibilità. D'altra parte i terreni che interessano i nostri problemi, anchè quelli più modesti, sono raramente omogenei; questo porta la conseguenza che per una determinazione della resistenza al taglio sufficiente per lo studio del problema occorrono moltissime misurazioni e ben definite.

Per misurazioni ben definite intendo quelle nelle quali siano ben definite le modalità delle prove, tali che permettano di poter prevedere dal comportamento del terreno sotto prova, quello del terreno in posto. Fra le modalità più importanti da ben definire abbiamo le condizioni di drenaggio del terreno.

Per quanto riguarda invece il numero delle prove ci troveremmo spesso di fronte ad un problema irrisolvibile per il costo proibitivo che assumerebbe il complesso delle prove necessarie. È quindi opportuno, seguendo anche in questo i consigli del prof. TERZAGHI, servirsi di prove che possano essere numerose senza con questo provocare un costo troppo grande dell'indagine.

Per i terreni sabbiosi si hanno le prove penetrometriche che, nota la granulometria dei terreni e la quota della falda acquifera, ci danno, sia pure in-

direttamente, in base a dati statistici e a confronti già eseguiti, i dati che ci occorrono. Queste prove hanno il vantaggio di essere poco costose e continue (penetrometro conico dinamico) o quasi continue (penetrometro statico).

Per i terreni coerenti, invece, le prove penetrometriche si sono dimostrate insufficienti. Esse risentono in modo variabile della profondità del punto esplorato e soprattutto della rapidità della prova, siano esse prove penetrometriche dinamiche o prove penetrometriche statiche. Esse sentono infatti l'effetto della rapidità in modo diverso, secondo la sensibilità del terreno. Non è quindi facile, almeno per ora, ricavare dalla resistenza penetrometrica la resistenza al taglio, come invece è risultato molto più facile per i terreni sabbiosi.

Occorre quindi per i terreni coerenti ricorrere anche a prove indirette di resistenza; queste non mancano: partendo dalle triassiali si passa alle prove di taglio diretto (con scatola di CASAGRANDE o con apparecchio di HVORSLEV), alla resistenza a compressione con espansione laterale libera, alle prove di taglio diretto con apparecchio ad alette (*Vane test*), sia in laboratorio che in sito, alle prove di carico in sito. Recentemente si sono aggiunte anche le prove pressiometriche e il penetrometro tascabile. Le prove penetrometriche, che da sole non servono, sono invece utili insieme con quelle dirette perchè avendo il pregio della continuità ci indicano la presenza di situazioni speciali dove le prove dirette devono essere eseguite perchè l'indagine sia completa.

Di tutte le prove dirette nominate le prove triassiali, se eseguite con la misura della pressione dei pori, sono quelle che permettono meglio la definizione della prova e l'indagine sul comportamento

* Comunicazione presentata al VII Convegno di Geotecnica (Trieste, 1-2 giugno 1965).

** Prof. Ing. Guglielmo MEARDI, Libero Docente Incaricato di Geotecnica nel Politecnico di Milano.

del terreno, non solo nelle sue condizioni attuali ma anche in quelle prevedibili in futuro; in seguito, per esempio, ad un consolidamento: nelle prove di taglio diretto di CASAGRANDE e di HVORSLEV non è facile ottenere un drenaggio completo, o un drenaggio nullo, o, meno che meno poi, un drenaggio parziale prefissato, perché il drenaggio parziale in queste prove non è misurabile.

Il problema enunciato sopra si potrà quindi risolvere con poche prove fondamentali ben definite (triassiali ed eventualmente di taglio diretto, con tutte le riserve di cui sopra) sui terreni caratteri-

che non si possono utilizzare. Per mostrare meglio l'importanza di questa accurata definizione presento nella fig. 1 una prova triassiale di tipo multiplo, che talvolta è possibile eseguire quando si hanno campioni uniformi e non troppo molli che si accorciano sotto carico senza deformarsi irregolarmente. Un provino di limo argilloso con umidità 18,3%, di 70 mm di diametro e altezza iniziale 160 mm, è stato portato al limite di rottura 5 volte di seguito sottopendolo dopo ciascuna delle prime 4, arrestata la rottura, o ad un drenaggio, o ad un aumento della pressione in cella, in modo di po-

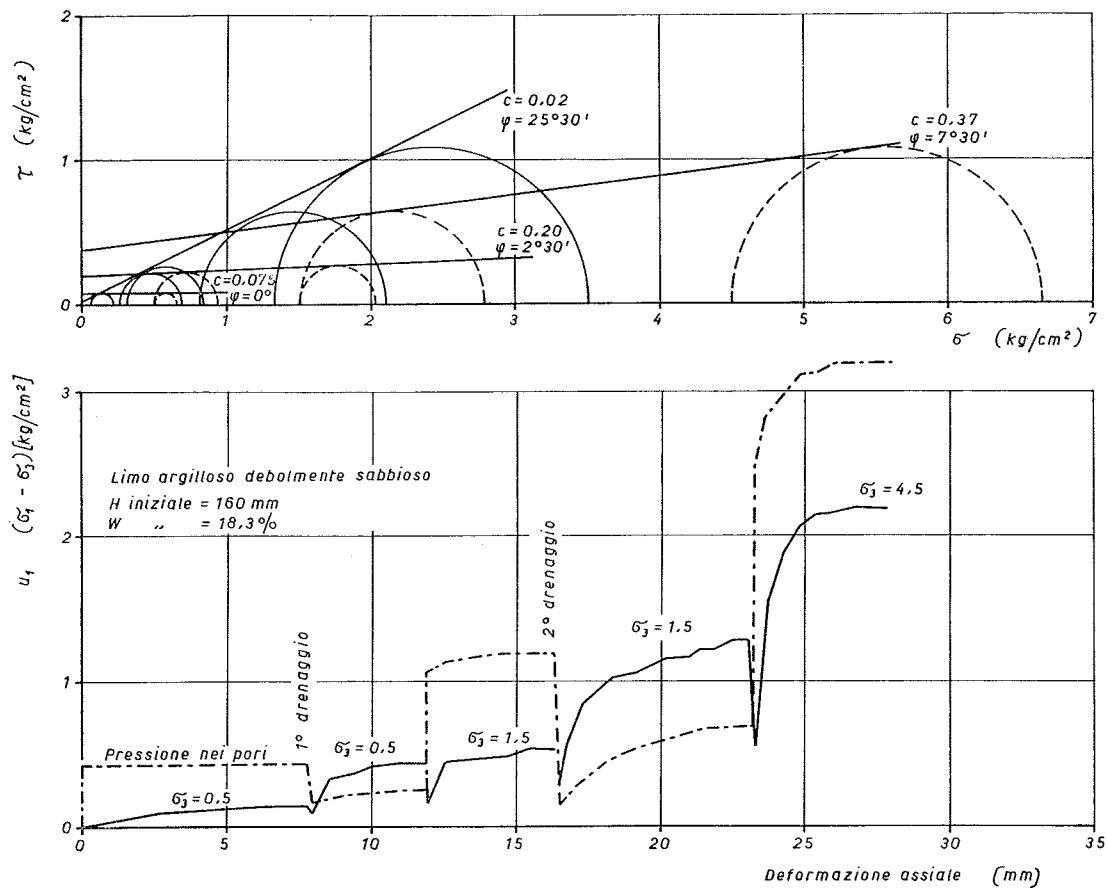


Fig. 1. - Prova triassiale multipla con tre condizioni di consolidamento.

stici principali, eseguendone poi numerose altre meno costose per tener conto delle reali variazioni da punto a punto, in modo di avere un quadro sufficientemente completo della situazione.

Mi si permetta di insistere, per quanto riguarda le prove fondamentali, sulla necessità che siano ben definite poiché troppe volte vengono indicate le resistenze al taglio, con coesione ed angolo di attrito, senza che siano ben definite le modalità, in modo particolare il drenaggio del terreno durante la prova.

Ci si trova così di fronte a valori di resistenza

terlo portare di nuovo, senza drenaggio, ad un più alto limite di rottura. L'accorciamento totale è stato del 17%. Il diagramma della figura mostra chiaramente come sono state condotte le prove.

Queste 5 prove su uno stesso provino in 3 diverse condizioni di drenaggio hanno permesso di tracciare nella stessa fig. 1 (parte superiore) i cerchi di MOHR e quindi la retta di rottura in tre condizioni. Rimane ancora una quarta retta di rottura: quella corrispondente ad una prova drenata, che è rappresentata dai cerchi di Mohr in funzione delle pressioni efficaci.

I valori così ottenuti della coesione e dell'angolo di attrito sono:

| | | |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------|
| prova a: | $c = 0,075 \text{ Kg/cmq}$ | $\varnothing = 0$ |
| prove b e c: | $c = 0,20$ | » $\varnothing = 2^\circ 30'$ |
| prove d e c: | $c = 0,38$ | » $\varnothing = 7^\circ 30'$ |
| drenata (indiretta) | $c = 0,01$ | » $\varnothing = 25^\circ 30'$ |

Alle quattro condizioni indicate, ciascuna delle quali corrisponde ad una coppia di valori di c e di \varnothing , se ne potrebbero aggiungere infinite altre, cambiando la pressione di consolidamento o di drenaggio. Pertanto, se queste non sono ben definite, i valori di c e di \varnothing che vengono dati non sono utilizzabili.

Tutta questa precisazione mi permette di richiamare l'attenzione sull'importanza di una definizione esatta della prova.

2. Tipi di prove considerati.

Passo ora a considerare le altre prove, specialmente quelle più rapide che permettono di completare il quadro delle resistenze al taglio di tutti i terreni che interessano un dato problema. Vediamole separatamente per una descrizione sommaria, iniziando da quelle di laboratorio:

Prova di compressione con espansione laterale libera. È una prova troppo conosciuta perché si spendano parole per illustrarla. È molto rapida e si può eseguire su provini di terreno di modesta dimensione; permette così l'esecuzione di diverse prove anche su uno stesso campione. Si deve qui solo avere avvertenza ad evitare durante la preparazione del provino e l'esecuzione della prova, l'asciugamento del provino stesso, per cui la prova che è considerata come non drenata, su un terreno consolidato in sito, potrebbe diventare parzialmente drenata e con una tensione capillare equivalente a sua volta ad un parziale contenimento laterale.

Prove di resistenza al taglio con apparecchio ad alette (Vane test). Questa prova può essere eseguita in laboratorio con l'apparecchio indicato nella fig. 2. Questo apparecchio non richiede la preparazione di nessun provino: la prova viene eseguita sul campione così come arriva in laboratorio. Le palette sono lunghe cm 1,5 e larghe 1 cm, per cui è sufficiente introdurle nel campione per una profondità di cm 2,5 circa. Si possono così eseguire sullo stesso campione diverse prove, nelle varie parti di natura e compattezza diverse di cui è composto.

È un apparecchio che uso da diversi anni con soddisfazione nel *Laboratorio Geotecnico dell'Isti-*

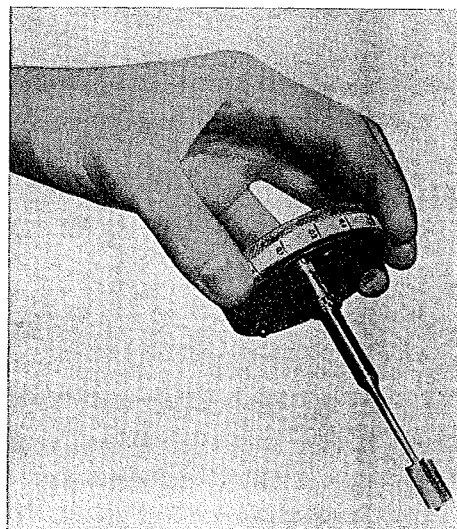


Fig. 2. - Apparecchio ad alette (Vane test) tascabile.

tuto di Scienza delle Costruzioni del Politecnico di Milano. La rottura viene prodotta con la velocità di rotazione di circa 20° al minuto primo, che si può ben dare con sufficiente approssimazione anche in una manovra a mano.

Anche questa prova si può considerare come non drenata su terreno consolidato in sito.

Penetrometro tascabile (pocket penetrometer). L'apparecchio, presentato prima dalla Soil Test poi da altre ditte, con un indice apposito esprime la resistenza necessaria per affondare un pistoncino di pochi millimetri di diametro entro il terreno. La società Soil Test ha tarato queste resistenze in modo di paragonarle alla resistenza a compressione con espansione laterale libera: questa taratura, però, non è dimostrato che valga per tutti i materiali. È una prova indiretta che va confrontata, per tarare le sue indicazioni, con le altre prove più dirette, come per esempio l'apparecchio a palette.

Esaminiamo ora le più diffuse fra le prove in sito.

Prova di carico diretto sul terreno. È eseguita su piastre di modesta dimensione collocate sul terreno e caricate con martinetto e che sfrutta la reazione di una idonea zavorra.

La prova di carico diretto sul terreno costa moltissimo, molto di più di una prova fondamentale di laboratorio. Ciononostante non è definibile nel senso sopra indicato: infatti è drenata ma non completamente perché occorrerebbe un tempo lunghissimo non ammissibile. I suoi cedimenti, se la prova è spinta per la determinazione del carico di rottura (con drenaggio parziale non definito), sono cedimenti di rifluimento, quindi non servono a far prevedere il valore del cedimento della fondazione.

Essa interessa forzatamente uno spessore di terreno assai limitato, grosso modo circa $1,5 \div 2$ volte la dimensione della piastra che non può essere grande perché la zavorra occorrente sarebbe proibitiva; dovrebbero quindi essere eseguite molte prove anche sulla stessa verticale. Pertanto per terreni coerenti, dove può entrare in gioco il consolidamento, non la considero una prova consigliabile, tanto più per il tipo di indagine qui illustrata.

Prova con apparecchio ad alette (Vane test). La prova viene eseguita durante il sondaggio con due alette incrociate alte 75 mm circa e larghe 50 mm. Potrebbe essere eseguita anche da sola affondando le alette protette da una custodia tubolare e mandandole fuori alla profondità alla quale si vuole eseguire la prova. Normalmente, però, più facilmente e con maggior profitto, perché si ha così il vantaggio di conoscere anche la natura del terreno, la prova viene eseguita durante i sondaggi tra due prelevamenti successivi di campioni, affondando l'apparecchio ad alette di almeno mezzo metro sotto il fondo del sondaggio e provocando poi, con la rotazione delle alette, la rottura del terreno. Nel proseguimento del sondaggio il terreno estratto darà le indicazioni necessarie per definire bene la prova. La rottura viene ottenuta ruotando le alette con velocità di 20° al minuto primo. La prova si può sempre considerare non drenata in terreno consolidato in sito.

Questa prova ci dà la resistenza totale del terreno, non solo di coesione, ma anche di attrito perché, se il tubo di sondaggio non è molto grande, si fa sentire sul terreno provato anche la pressione laterale del terreno circostante.

Pertanto le resistenze che noi misuriamo in sito con l'apparecchio ad alette sono sempre maggiori di quelle misurate con lo stesso apparecchio in laboratorio; non solo perché il terreno non è disturbato per il prelievo, ma anche perché si ha la resistenza dell'intero attrito provocato dalla pressione circostante.

Penetrometro statico e penetrometro dinamico. Sono apparecchi già molto conosciuti, che non sto a descrivere. Rilevo solamente che si distinguono dallo *Standard Penetration Test* di TERZAGHI perché questo invece di avere la punta conica come i precedenti, è tubolare, cosicché serve anche come campionatore; ma riempiendosi di terreno va estratto dopo un percorso di non più di $75 \div 80$ cm per essere vuotato. Questa prova richiede quindi l'esecuzione contemporanea di un sondaggio che segua l'apparecchio e che per le prove penetrometriche normali non è necessario.

I risultati delle prove penetrometriche vengono rappresentati con diagrammi che in ordinata hanno le profondità esplorate ed in ascissa le resistenze incontrate alla penetrazione.

Con il penetrometro dinamico la resistenza si misura con il numero N di colpi di maglio necessari per affondare la punta di una prefissata lunghezza (generalmente viene adottato il piede, cioè 30,5 cm). Il penetrometro conico consigliato da TERZAGHI ha la punta di 2 pollici (51 mm), il maglio ha 160 libbre di peso e 30 pollici di volata, cioè rispettivamente 72,6 Kg e 75 cm.

Il penetrometro statico viene invece affondato mediante martinetti idraulici e si misura la pressione necessaria per farlo affondare, espressa in Kg/cm^2 di sezione della base della punta. Entrambi i penetrometri richiedono un rivestimento del foro in modo che la pressione del terreno circostante non freni l'asta che trasmette la pressione o i colpi di maglio alla punta, aumentando la resistenza e non permettendo quindi di misurare quella dovuta alla sola punta. Le resistenze del rivestimento vengono espresse col penetrometro dinamico in numero di colpi/piede come per la punta; col penetrometro statico in Kg di pressione totale necessaria per affondare il rivestimento.

Penetrometro tascabile. Si usa come in laboratorio: vengono provate le due basi dei campioni estratti e possibilmente anche il terreno estratto tra un campione e l'altro, anche se l'estrazione è fatta in modo di disturbare non poco il terreno; essa serve sempre per dare notizie più complete sui terreni di un sondaggio pur con tutte le riserve che richiedono le misure fatte su campioni estratti in modo non regolare. Tutto è evidentemente affidato all'abilità del sondatore che deve essere idoneo al suo lavoro.

Apparecchio ad alette tascabile. Questo viene usato col *Pocket Penetrometer*, occorrendo, per descrivere i terreni tra un campione e l'altro. Esso ha infatti il vantaggio di poter misurare la resistenza nei terreni molli e molto molli che al penetrometro tascabile non danno nessuna indicazione, mentre questo apparecchio, che è provvisto di molle cambiabili, lo permette.

Pressiometro. Per quanto riguarda il pressiometro mi limito a nominarlo perché è un apparecchio di recente introduzione che sollecita il terreno in un suo modo particolare che non corrisponde di solito alle condizioni con le quali il terreno naturale è sollecitato da pressioni prevalentemente verti-

cali; esso va quindi ancora attentamente controllato e vanno stabiliti per quanto sarà possibile i rapporti tra i coefficienti ricavati nelle condizioni particolari di sforzo da esso provocate e quelle che si hanno nei problemi oggetto dei nostri studi.

3. Risultati sperimentali.

Gli apparecchi per prove rapide che ho nominati, alcuni con misura diretta della resistenza (compres-

sione con espansione laterale liberale e *Vane test*), altri con misura indiretta (penetrometri normali - penetrometro tascabile) danno risultati che è necessario mettere a confronto per cercarne la relazione tra loro, specialmente con la prova di compressione con espansione laterale libera, che è conosciuta e definita da tempo e può servire bene da riferimento.

Ho per questo riportato nelle figure da 3 a 8 le stratigrafie di 20 sondaggi in terreni limosi argillosi di fianco alle quali sono rappresentati graficamen-

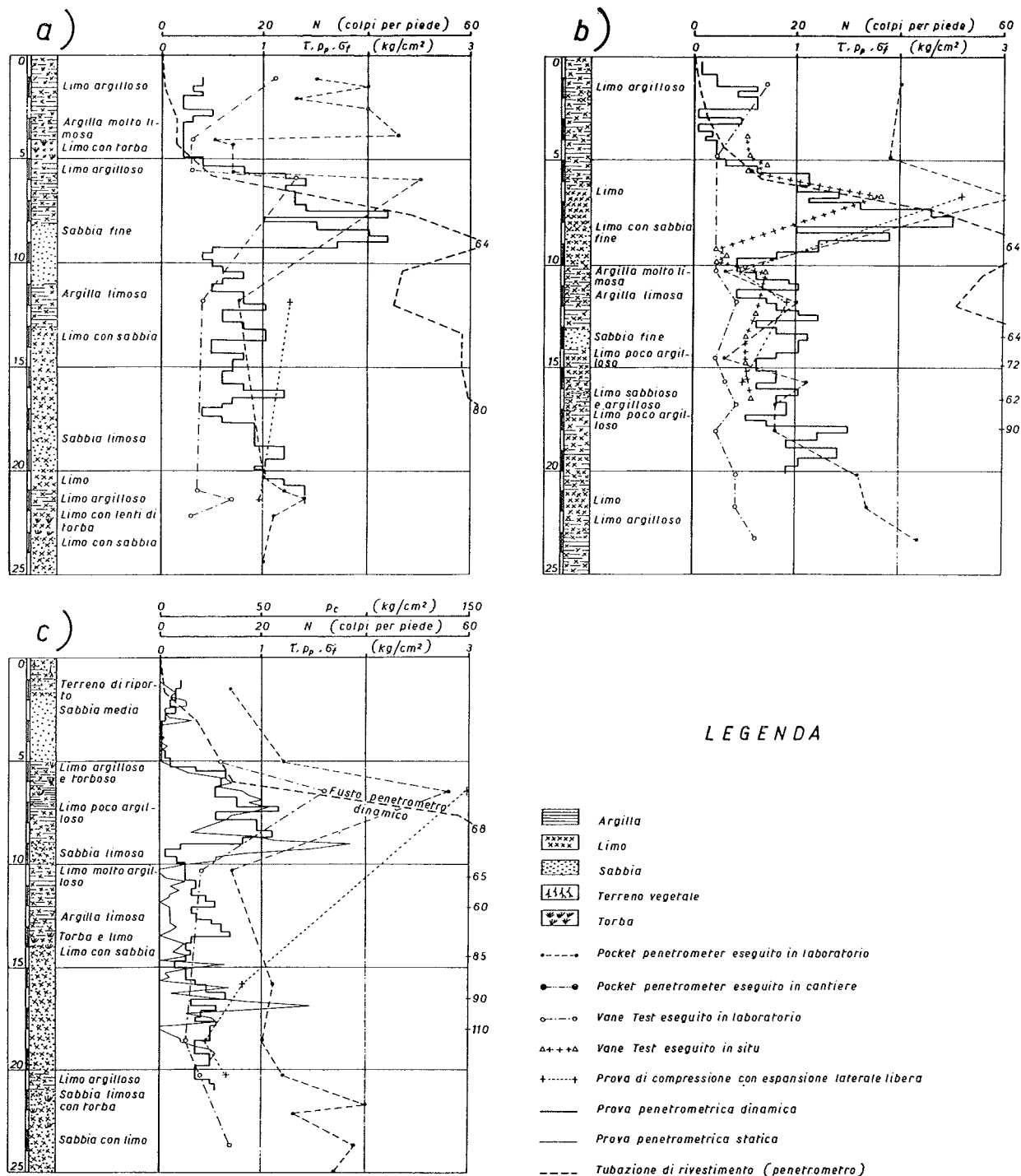


Fig. 3. - Porto Marghera.

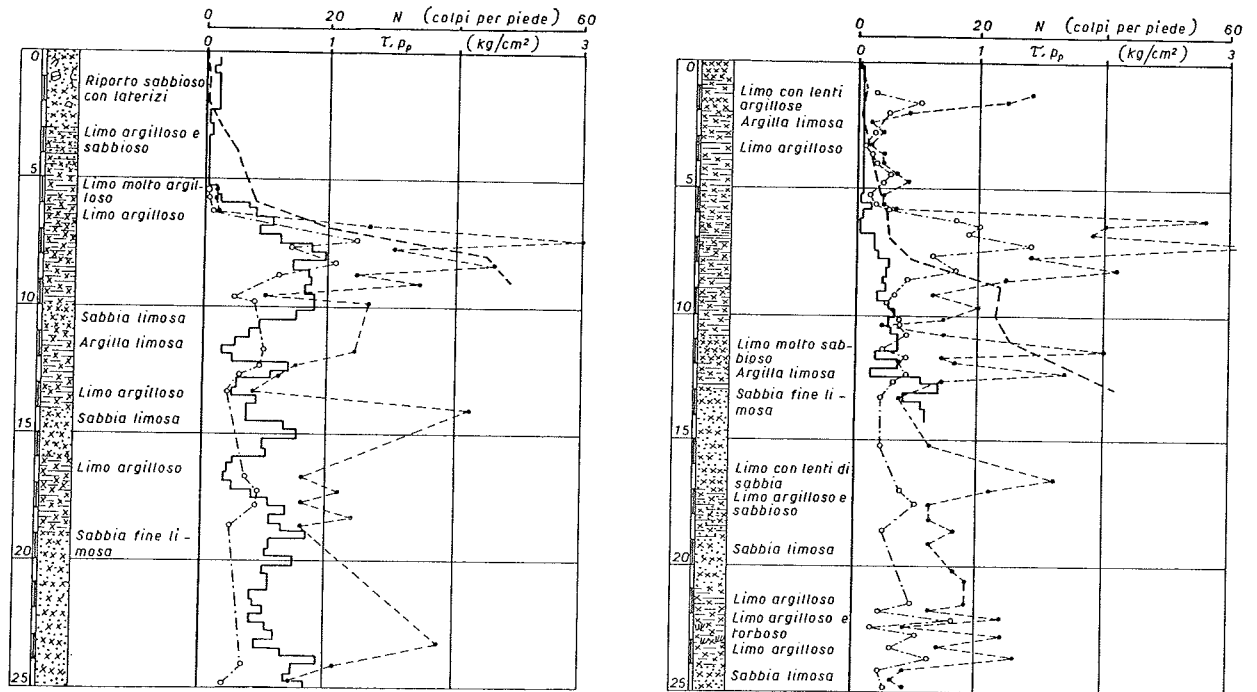


Fig. 4. - Porto Marghera - Fusine.

te i risultati ottenuti con le prove rapide nominate, per poterne fare facilmente il confronto.

I punti rappresentativi dei risultati ottenuti sono collegati in modo da facilitare il confronto di un tipo di prova con l'altro. I segmenti che congiungono tali punti non si debbono intendere come interpolazioni tra misure distanti, poiché il terreno tra una prova e l'altra può cambiare notevolmente di natura.

Ogni prova ha la sua scala sull'asse delle ascisse. Non tutte le prove si sono potute fare in tutti i sondaggi e a tutte le profondità. Si ha però un numero notevole di dati che ritengo possano permettere di trarre qualche prima conclusione. La prova fondamentale è la prova di rottura a compressione con espansione laterale libera e quindi quando questa è stata eseguita si sono ad essa confrontate tutte le altre. Però la rottura a compressione con espansione laterale libera pur essendo una prova rapida non lo è come le altre e richiede più materiale, per cui non tutti i campioni sono stati così provati; al contrario le altre prove, soprattutto la prova col penetrometro o con l'apparecchio ad alette tascabile, sono state eseguite su quasi tutti i campioni. Le prove penetrometriche, da parte loro, essendo praticamente continue, hanno pure esplorato tutti i campioni.

I sondaggi che presento sono eseguiti in terreni in gran parte limosi argillosi, qualche volta anche torbosi, con intercalati degli strati o straterelli sab-

biosi; per questi si hanno solo le indicazioni delle prove penetrometriche e quelle eseguite con apparecchio ad alette normale sul terreno ancora al suo posto. Su queste non mi diffondo perché esistono già diverse pubblicazioni in merito. Mi diffondo invece sui confronti relativi alle altre prove.

Osservando attentamente i risultati rappresentati dai grafici delle figure, sono arrivato alle conclusioni che qui presento, che non pretendono certo di essere definitive, pur essendo suffragate dai risultati di numerosissime altre prove che qui non posso presentare per ragioni di spazio. Le conclusioni si possono trarre infatti solamente con numerosi confronti, perché, trattandosi di terreni naturali, i terreni delle varie prove non sono di solito perfettamente identici, anche quando sono vicini e simili.

a) *Confronto fra la resistenza a compressione con espansione laterale libera (σ_t) e quella misurata con apparecchio ad alette di laboratorio (τ).* Si può constatare che il rapporto tra τ e σ_t è quasi sempre vicino a 1/2: si potrebbe quindi concludere che con l'apparecchio ad alette e con terreni dotati di scarso attrito il valore di τ corrisponde alla coesione. Può rappresentare bene quel valore di resistenza al taglio definito come metà della resistenza a compressione con espansione laterale libera [TERZAGHI, PECK, 1948].

Si nota tuttavia talvolta che i due valori τ e σ_t

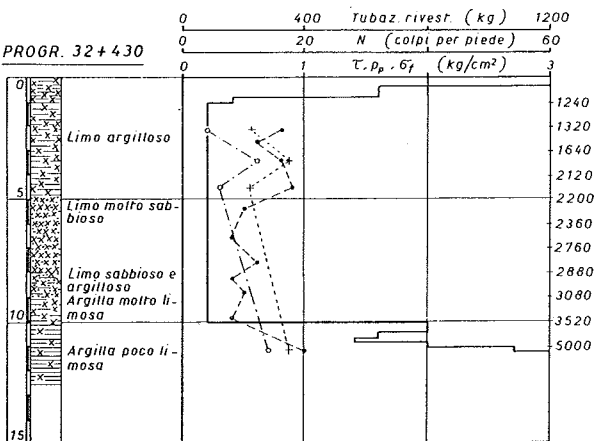
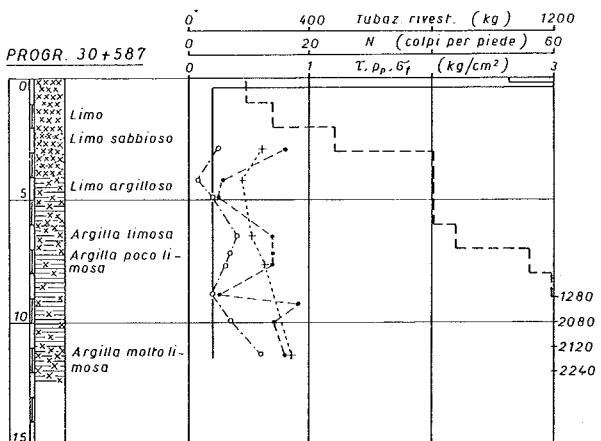
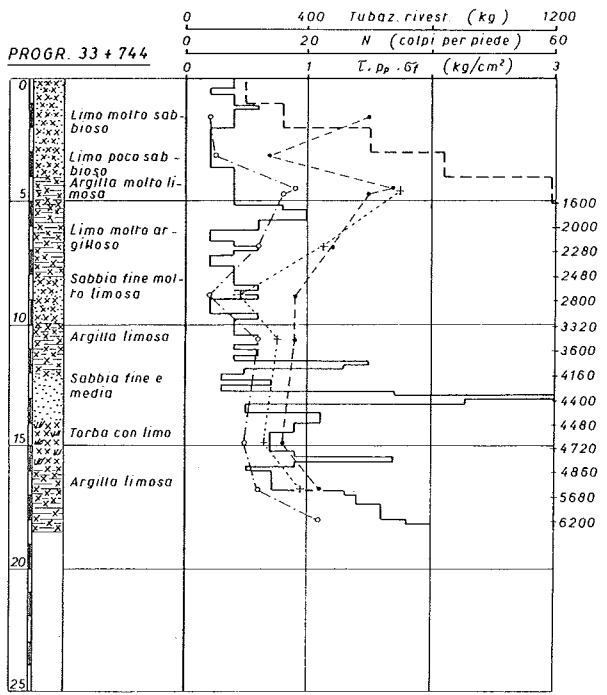
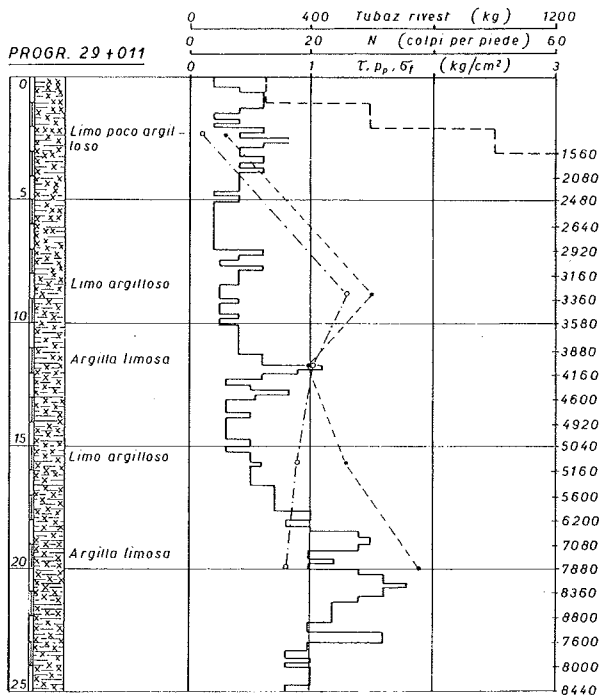
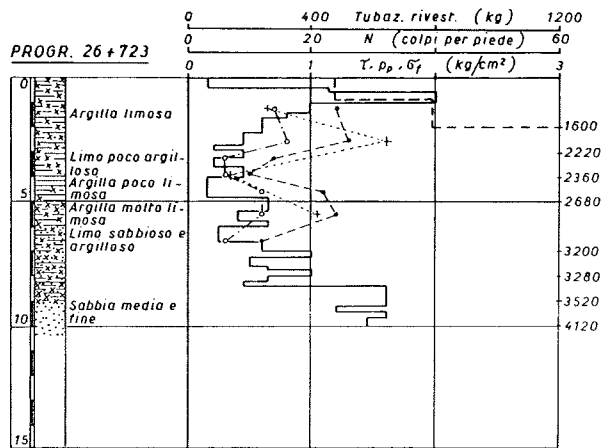
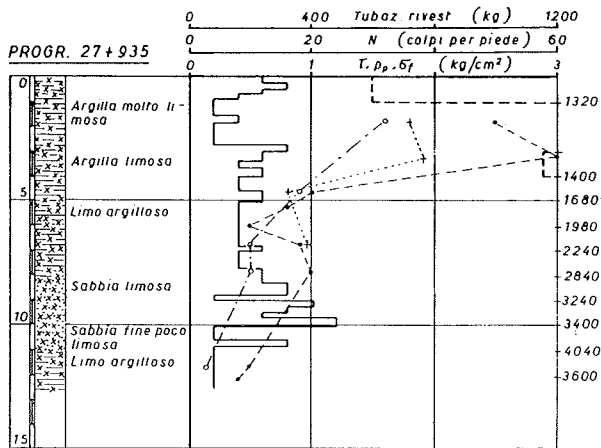


Fig. 5. - Autostrada Bologna - Ferrara.

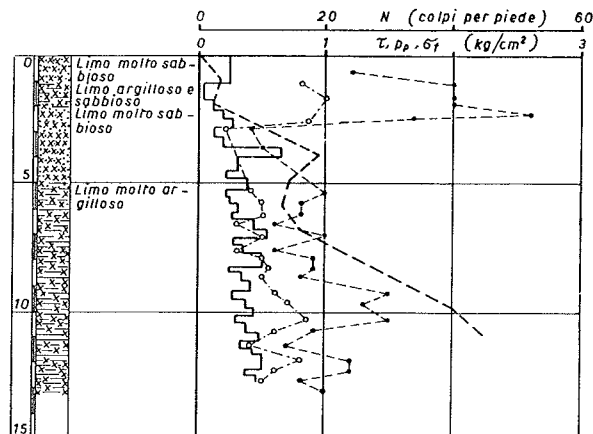
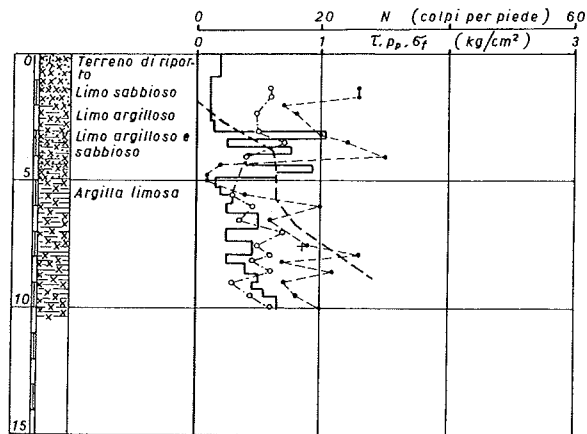


Fig. 6. - Pirelli - Livorno.

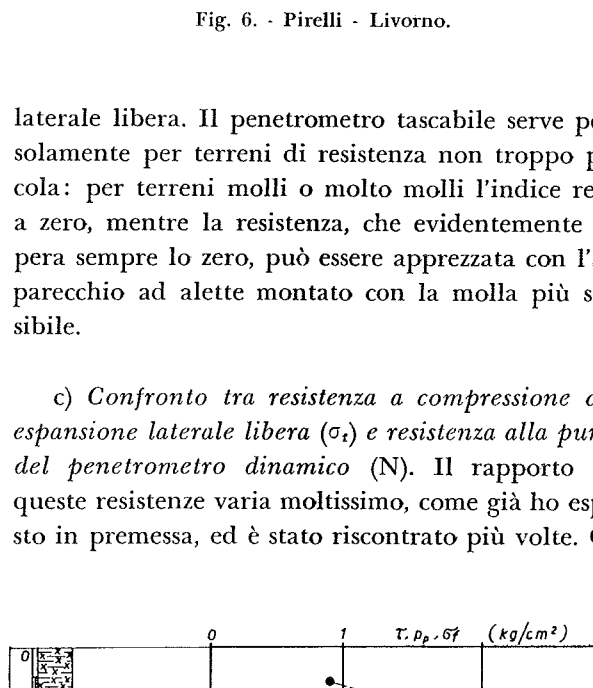
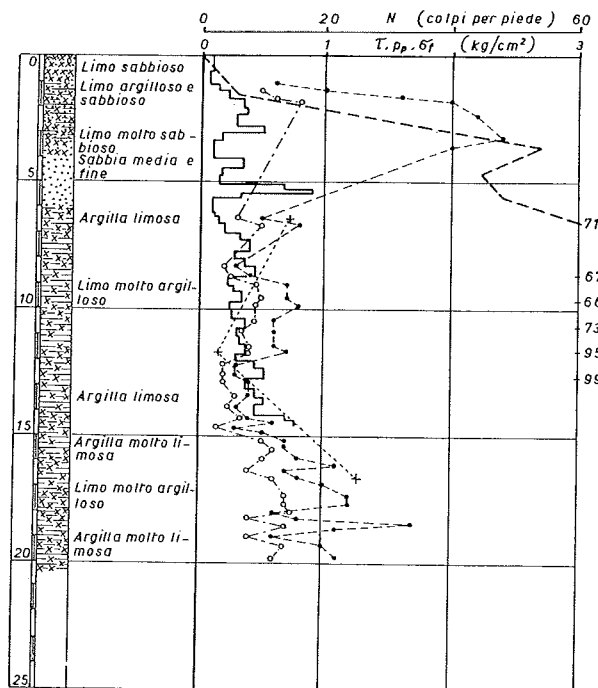


Fig. 7. - ANIC - Gela.

sono piuttosto vicini tra loro (vedasi ad esempio la fig. 5, progr. 33 + 744, a - 15 m); questo avviene specialmente in presenza di terreni torbosi dove la rottura nella prova a compressione con espansione laterale libera può sfruttare le superfici scivolose tra gli elementi di torba dove esse si trovano, mentre la prova con apparecchio ad alette deve tagliare gli elementi torbosi nella superficie fissa di rottura, dove trova una resistenza maggiore.

b) *Confronto tra resistenza a compressione con espansione laterale libera (σ_t) e l'indice del pocket penetrometer (p_p).* Il rapporto tra questi due dati è molto più variabile che non quello tra i precedenti; tuttavia la maggior parte dei valori trovati del raffronto oscillano intorno a 1, per cui si può ritenere che l'indice del penetrometro tascabile corrisponde abbastanza bene nella maggior parte dei casi alla resistenza a compressione con espansione

laterale libera. Il penetrometro tascabile serve però solamente per terreni di resistenza non troppo piccola: per terreni molli o molto molli l'indice resta a zero, mentre la resistenza, che evidentemente supera sempre lo zero, può essere apprezzata con l'apparecchio ad alette montato con la molla più sensibile.

c) *Confronto tra resistenza a compressione con espansione laterale libera (σ_t) e resistenza alla punta del penetrometro dinamico (N).* Il rapporto tra queste resistenze varia moltissimo, come già ho esposto in premessa, ed è stato riscontrato più volte. Os-

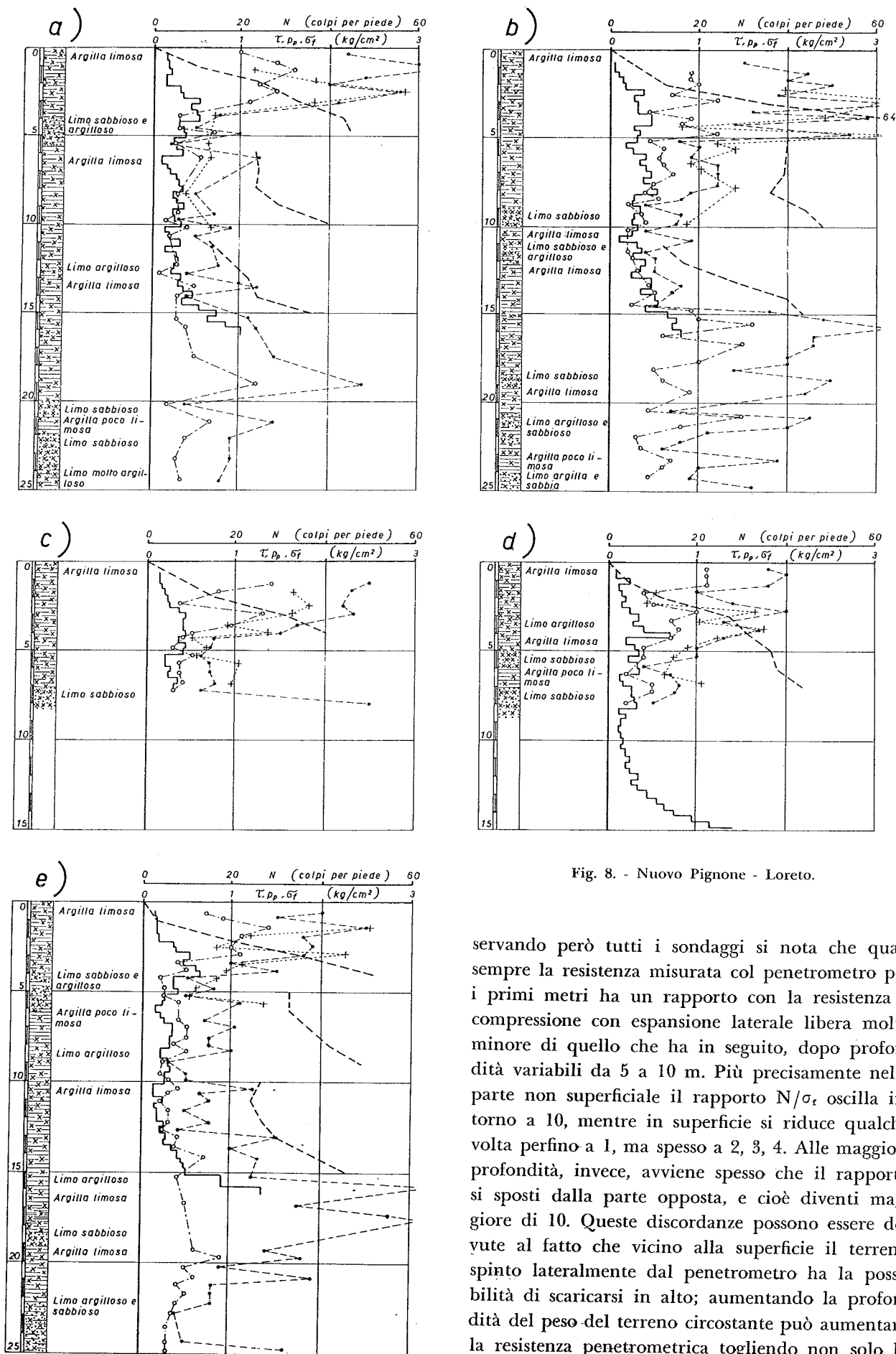


Fig. 8. - Nuovo Pignone - Loreto.

servando però tutti i sondaggi si nota che quasi sempre la resistenza misurata col penetrometro per i primi metri ha un rapporto con la resistenza a compressione con espansione laterale libera molto minore di quello che ha in seguito, dopo profondità variabili da 5 a 10 m. Più precisamente nella parte non superficiale il rapporto N/σ_ϵ oscilla intorno a 10, mentre in superficie si riduce qualche volta perfino a 1, ma spesso a 2, 3, 4. Alle maggiori profondità, invece, avviene spesso che il rapporto si sposti dalla parte opposta, e cioè diventi maggiore di 10. Queste discordanze possono essere dovute al fatto che vicino alla superficie il terreno spinto lateralmente dal penetrometro ha la possibilità di scaricarsi in alto; aumentando la profondità del peso del terreno circostante può aumentare la resistenza penetrometrica togliendo non solo la

possibilità dello scarico in alto ma introducendo anche la resistenza d'attrito, in una misura che può essere notevole.

d) *Confronto tra la resistenza misurata con l'apparecchio ad alette in sito (τ) e la resistenza alla punta del penetrometro dinamico (N).* Qui il rapporto si può prevedere da quanto esposto in precedenza: nella parte centrale della prova, sotto profondità variabili da 5 a 10 m, avviene spesso che il rapporto tra il numero N e la resistenza τ in Kg/cm² si avvicini a 20; mentre nella parte più superficiale scende fino a 1, 2, 5, nella parte profonda arriva anche a 40. Rispetto al confronto precedente c) qui si hanno dei dati di gran lunga più numerosi, che servono quindi, in base al confronto a) a confermare le conclusioni del confronto c).

e) *Confronto tra resistenza a compressione con espansione laterale libera (σ_r) e resistenza alla punta del penetrometro statico (p_c).* È trovato anche qui il fenomeno prima illustrato per il penetrometro dinamico. Le resistenze nel tratto centrale della prova sotto i 5 ÷ 10 m portano a valori intorno a 10 del p_c/σ_r . Nella parte più superficiale questo rapporto è minore; l'opposto avviene alle maggiori profondità.

f) *Confronto tra la resistenza misurata con l'apparecchio ad alette di laboratorio (τ) e la resistenza alla punta del penetrometro statico (p_c).* Anche questo confronto si è potuto fare con un numero maggiore di punti perché, come abbiamo sopra già detto, le resistenze con l'apparecchio ad alette sono di più rapida determinazione e vengono fatte praticamente su tutti i campioni portati in laboratorio, mentre a sua volta la resistenza penetrometrica interpreta tutti i terreni attraversati. Qui si vede quindi ancora con maggiore evidenza il fenomeno già accennato nel confronto precedente. Nella parte centrale del sondaggio il rapporto p_c/τ oscilla intorno a 20; si hanno valori molto minori nella parte superiore, maggiori nella parte profonda.

g) *Confronto tra le resistenze misurate con l'apparecchio ad alette in laboratorio ed in sito.* Preciso ancora che per resistenze misurate in sito intendendo qui le resistenze misurate sul terreno ancora nel suo strato, raggiunto con l'apparecchio ad alette attraverso un sondaggio fermato almeno mezzo metro prima.

Per queste resistenze ho solo il confronto eseguito con il sondaggio b, fig. 3, ma i rapporti sono poco

diversi da un punto all'altro per cui si possono prendere in esame. Le resistenze misurate in sito sono, come previsto nelle premesse, sensibilmente superiori a quelle misurate in laboratorio sui campioni degli stessi strati. Il rapporto va da 1,5 a 2. Si deve infatti tenere sempre presente che la prova in laboratorio ci dà il valore della coesione più quello di resistenza di attrito, e ne abbiamo una conferma dal fatto che il *Vane test* in sito serve anche per terreni sabbiosi sciolti. Però, anche dove la resistenza di attrito dovrebbe essere molto bassa perché si tratta di terreno molle e a soli m 4,80 circa di profondità, il rapporto tra le resistenze è sempre forte. Ha influenza quindi anche il disturbo del prelevamento.

h) *Confronto tra la resistenza alla punta del penetrometro dinamico (N) e quella alla punta del penetrometro statico (p_c).* Per un confronto diretto non ho che i dati del sondaggio c, fig. 3, che non è certamente sufficiente per trarre conclusioni anche perché la prova statica ha oscillazioni esagerate, non confermate dalla prova dinamica.

i) *Confronto tra la resistenza alla punta e la resistenza lungo la tubazione di rivestimento del foro nelle prove penetrometriche.* Abbiamo visto che a profondità non troppo piccole e non troppo grandi le resistenze alla punta seguono abbastanza bene le resistenze al taglio misurate con altri apparecchi. Invece nelle resistenze misurate sulla tubazione di rivestimento si nota spesso una notevolissima discordanza tra l'aumento registrato all'attraversamento di uno strato e la resistenza al taglio dello strato attraversato. La differenza diventa poi ancora più sensibile se si considera nel confronto anche la resistenza degli strati sabbiosi, nell'attraversare i quali spesso le resistenze di rivestimento non aumentano o addirittura diminuiscono, mentre nei limi argillosi molli spesso si è costretti a lavare le pareti del foro per liberare il rivestimento dagli strati superiori che non gli permetterebbero di proseguire. Vedansi per esempio le resistenze misurate nei sondaggi a, b ed e di fig. 8.

4. Conclusioni.

Concludendo la mia esposizione ritengo di aver dimostrato ancora una volta con ogni evidenza l'importanza della definizione delle prove su terreni limosi argillosi, specialmente per quanto riguarda il drenaggio delle stesse, e quindi la perplessità che presentano i risultati ottenuti con prove dove un drenaggio esiste ma non è valutabile (taglio diretto

di CASAGRANDE, di HVORSLEV, prove di carico dirette sul terreno).

Vista poi la necessità di avere un grande numero di dati sulla resistenza al taglio dei terreni interessati dai problemi pratici di stabilità, ho mostrato che esistono diversi mezzi per avere numerosissimi dati, oltre quelli che si possono avere con le prove fondamentali sui terreni più caratteristici e col confronto dei dati delle varie prove sui terreni di numerosi sondaggi ho mostrato come si possano utilizzare. In modo particolare ho mostrato l'utilità

dell'apparecchio ad alette tascabile per ottenere, con consumo limitatissimo di materiale dei campioni, numerosissimi dati importanti e validi anche su terreni molto molli. Abbiamo visto che anche le prove penetrometriche, nei terreni non troppo superficiali, possono dare indicazioni utili.

Il confronto tra i risultati delle prove rapide e quelle fondamentali dovranno essere continuati e controllati. Ritengo tuttavia che i dati sottoposti e le prime conclusioni tratte possano costituire un utile contributo.

S U M M A R Y

Shear strength of fine grained soils from various measurements.

After stating the importance of knowing fairly well the shearing resistance of soils when we face problems of stability in soil mechanics, and therefore the necessity of having many well defined measures, especially those concerning the consolidation of the samples, the author explains how to get cheaply a considerable number of quick tests of shearing resistance. We can take as many of these tests as needed to illustrate the geotechnical situation of the soil concerned.

Therefore quick tests are carried out by the A. in laboratory and in situ, such as the unconfined compression tests,

but generally quicker ones that reduce the waste of sample material. Some tests provide directly the shearing resistance (unconfined compression test and Vane test in situ and laboratory), others provide indirect measures of the same resistance (pocket penetrometer, static and dynamic penetrometric tests).

The Author gives the measures of resistance deduced with the above said tests on the samples of twenty borings, deducing, with direct or indirect comparison, a ratio with the unconfined compression test. This ratio, even if approximate and limited to particular conditions, is nevertheless significant and useful to attain the aim proposed.