

LE ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO CRITICITA' NELLA PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

*Incontro tra laboratori geotecnici con autorizzazione ministeriale e
funzionari della Regione Toscana -*

Criticità nelle indagini geognostiche e nella conduzione e
interpretazione delle prove in sito e di laboratorio

Piero Focardi

PRIMA CRITICITA'

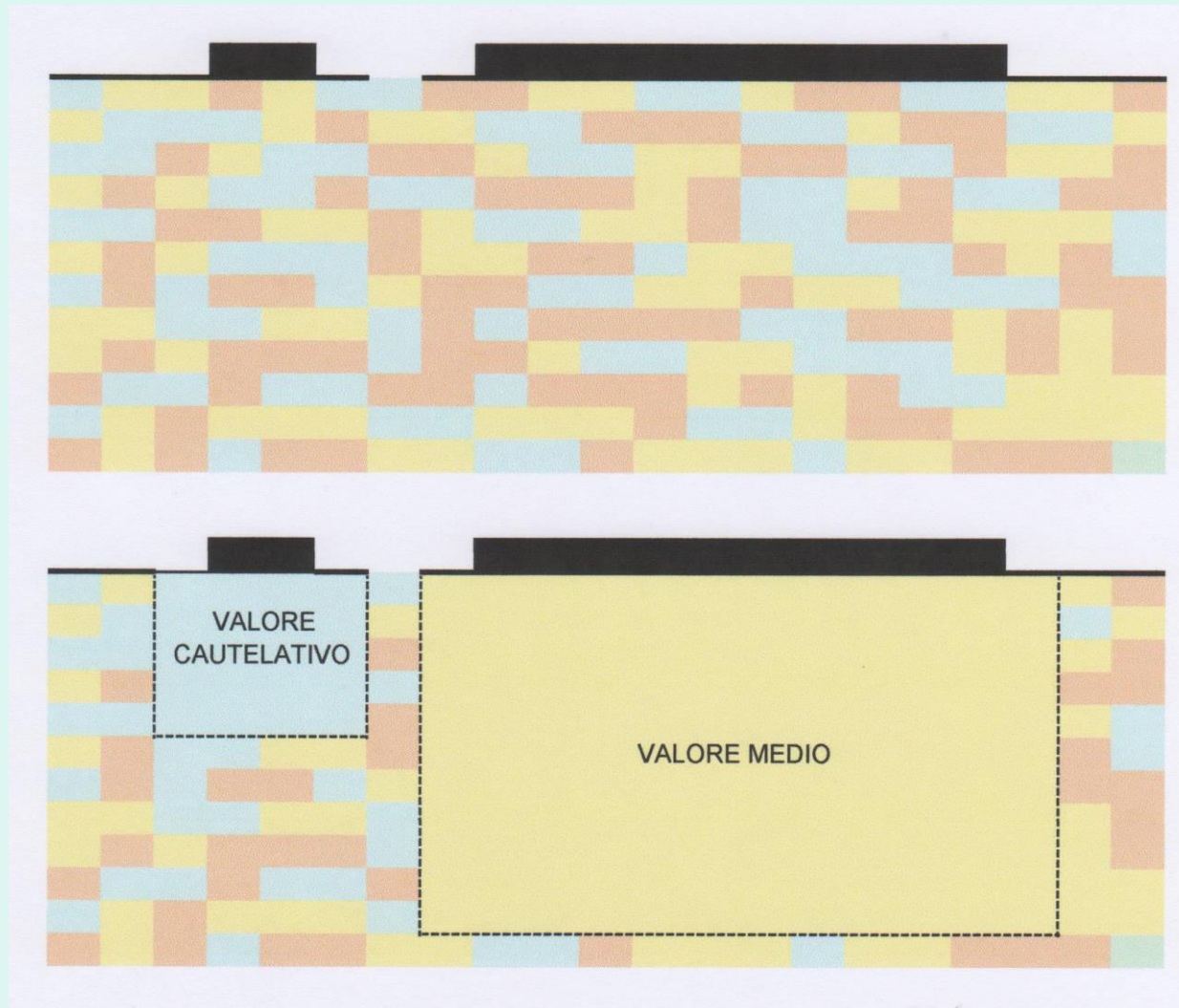
Costruzione del modello geotecnico del terreno

- Delimitare nell'ambito del volume significativo del terreno corpi ovvero unità entro le quali le differenze siano contenute.
- Determinare per ogni unità i valori delle proprietà geotecniche richieste dal progetto.
- Attribuire i valori caratteristici richiesti dal progetto ad ogni unità quali valori medi o prudenziali in relazione ai dati disponibili e importanza dell'opera.

NTC – 6.2.2. Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica – Circolare Ministeriale del 2/2/2009

- Valori prossimi ai valori medi quando è coinvolto un elevato volume di terreno con possibili compensazioni delle eterogeneità o quando la struttura al contatto col terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.
- Al contrario valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno o nel caso in cui la struttura in contatto con il terreno non sia in grado di trasferire le forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della insufficiente rigidità.

Il criterio indicato nelle norme e ripreso dalla circolare (concettualmente valido) parte dal presupposto che il terreno interessato dal progetto sia formato da una massa con variazioni delle proprietà a distanze compatibili alle dimensioni del progetto.



Interpretazione delle norme tecniche con indicazione di adozioni di valori minimi e medi in relazione alle tipologie, ripresa dalla letteratura

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi	Terreno di incastro di un palo
	Verifica di scorrimento di un muro
	Plinti e travi non collegati
	Fronti di scavo di modesta ampiezza e muri di altezza contenuta
	Struttura con insufficiente rigidezza
Valori caratteristici prossimi ai valori medi	Terreno di sedime di fondazioni superficiali di grande estensione (platee) o di dimensioni ridotte ma collegate rigidamente in modo da trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti
	Pali per portata laterale
	Pendii (coltre di frana) e fronti di scavo
	Opere di contenimento di notevole altezza
	Struttura rigida

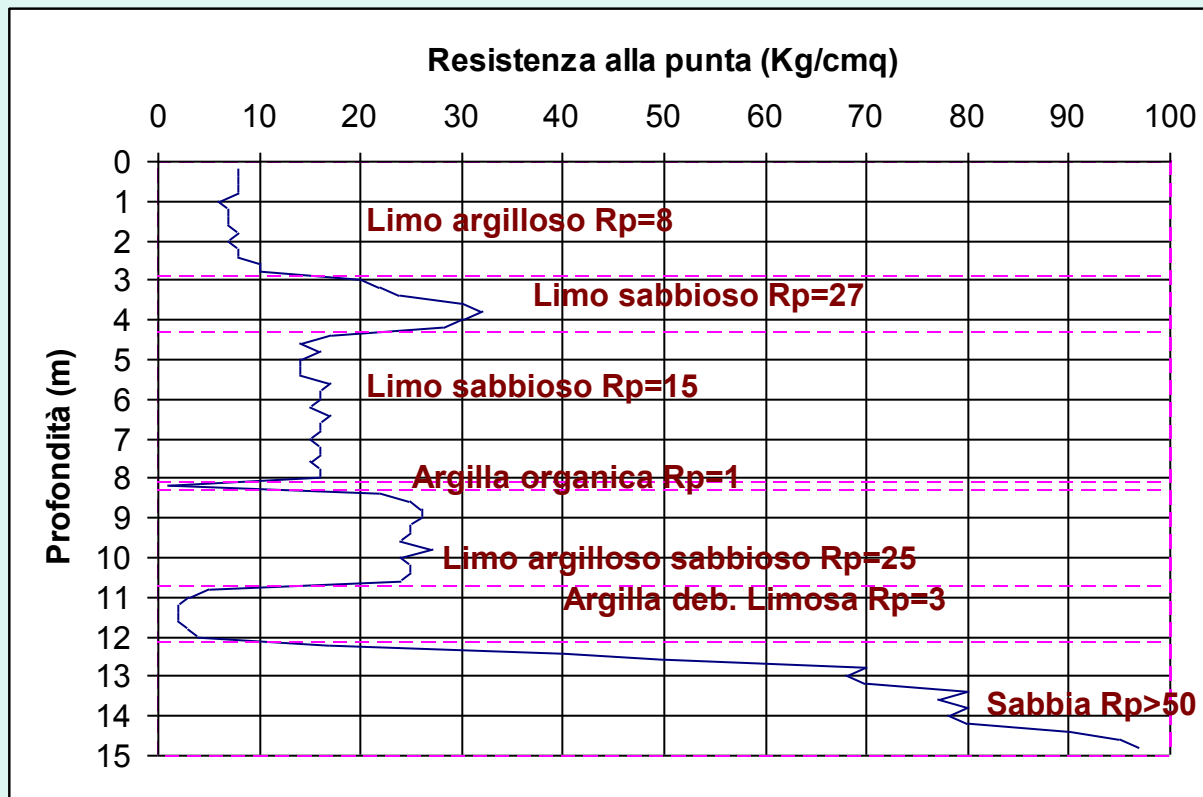
Natura e omogeneità del terreno

- Il terreno non è mai perfettamente omogeneo perché costituito per fenomeni ed eventi successivi che determinano differenze dovute a:
 - A) ambienti di deposizione diverse
 - B) eventi temporali diversi
 - C) meccanismi di deposizione
 - D) effetti di alterazioni e pedogenesi
 - E) fenomeni di essiccazione
 - F) condizioni piezometriche
 - G) pressioni litostatiche attuali e remote

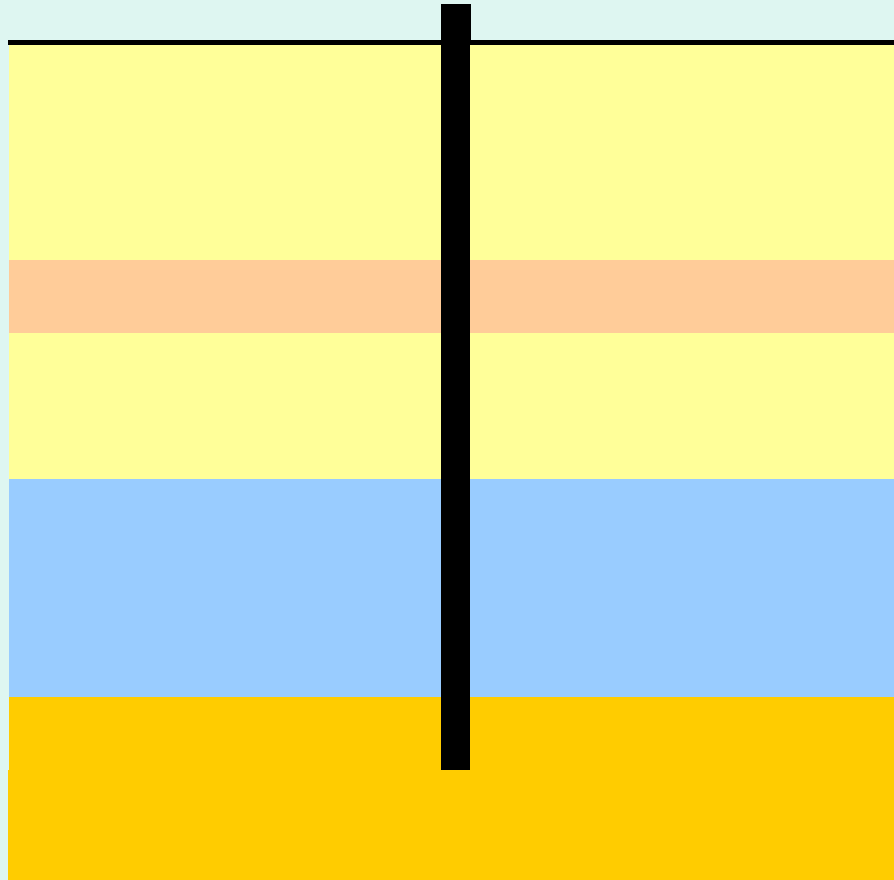
Considerazione sui criteri di orientamento nella scelta dei valori caratteristici

- La situazione reale è complessa e la parametrizzazione è condizionata dalla natura geologica piuttosto che dati progetto.
- La codificazione dei criteri di scelta dei valori caratteristici in relazione ai volumi significativi, riportata nella precedente diapositiva può condurre a notevoli errori.
- Quando i volumi sono ampi è più facile che siano coinvolte unità diverse che devono essere distintamente analizzate.

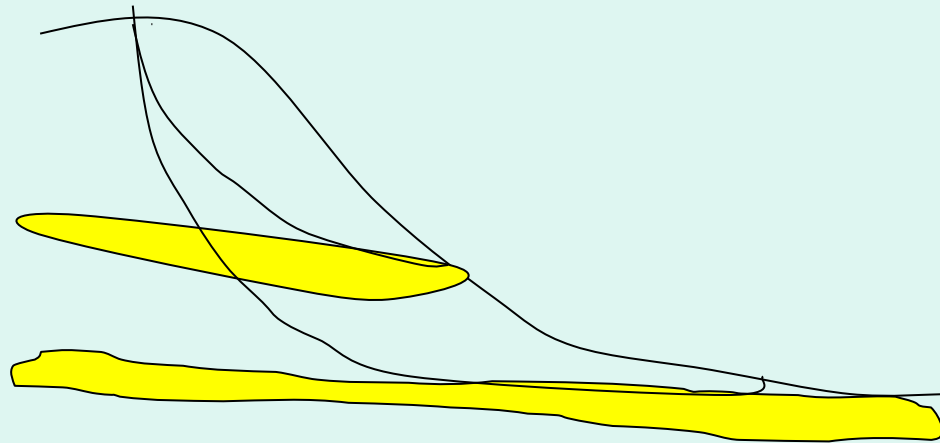
Esempio di suddivisione del terreno in varie unità in base ai dati ottenuti da prova penetrometrica



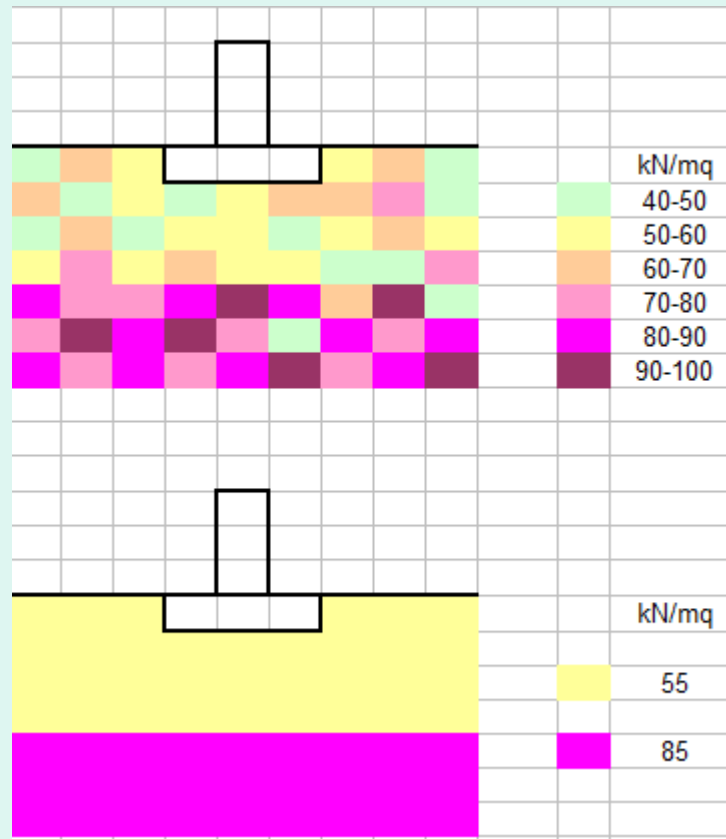
E' giusto adottare il valore medio per il calcolo della resistenza laterale ?



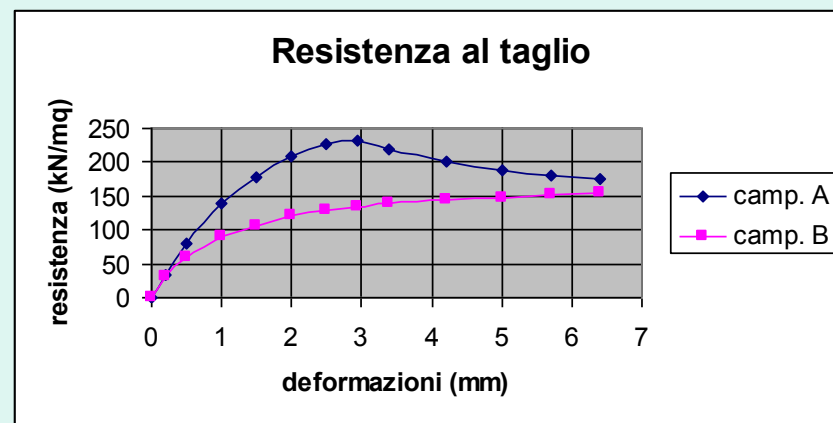
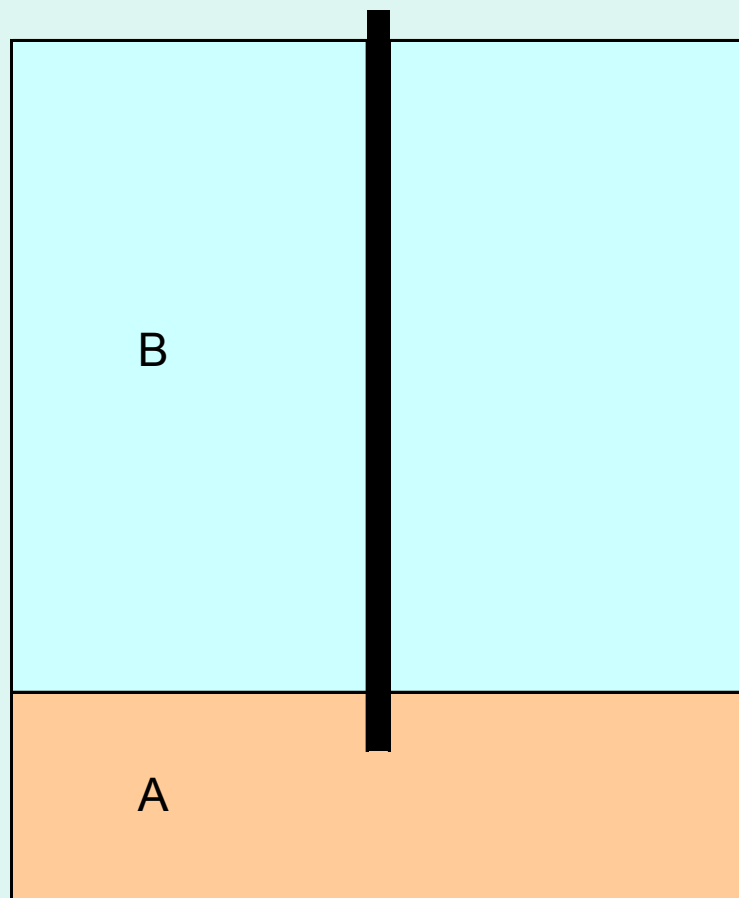
Particolarmente delicate sono le analisi di stabilità in terreni ove siano presenti livelli di debole resistenza al taglio. Calcoli di stabilità basate su ipotetici cerchi, effettuate introducendo nei calcoli i valori medi di resistenza dell'ammasso del terreno, sono errati in quanto la cinematica del fenomeno è condizionata prevalentemente dalle proprietà e assetto degli strati di bassa resistenza al taglio lungo i quali si dispone la superficie di scivolamento.



Esempio di distinzione del terreno in 2 unità diverse con attribuzione dei valori caratteristici separatamente



Esempio di coinvolgimento di unità diverse per deformabilità e resistenza. La resistenza complessiva per attrito laterale e di punta deve tener conto della entità delle deformazioni



Concludendo relativamente al modello fisico

- A) Individuazione di corpi (unità litotecniche) entro le quali i parametri richiesti hanno variabilità casuale in un certo range da stabilire in relazione alle esigenze progettuali.
- B) L'ordine di grandezza per normali opere può essere valutato in variazioni comprese nell'ordine del 20-30%.
- C) Possono essere trascurati piccoli livelli, operando in favore della sicurezza.
- D) Nella scelta dei valori caratteristici non è possibile mescolare valori ottenuti da risultati di prove eseguite su unità litotecniche diverse.
- E) Il criterio generalizzato di adottare valori medi o valori cautelativi in relazione al volume di terreno interessato dal progetto non è applicabile nel caso di presenza di diverse unità litotecniche che si differenziano per natura, consistenza, presenza di falda, stato tensionale, ecc.

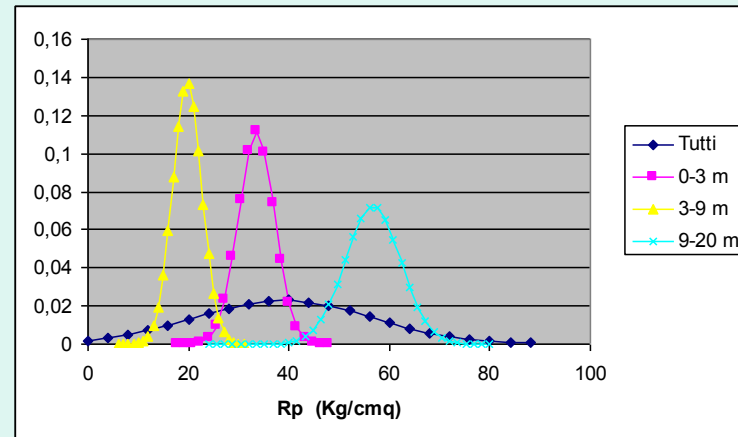
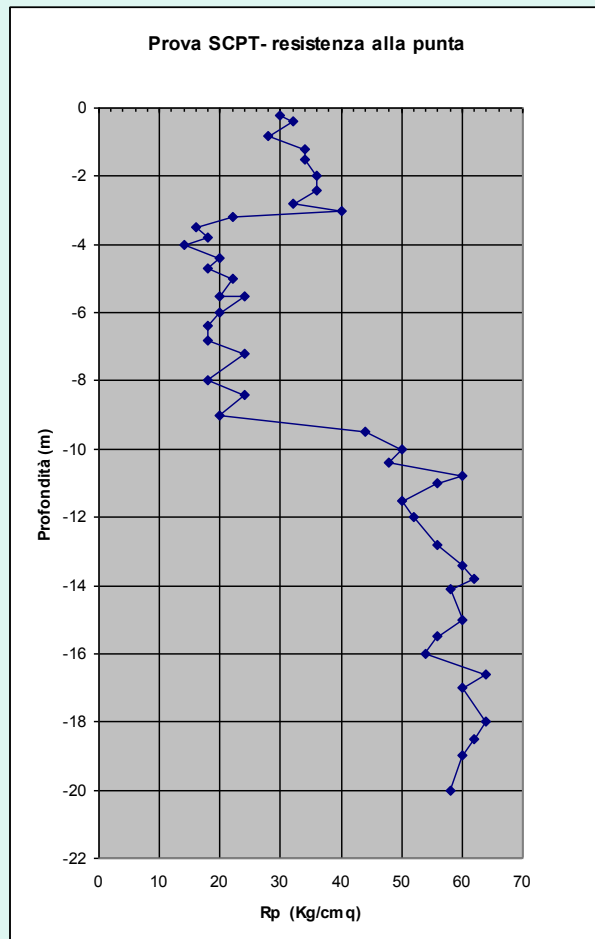
Condizionamento delle differenze

- Differenze importanti per natura e consistenza inducono a differenziazioni del terreno in unità con diverso comportamento geotecnico e di determinare i valori dei parametri geotecnici in modo distinto.
- Differenze di proprietà nell'ambito di ogni unità consentono di determinare valori medi e cautelativi dei parametri ottenuti da prove di laboratorio e in sito.
- Differenze nell'ambito del campione condizionano la esecuzione e l'interpretazione delle prove geotecniche.

Ricostruzione del modello con individuazione e delimitazione delle unità litotecniche

- Avviene mediante la ricostruzione stratigrafica (sondaggi, saggi) con ausilio di prove (PP e VT)
 - Con profili di resistenza (prove penetrometriche, dilatometriche).
-
- L'accuratezza della ricostruzione del modello dipende dal numero di prospezioni
 - Le prove di laboratorio da se in quanto discontinue difficilmente consentono la ricostruzione del modello fisico con le delimitazione di unità diverse in quanto forniscono informazioni discontinue ma danno indicazioni per avvallare i dati ottenuti dai stratigrafie e profili di resistenza e consentire eventuali correzioni.

Profilo di resistenza e curve di distribuzione delle resistenze penetrometriche delle unità individuate



Quali i problemi comuni per tutte le indagini in sito

- A) Posizione plano-altimetrica esatta (*).
- B) Descrizione delle attrezzature impiegate e delle normative adottate nelle prove in sito.

- (*) Le indicazioni fornite al laboratorio e di conseguenza la provenienza (dichiarata) riportata nei certificati è in alcuni casi generica.

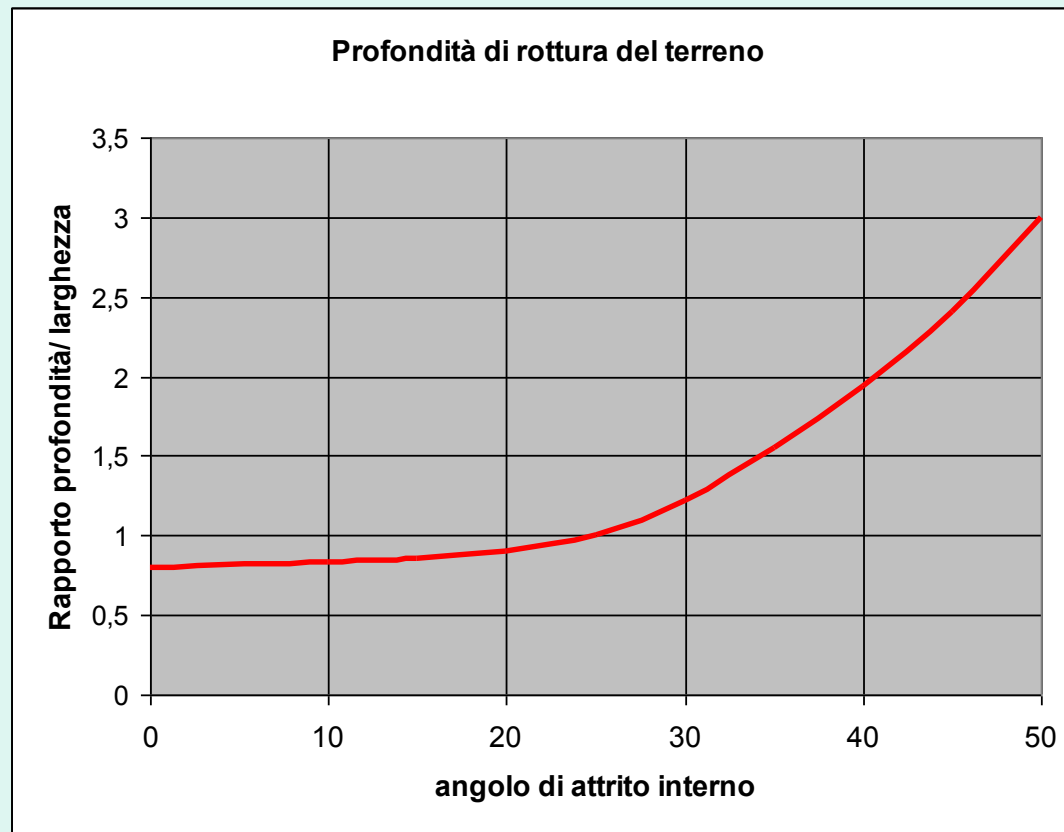
I punti di prospezione

- Il numero e la collocazione delle verticali è condizionato da:
 - - sviluppo areale dell'intervento
 - - condizioni geomorfologiche
 - - caratteristiche dell'intervento
- Numero e posizionamento è definibile più facilmente a priori in fase di progettazione delle opere in terra.
- Nel caso di un'unica verticale si deve ricorrere a sondaggio anziché a prova penetrometrica per il prelievo di campioni necessari per le analisi di laboratorio necessarie per i calcoli in termini di pressioni efficaci.
- Nel caso di più verticali è consigliabile di dare la precedenza alle prove penetrometriche per una conoscenza preliminare e programmare i sondaggi “mirati” per prelievo di campioni nei livelli di maggiore interesse.

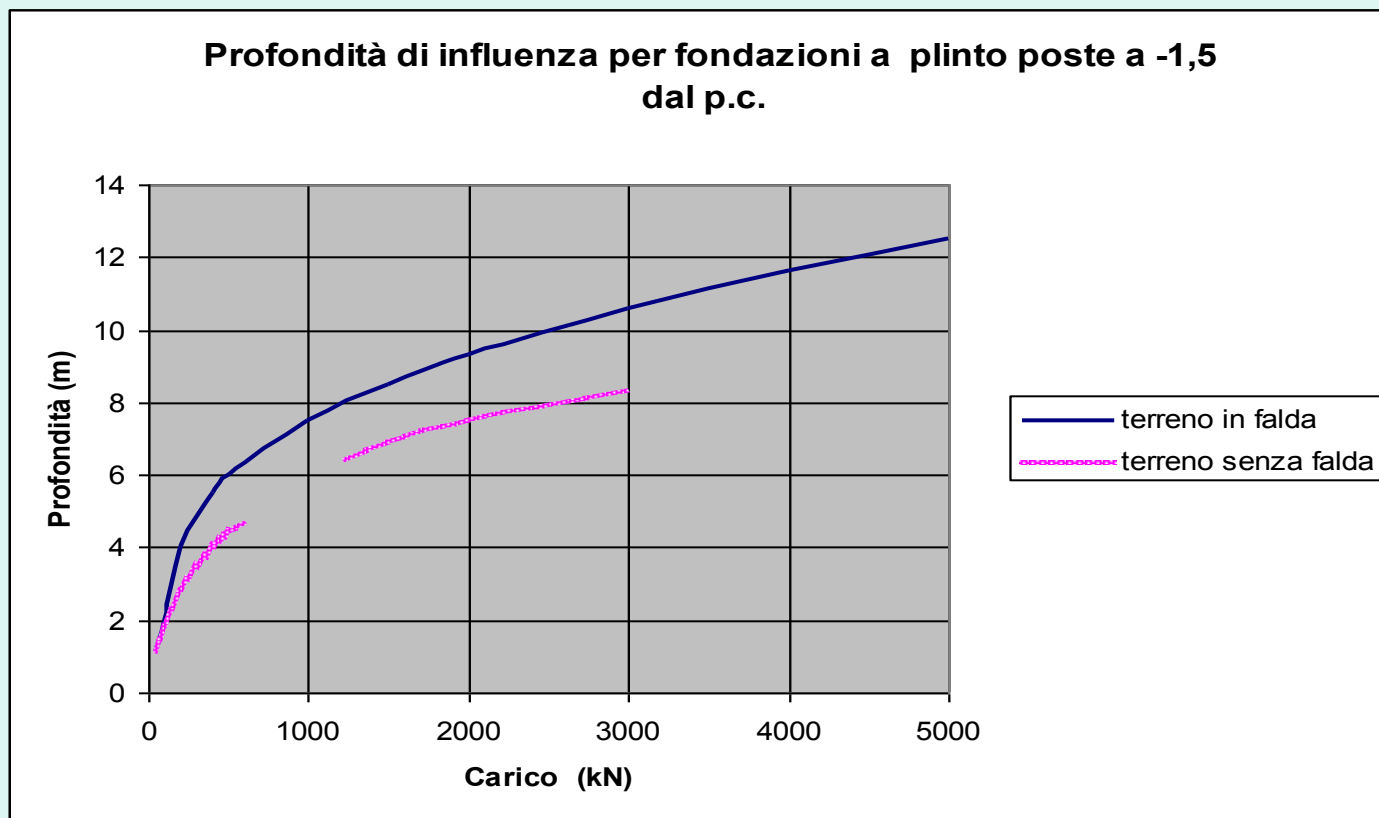
Alcune informazioni su numero di verticali in relazione al progetto, riprese dalla letteratura

Alcuni criteri di programmazione delle indagini geognostiche		
RIFERIMENTO	INTERVENTO/OPERA	UBICAZIONE E PROFONDITA' DELL'INDAGINE
EUROCODICE 7	Per tutte le opere	Minimo di 3 verticali con almeno 1 sondaggio con campionatura degli strati che influenzano l'opera. Nel caso di terreni non omogenei, organici, prelievi di campioni almeno ogni metro
RACCOMANDAZIONI A.G.I.	Manufatti di estensione e altezza limitata (max 5 piani).	Minimo di 3 verticali; per aree estese , 1 verticale ogni 600 mq oltre le prime 3.
	Fondazioni di opere sviluppate in lunghezza, con altezza limitata (muri rilevati con H = 4--10 m..	Almeno 1 -2 verticali; 1 verticale ogni 50-100 m.
AUTOSTRADE (CASAGRANDE, 1993)	Controlli del materiale di costruzione dei rilevati stradali	<u>Classificazione</u> ogni 500 mc nei primi 5000 mc; ogni 10000 nei volumi successivi; per l'ultimo strato ogni 500 mc fino a 5000 mc, ogni 2500 per volumi superiori
		<u>Densità in sito</u> : ogni 250 mc nei primi 5000 mc; ogni 5000 nei volumi successivi; per l'ultimo strato ogni 250 mc fino a 5000 mc, ogni 1000 per volumi superiori
		<u>Carico con piastra</u> ; per l'ultimo strato ogni 500 mc fino a 5000 mc, ogni 2000 per volumi superiori
FERROVIE (CASAGRANDE, 1993)	Controlli del materiale di costruzione dei rilevati ferroviari	<u>Classificazione</u> ogni 2500 mc
		<u>Densità in sito</u> : ogni 5000 mc
		<u>Carico con piastra</u> ogni 5000 mc.

Profondità del terreno interessato da fenomeni di rottura (Rapporto profondità/larghezza della fondazione in funzione dell'angolo di attrito del terreno)



Profondità del terreno interessato da cedimenti in funzione del carico (da Focardi - “ Seminario di studi sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni” ALGI 2004)



Quali le criticità più frequenti nei sondaggi geognostici

- Descrizione del terreno e profondità di campionamento talvolta affidata ad operatori in assenza di professionista abilitato; le descrizioni a volte sono lacunose.
- Incertezza sulle profondità dei livelli acquiferi e della piezometria per carenze di informazioni in fase di avanzamento e in condizione di riposo.
- Talvolta assenza di dati di resistenza puntuali (prove PP e VT).
- Lacune nella indicazione esatta del punto di prospezione e quota altimetrica (non solo per i sondaggi ma per tutte le prove in sito).

Prelievo dei campioni

- Scelta del campionatore più idoneo in relazione alla natura, consistenza.
- Operazioni di ripulitura fondo foro, paraffinatura, etichettatura, conservazione e trasporto.
- Il prelievo di campioni a pressione con penetrometro statico può essere adottato per i terreni che consentono l'operazione.
- Campioni prelevati con mezzi meccanici possono essere di qualità accettabili a condizione che il materiale sia prelevato “in blocco” e che siano adottate le necessarie cautele di protezione per tutto l'iter dal prelievo alla esecuzione delle analisi di laboratorio.

Classi qualità dei campioni (Raccomandazioni A.G.I.)

La qualità dei campioni deve essere specificata nei certificati

Tab. 3.1.

Classi di qualità dei campioni

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q. 1.	Q. 2.	Q. 3.	Q. 4.	Q. 5.
a) Profilo stratigrafico	x	x	x	x	x
b) Composizione granulometrica		x	x	x	x
c) Contenuto d'acqua naturale			x	x	x
d) Peso dell'unità di volume				x	x
e) Caratteristiche meccaniche (resistenze, deformabilità, etc.)					x
	Campioni disturbati o rimaneggiati			a disturbo limitato	indisturbati

TAB. 3.2. CLASSI DI QUALITÀ DEI CAMPIONI OTTENIBILI CON CAMPIONATORI DI TIPO DIVERSO

- A) Campionatore pesante-infisso a percussione
- B) Campionatore a parete sottile-infisso a percussione
- C) Campionatore a parete sottile-infisso a pressione
- D) Campionatore a pistone-infisso a pressione
- E) Campionatore a rotazione a doppia parete con scarpa avanzata

TIPO DI TERRENO	TIPO DI CAMPIONATORE				
	A	B	C	D	E
a) coerenti poco consistenti		Q 3	Q 4	Q 5	
b) coerenti moderatamente consistenti o consistenti	Q 3 (4)	Q 4	Q 5	Q 5	
c) coerenti molto consistenti	Q 2 (3)	Q 3 (4)	Q 5*		Q 5
d) sabbie fini al di sopra della falda	Q 2	Q 3	Q 3	Q 3 (4)	
e) sabbie fini in falda	Q 1	Q 2	Q 2	Q 2 (3)	

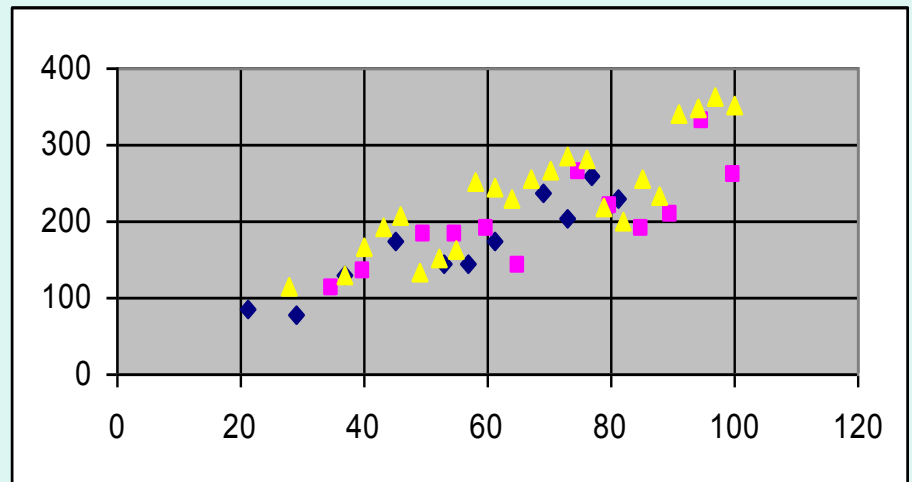
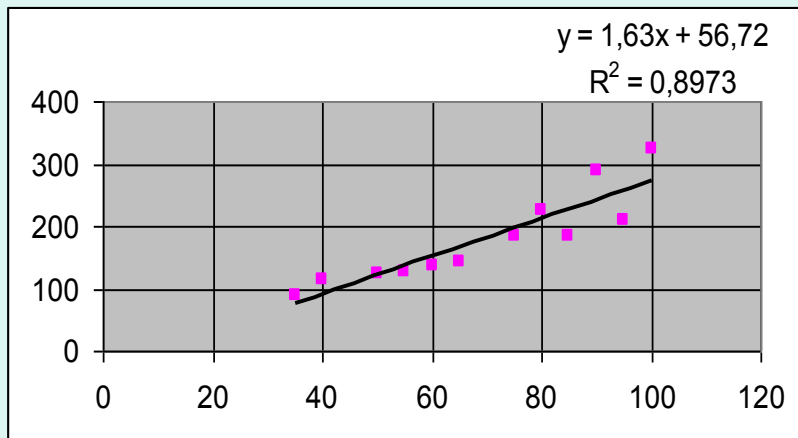
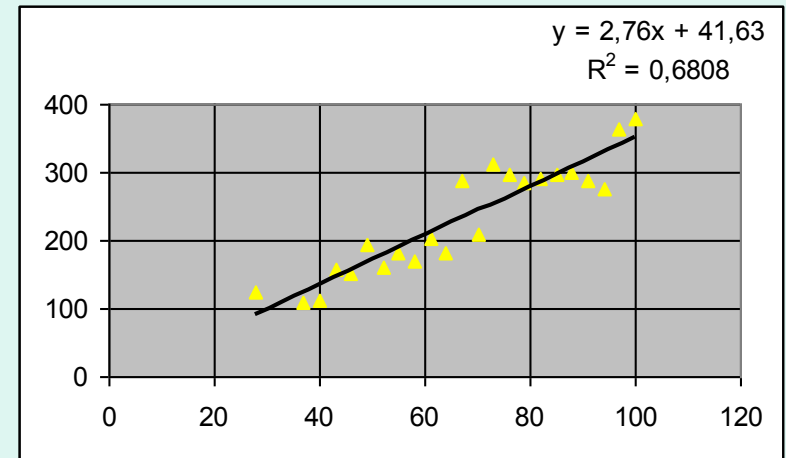
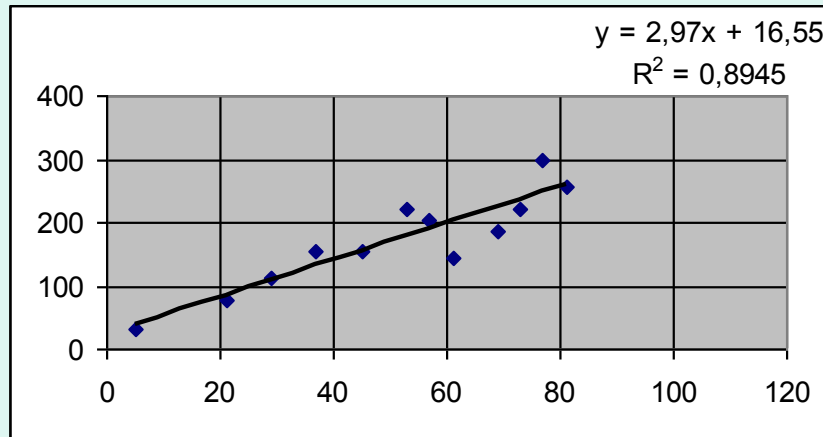
N.B. : Si indicano tra parentesi le classi di qualità Q raggiungibili con campionamento molto accurato.

* In terreni coesivi con resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile $> 1 + 2 \text{ kg/cm}^2$ ($100 \div 200 \text{ kN/m}^2$) può non risultare possibile ottenere campioni indisturbati di lunghezza adeguata.

Criteri di determinazione dei parametri geotecnici

- ✓ I parametri geotecnici possono essere ottenuti da prove di laboratorio e da prove in situ.
- ✓ In relazione alle modalità adottate i valori possono essere:
 - 1 – Ottenuti da misure dirette
 - 2 – Ottenuti da prove indirette
 - 3 - Derivati da formule empiriche
 - 4 - Stimati
- ✓ La qualità diminuisce passando da 1 a 4 , con conseguente minore attendibilità
- ✓ Sono assolutamente inattendibili i valori provenienti da doppia interpolazione. Esempio: $x=f(y)$ $z=f(x)$

Esempio di dispersione dei valori ottenuti da formule empiriche



Indagini in sito

Le prove penetrometriche

Prove penetrometriche

Prove penetrometriche dinamiche	SPT	Campionatore standard
	SCPT	Prove continue con rivestimento
	Penetrometri leggeri	Dimensioni minori, senza rivestimento
Prove penetrometriche statiche	CPT	Misura resistenza alla punta e attrito laterale
	CPTU	Misure puntuali di punta e attrito laterale Misura pressioni neutre

Particolarità delle prove penetrometriche

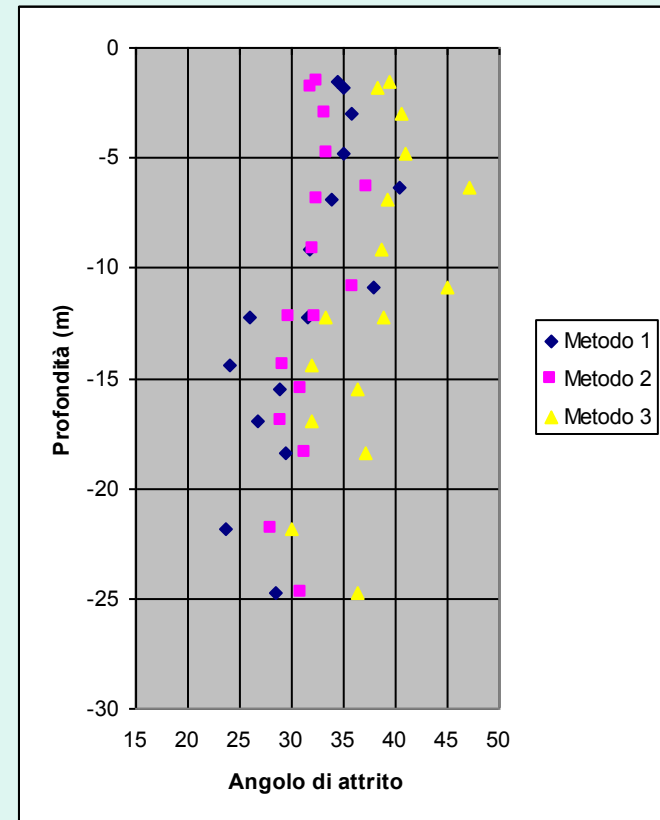
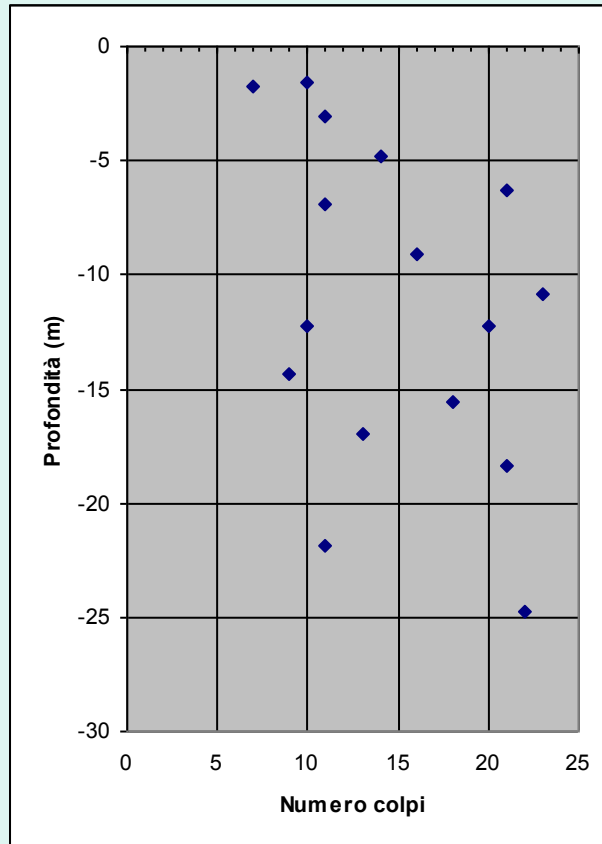
Prova SPT	Informazioni sulla densità relativa delle sabbie; bassa affidabilità sulle relazioni per terreni argillosi
Prova SCPT	Informazioni qualitative sulla portanza e ricostruzioni di profili di resistenza
Prove con penetrometri leggeri	Come sopra fino alla profondità consentita dall'attrito sulle aste
Prova CPT	Ricostruzione stratigrafica indicativa; determinazione della coesione in condizione non drenate
Prova CPTU	Come sopra con valori puntuali della resistenza per attrito; ricostruzione di dettaglio delle intercalazioni sabbiose

PROVE SPT: alcune formule per determinare l'angolo di attrito interno riprese dalla letteratura

Kulhawy e Mayne (1980)	$\varphi' = \arctan \left[N_{SPT} / (12,2 + 20,3 \times \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}) \right]^{0,34}$
Wolf (1989)	$\varphi' = 27,1 + 0,3 \times N_{corr} - 0,00054 \times N_{corr}^2$
Hatanaka e Huchida (1996)	$\varphi' = \sqrt{20 \times N_{corr}} + 20$
$N_{corr} = \left[3 / (2 + \sigma'_{v0} / p_a) \right] \times N_{SPT}$	

PROVE SPT IN TERRENI GRANULARI

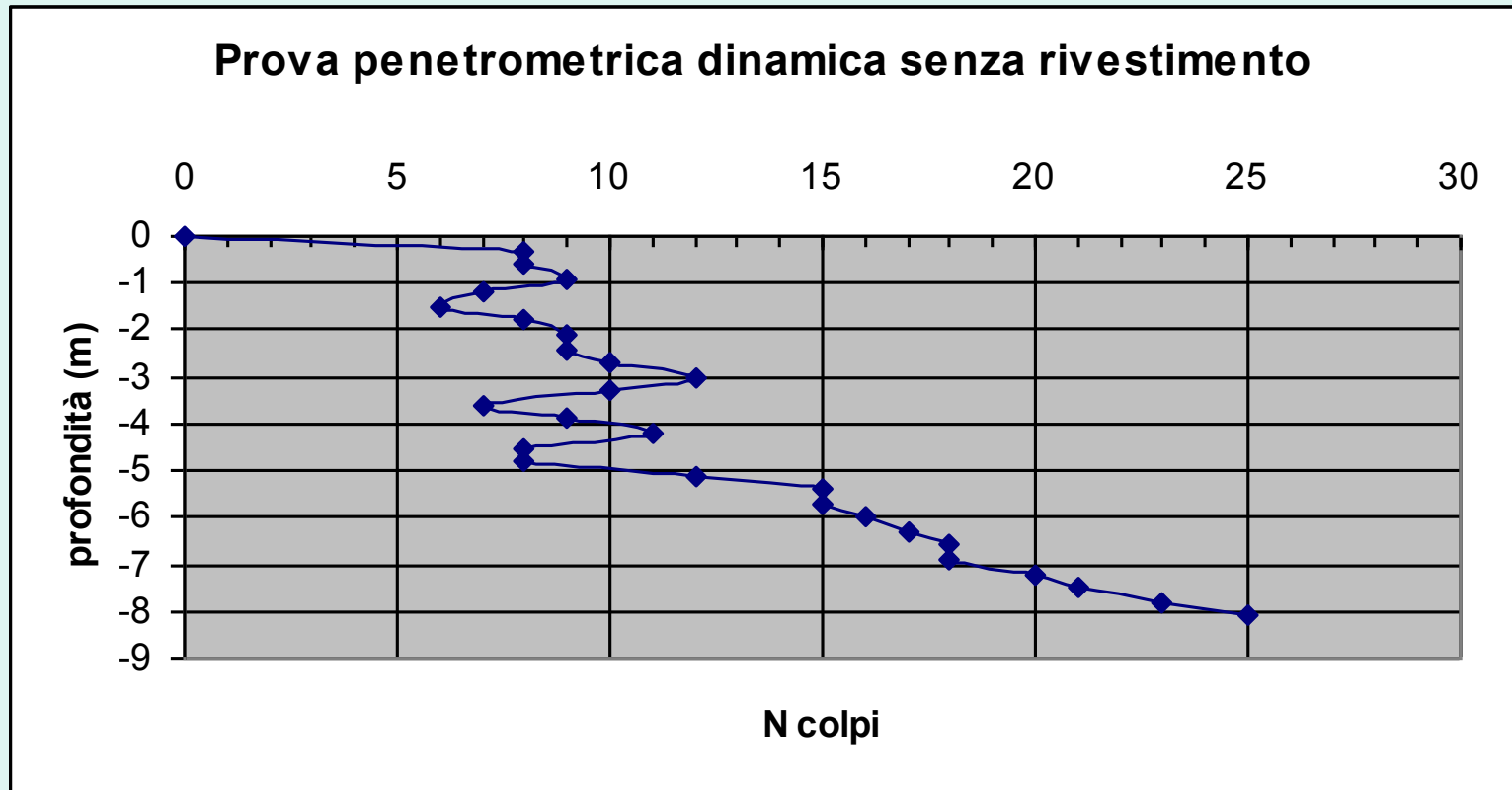
Esempi di dispersione dei dati e
incertezza nella relazione tra N_{SPT} e l'angolo di attrito interno
(Mandolini, 2006)



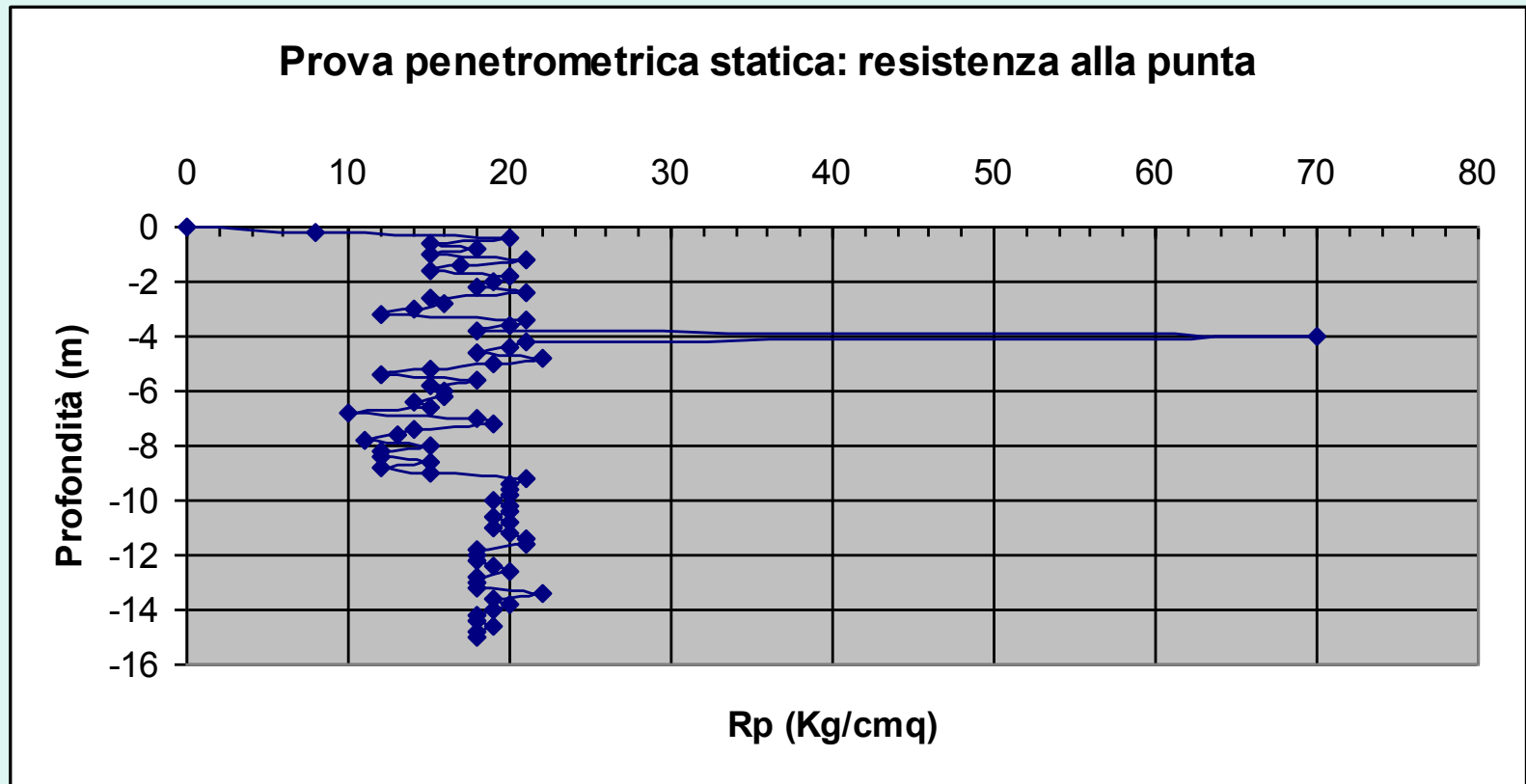
Conclusioni sulle prove SPT

- La prova SPT deve essere eseguita solo in presenza di sabbie sciolte non campionabili con altri mezzi.
- Non è ammessa la sostituzione della punta al campionatore se non in presenza di materiali particolarmente resistenti (es. ghiaie).
- E' opportuno analizzare il contenuto del materiale prelevato dal campionatore per scegliere la formula più idonea dalla letteratura.

Prova penetrometrica dinamica continua. Effetto di attrito laterale sulle aste



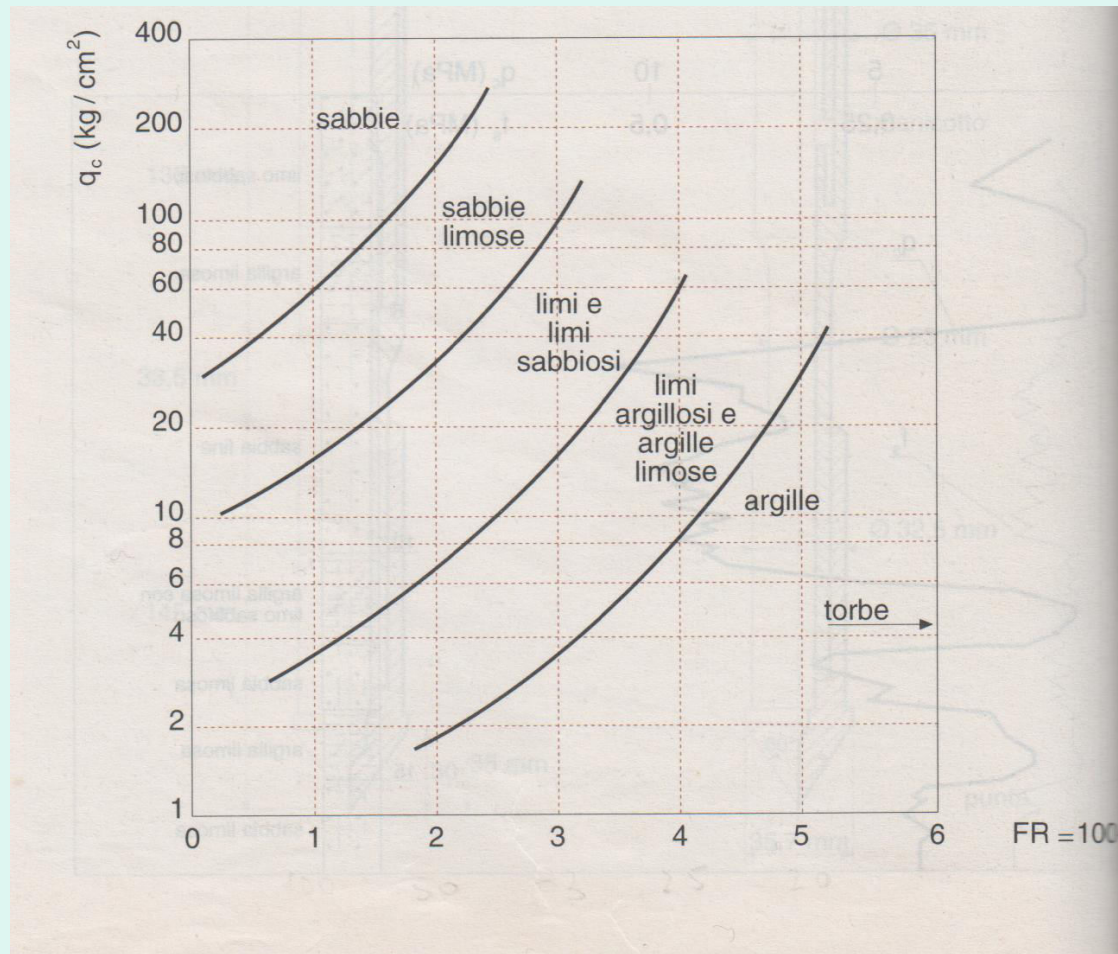
Prova penetrometrica statica. Effetti della presenza di un ciottolo



Presenza di inclusi lapidei



Ricostruzione della stratigrafia attraverso la resistenza alla punta e laterale di penetrometro statico



Determinazione della coesione dalla prova penetrometrica CPT

- Nelle determinazioni indirette, agli errori di carattere sperimentale si aggiungono quelli introdotti dalla base teorica e dalle approssimazioni adottate.
- Tra i metodi indiretti più usati vi è la determinazione della coesione in condizioni non drenate dalla resistenza penetrometrica alla punta del penetrometro statico, ottenuta dalla prova CPT.

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_c}$$

- dove σ_{v0} è la pressione litostatica alla profondità di prova e N_c un fattore di capacità portante che dipende dalla profondità relativa e dall'angolo di apertura del penetrometro.
- Da dati sperimentali può variare da 5 a 21. Pertanto l'adozione del valore intermedio 15 può fare incorrere in generale in una sottostima per argille NC o sovrastima per argille OC.

Concludendo tutte le prove penetrometriche continue

- Ricostruzione stratigrafiche qualitative.
- Utili per la ricostruzione di profili di consistenza del terreno e conseguente distinzione nel terreno di unità litotecniche.
- Valutazione della omogeneità nell'interno delle unità al fine di scegliere valori medi o cautelativi.

PROVE DI CARICO IN SITO

TEST	DIAMETRO mm	DETERMINAZIONE	FORMULE	CONTRO- SPINTA (Kg)
CBR	49,6	Valore minore tra i rapporto tra le forze per cedimento 2,5 e 5,0 mm rispetto a forze standard 12,24 e 19,96 kN	$CBR_{2,5} = 100 \frac{N_1}{13,24}$ $CBR_{5,0} = 100 \frac{N_2}{19,96}$	2000
Carico con piastra	300 (norme Svizzere)	Rapporto tra differenze di pressioni e differenze di cedimenti moltiplicato per il diametro della piastra.	$M_E = \frac{\Delta p}{\Delta s} D$	3500
	760	Modulo di Winkler – Calcolo per cedimento S per intervallo di pressioni 0,1-0,8 Kg/cmq	$K_R = \frac{P}{S}$	4000
	generica	Determinazione cedimenti a pressione prestabilita	$s_F = \frac{B_F}{B_P} s_P$ $s_F = s_P \left(\frac{2B_F}{B_F + B_P} \right)^2$	Da stabilire in relazione alle pressioni indotte
		Determinazione pressione di rottura	Fino a rottura del terreno o fino a carico contropinta	

PROVE DI PERMEABILITA'

In laboratorio	Carico costante	Permeametro
	Carico variabile	Permeametro
		Cella edometrica
		Cella triassiale
In sito	Test assorbimento	Pozzetti
		Fori di sondaggio
	Test di pompaggio	Pozzi
	Prove a pressione (Lugeon)	Fori di sondaggio

PROVE DI LAORATORIO

- Prove di classificazione
- Prove meccaniche di resistenza e comprimibilità
- Prove di idoneità su campioni ricostituiti

Apertura del campione: descrizione e programmazione prove

Descrizione del campione:

limo sabbioso argilloso bruno.

Classe di qualità **Q 5**

Fotografia del campione



Prove eseguite: Cert. N°

Cont. acqua w	☒	256-07
Peso volume G	☒	257-07
Peso spec. Gs	☒	258-07
Limiti cons. LC	☒	260-07
Granulom. GR	☒	259-07
Compress. ELL	☐	*
Edometrica ED	☒	262-07
Permeabilità k	☐	*
Triassiale TX	☒	263-07
T. diretto TG	☒	261-07
T. torsionale TT	☐	*

Ubicazione dei provini sottoposti ad analisi (disegno non in scala)

		P.P.	V.T.
Alto	TX	170	80
	TX		
	TX		
	TG	160	70
	TG		
	TG		
	ED		
Basso		130	40

P.P. = Pocket penetrometer (kPa)

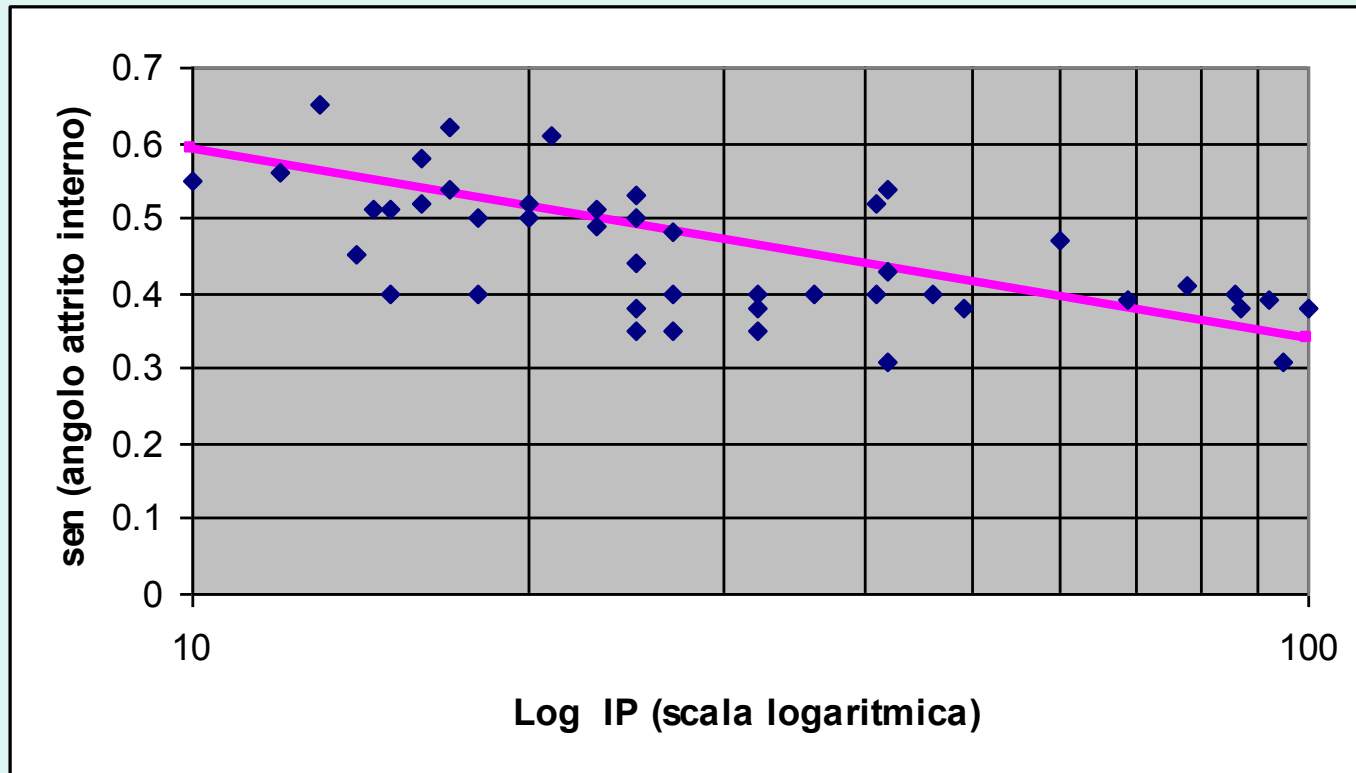
V.T. = Vane test (kPa)

OSSERVAZIONI:

Prove di classificazione

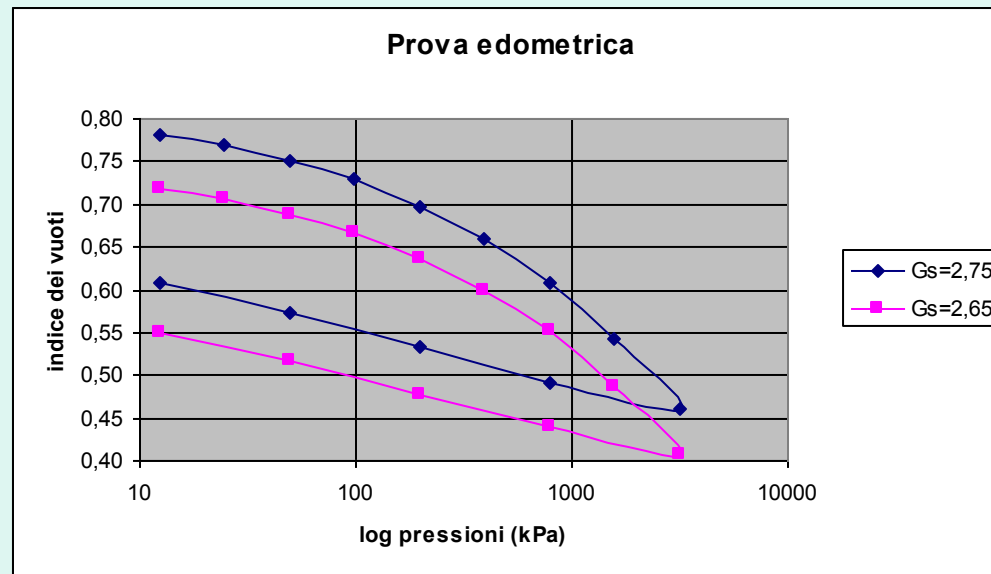
- Granulometria
- Contenuto di acqua
- Peso di volume
- Limiti di consistenza
- Peso specifico dei grani
- (indispensabile per determinare il grado di saturazione, per la determinazione dell'indice dei vuoti nella prova edometrica e nell'analisi granulometrica per sedimentazione)
- *Le prove di classificazione consentono di stimare i parametri geotecnici*

Relazione tra l'angolo di attrito interno e l'indice di plasticità.



$$\text{sen } \varphi' = 0,59 - 0,25 \text{LOG} \left(\frac{IP}{10} \right)$$

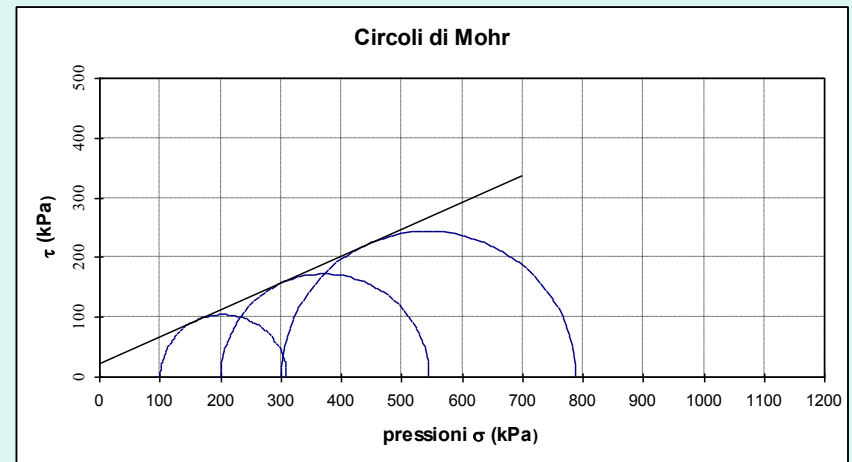
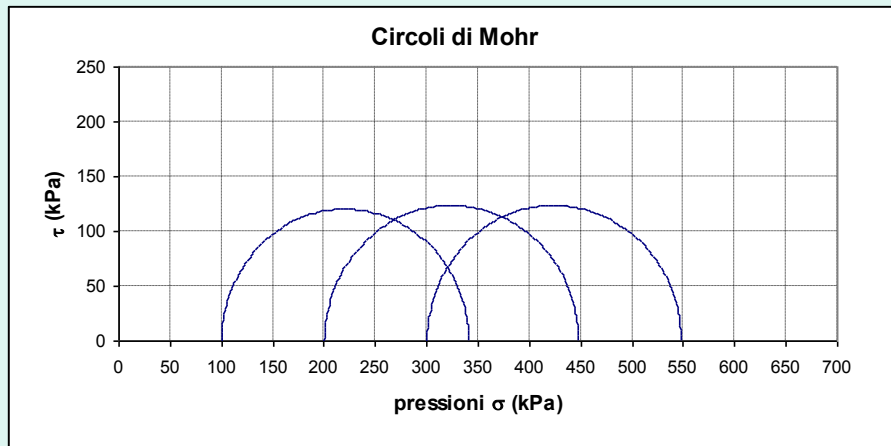
Effetti del peso specifico sui risultati della prove edometrica



LA RESISTENZA AL TAGLIO

Prove di resistenza a breve e a lungo termine

Esempi di cerchi di Mohr in termini di pressioni totali (prova UU) ed efficaci (prova CD)

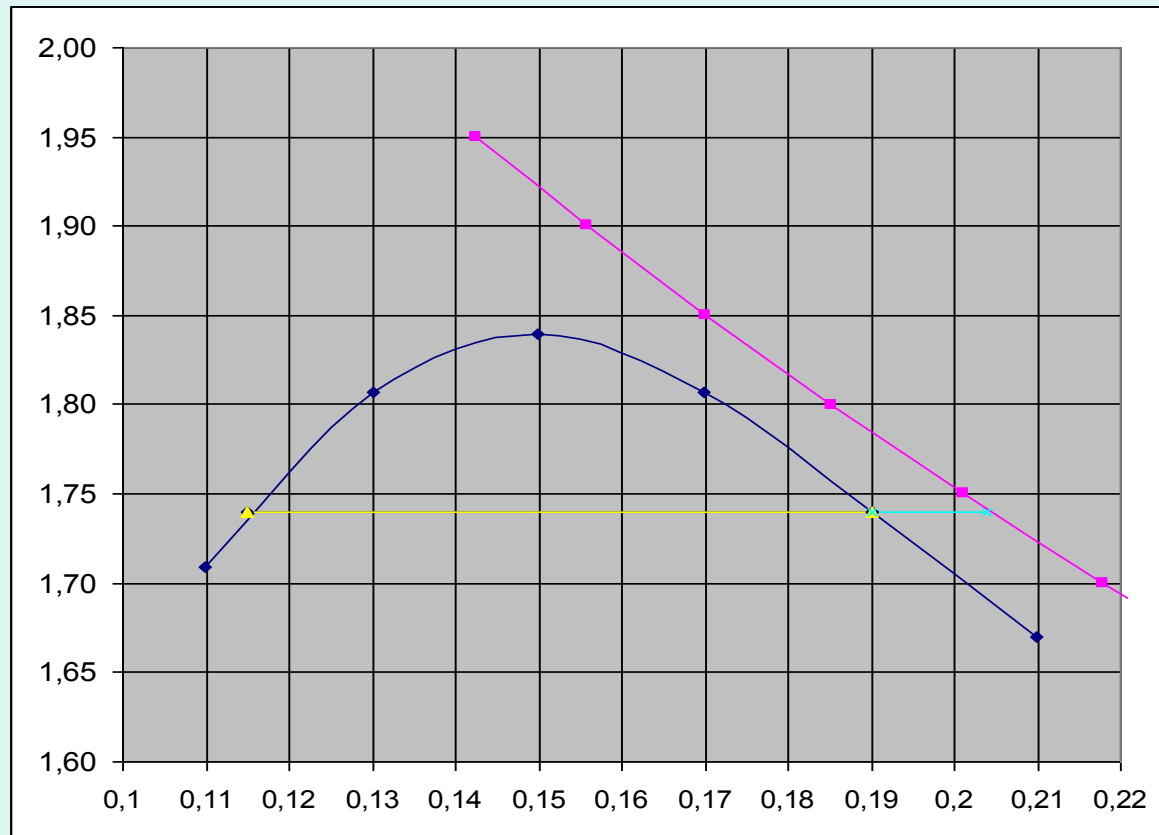


Prove di resistenza al taglio a breve termine

- La coesione in condizioni non drenate (c_u) (resistenza a breve termini nelle argille) deve essere effettuata su campioni saturi altrimenti la resistenza ottenuta è dovuta a coesione e angolo di attrito interno.
- Ciò costituisce un limite all'uso della resistenza alla punta dei penetrometri statici, all'uso della resistenza alla compressione semplice o triassiale o dei provini ricostituiti mediante costipamento, senza le operazioni preliminari di saturazione.

I campioni ricostituiti in laboratorio mediante costipamento
non sono saturi

La prova di compressione semplice su campioni con densità
secca massima o aliquota (es. 95%) non fornisce la c_u



Prove di resistenza al taglio a lungo termine

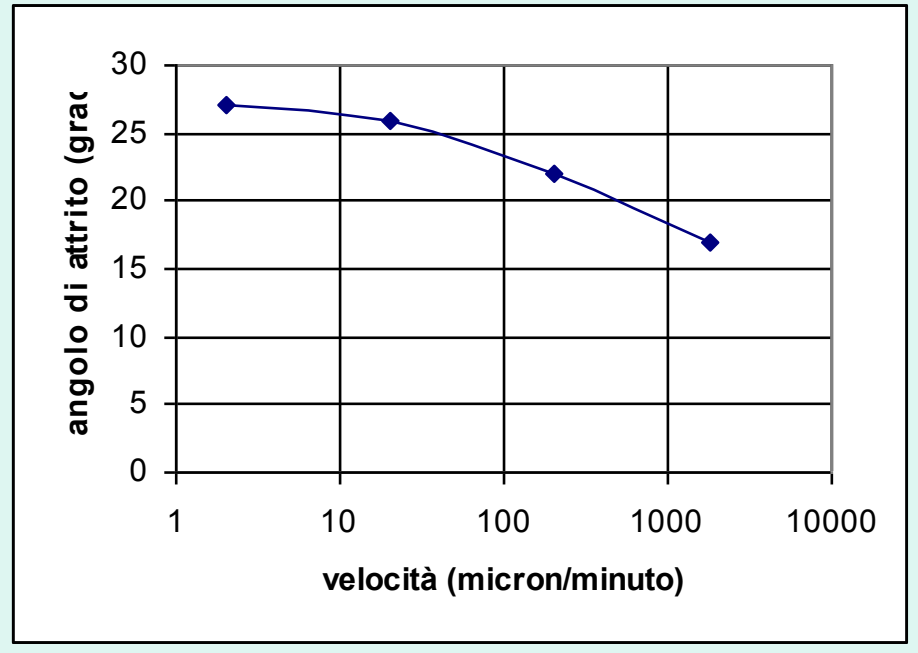
- La resistenza in termini di pressioni efficaci (resistenza a lungo termine) deve essere eseguita con pressioni neutre nulle consentendo il drenaggio dell'acqua del campione in tutte le fasi (consolidazione e rottura).

Prove di taglio consolidate, drenate

Errori dovuti a prove condotte troppo velocemente

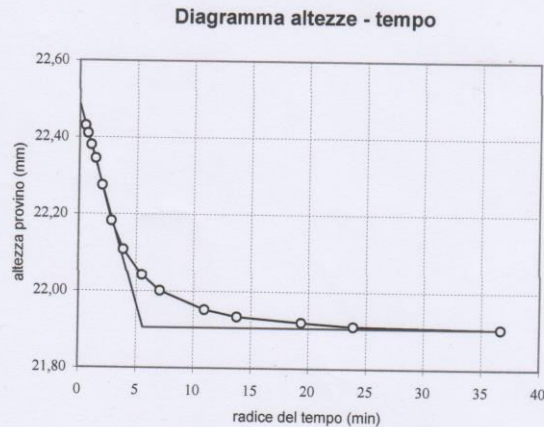
La velocità di prova nelle prove di taglio e triassiali deve essere rigorosamente rispettata per ottenere parametri corretti in termini di pressioni efficaci.

Gli errori conseguenti alla esecuzione di prove di taglio diretto eseguite con velocità troppo alta sono evidenziati nella figura che si riferisce a prove eseguite su un limo argilloso di media plasticità



Prova di taglio diretto- consolidazione dei provini con misura del tempo di consolidazione T_{100}

t (min)	Lett. mm	H mm
0	4,92	23,00
0,25	4,35	22,43
0,5	4,33	22,41
1	4,30	22,38
2	4,27	22,35
4	4,20	22,28
8	4,10	22,18
15	4,03	22,11
30	3,96	22,04
50	3,92	22,00
120	3,87	21,95
190	3,85	21,93
375	3,84	21,92
570	3,83	21,91
1345	3,83	21,91



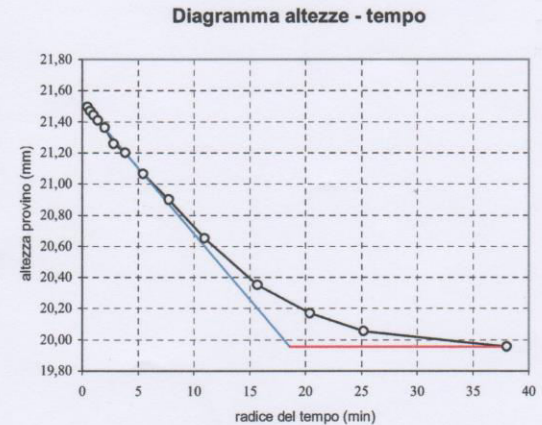
Tempo di consolidazione t_{100}

31 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,015 mm/min

t (min)	Lett. mm	H mm
0	17,15	23,00
0,25	15,65	21,50
0,5	15,62	21,47
1	15,59	21,44
2	15,56	21,41
4	15,51	21,36
8	15,41	21,26
15	15,35	21,20
30	15,22	21,07
60	15,05	20,90
120	14,80	20,65
247	14,50	20,35
417	14,32	20,17
637	14,21	20,06
1447	14,11	19,96



Tempo di consolidazione t_{100}

346 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0014 mm/min

- Tempo di consolidazione del primo caso: 31 minuti; nel secondo caso: 346 minuti.
- I tempi di rottura per il primo caso sono superiori a 7 ore; nel secondo caso: 71 ore (3 giorni)

Prova di taglio su campione NC o debolmente OC – I provini subiscono una riduzione dei vuoti in fase di avanzamento

Diagramma delle tensioni tangenziali e delle variazioni di
altezza in funzione delle deformazioni

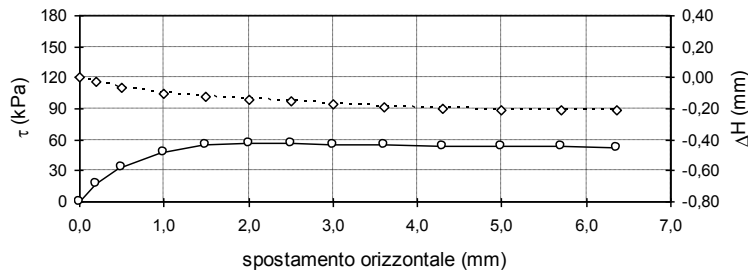


Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di
altezza in funzione delle deformazioni

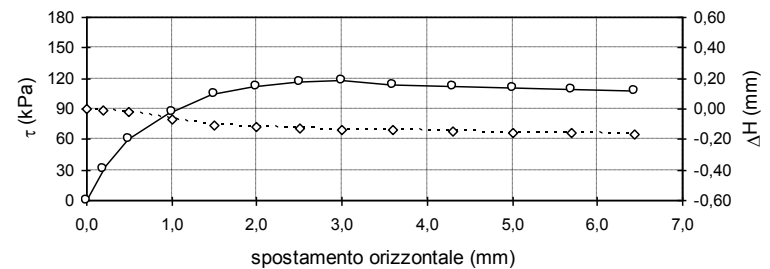
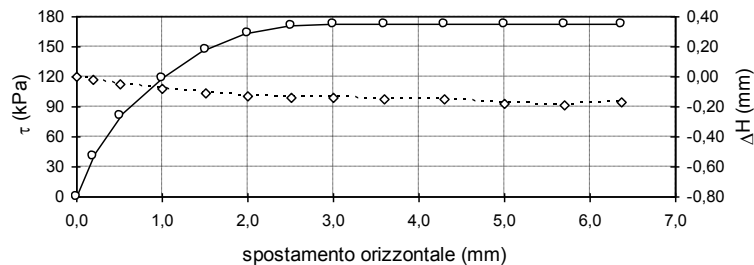
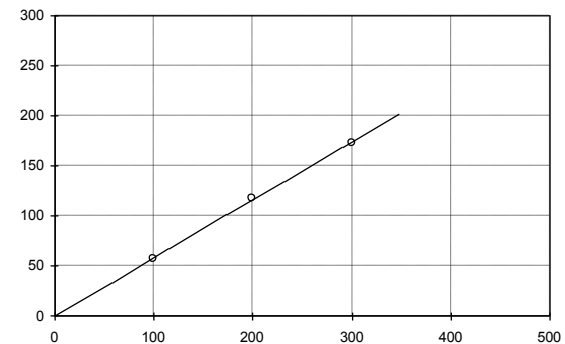


Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di
altezza in funzione delle deformazioni



Resistenza al taglio in funzione delle pressioni normali



Prova di taglio su campione OC – I provini subiscono aumento dei vuoti in fase di avanzamento

Diagramma delle tensioni tangenziali e delle variazioni di altezza in funzione delle deformazioni

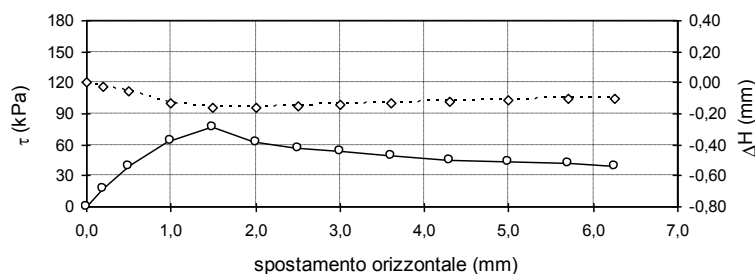


Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni

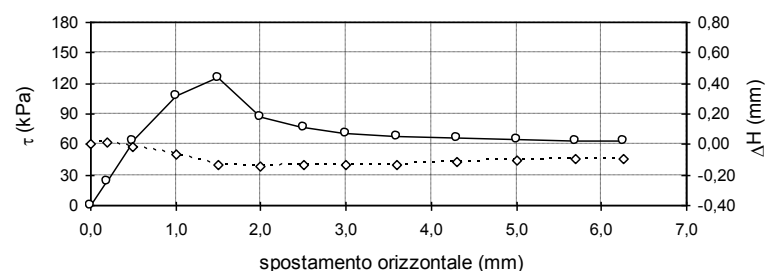
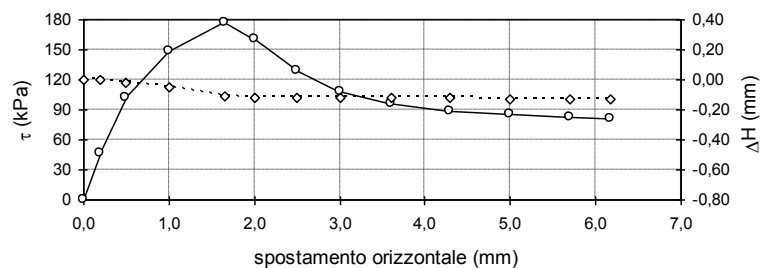
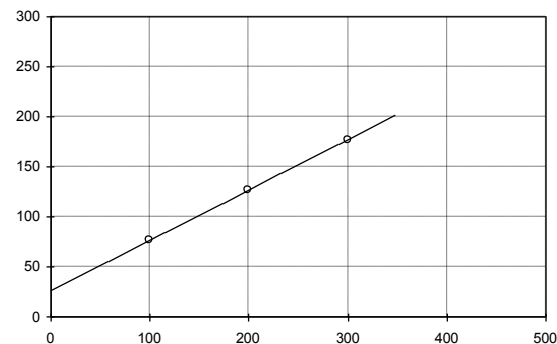


Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni



Resistenza al taglio in funzione delle pressioni normali



Controlli delle prove di taglio diretto e triassiali

- Inoltre:
- I punti possono non essere allineati per differenze di natura e consistenza dei provini (da controllare a termine della prova).
- Le differenze di peso di volume e umidità dei provini sottoposti a prova sono riscontrabili nella tabella riassuntiva riportata nei certificati.

La resistenza al taglio non è sempre rappresentata da una retta. Nel caso di argille debolmente sovraconsolidate i provini possono comportarsi come OC fino ad una certa pressione e NC per pressioni superiori

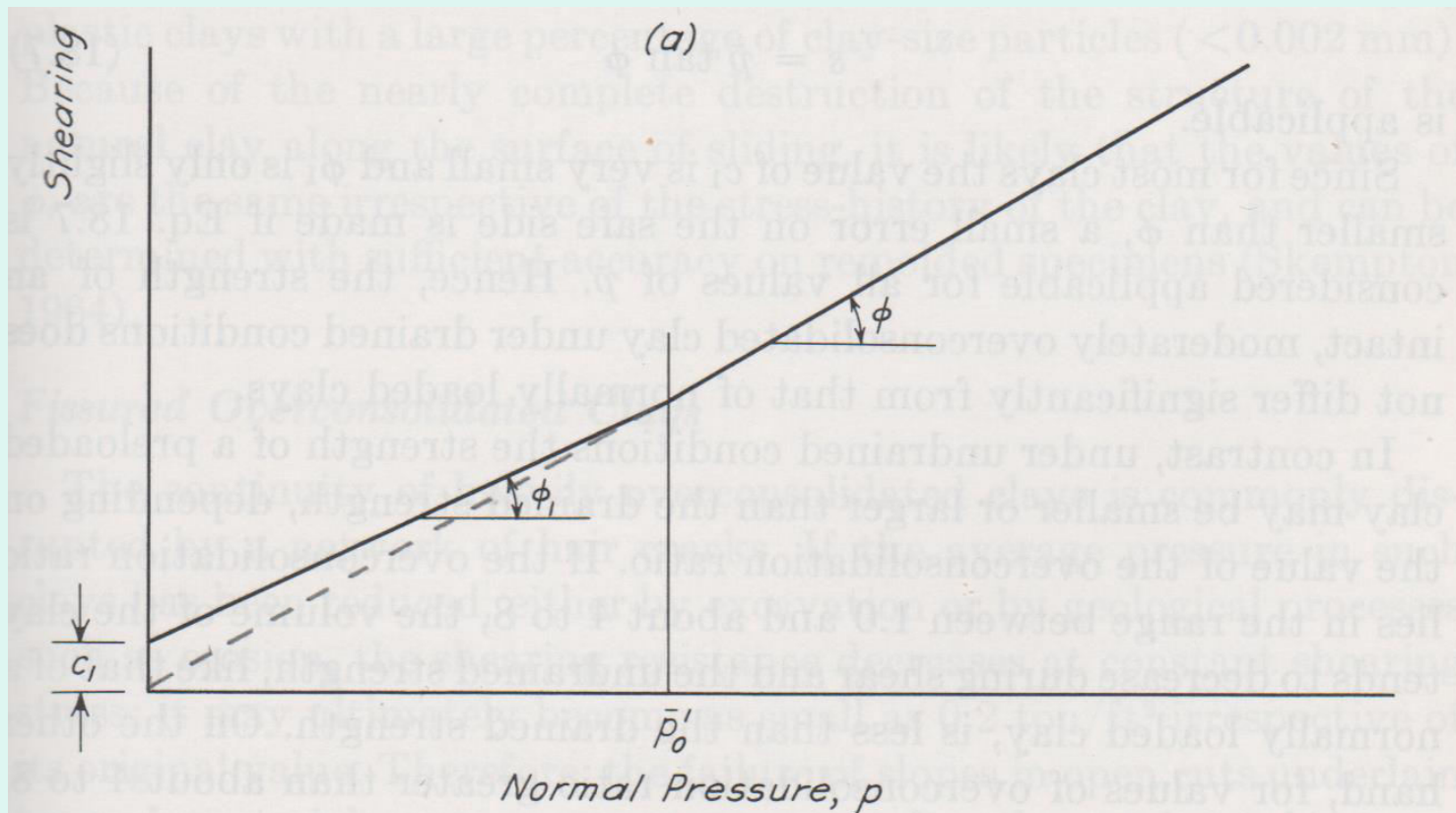


Tabella riassuntiva dei dati dei provini prima e dopo le prove

PESO DI VOLUME

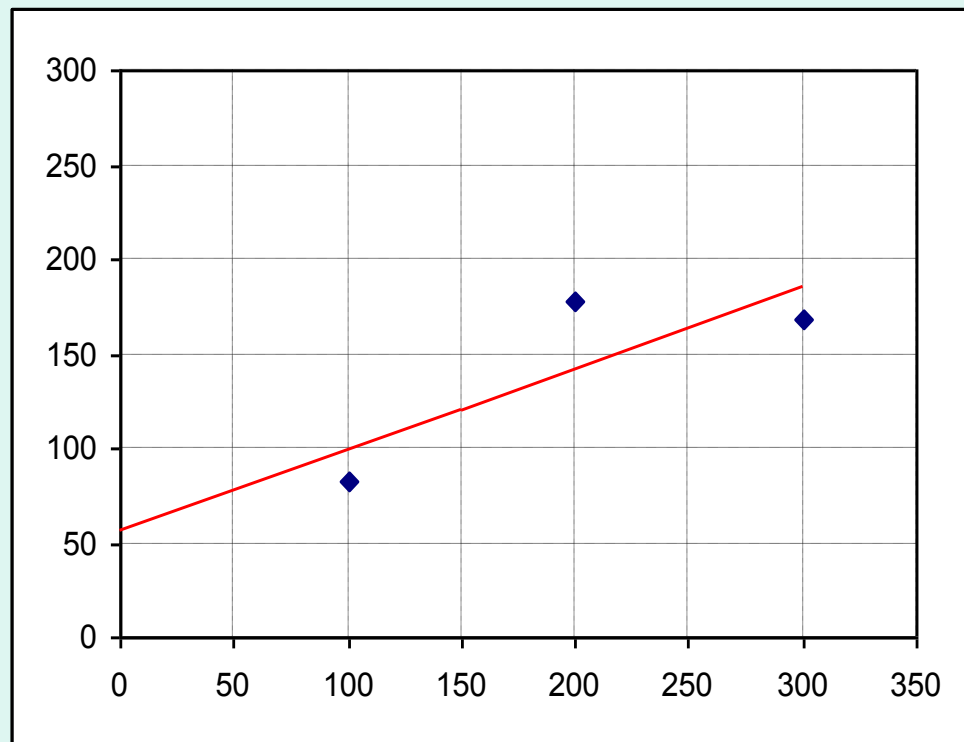
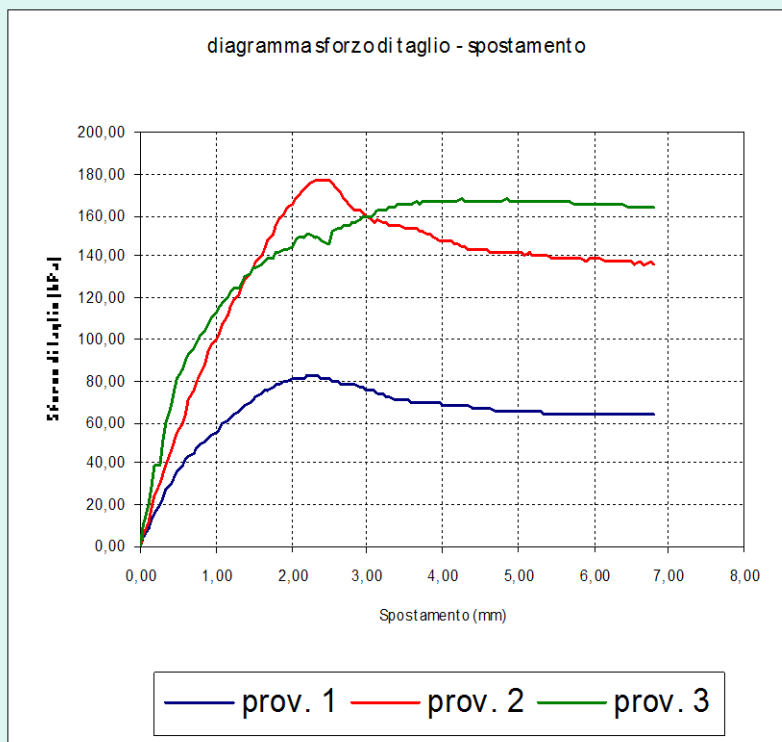
	Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero	1	2	3	1	2	3
Massa del terreno g	170,57	175,13	181,65	174,33	176,37	178,31
Volume del terreno cm ³	82,80	82,80	82,80	80,32	79,56	78,17
Massa specifica g/cm ³	2,06	2,12	2,19	2,17	2,22	2,28
Peso di volume kN/m ³	20,20	20,74	21,51	21,29	21,74	22,37

CONTENUTO DI ACQUA

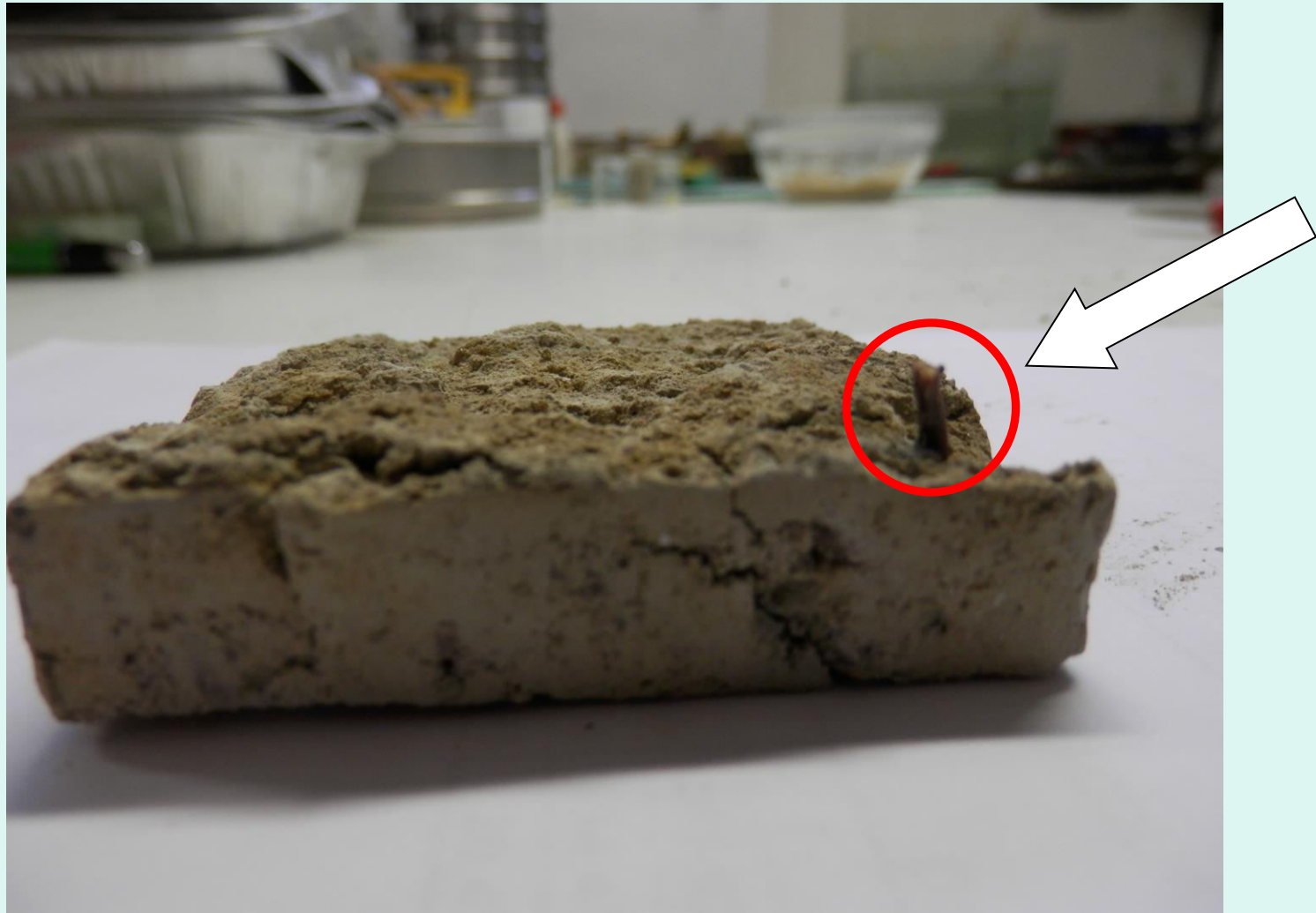
	Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero	1	2	3	1	2	3
Massa terreno umido g	170,57	175,13	181,65	174,33	176,37	178,31
Massa terreno secco g	149,41	153,94	159,17	149,41	153,94	159,17
Contenuto di acqua %	14,16	13,77	14,12	16,68	14,57	12,02

Altre anomalie ?

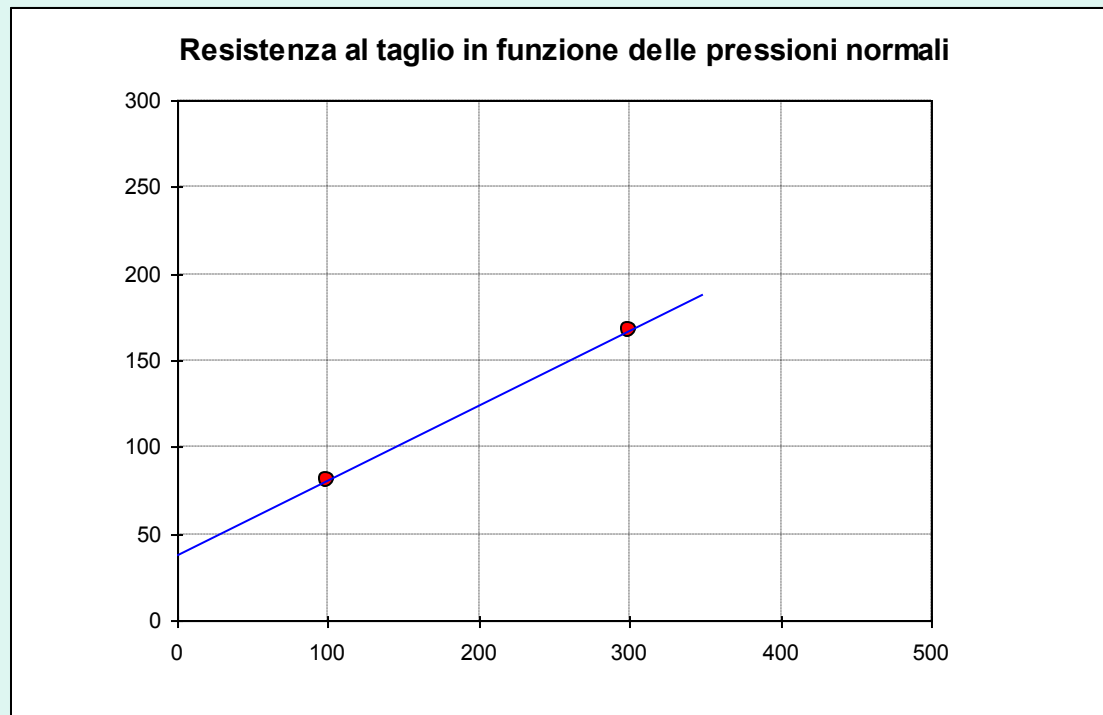
Il provino 2 sottoposto ad un carico verticale di 200 kPa ha fornito resistenza al taglio superiore al provino 3 con carico di 300 kPa



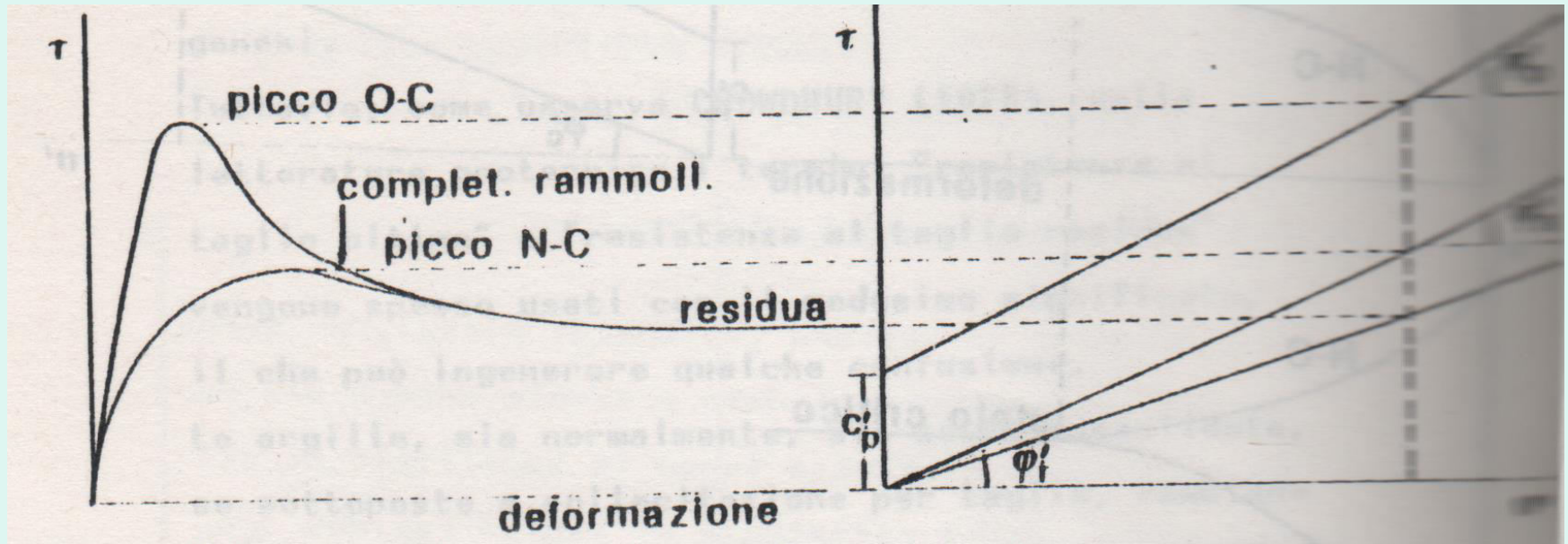
Prova di taglio diretto: resistenza anomala per la presenza di una radice posta normalmente alla superficie di rottura



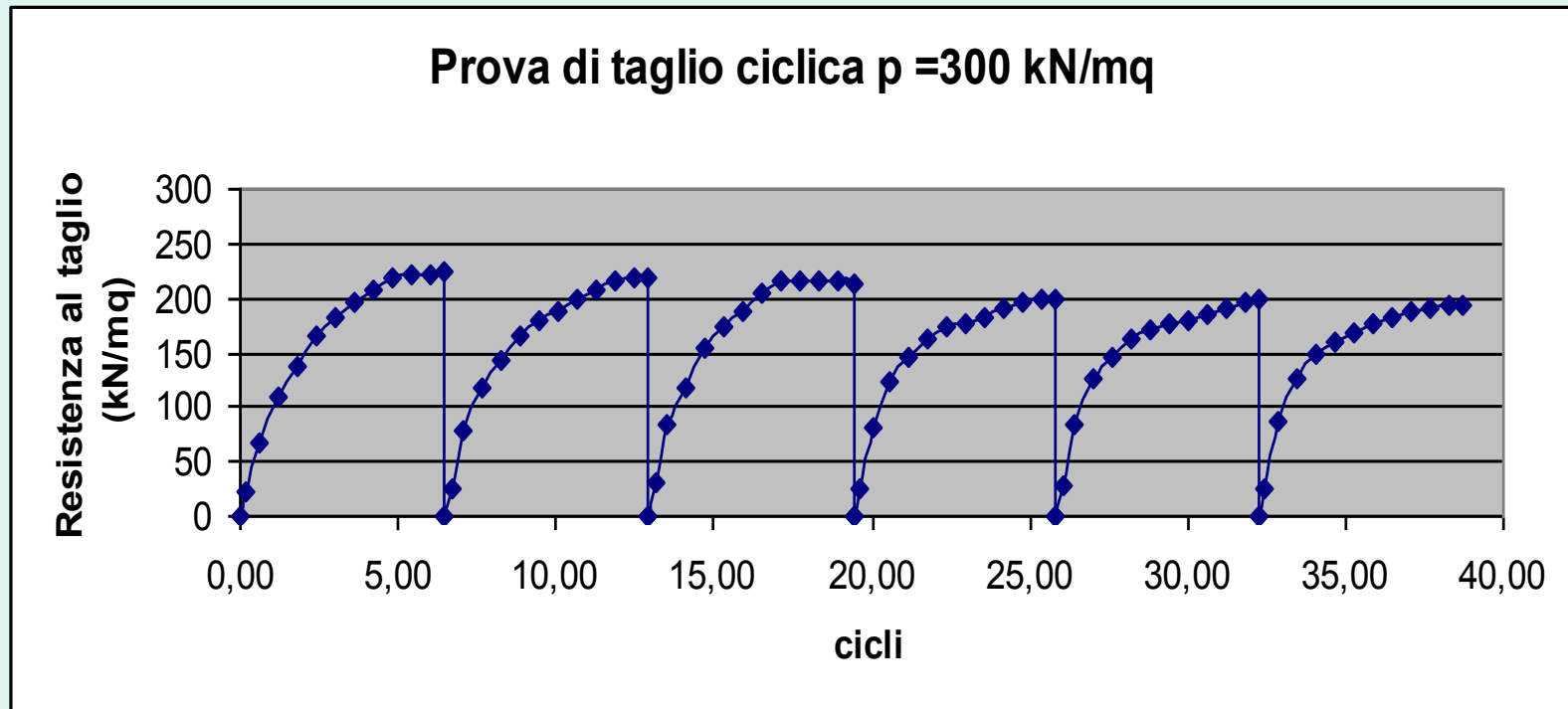
In questo caso la soluzione più semplice è quella di trascurare il punto relativo alla pressione normale di 200 kPa



Resistenza di picco, critica (a volume costante) e residua



Resistenza residua corrisponde a quella ottenuta con
notevoli deformazioni
Esempio resistenza al taglio ciclico



Anello della prova torsionale

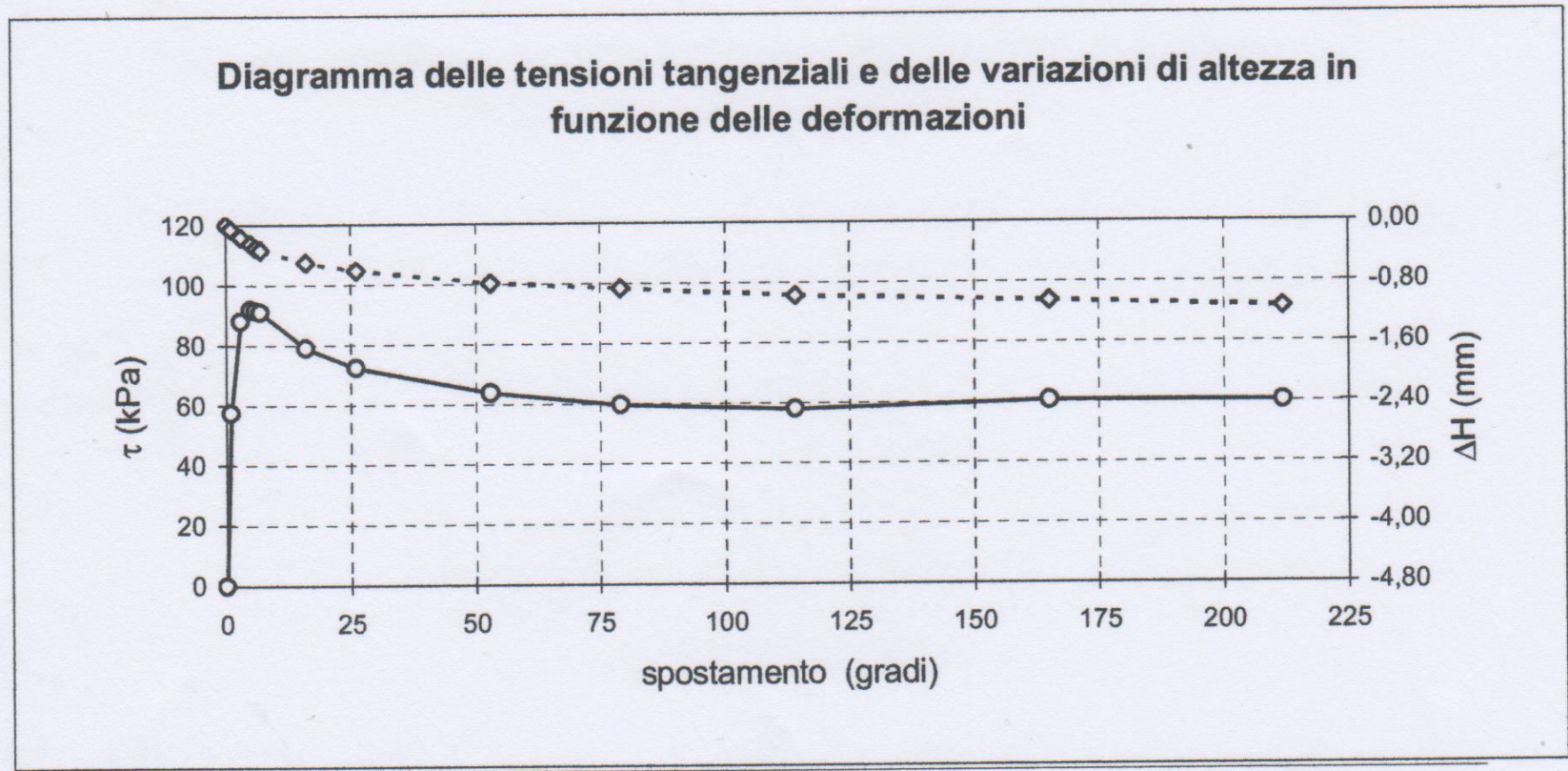
Diametri del provino: est 10,00; int 7,00 cm



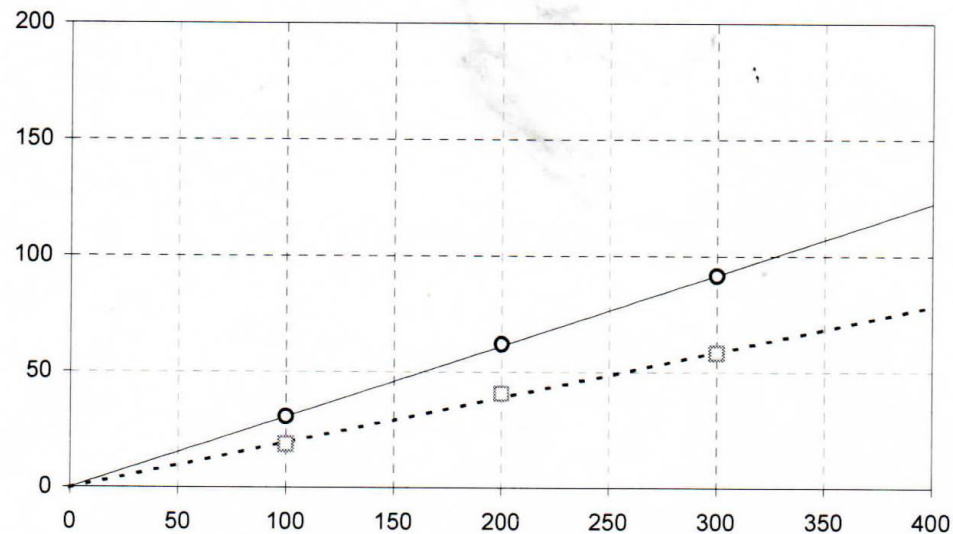
PROVA DI TAGLIO TORSIONALE - Il provino di forma anulare viene portato a rottura lungo un piano predeterminato con spostamento relativo delle 2 parti mediante rotazione



Esempio di prova di taglio torsionale



Resistenza al taglio di picco e residua in funzione delle pressioni normali



	resistenza	picco	residua
Coesione	kPa	0	0
Angolo di attrito interno	gradi	17	11
Coefficiente di correlazione	R	0,9999	0,9981

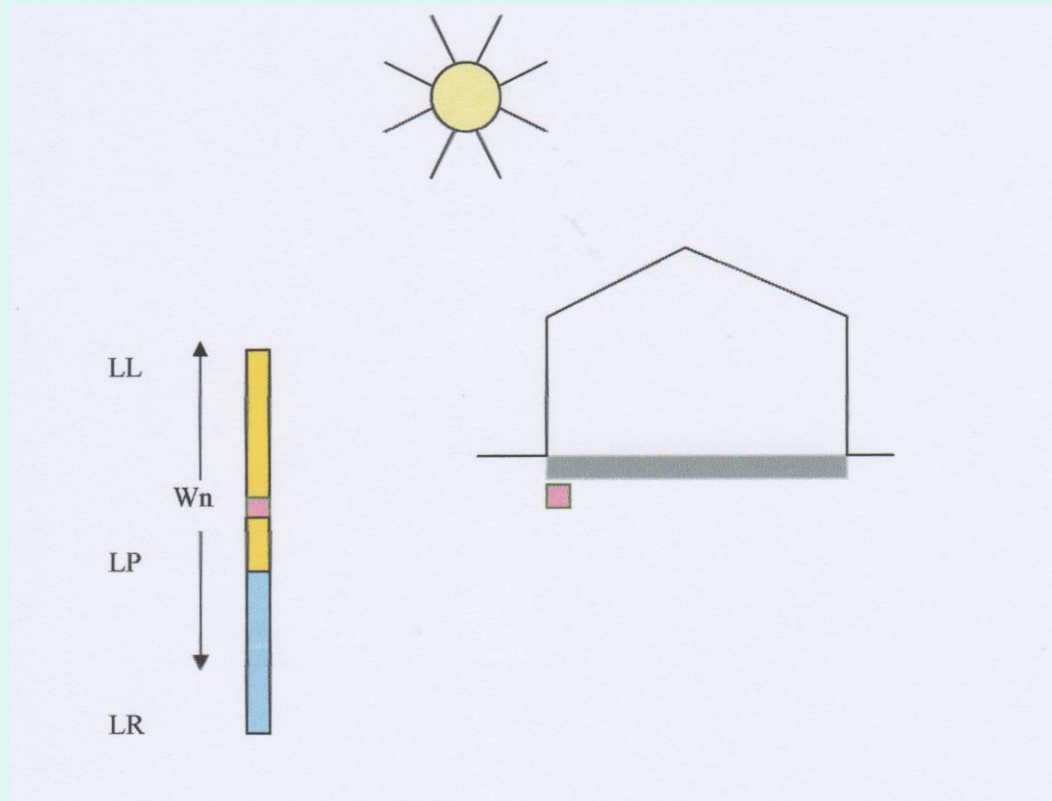
Range di variabilità dell'umidità naturale della terra

Rigonfiamento e ritiro per variazioni di umidità.

NON ESISTONO PROVE NORMALIZZATE

Gli effetti di rigonfiamento e ritiro possono essere stimati attraverso i limiti di consistenza o test blu di metilene

Le NTC sono al riguardo generiche (*piano di fondazione sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto di acqua*)



Attitudine a subire variazioni di volume per assorbimento/perdita di umidità

ATTITUDINE	INDICE DI PLASTICITA'		LIMITE DI RITIRO
	Regioni aride	Regioni umide	
Piccola	0-15	0-30	>12
Media	15-30	30-50	10-12
Grande	> 30	> 50	< 10

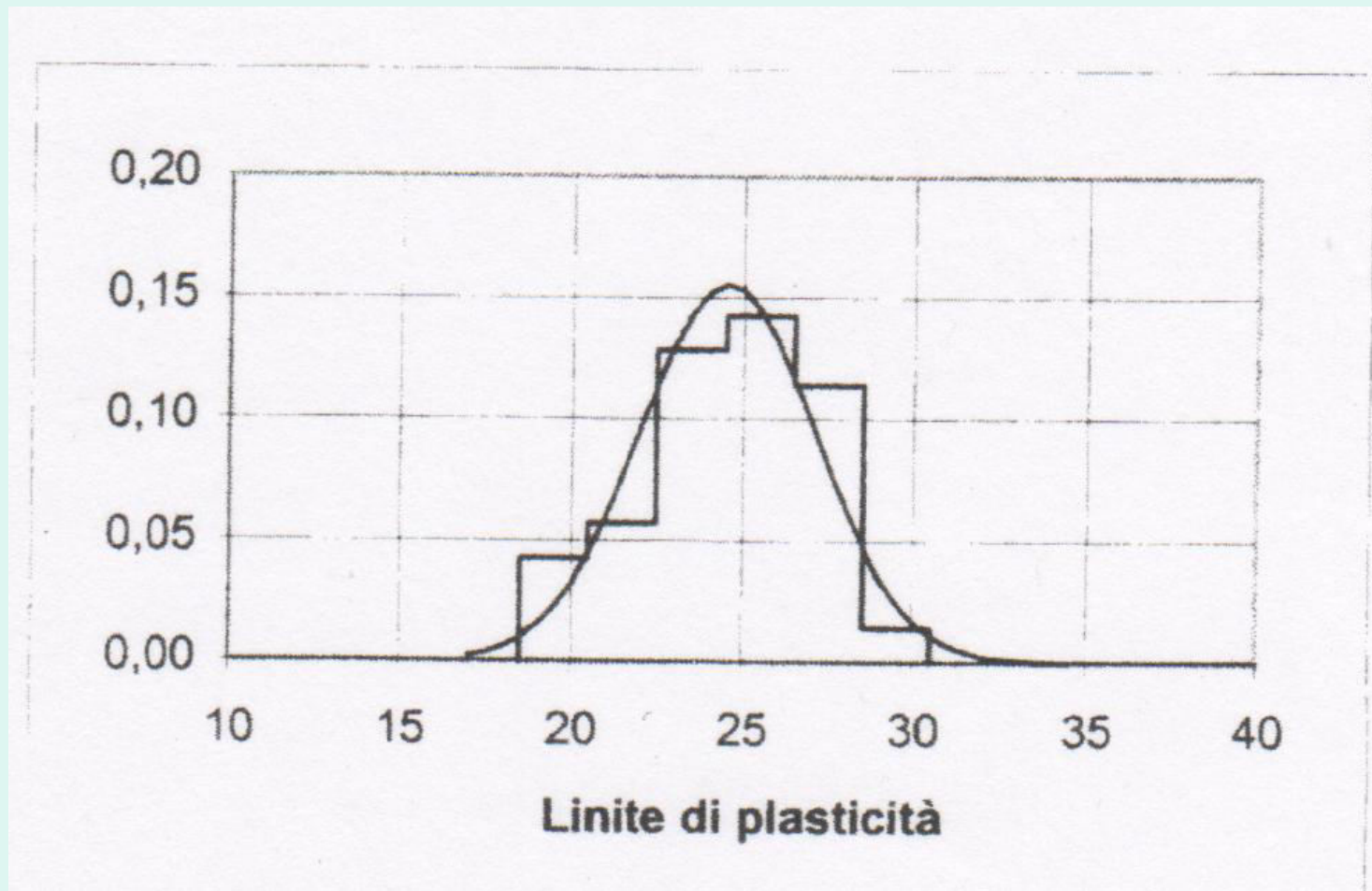
Ritiro per prosciugamento all'aria (da notare i maggiori effetti nella parte centrale organica).



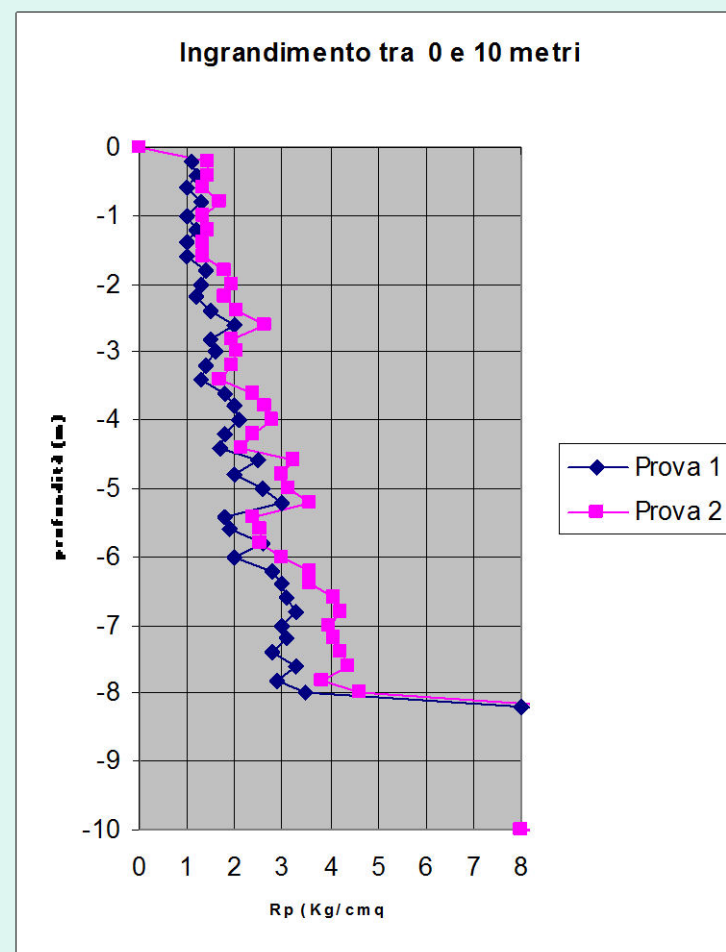
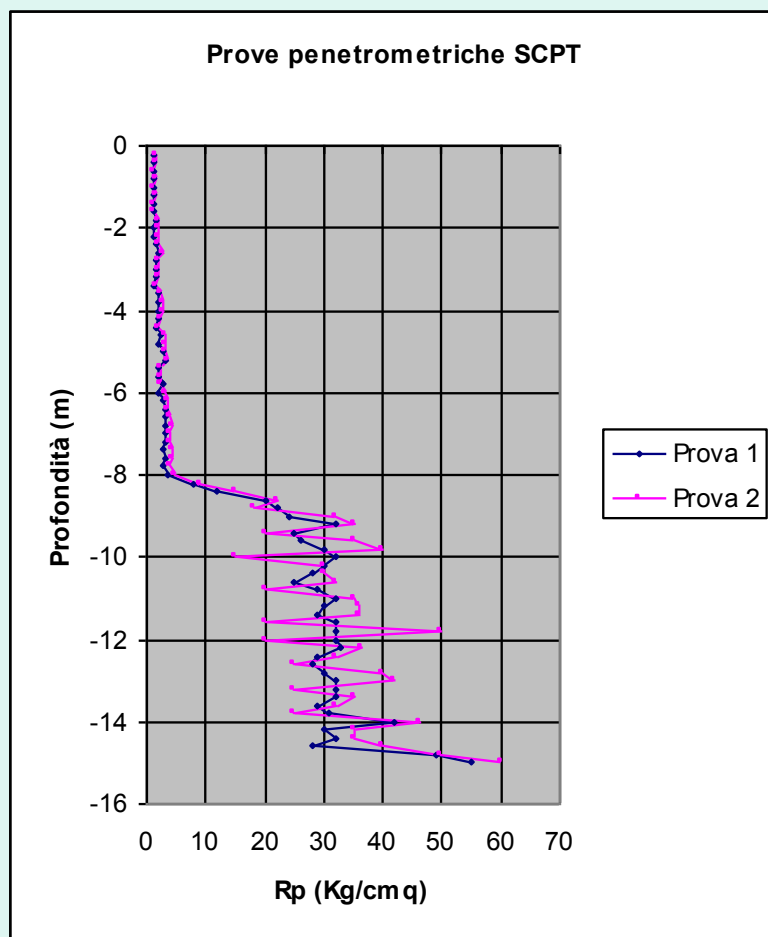
Gli errori

- Ovviamente come oltre alle differenze naturali ci sono anche errori sperimentali

Test di riproducibilità del limite di plasticità



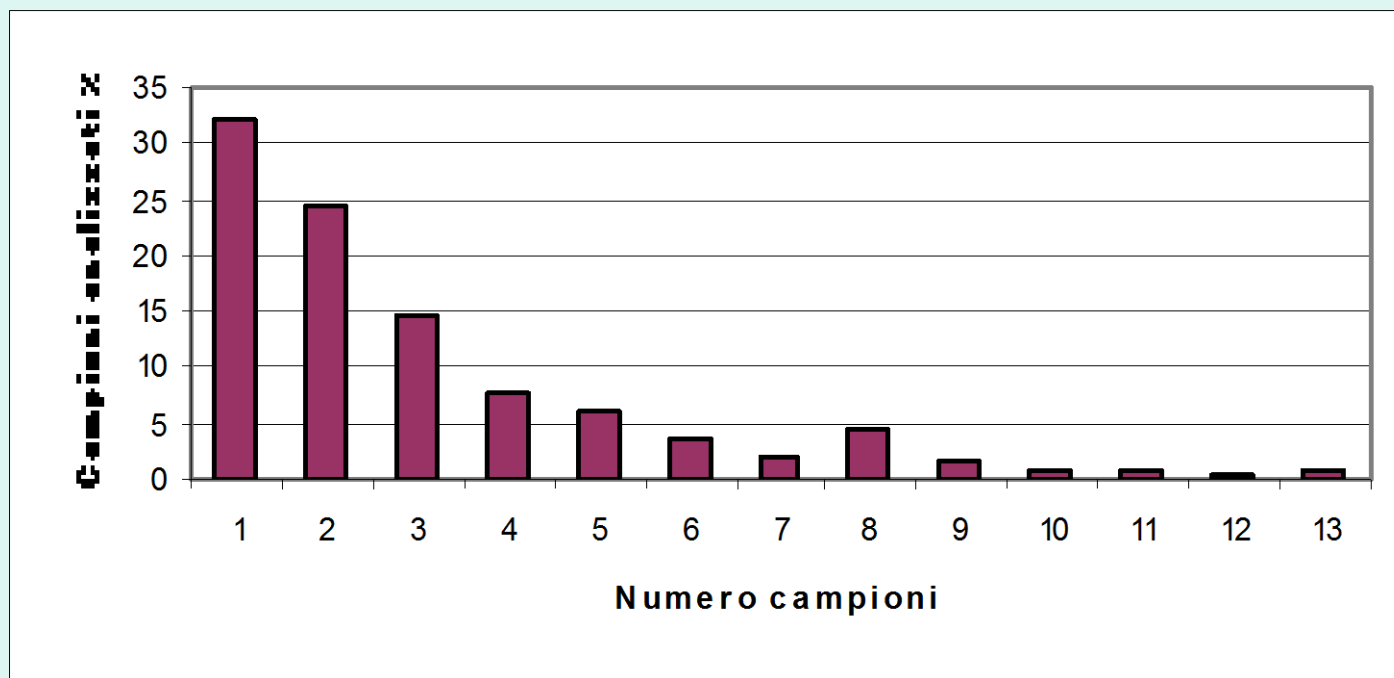
Confronto di profili penetrometrici di prove SCPT eseguite nello stesso punto da imprese diverse



Riprendendo il discorso di inizio sui valori caratteristici

- La scelta di valori caratteristici da valori medi o cautelativi nell'ambito della stessa unità è condizionato dai **dati disponibili** tenendo conto del:
 - A) Numero
 - B) Qualità delle prove
 - C) Dispersione
- Oltre naturalmente alla importanza dell'opera.

Frequenza su numero di campioni analizzati per commissione (test relativo a 260 lavori commissionati al laboratorio nel periodo esaminato)



Progettare un'opera sulla base dei risultati di analisi su un campione preso a caso, corrisponderebbe in medicina a curare un intero reparto in base alle diagnosi di un paziente qualunque
(P.Focardi 2017 *“Geologi, ingegneri, raddomanti e stregoni”*)

