

# **FORMAZIONE E INFORMAZIONE SULL'UTILIZZO DEI PARAMETRI DI LABORATORIO IN CONDIZIONI STATICHE E DINAMICHE**

## **AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE**

**Assunta Sfalanga** - Responsabile Laboratori di Meccanica delle Terre e delle Rocce  
Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena

[www.geotecnologie.unisi.it](http://www.geotecnologie.unisi.it)

[sfalanga@unisi.it](mailto:sfalanga@unisi.it)

L'aggiornamento professionale nell'ambito delle prove di laboratorio viene definito per due aspetti:

La **formazione** che riguarda un approccio normativo nuovo ai parametri di laboratorio, dettato dalle NTC 2008

L'**informazione**, che invece prevede la conoscenza, da parte dei professionisti che utilizzeranno i parametri di laboratorio per la modellazione geotecnica, delle procedure esecutive e delle tempistiche tecniche delle prove.

Affronteremo , pertanto, le seguenti tematiche:

- Sintetico excursus sulla normativa in vigore
- Vedremo le informazioni che il professionista deve fornire
- Porteremo qualche esempio di “lettura” dei certificati di prova
- Infine presenteremo lo schema dei corsi svolti presso la nostra struttura, quale esempio pratico.

## Dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) cap.6.2.2 - INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA:

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo °, e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

“I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l’interpretazione dei risultati di prove e misure in sito.”

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

---

° parte di sottosuolo influenzabile dalla costruzione di un’opera o che può influenzare il comportamento dell’opera stessa

da: Prof. E.Aiello Parametri di progetto Il contributo delle prove di laboratorio per la redazione del modello geologico e di quello geotecnico. Convegno “Prove di laboratorio per la caratterizzazione dinamica dei terreni” ALIG 22-24 aprile 2010.

“È responsabilità del progettista la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica.

Le indagini e le prove devono essere eseguite e certificate dai laboratori di cui [all'art.59 del DPR 6.6.2001, n.380](#). I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture.”

## Articolo 59 DPR 6.6.2001 n.380

Laboratori.

(legge 5 novembre 1971, n. 1086, art. 20)

1. Agli effetti del presente testo unico sono considerati laboratori ufficiali:
  - a) i laboratori degli istituti universitari, dei politecnici e delle facoltà di ingegneria e delle facoltà o istituti universitari di architettura;
  - b) il laboratorio di scienza delle costruzioni del centro studi ed esperienze dei servizi antincendi e di protezione civile (Roma);

2. Il Ministro per le infrastrutture e i trasporti, sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici, può autorizzare con proprio decreto, ai sensi del presente capo, altri laboratori ad effettuare prove su materiali da costruzione, comprese quelle geotecniche su terreni e rocce.

3. L'attività dei laboratori, ai fini del presente capo, è servizio di pubblica utilità.



Per **valore caratteristico**, sec. L'EC7, s'intende quel **valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento**; assumere, per esempio, un valore caratteristico di  $28^\circ$  dell'angolo di attrito del terreno con una probabilità di non superamento del 5% (**frattile 5%**), vuol dire ipotizzare che ci sia una probabilità del cinque per cento che il valore *reale* dell'angolo di attrito sia inferiore a  $28^\circ$ .

### IL VALORE CARATTERISTICO $k$

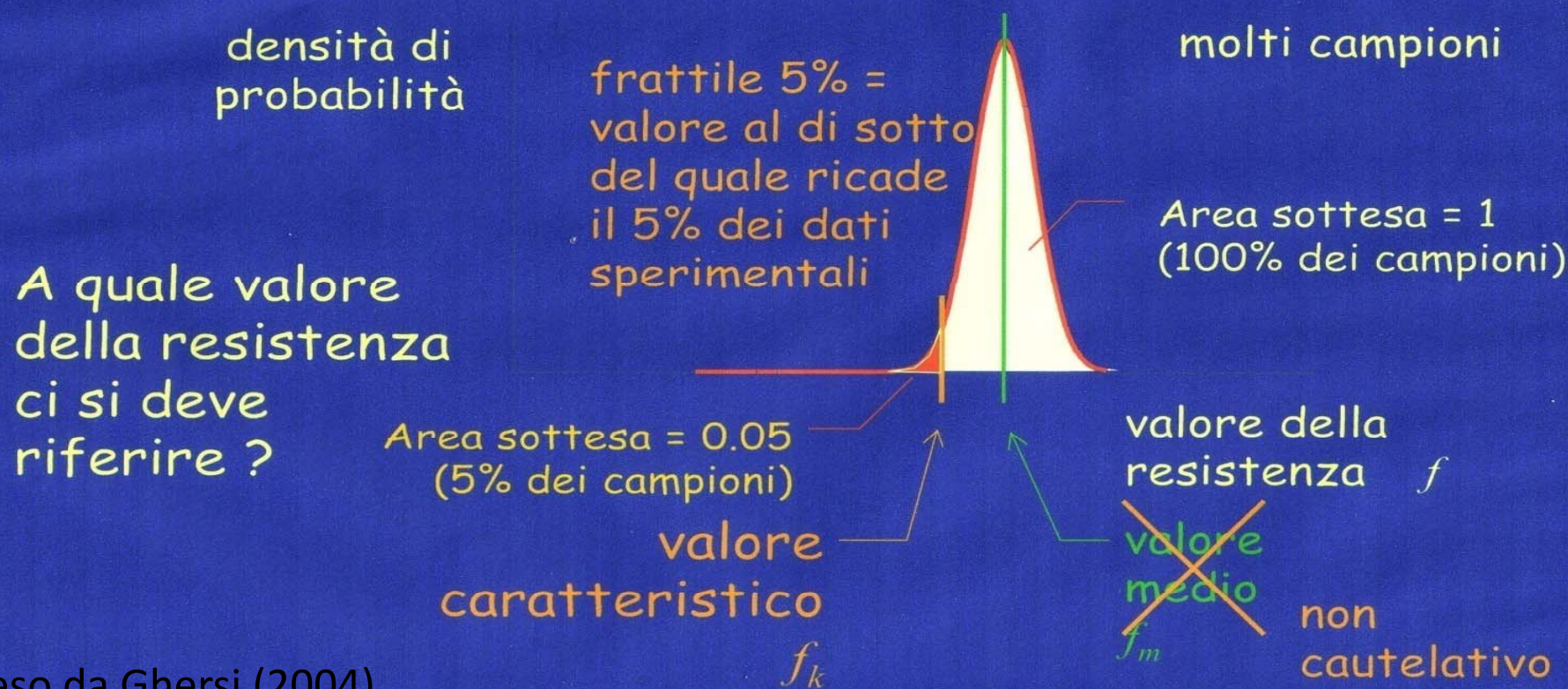
RAPPRESENTA LA SOGLIA AL DI SOTTO DELLA QUALE SI

COLLOCA NON PIU' DEL 5% DEI VALORI DESUMIBILI DA

UNA SERIE TEORICAMENTE ILLIMITATA DI PROVE



## Incertezza sulla resistenza



Ripreso da Gherzi (2004)

In prima approssimazione i **valori caratteristici** di  $c'$  e  $\phi'$  sono determinabili con le seguenti relazioni:

$$(1) \quad \phi'_k = \phi'_m (1 + X \cdot V_\phi)$$

$$(2) \quad c'_k = c'_m (1 + X \cdot V_c)$$

dove:

$\phi'_k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

$c'_k$  = valore caratteristico della coesione;

$\phi'_m$  = valore medio dell'angolo di attrito;

$c'_m$  = valore medio della coesione;

$V_\phi$  = coefficiente di variazione (COV) di  $\phi'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $\phi'$ ;

$V_c$  = coefficiente di variazione (COV) di  $c'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $c'$ ;

$X$  = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.



L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di C uguale a **-1,645**.

Frattile %	50	25	10	<b>5</b>
X	0	0,674	1,282	<b>1,645</b>

Di conseguenza i valori caratteristici determinabili con le relazioni

$$(1) f'_k = f'_m (1 + C \cdot V_f)$$

$$(2) c'_k = c'_m (1 + C \cdot V_c)$$

diventano:

$$(3) f'_k = f'_m (1 - 1,645 V_f)$$

$$(4) c'_k = c'_m (1 - 1,645 V_c)$$

°  $V_f, V_c$  = COV - coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

**Ai valori caratteristici ( $f_k$ ) trovati si applicano dei coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma_M$  (CP) in funzione dello stato limite considerato.**

I valori di progetto ( $f_d$ ) di  $c'$  e  $f'$  da adottare nel calcolo si ottengono, quindi, dividendo i valori caratteristici ( $f_k$ ) per un coefficiente riduttivo parziale  $M_2$ , secondo quanto indicato al punto 6.2.3, se si è scelto l'Approccio 1 Combinazione 2.

## In conclusione per individuare i valori caratteristici $f_k$ è necessario :

Ricorrere a prove idonee per determinare il parametro richiesto

Avere a disposizione un adeguato numero di dati

Le prove devono essere eseguite correttamente

Il terreno deve essere suddiviso in “strati” in senso geotecnico a comportamento omogeneo

I campioni analizzati devono essere rappresentativi degli “strati” individuati

Si applicano i metodi statistici dell’EC7, oppure il metodo suggerito dalle NTC 2008, che vedremo in seguito.

## Modello geotecnico

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce compresi nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

È responsabilità del progettista° la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

---

°Per il D.P.R. 328/01 progettisti geotecnici sono gli ingegneri ed i geologi sez.A. Ciò è ulteriormente confermato dalle sentenze del CdS, VI, n. 491/2002; IV, n. 705/1998; V, n. 701/1995; Ad. Gen., n. 154/1994; II, n. 164/1992 e dalla sentenza n. 5231/2009 del TAR Lazio

## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- a) Il problema dell'interpretazione delle prove
- b) I valori caratteristici
- c) Quali prove scegliere
- d) **Le prove geotecniche in laboratorio**
- e) Le prove in sito ed il contributo della geofisica

## MA QUAL E' LA SITUAZIONE ATTUALE ?

- numero di prove dirette insufficienti per una corretta determinazione dei valori dei parametri da utilizzare nel modello geotecnico;
- abuso della parametrizzazione del terreno tramite metodi indiretti ed empirici, sovente poco affidabili;
- monitoraggio piezometrico talora insufficiente ed inadeguato al problema

## Le prove geotecniche in laboratorio

Alcuni problemi.....

Variabilità dati di laboratorio

Rappresentatività del campione rispetto al volume significativo

Qualità del campione

Scelta del tipo di prova in base al budget e alla tempistica



**Nel caso delle indagini di laboratorio, l'errore di misura può essere stimato direttamente analizzando la variabilità dei risultati di prove condotte in condizioni, e su campioni di terreno, per quanto possibile uniformi.**

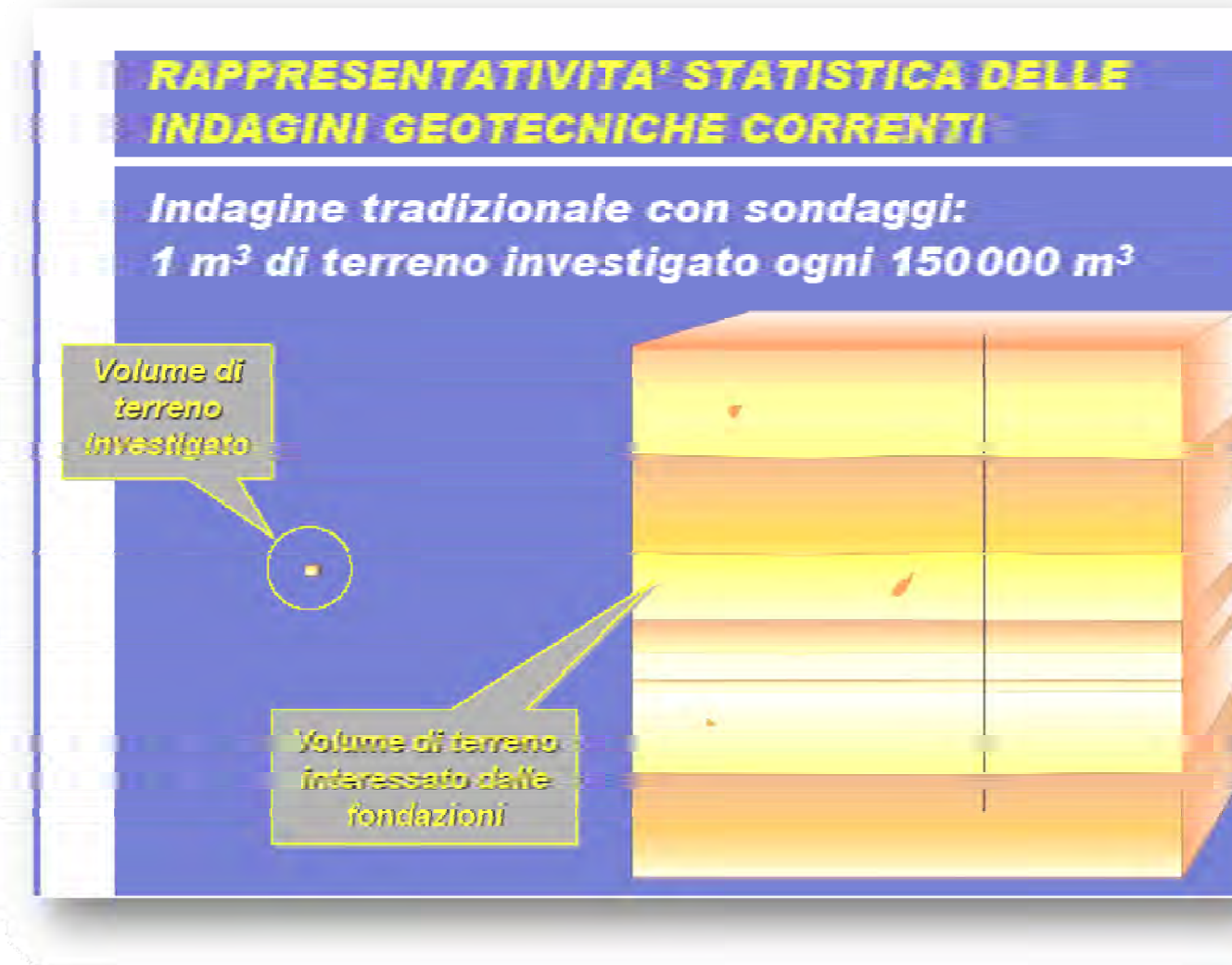
Alcuni risultati di programmi di indagini di laboratorio atti a quantificare l'errore di misura sono disponibili in letteratura (es. HAMMITT 1966; JOHNSTON 1969; SHERWOOD 1970; SINGH & LEE 1970; MINTY et al. 1979). Tuttavia, essi sono poco numerosi, e non trattano la suddivisione dell'errore di misura complessivo nelle sue componenti.

Nella seguente tabella sono riportati i valori raccolti da PHOON et al. (1995) dai predetti studi, e relativi all'errore di misura di prove di laboratorio, espresso in termini di coefficiente di variazione COVeM.

## Variabilità complessiva di alcune prove di laboratorio (da Phoon et al. 1995)

proprietà	prova	terreni	valori		COV <sub>em</sub> (%)	
			interv.	media	interv.	media
$c_u$ (kPa)	TX	argille, limi	7-407	125	8-38	19
$c_u$ (kPa)	DS	argille, limi	108-130	119	19-20	20
$c_u$ (kPa)	LV	argille	4-123	29	5-37	13
→ $\phi'$ (°)	TX	argille, limi	2-27	19.1	7-56	24 ←
→ $\phi'$ (°)	DS	argille, limi	24-40	33.3	3-29	13 ←
$\phi'$ (°)	DS	sabbie	30-35	32.7	13-14	14
$\tan \phi'$	TX	sabbie, limi	-	-	2-22	8
$\tan \phi'$	DS	argille	-	-	6-22	14
$w_n$ (%)	-	grana fine	16-21	18	6-12	8
$w_L$ (%)	-	grana fine	17-113	36	3-11	7
$w_P$ (%)	-	grana fine	12-35	21	7-18	10
$I_P$	-	grana fine	4-44	23	5-51	24
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	grana fine	16-17	17.0	1-2	1

E' importante notare che, poiché molti parametri possono essere stimati mediante più tipi di indagini di laboratorio, la variabilità complessiva di un parametro dipende dal metodo di indagine, anche per lo stesso tipo di terreno. Ad esempio, come riportato in Tabella, l'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  di terreni argillosi e limosi, se misurato da **prove triassiali** (TX), presenta un intervallo di COVeM di 7-56%; nel caso di misure mediante **prove di taglio diretto** (DS), l'intervallo dei valori di COVeM è 3-29% (v. anche Phoon e Kulawy, 1999).



**In generale solo una piccolissima frazione del volume significativo, normalmente meno dello 0,001% , viene indagata direttamente!**

**Le prove geotecniche di laboratorio devono permettere di valutare i valori appropriati delle grandezze fisiche e meccaniche necessarie per tutte le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e agli stati limite di esercizio (SLE).**

*Le prove sui terreni utilizzati come materiali da costruzione devono essere effettuate su campioni rappresentativi dei materiali disponibili, preparati in laboratorio secondo modalità da stabilire in relazione alle condizioni di posa in opera previste e alla destinazione del manufatto.*

**I risultati delle prove di laboratorio devono essere accompagnati da chiare indicazioni sulle procedure sperimentali adottate.**

L' Eurocodice 7, per i calcoli geotecnici, prevede l'adozione delle unità S.I. e raccomanda l'impiego delle seguenti unità di misura:

GRANDEZZA	UNITÀ DI MISURA
Forza	KN, MN
Momento	KNm
Massa Volumica	Kg/m <sup>3</sup> , Mg/m <sup>3</sup> , (t/m <sup>3</sup> )
Peso dell'Unità di Volume	KN/m <sup>3</sup>
Tensione, Pressione, Resistenza	KN/m <sup>2</sup> , (KPa)
Modulo di Rigidezza	MN/m <sup>2</sup> , (MPa)
Coefficiente di Permeabilità	m/s, (m/anno)
Coefficiente di Consolidazione	m <sup>2</sup> /s, (m <sup>2</sup> /anno)



PARAMETRI	TIPO DI PROVA	TEMPI	RAPPRESENTATIVITA' DEL PARAMETRO
Classificazione granulometrica materiali fini (<0.074 mm)	Aerometria Pipetta Sedigrafo	48 ore 24 ore 1 ora	Sufficiente Buona Ottima
Peso specifico grani	Picnometro ad acqua Picnometro ad elio	48 ore 20 minuti – 12 ore	Buona Ottima
Coesione non drenata (cu)	Pocket Penetrometer Compressione semplice Prova triassiale UU	5 minuti 24 ore 24 ore	Indicativa Sufficiente Buona
Coesione drenata (c')	Taglio diretto Prova triassiale CIU Prova triassiale CID	4 giorni 8-10 giorni* 15-20 giorni*	Buona Molto buona Ottima
Angolo di attrito efficace ( $\Phi'$ )	Taglio diretto Prova triassiale CIU Prova triassiale CID	4 giorni 8-10 giorni* 15-20 giorni*	Buona Molto buona Ottima
Parametri resistenza residua	Taglio diretto Apparecchio di Bromhead	8-10 giorni 4 giorni	Sufficiente Ottima
Parametri edometrici (M, cv, k, Cc, ecc.)	Prova edometrica tipo IL Prova edometrica tipo CRS	15-20 giorni 5-7 giorni	Buona Ottima

### **Prevalenza del ruolo del tecnico rispetto all'attrezzatura:**

- Apertura campione
- Valutazione qualità del campione
- Descrizione campione
- Contenuto naturale di acqua
- Determinazione peso di volume
- Peso specifico dei grani
- Analisi granulometrica
- Limiti di consistenza

### **Prevalenza del ruolo dell'attrezzatura rispetto al tecnico:**

- Prova edometrica
- Prova di taglio diretto
- Valutazione resistenza residua
- Compressione semplice
- Prove triassiali



Il **laboratorio geotecnico** è la struttura in grado di emettere certificati relativi a prove su terreni e rocce.

La concertazione tra progettista e laboratorio sulle prove da eseguire in funzione dell'evoluzione tensionale è un'ulteriore sinergia che permette di ottenere parametri geotecnici funzionali al progetto.

Il laboratorio ha inoltre la responsabilità di fornire tutti gli indizi sul grado di disturbo dei campioni analizzati, in modo che il geotecnico possa assegnare un differente peso ai parametri ottenuti.

## Grado di Qualità

La rappresentatività e l'attendibilità dei parametri fisico meccanici dipendono da una serie di fattori:

- Campionamento
- Trasferimento dei campioni al laboratorio
- Apertura dei campioni in laboratorio, idoneo confezionamento dei provini e delle prove

Caratteristiche determinabili	Classe di Qualità				
	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5
Profilo stratigrafico	X	X	X	X	X
Composizione granulometrica		X	X	X	X
Contenuto naturale d'acqua			X	X	X
Peso unità di volume				X	X
Caratteristiche meccaniche					X
	Campioni	disturbati rimaneggiati	o	A disturbo limitato	Indisturbati

Arrivo del campione in laboratorio



Camera umida



Campione  
disturbato

Apertura e valutazione della qualità in  
riferimento alle prove richieste

Campione  
indisturbato





## Apertura Campione

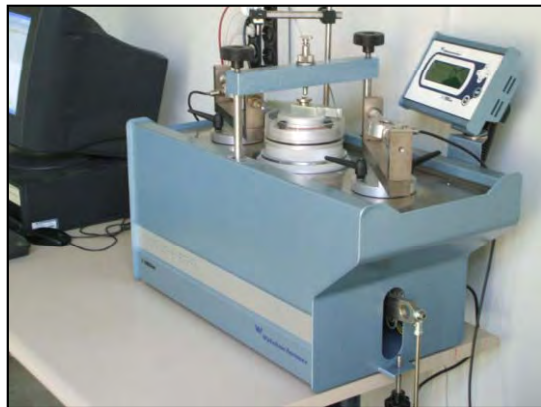
Disturbi di  
campionamento



## Taglio diretto



## Taglio Torsionale



## Espansione laterale libera



## Triassiale

SCAVI NON CONTRASTATI			
PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> </ul>	
Stabilità a lungo termine (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi_{cv}</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi_r</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CID, Taglio diretto</li> <li>• Taglio diretto rim. al LL, Taglio diretto in modalità reverse</li> <li>• Taglio anulare</li> </ul>	condiz. di picco condiz. di rottura con dislocazione limitata condiz. di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi
Cedimenti del terreno e delle strutture circostanti per aggettamento dell'acqua durante gli scavi (SLE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_c</math></li> <li>• <math>E_d</math></li> <li>• <math>C_v</math></li> <li>• <math>k</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prove edometriche</li> <li>• Prove di permeabilità</li> </ul>	nel caso di terreni granulari dovrà inoltre essere analizzata la possibilità di erosione interna del terreno
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_v</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prove di permeabilità</li> </ul>	su terreni granulari è preferibile la prova in foro
Rigonfiamento del terreno (SLE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressione di rigonfiamento</li> <li>• % di rigonfiamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prova edometrica in modalità Huder-Amberg</li> </ul>	



OPERE DI FONDAZIONE SUPERFICIALI			
PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
<p>Verifica della resistenza del complesso terreno-opera di fondazione a breve termine (A1, A2)</p> <p>Verifica della resistenza del complesso terreno-opera di fondazione a lungo termine (A1, A2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> <li>• Triassiale CID, Taglio diretto</li> </ul>	
<p>Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni e delle opere adiacenti (SLE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>E_d</math></li> <li>• <math>C_c</math></li> <li>• <math>C_v</math></li> <li>• <math>E_{Young}</math></li> <li>• <math>\nu</math></li> <li>• <math>C_v</math></li> <li>• <math>k_v</math></li> <li>• <math>k_h</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prove edometriche</li> <li>• Triassiale CID</li> <li>• Prove di permeabilità in edometro/triassiale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cedimenti edometrici</li> <li>• Cedimenti elastici</li> </ul>

OPERE DI FONDAZIONE PROFONDE			
PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Valutazione della portata laterale (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> <li>• Triassiale CID, Taglio diretto</li> </ul>	per terreni coesivi per terreni granulari/coesivi
Valutazione della portata di punta (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> <li>• Triassiale CD, Taglio diretto</li> </ul>	per terreni coesivi per terreni granulari
Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni (SLE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>E_d</math></li> <li>• <math>C_c</math></li> <li>• <math>C_v</math></li> <li>• <math>E_{Young}</math></li> <li>• <math>\nu</math></li> <li>• <math>C_v</math></li> <li>• <math>k_v</math></li> <li>• <math>k_h</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prove edometriche</li> <li>• Triassiale CID</li> <li>• Prove di permeabilità in edometro/triassiale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cedimenti edometrici</li> <li>• Cedimenti elastici</li> </ul>

OPERE DI SOSTEGNO			
PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine delle opere di sostegno (A1, A2) Stabilità a lungo termine delle opere di sostegno (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> <li>• <math>E_u</math> (SLE)</li> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> <li>• <math>E_{Young}</math> (SLE)</li> <li>• <math>\nu</math> (SLE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> <li>• Triassiale CID, Taglio diretto</li> <li>• Triassiale CID</li> </ul>	
Valutazione allo scorrimento (A1, A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> <li>• <math>C_u</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CD, Taglio diretto</li> <li>• Triassiale CIU, Triassiale UU</li> </ul>	$c' = 0$ (in sicurezza) l'Adesione è funzione di $C_u$
Valutazione della capacità portante della fondazione dell'opera di sostegno (A1, A2)			(cfr. casi applicativi precedenti: fondazione superficiale o profonda)
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_v</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prove di permeabilità</li> </ul>	su terreni granulari è preferibile la prova in foro

PENDII IN TERRA			
PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Analisi di stabilità (GEO; EQU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>c'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi'</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi_{cv}</math> (SLU)</li> <li>• <math>\phi_r</math> (SLU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triassiale CID, Taglio diretto</li> <li>• Taglio diretto rim. al LL, Taglio diretto in modalità reverse</li> <li>• Taglio anulare</li> </ul>	condiz. di picco condiz. di rottura con dislocazione limitata condiz. di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi

Lo studio sperimentale di laboratorio prevede l'applicazione di valori delle pressioni nel range della variazione di tensione (carico e/o scarico) a cui il sistema opera/terreno sarà soggetto in condizioni ante operam, nelle varie fasi di realizzazione e in condizioni di esercizio.

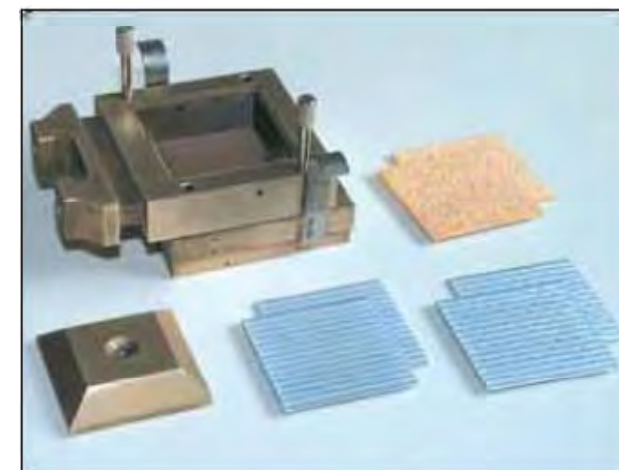
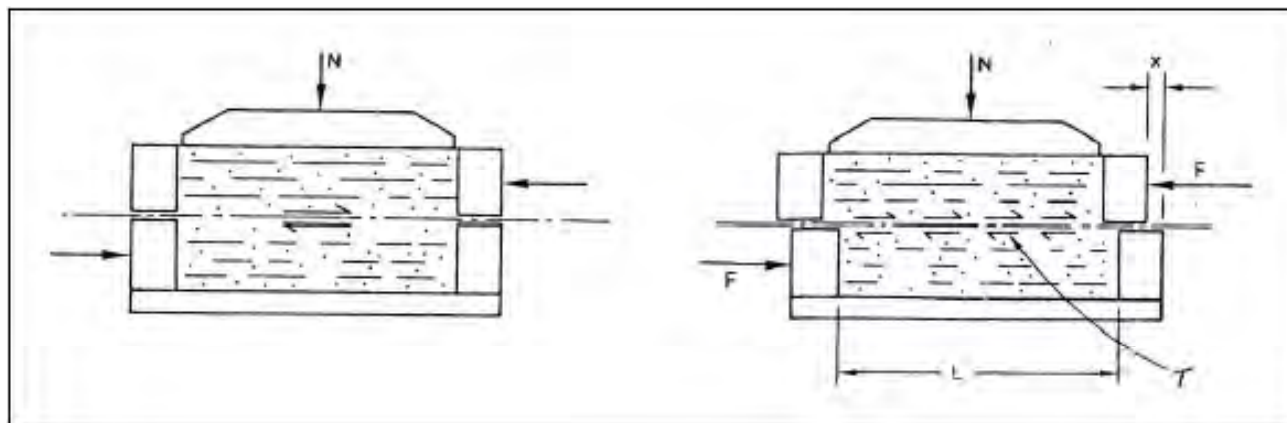
**Obiettivo:** Determinare caratteristiche di resistenza al taglio di un terreno in condizioni drenate in corrispondenza di un piano orizzontale predefinito

- Resistenza a taglio del campione
- ( $c'$  e  $\phi'$ ) di picco e residua
- Solo resistenza a rottura sul piano di rottura
- Non dà indicazioni se non qualitative sulla rigidezza
- Piccolo volume coinvolto
- Solo drenata ( $c'$ ,  $\phi'$ )
- Interpretazione relativamente semplice nel piano di Mohr  $\tau - \sigma$



La prova è effettuata su 3 provini, sottoposti a carichi di confinamento crescenti, che in questo caso sono carichi verticali.

Successivamente alla fase di consolidazione si impone la fase di rottura con una velocità sufficientemente lenta in modo da permettere il drenaggio totale ed evitare l'insorgere di sovrappressioni idrostatiche





Certificati di prova

- Parametri fisici dei provini di prova e relativi carichi verticali previsti
- Andamento della curva di deformazione verticale durante la consolidazione
- Andamento delle curve sforzi/deformazione per ogni provino
- Dati di acquisizione durante le fasi di consolidazione e rottura
- Velocità di rottura dei provini ➡ controllo per valori anomali

**I parametri di resistenza al taglio ( $c'$  e  $\phi'$ ) devono essere valutati dal professionista**



Condizioni iniziali  
di prova


W%, S%,  $\gamma$ , e, ecc.



Condizioni  
fisiche dei  
provini in  
fase di prova

Velocità di  
rottura

Tensioni  
verticali

 <b>Università degli Studi di Siena</b> <b>CGT - Centro di GeoTecnologie</b> Laboratorio di Meccanica delle Terre			
DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus) Set of single stage tests - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 7: Clause 4 (procedure 4.5.4) <b>TEST REPORT - SUMMARY</b>			
Project location	Trecento - Montespertoli		
Project reference	Geologia e Ambiente	Sample depth	1.00/1.50
Borehole number	1	Sample type	Undisturbed cohesive
Sample number	1	Specimen orientation	Vertical
Sample description	Argilla limosa con sabbia fine.		
Particle density (Mg/m <sup>3</sup> )	2.72 (Measured)		Specimens tested
<b>INITIAL CONDITIONS</b>	<b>SPECIMEN 1</b>	<b>SPECIMEN 2</b>	<b>SPECIMEN 3</b>
Specimen depth (m)	1.40/1.50	1.40/1.50	1.40/1.50
Height (mm)	20.0	20.0	20.0
-			
Diameter (mm)	60.0	60.0	60.0
Area (mm <sup>2</sup> )	2827.4	2827.4	2827.4
Moisture content (measured) (%)	18	19	19
Moisture content (trimmings) (%)	19	19	19
Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	2.00	1.97	2.00
Dry density (Mg/m <sup>3</sup> )	1.69	1.66	1.68
Voids ratio	0.605	0.642	0.624
Degree of saturation (%)	81	81	85
Voids ratio at the end of consolidation	0.589	0.615	0.569
<b>SHEARING</b>			
Rate of displacement (mm/min)	0.010000	0.010000	0.010000
<b>Conditions at peak shear stress</b>			
Normal stress (kPa)	100	200	400
Shear stress (kPa)	65	98	178
Horizontal displacement (mm)	2.60	6.30	4.71
Vertical deformation (mm)	0.077	0.635	1.006

## Influenza della velocità di rottura



Influenza della velocità di rottura

Taglio Diretto

Studio di confronto tra campioni di argille NC e OC a velocità diverse di rottura

(da Buselli et alii, 2009 )

argilla	prova lenta		prova veloce	
	$c'_{cor}$ (kPa)	$\phi'_{cor}$ (°)	$c'_{er}$ (kPa)	$\phi'_{er}$ (°)
Vallericca NC	0	24	0	21
Fucino NC	0	28	0	27
Vallericca OC	32	21	75	18
Fucino OC	54.5	25.5	84	25.5

\* Per l'argilla OC sono riportati i valori di picco.

Valori dell'angolo d'attrito e della  
coesione stimati dalle prove

Il taglio Anulare viene utilizzato  
per la valutazione della  
**resistenza residua** di un terreno

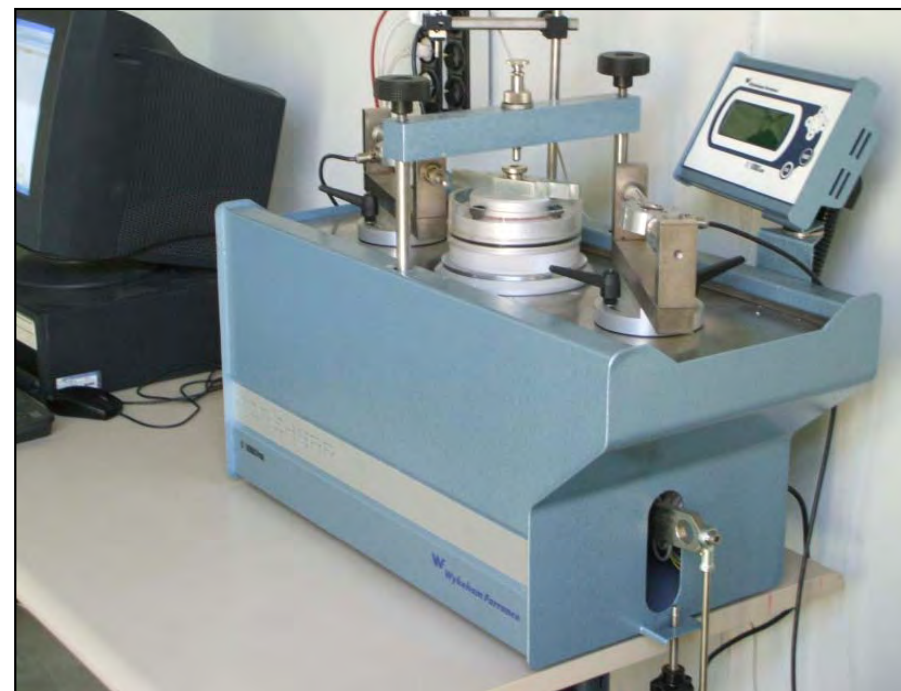


Resistenza di un terreno  
sottoposto a grandi  
deformazioni



**Fenomeni Franosi**

Taglio Anulare



- Tempi medio-lunghi di esecuzione
- Provini: campione rimaneggiato, materiale passante al setaccio di apertura  $425\ \mu\text{m}$  con contenuto d'acqua tra LL e LP
- Prova laboriosa e delicata per la preparazione del provino
- Carichi verticali bassi (es. 12,5-25-50 kPa)
- Velocità consigliata  $0,018\ \mu\text{m}/\text{min}$  corrispondente a  $0,024\ ^\circ/\text{min}$



Provino all'interno della scatola  
anulare a forma di corona circolare



## Valutazione della resistenza residua tramite apparecchio Casagrande

Taglio Anulare

Apparecchio di taglio diretto secondo  
procedura multiciclo dopo rottura di picco



Tempi più lunghi



problema della variazione della superficie di  
taglio durante la prova e della sua irregolarità



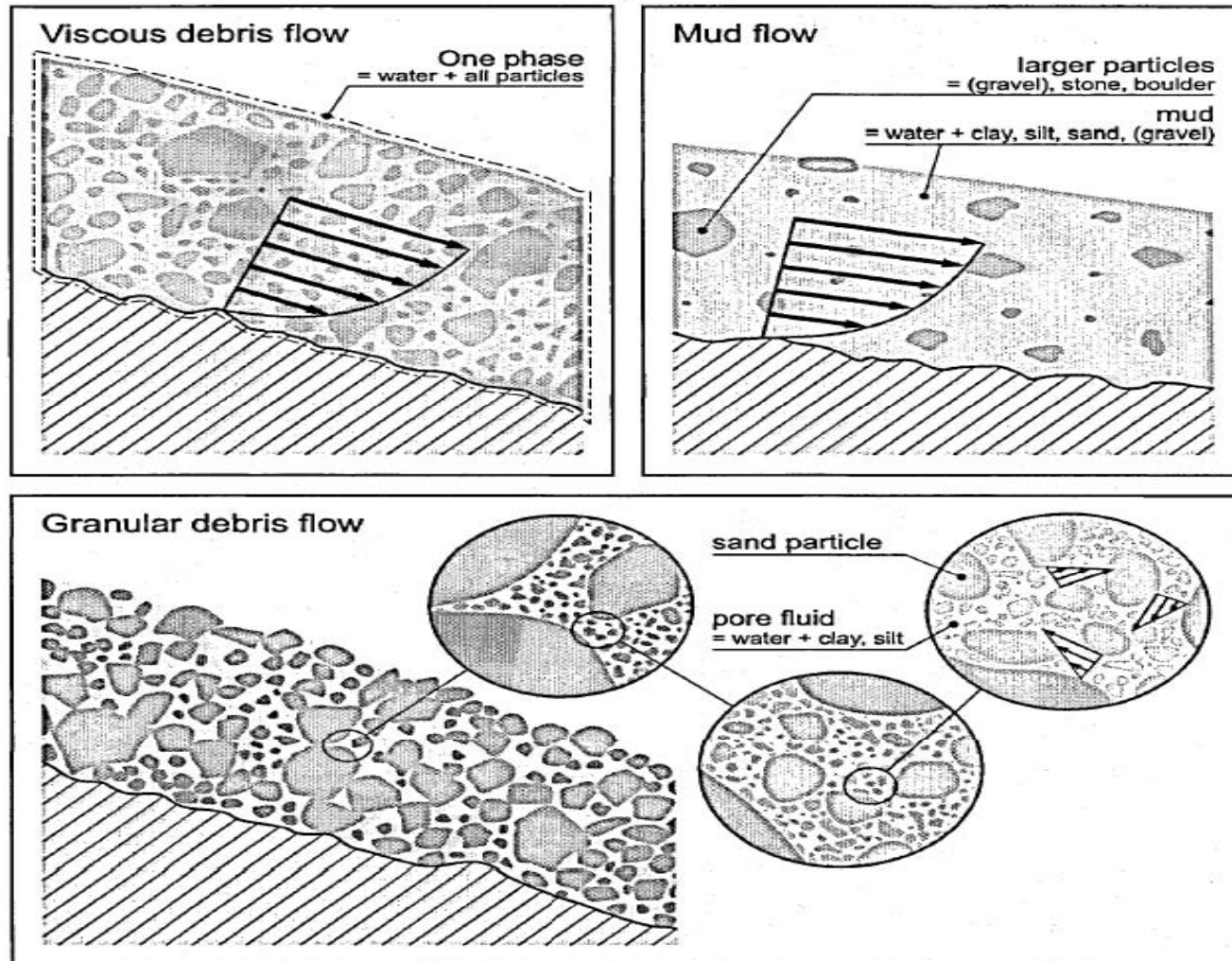
**valori sovrastimati dell'angolo di resistenza  
residua**

## Limitazioni Taglio Diretto superate dal Taglio Anulare

*“Nel corso dello svolgimento della prova non si verifica variazione di area sul piano in cui è applicato lo sforzo tagliente e sul quale conseguentemente si sviluppa il mutuo scorrimento tra le due parti del provino;*

*Il provino può essere sottoposto alla persistenza dell’azione tagliente fino a provocare scorrimenti grandi a piacere, senza interruzioni e senza inversioni di direzione” (Tagnani, 1992).*

*“I dati provenienti da procedure in back analisi della resistenza al taglio in fenomeni di dissesto indicano che la resistenza al taglio ottenuta dalla prova di taglio torsionale rappresentino **verosimilmente la superficie di scorrimento**” (Watry e Ehlig, 1995).*



Strato laminare nella zona di taglio per i diversi tipi di flusso (da Schatzman, 2003)

**Obiettivo:** Determinare caratteristiche di resistenza al taglio e deformabilità di un terreno, possibilmente descrivendone lo stato tensionale effettivo nel corso della prova

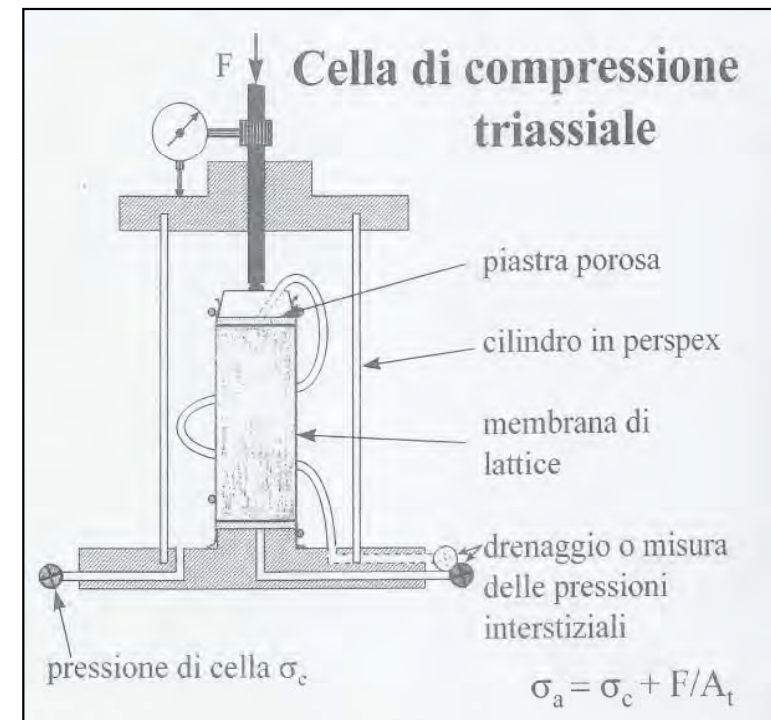
Sono le prove di laboratorio più complete e significative perché si possono eseguire i più svariati percorsi di tensione, ma soprattutto eseguire **misure in continuo delle pressioni interstiziali**

- Prove costose, delicate e laboriose
- Tempi lunghi
- Provini indisturbati o comunque terreni in grado di “**sostenersi**”

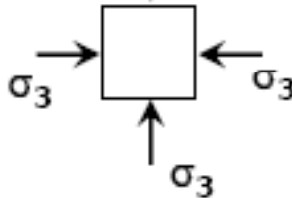
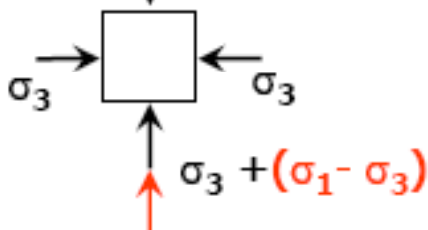
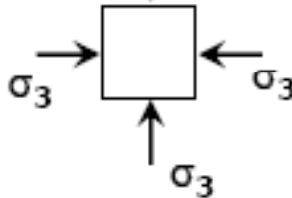
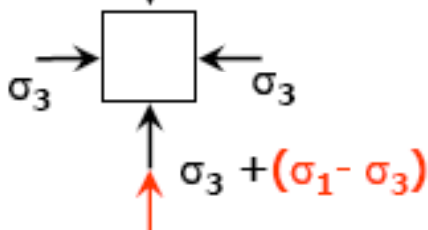
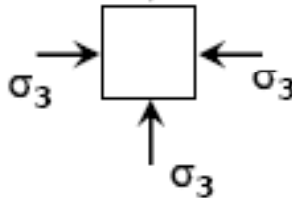
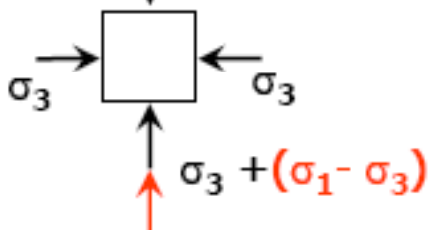




La prova consiste nel porre il provino indisturbato all'interno di una cella contenente acqua, tramite la quale si applica una pressione di confinamento ( $\sigma_3$ ) e generalmente dopo una fase di saturazione ed una di consolidazione il provino è portato a rottura mediante compressione ( $\sigma_1$ ).

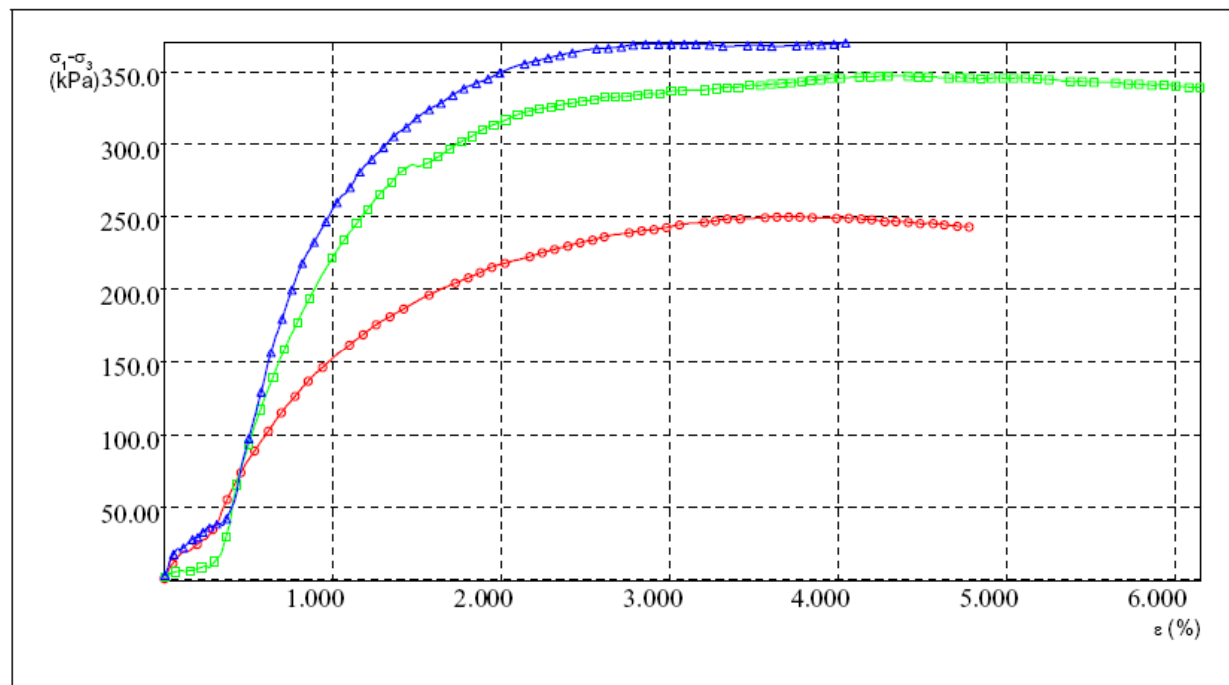




TIPO di PROVA	Fase isotropa	Fase deviatorica
S (CID)	 <p><b>LIBERO</b> alla fine: <math>\Delta u = 0</math> <math>\sigma = \sigma'</math></p>	 <p><b>LIBERO</b> sempre: <math>\Delta u = 0</math> <math>\Delta \sigma = \Delta \sigma'</math></p>
Qc (CIU)	 <p><b>LIBERO</b> alla fine: <math>\Delta u = 0</math> <math>\sigma = \sigma'</math></p>	 <p><b>IMPEDITO</b> <math>\Delta u \neq 0</math> <math>\Delta \sigma \neq \Delta \sigma'</math></p>
Q (UU)	 <p><b>IMPEDITO</b> <math>\Delta u \neq 0</math> <math>\Delta \sigma \neq \Delta \sigma'</math></p>	 <p><b>IMPEDITO</b> <math>\Delta u \neq 0</math> <math>\Delta \sigma \neq \Delta \sigma'</math></p>

## Risultati di prova

Provino	Ho mm	Ao cm <sup>2</sup>	$\gamma_n$ g/cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	Wo %	So %	$\sigma$ kPa	$\varepsilon$ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa
10TUU897	76,00	11,39	2,246	2,007	11,90	90,20	100,00	3,24	246,50
10UU897B	76,00	11,39	2,178	1,970	10,56	74,78	200,00	2,97	337,32
10UU897C	76,00	11,39	2,196	1,982	10,78	78,03	300,00	2,65	365,96

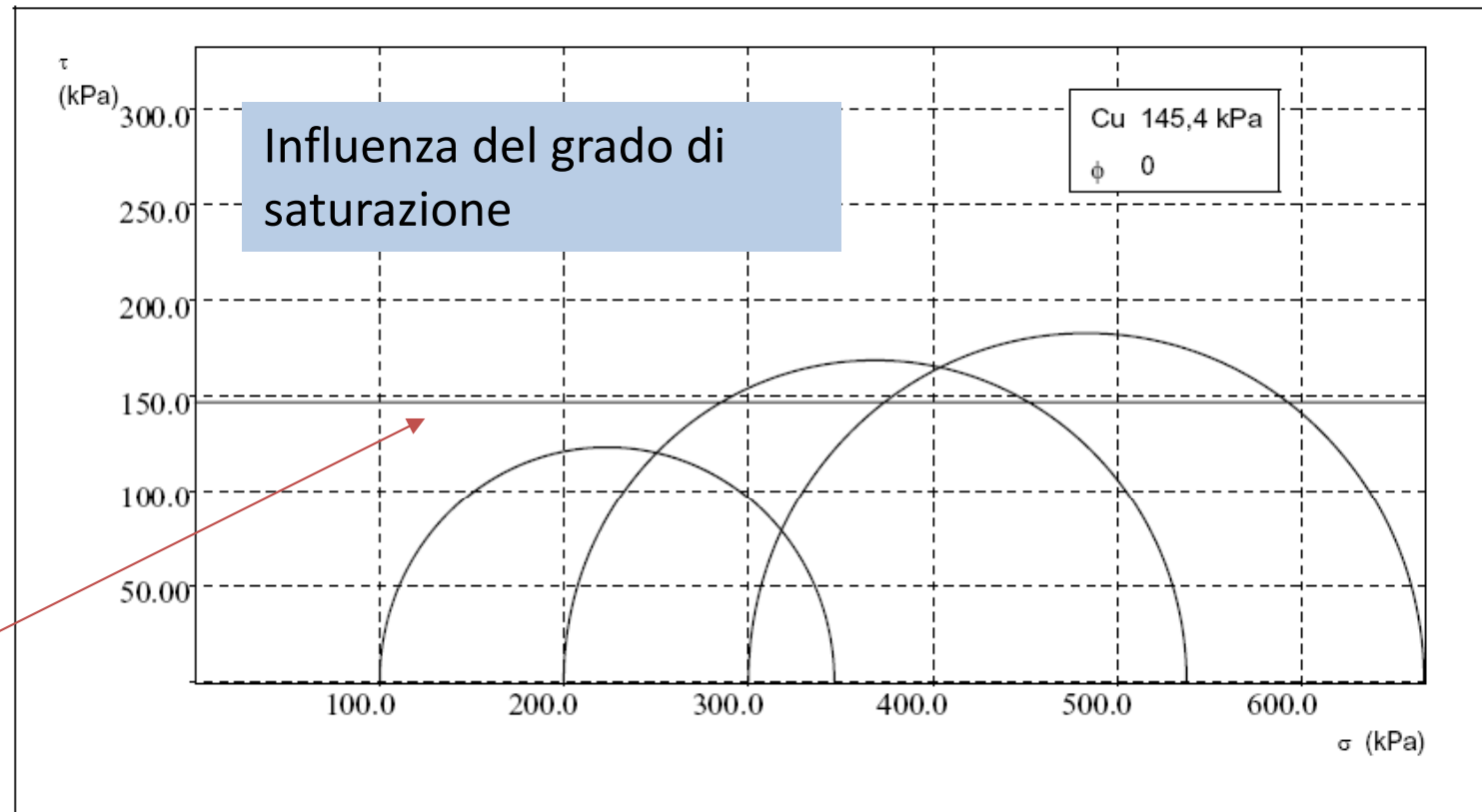


## Risultati di prova

## Pressione di confinamento

Provino	Ho mm	Ao cm <sup>2</sup>	$\gamma_n$ g/cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	Wo %	So %	$\sigma$ kPa	$\varepsilon$ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa
10TUU897	76,00	11,39	2,246	2,007	11,90	90,20	100,00	3,24	246,50
10UU897B	76,00	11,39	2,178	1,970	10,56	74,78	200,00	2,97	337,32
10UU897C	76,00	11,39	2,196	1,982	10,78	78,03	300,00	2,65	365,96

Per determinare la **Cu** bisogna tracciare la retta orizzontale che più fedelmente risulti tangente ai cerchi, tenendo conto delle condizioni dei provini



**Resistenza drenata,  $c'$  e  $\phi'$  con misura delle  
"u"**

**Resistenza non drenata  $C_u$**



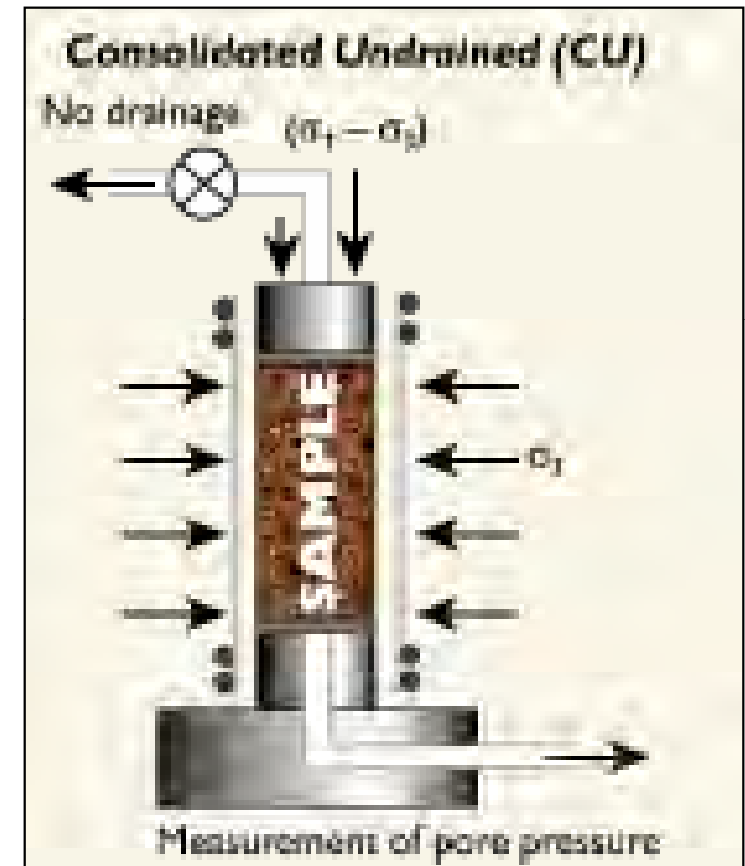
**Caratteri di compressibilità**

**Rigidezza: modulo E (a rottura)**

**Rottura senza variazione di volume**



**Interpretazione: devono essere scelti  
valori a rottura nel piano  $[(s_1-s_3)/2 - e_a]$  al  
fine tracciare i cerchi di Mohr a rottura e  
valutare i parametri di resistenza al taglio**



- **Prove CU** (consolidate non drenate)



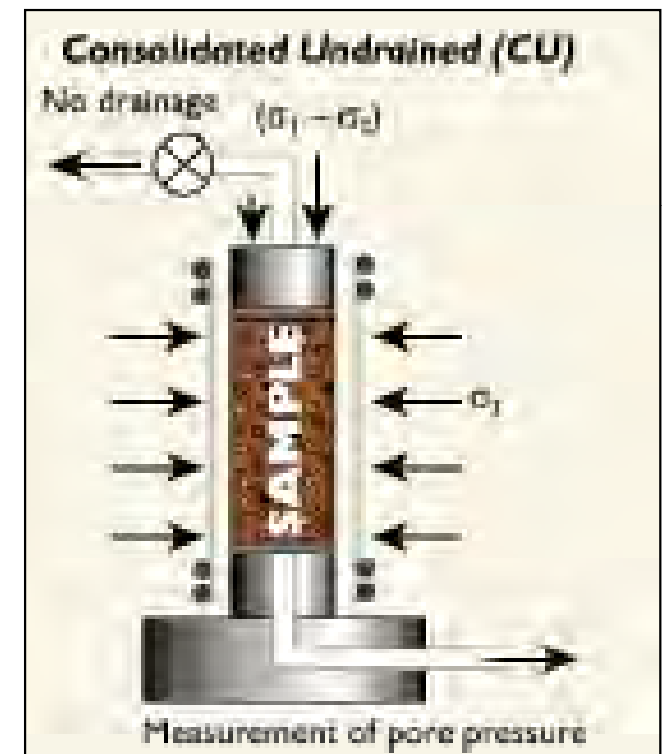
**Resistenza drenata,  $c'$  e  $\phi'$  con misura delle “ $u$ ”**

**Resistenza non drenata  $C_u$**

- Richiede tempi lunghi per consolidazione e poi per rottura
- Caratteri di compressibilità
- Rigidezza: modulo  $E$  (a rottura)
- Non facile da eseguire correttamente
- Rottura senza variazione di volume



**Interpretazione: devono essere scelti valori a rottura nel piano  $[(\sigma_1 - \sigma_3)/2 - e_a]$  al fine tracciare i cerchi di Mohr a rottura e valutare i parametri di resistenza al taglio**





- **Prove CU** (consolidate non drenate)



Verifiche di stabilità eseguite in termini di tensioni efficaci o in termini di tensioni totali



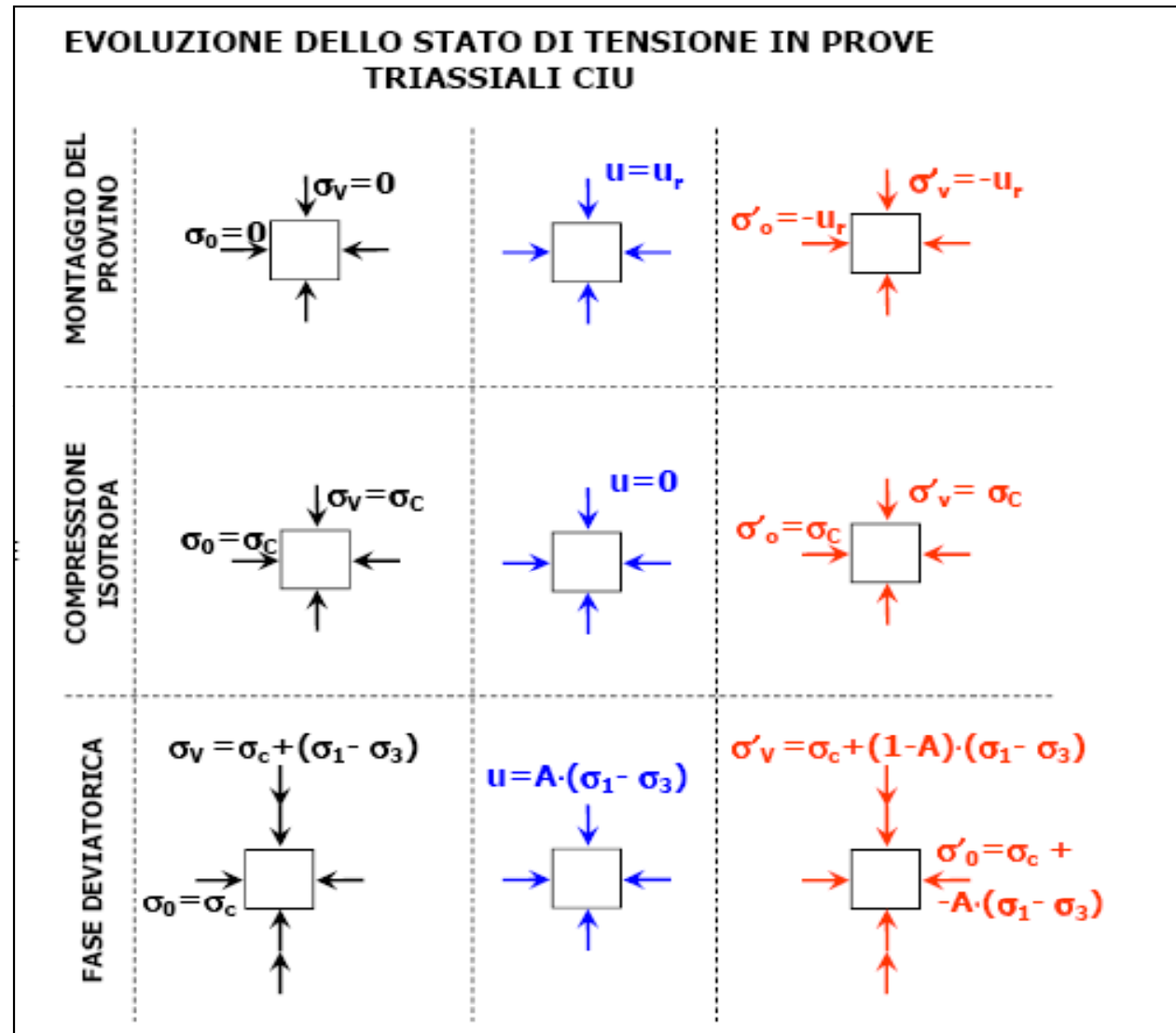
Caratteristiche	Parametri
Prova con consolidazione preliminare e condizioni non drenate durante la fase di taglio. Senza misura delle pressioni interstiziali (condizioni non drenate a breve termine)	<b>Cu</b> (Es. Verifica di opera già stabilizzata per ulteriori stress non drenati: svaso rapido di sbarramenti, un sovraccarico, ecc.)
Prova con consolidazione preliminare e condizioni non drenate durante la fase di taglio. Con misura delle pressioni interstiziali (condizioni drenate a lungo termine)	<b>C' e <math>\psi'</math></b>

- Prove CU

Evoluzione dello  
stato di tensione

Coefficiente A

$$A = \Delta u / (\sigma_1 - \sigma_3)$$



Condizioni  
iniziali

Saturazione

Consolidazione

CONSOLIDATED-UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST WITH MEASUREMENT OF PORE PRESSURE  
Set of specimens - tested in accordance with BS 1377:1990:Part 8:Clauses 4, 5, 6 & 7  
**TEST REPORT - SUMMARY**

Project location	Via de Falciani - Impruneta		
Project reference	VA185-Geotecnica Palazz	Sample depth (m)	2.00-2.50
Borehole number	SF2	Sample type	Undisturbed
Sample number	1	Specimen orientation	Vertical
Sample description	Limo con argilla debolmente sabbioso, presenza di inclusi e fenomeni di alterazione		
Particle density (Mg/m <sup>3</sup> )	2.72 (Measured)	Specimens tested with side drains	
Preparation method	Prepared from a sample tube of a larger internal diameter than the required specimen in accordance with BS 1377:1990:Part 1:Clause 8.4		

INITIAL CONDITIONS	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
Specimen depth (m)	2.10	2.20	2.30
Length (mm)	100.0	100.0	100.0
Diameter (mm)	50.0	50.0	50.0
Moisture content (measured) (%)	24	21	22
Moisture content (trimmings) (%)	24	23	21
Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	1.99	2.04	2.04

SATURATION	at constant moisture content	at constant moisture content	at constant moisture content
Method of saturation			
Pressure increments (kPa)	50	50	50
Differential pressure (kPa)	10	10	10
Final cell pressure (kPa)	315	180	258
Final pore pressure (kPa)	309	172	251
Final B value	1.06	0.93	0.95

CONSOLIDATION			
Cell pressure (kPa)	370	340	610
Back pressure (kPa)	270	140	210
Effective pressure (kPa)	100	200	400
Final pore pressure (kPa)	272	143	211
Pore pressure dissipation (%)	98	98	100

## Prova Triassiale

### Prova CU

INITIAL CONDITIONS	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
Specimen depth (m)	2.10	2.20	2.30
Length (mm)	100.0	100.0	100.0
Diameter (mm)	50.0	50.0	50.0
Moisture content (measured) (%)	24	21	22
Moisture content (trimmings) (%)	24	23	21
Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	1.99	2.04	2.04

- Si possono fare considerazioni sulle condizioni fisiche dei provini

Nel caso in esame il **provino 1** presenta una densità e un contenuto d'acqua diversi rispetto agli altri provini.



Influenza sulla relazione sforzo-deformazione

Certificati

Prova CU

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
<b>SATURATION</b>			
Method of saturation	at constant moisture content	at constant moisture content	at constant moisture content
Pressure increments (kPa)	50	50	50
Differential pressure (kPa)	10	10	10
Final cell pressure (kPa)	315	180	258
Final pore pressure (kPa)	309	172	251
Final B value	1.06	0.93	0.95

- Valutare il valore di B



$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_c}$$

La saturazione può ritenersi raggiunta se  $B \geq 0.95$



## Certificati

## Prova CU

Provino 1

Provino 2

Provino 3

CONSOLIDATION			
Cell pressure (kPa)	370	340	610
Back pressure (kPa)	270	140	210
Effective pressure (kPa)	100	200	400
Final pore pressure (kPa)	272	143	211
Pore pressure dissipation (%)	98	98	100

Pressione effettiva di consolidazione



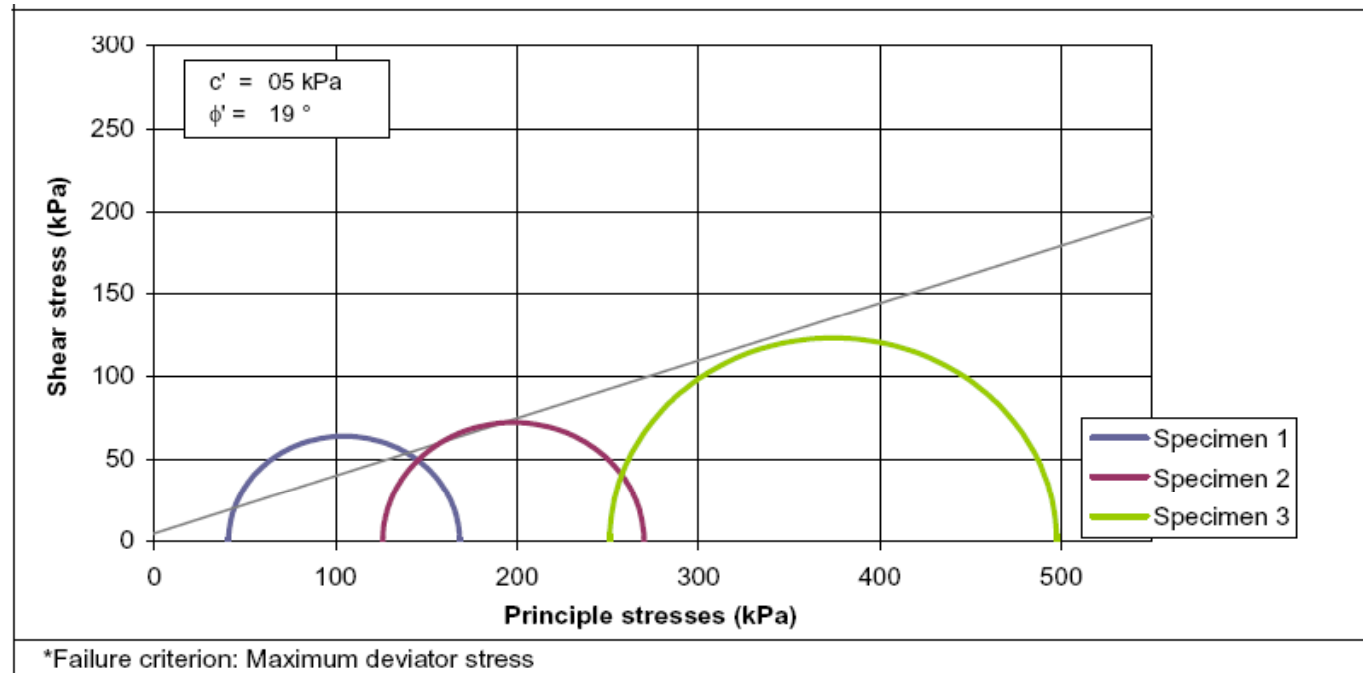
Tensione efficace



Valutata dalla dissipazione della  
pressione dei pori

Certificati

Importanza delle tensioni verticali

Prova CU -  
esempio

Può verificarsi, in alcuni casi, che i punti a rottura non siano allineati secondo una retta, ciò può avvenire per argille sovraconsolidate con provini sottoposti a pressione inferiori e superiori al carico di preconsolidazione

**È di fondamentale importanza che il professionista fornisca al laboratorio le tensioni da applicare in cella triassiale**

## Forma dei provini dopo rottura

Un aspetto utile è la verifica della forma che assume il campione a seguito della rottura, pertanto la fotografia o uno schema del provino stesso, dovrebbe essere allegata ai certificati

Evidente piano di rottura



Rottura rigida

Elevata consistenza



Forma a botte



Rottura plastica



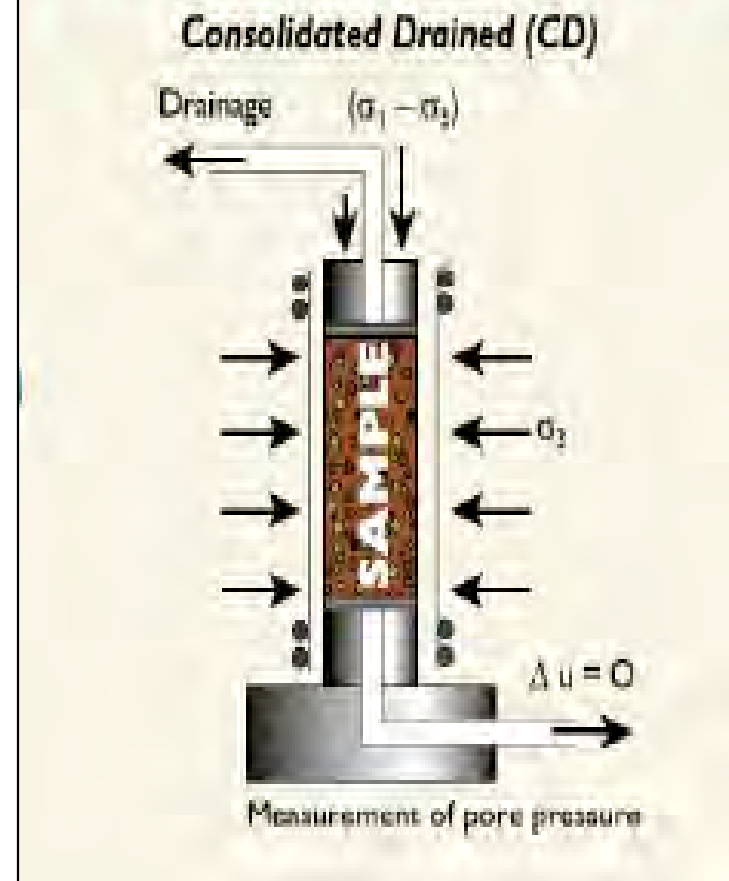
## Prove Consolidate Drenate (CD)

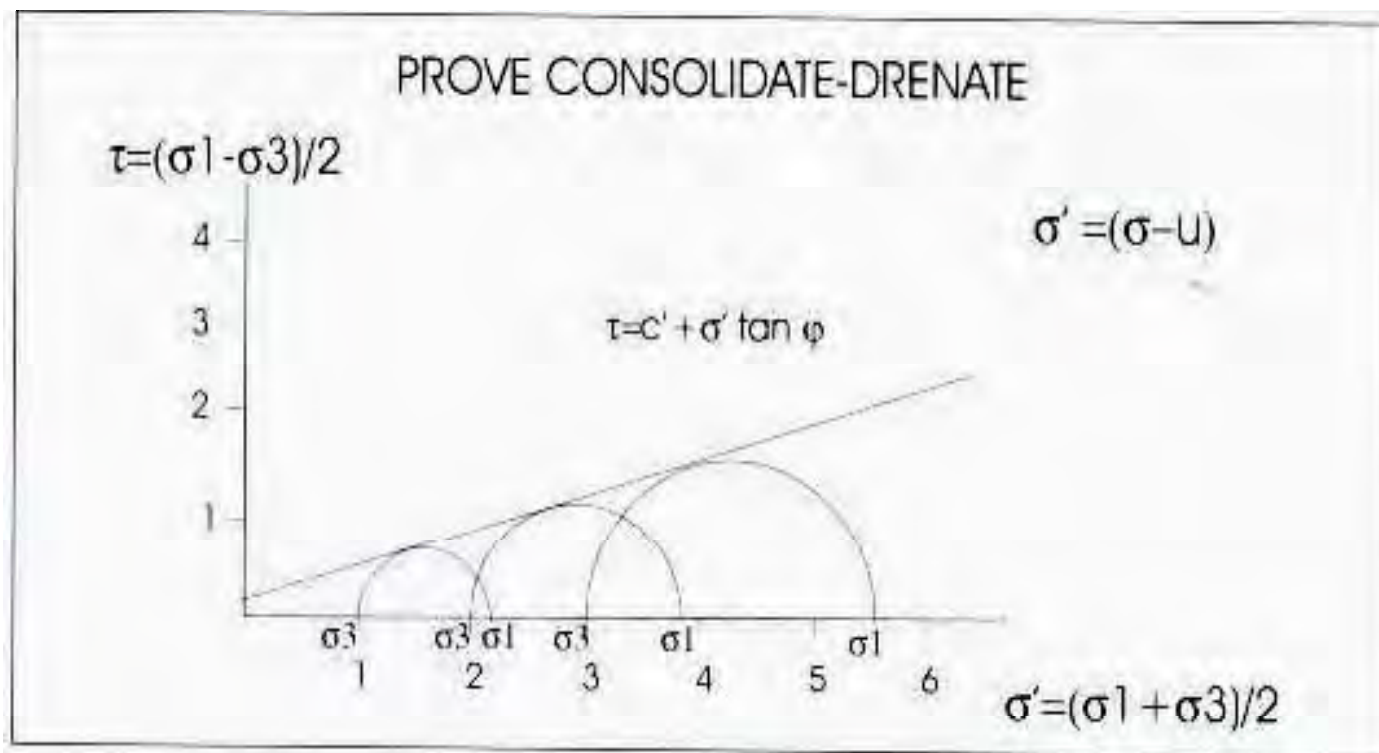
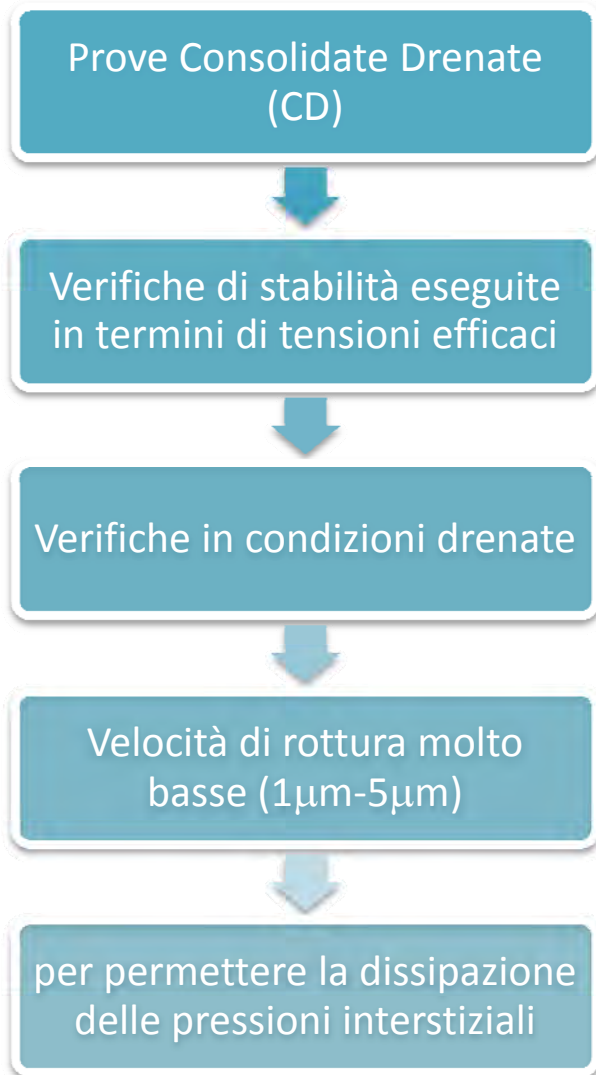
### Resistenza drenata, $c'$ e $\phi'$

- Richiede tempi lunghi per consolidazione e poi per rottura
- Non facile da eseguire correttamente
- Caratteri di compressibilità
- Rigidezza: modulo E (a rottura)

Difficile da interpretare: devono essere scelti i valori a rottura nel piano  $[(s_1-s_3)/2 - e_a]$  al fine di tracciare i cerchi di Mohr a rottura e valutare i parametri di resistenza al taglio ( $c'$  e  $\phi'$ )

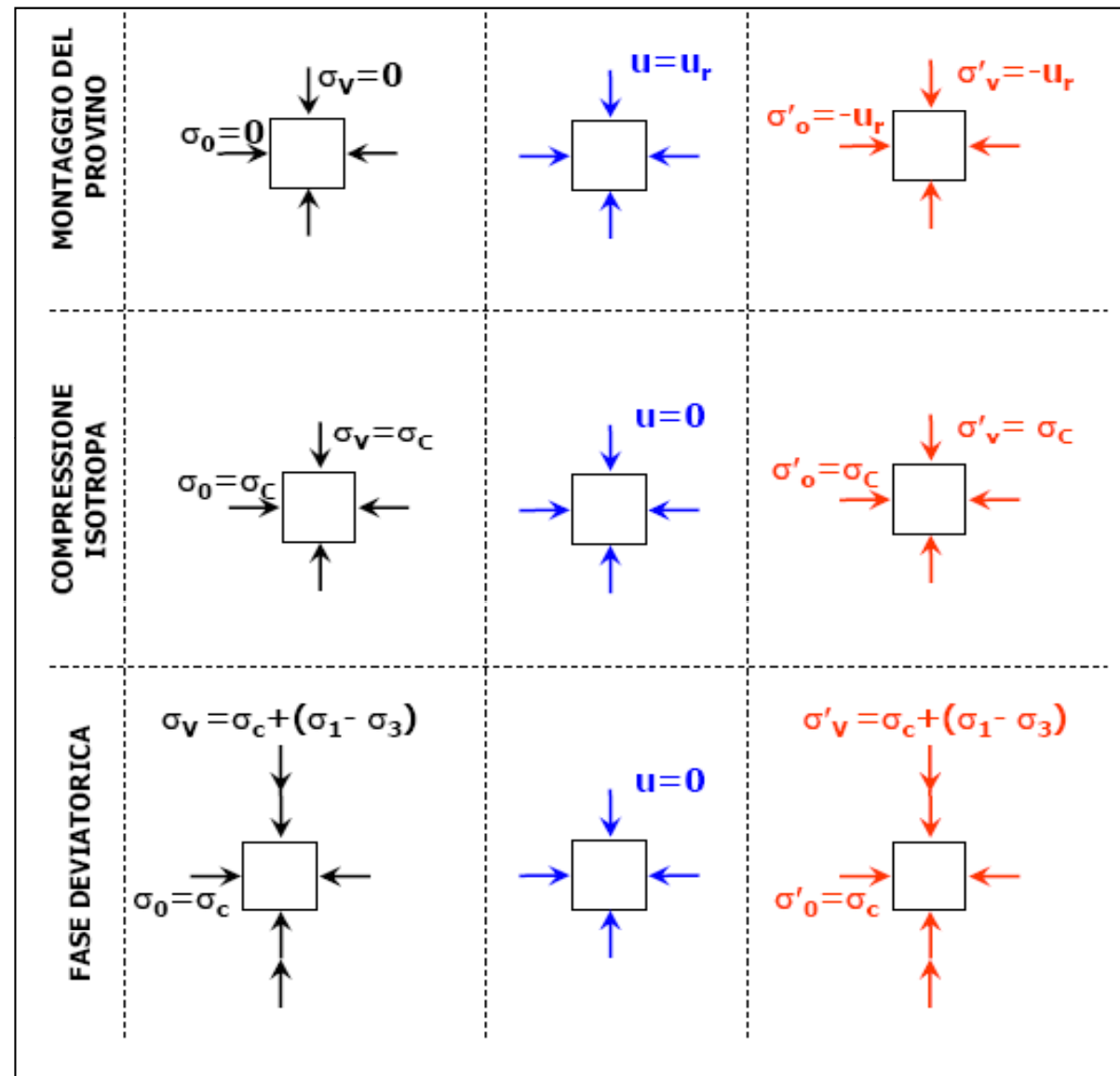
## Effective Stress Measurement







## Evoluzione dello stato di tensione



La prova di compressione non confinata (o di espansione laterale libera ELL) rappresenta un metodo semplice ed immediato per valutare la resistenza al taglio dei terreni coesivi



L'espansione laterale libera viene indicata come prova veloce non drenata (QU = Quick Undrained), e può essere considerata una prova UU semplificata, dove la tensione principale minore ( $\sigma_3$ ), rappresentata dalla pressione in cella, è uguale a zero.

In questo tipo di prova un provino indisturbato di terreno viene sottoposto ad un carico assiale, crescente con continuità, fino a rottura. La fase di compressione è effettuata a velocità di deformazione costante, in modo tale che la prova si concluda nel giro di circa 10-15 minuti.

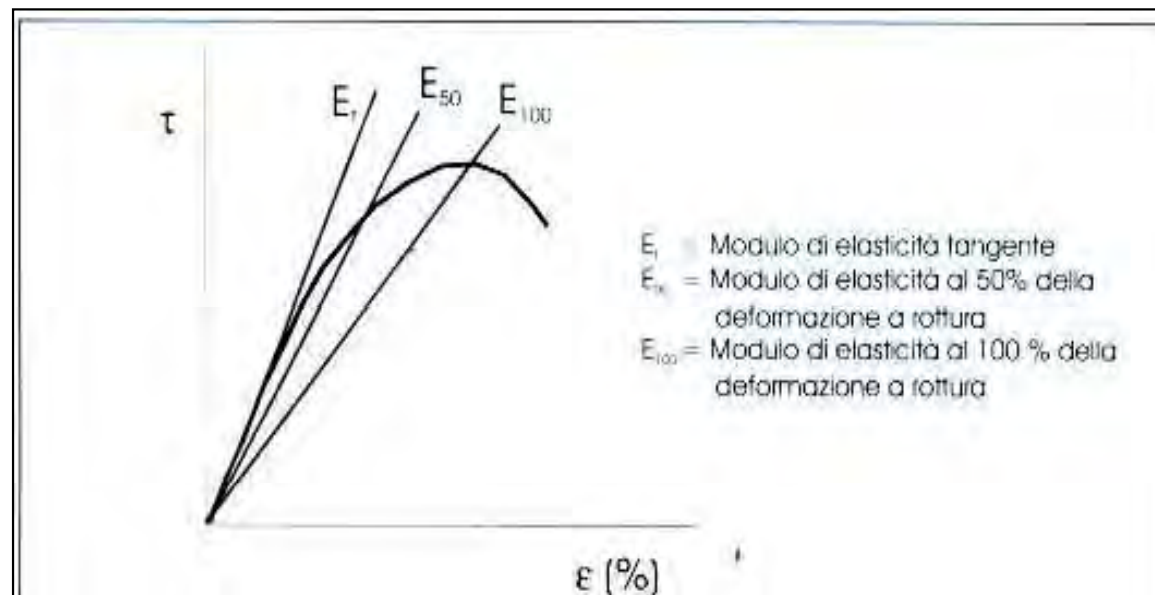
Diametro provino mm	Altezza provino mm	Velocità minima mm/min	Velocità massima mm/min
35,0	70,0	0,35	1,40
38,1	76,2	0,38	1,52
50,0	100,0	0,50	2,00
70,0	140,0	0,70	2,80
75,0	150,0	0,75	3,00
100,0	200,0	1,00	4,00



Tale prova, per definizione non consolidata non drenata, permette la valutazione della coesione non drenata **Cu** che, nel caso di terreni francamente argillosi e saturi, è all'incirca uguale alla metà della resistenza a rottura.

$$C_u = \frac{1}{2} q_u$$

La curva sforzi/deformazione permette di valutare un modulo di deformazione non drenato **Eu** ed altri moduli sempre non drenati



## PROVE DINAMICHE

### **OPERE E SISTEMI GEOTECNICI - RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO – (C7.11.3)**

Nelle NTC, specifiche analisi di risposta sismica locale RSL sono fortemente raccomandate per categorie speciali di sottosuolo (Tabella 3.2.III delle NTC), per determinati sistemi geotecnici, o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione del moto sismico in un dato sito.

Nelle analisi condotte in condizioni bi-dimensionali è possibile tenere conto dell'amplificazione stratigrafica e morfologica (superficiale e/o profonda) del sito, in quelle mono-dimensionali, invece, si tiene conto soltanto degli effetti stratigrafici.

Indagini specifiche (C7.11.3.1.1)

Le indagini geotecniche devono consentire la definizione di:

- condizioni stratigrafiche e modello di sottosuolo;
- proprietà fisiche e meccaniche degli strati di terreno;
- regime delle pressioni interstiziali;
- profondità e morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile.



Dette analisi di RSL richiedono un'adeguata conoscenza delle **proprietà meccaniche dei terreni in condizioni cicliche**, da determinare mediante specifiche indagini in sito e prove di laboratorio, programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e della procedura di analisi adottata.

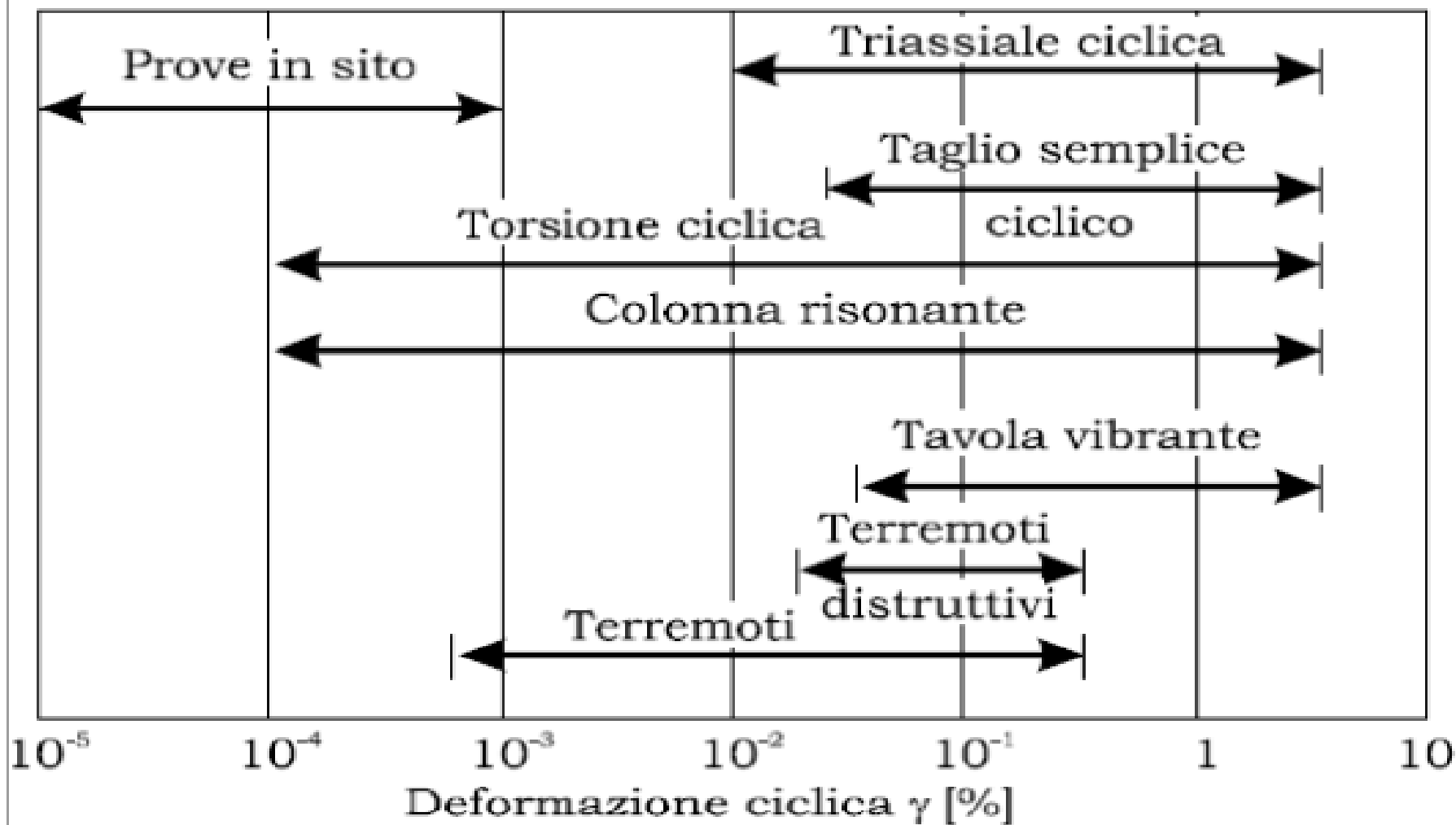
In particolare, è fortemente raccomandata l'esecuzione di prove in sito per la determinazione dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio, ai fini della valutazione della rigidezza a bassi livelli di deformazione.

Le prove di laboratorio sono anche raccomandate per la valutazione della dipendenza della rigidezza e dello smorzamento dal livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi.

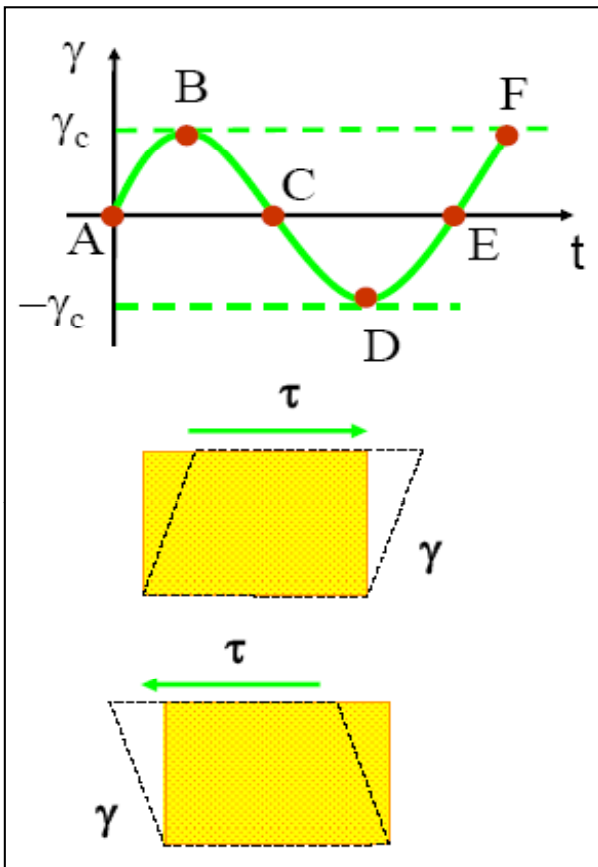
Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche ecc.

Le apparecchiature di laboratorio, opportunamente strumentate, possono permettere anche la determinazione delle caratteristiche di rigidezza a bassi livelli di deformazione.

## Campo di investigazione dei livelli deformativi delle principali prove dinamiche e cicliche.

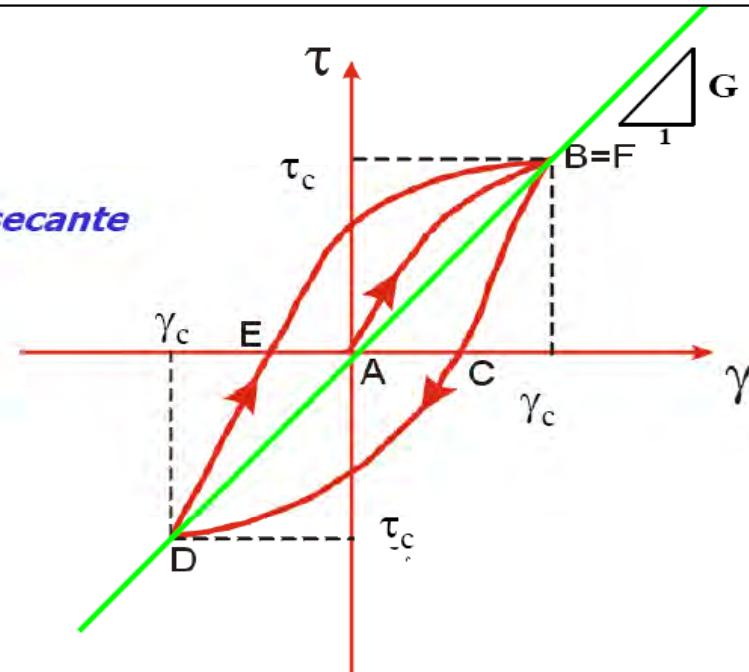


Condizioni Dinamiche e Cicliche				
Problematiche	Parametri geotecnici		Drenaggio	Prove di Laboratorio
Condizioni sismiche	Terreni coesivi	- Moduli di Rigidezza ( $G-E$ ) e Smorzamento ( $D$ ) rispetto al livello deformativo; $-\Delta U$	Condizioni non drenate	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Taglio semplice ciclico</li> <li>-Taglio torsionale ciclico</li> <li>-Colonna risonante</li> <li>-Bender Elements</li> <li>-Triassiale ciclico</li> </ul>
	Terreni non coesivi	Potenziale a liquefazione (Numero di cicli a liquefazione)		
Condizioni postsismiche	Riduzione della resistenza al taglio	$C'-\phi'$	Condizioni drenate	
		$C_u$	Condizioni non drenate	



*Modulo di taglio secante*

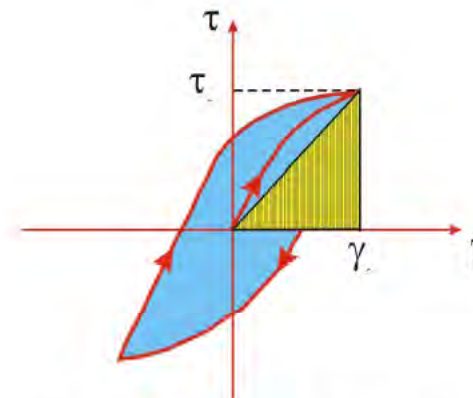
$$G = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$



*Fattore di smorzamento D*

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W}$$

$$W = \frac{1}{2} \tau_c \gamma_c$$



$\Delta W$  = area  = Energia dissipata nel ciclo

$W$  = area  = Energia elastica immagazzinata

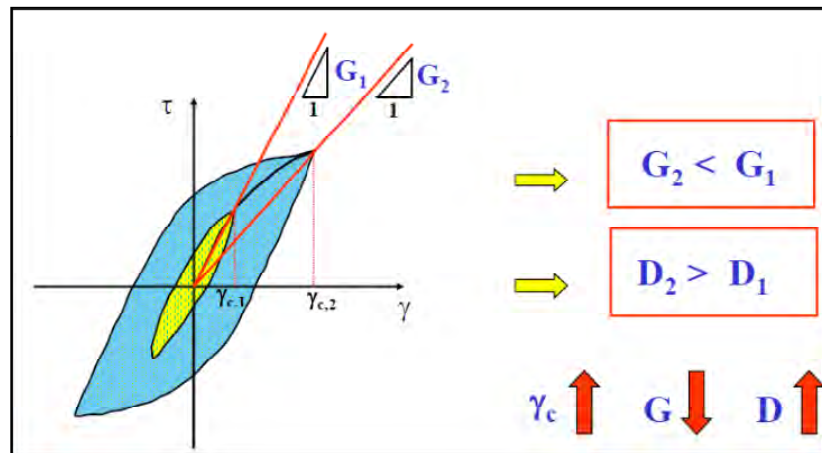


Diagramma  $\tau$ - $\gamma$  per domini deformativi pseudo-lineari (prove dinamiche e/o cicliche).



Diagramma  $\tau$ - $\gamma$  per domini deformativi non lineari stabili (prove dinamiche)

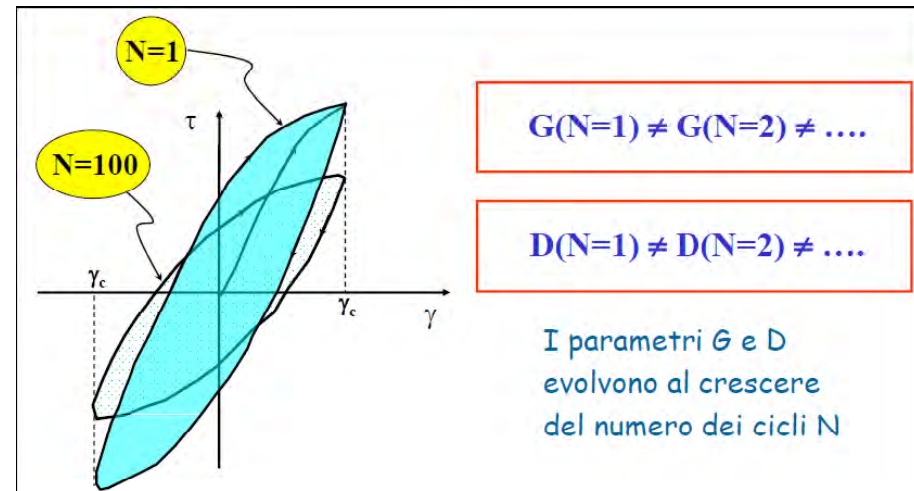
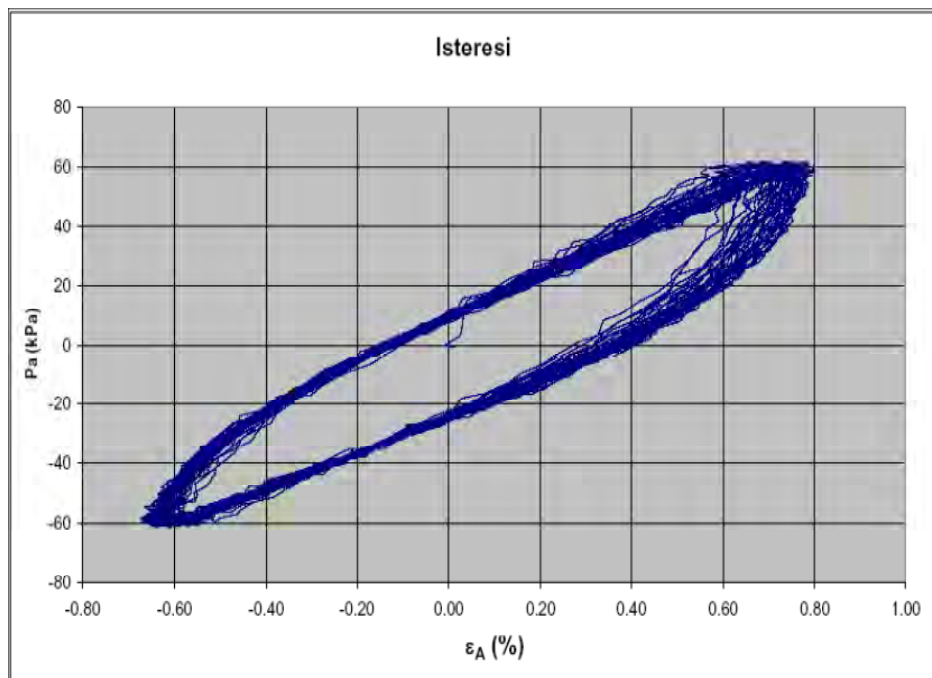
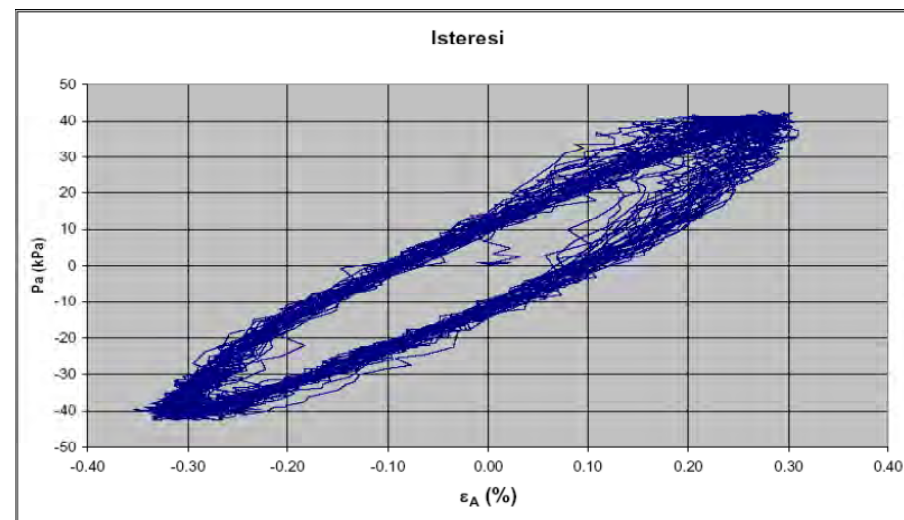


Diagramma  $\tau$ - $\gamma$  per domini deformativi non lineari degradabili (prove cicliche).

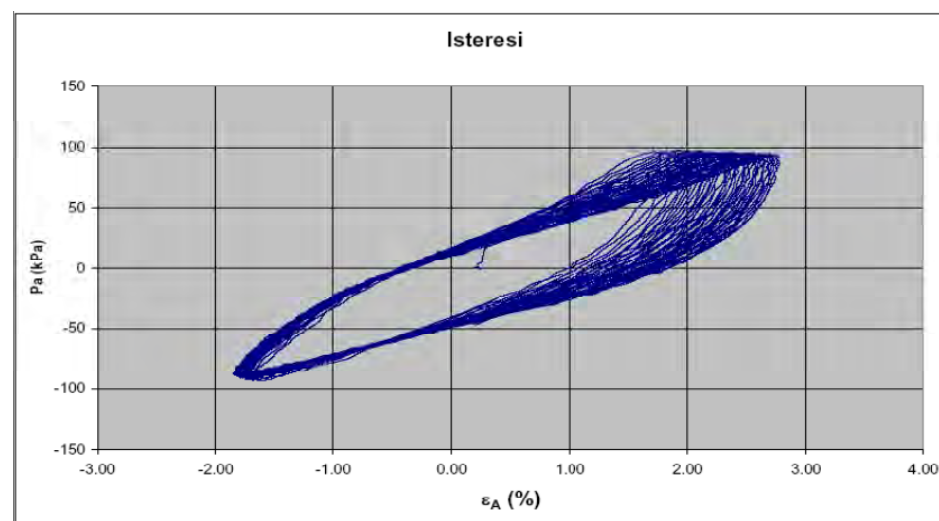




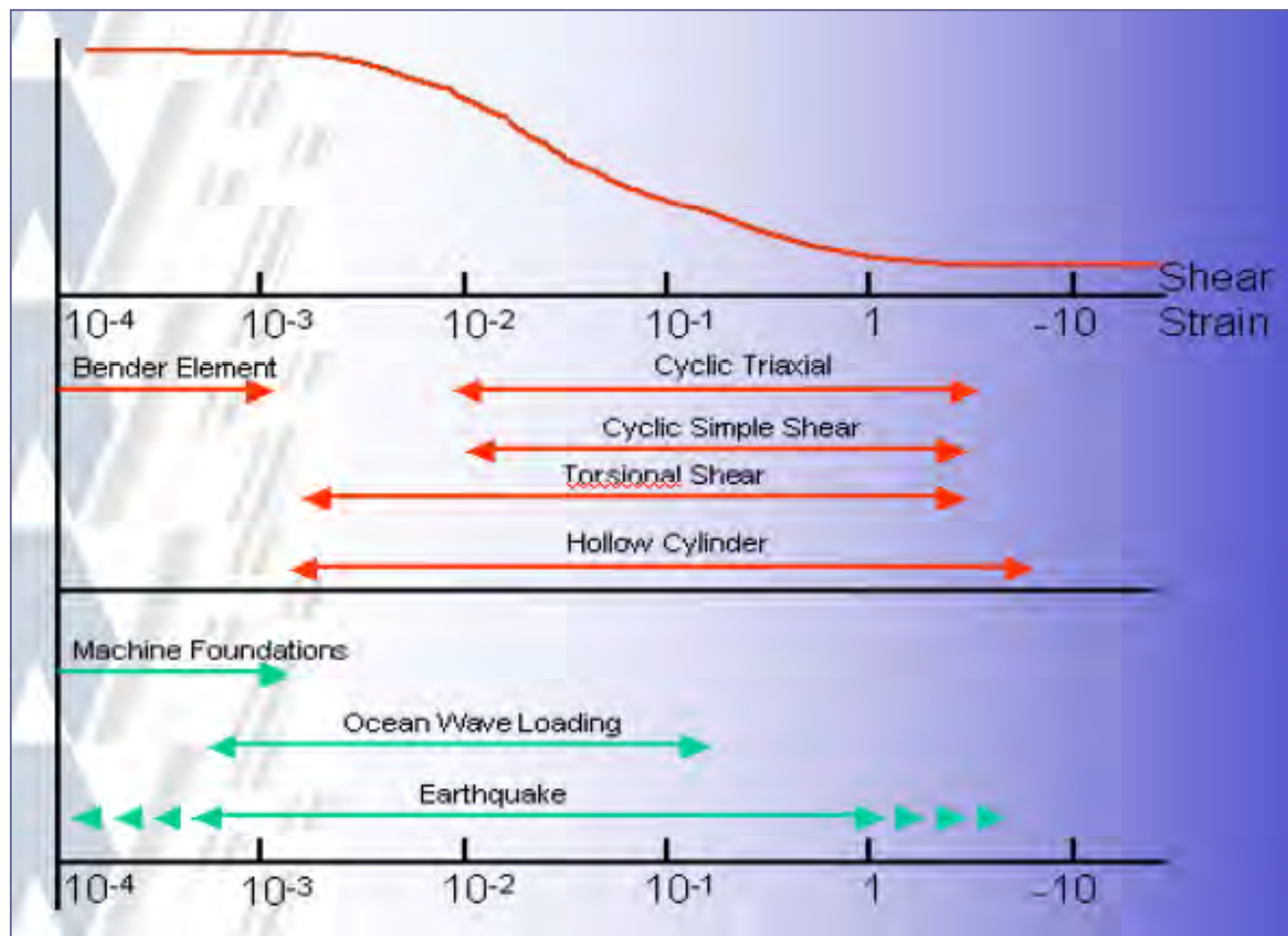
**Ciclo di isteresi per la Fase 3 –  
Forza assiale = 120N**



**Ciclo di isteresi per la Fase 1 – Forza assiale =  
80N**



**Ciclo di isteresi per la Fase 5 – Forza  
assiale = 200N**



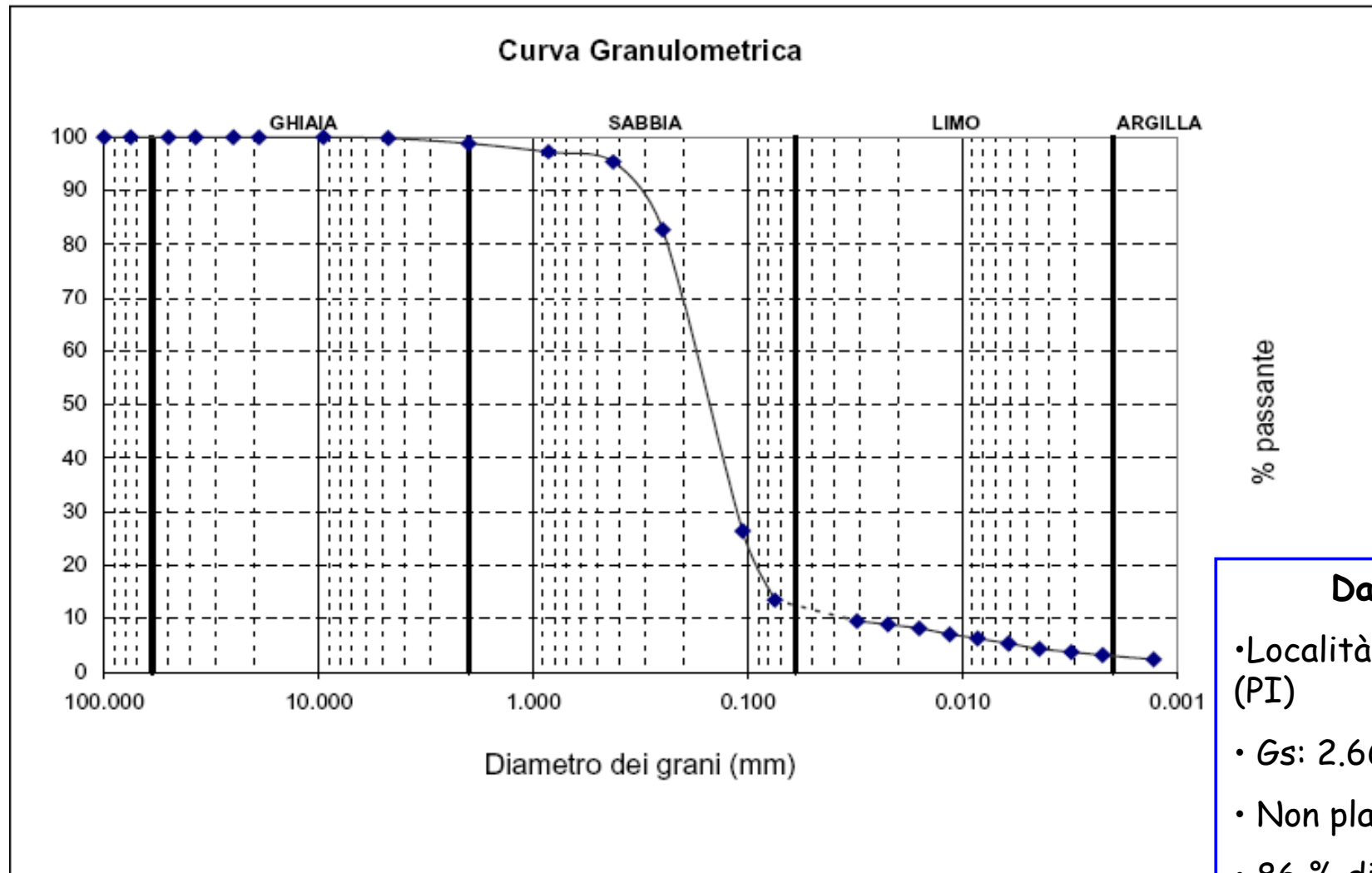
# LIQUEFAZIONE IN PROVE TRIASSIALI CICLICHE

## Preparazione dei campioni

### Preparazione dei campioni ricostituiti

- **COMPATTAZIONE DI SABBIA UMIDA IN STRATI**
- **DEPOSIZIONE PLUVIALE DI SABBIA ASCIUTTA, SI OTTENGONO DENSITA' DIFFERENTI:**
  - **VARIANDO L'ALTEZZA DI CADUTA**
  - **VARIANDO IL NUMERO E IL DIAMETRO DEI FORI DELLA TRAMOGGIA**

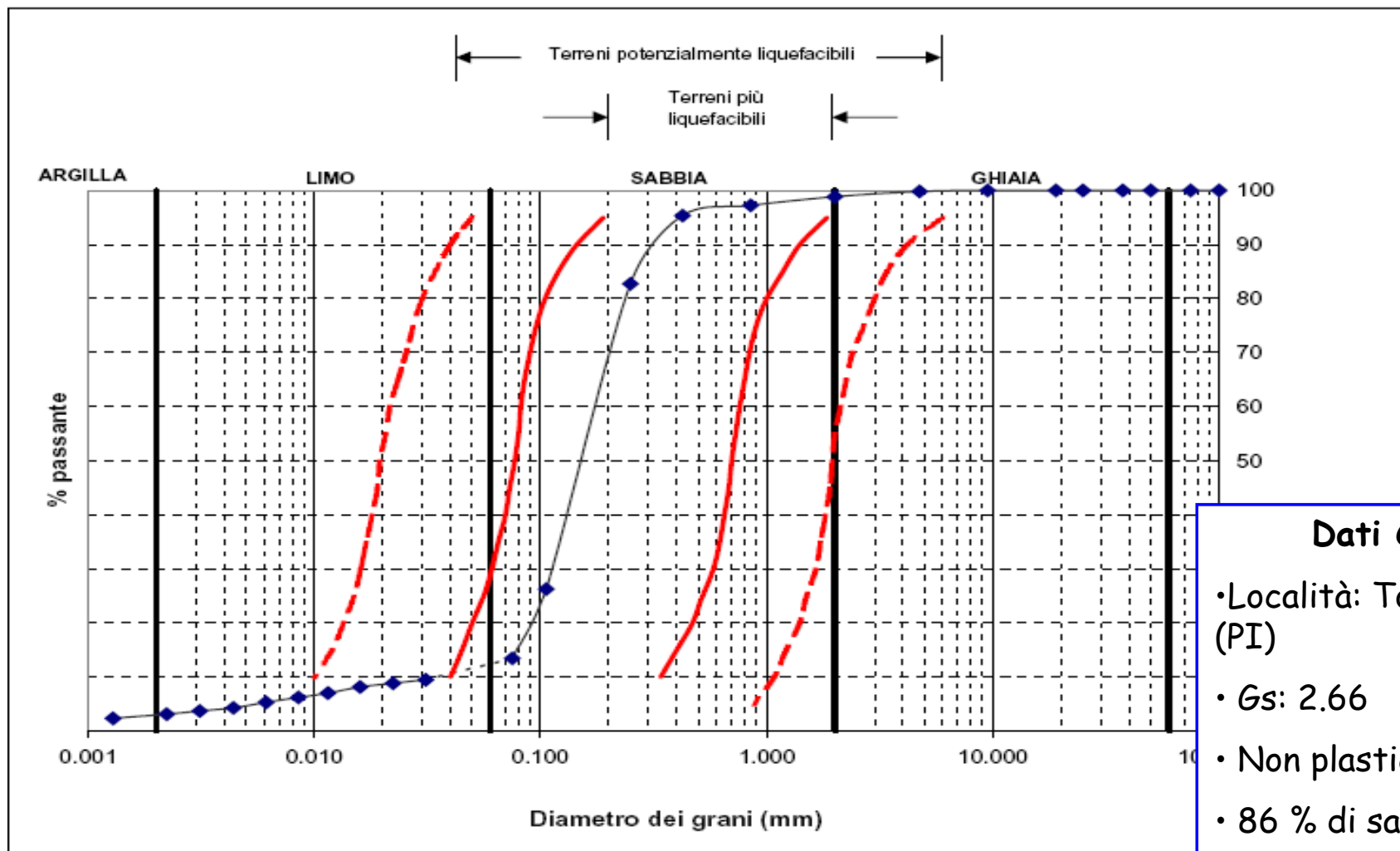
## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO



### Dati Campione

- Località: Toiano - Palaia (PI)
- $G_s$ : 2.66
- Non plastico , non liquido
- 86 % di sabbia

## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO





## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

**Provino sabbioso saturato e  
consolidato in condizioni isotrope**

$$\bullet s'_1 = 90 \text{ kPa}$$

$$\bullet s'_3 = 90 \text{ kPa}$$



**Fase ciclica**

**(ASTM D 5311-92)**

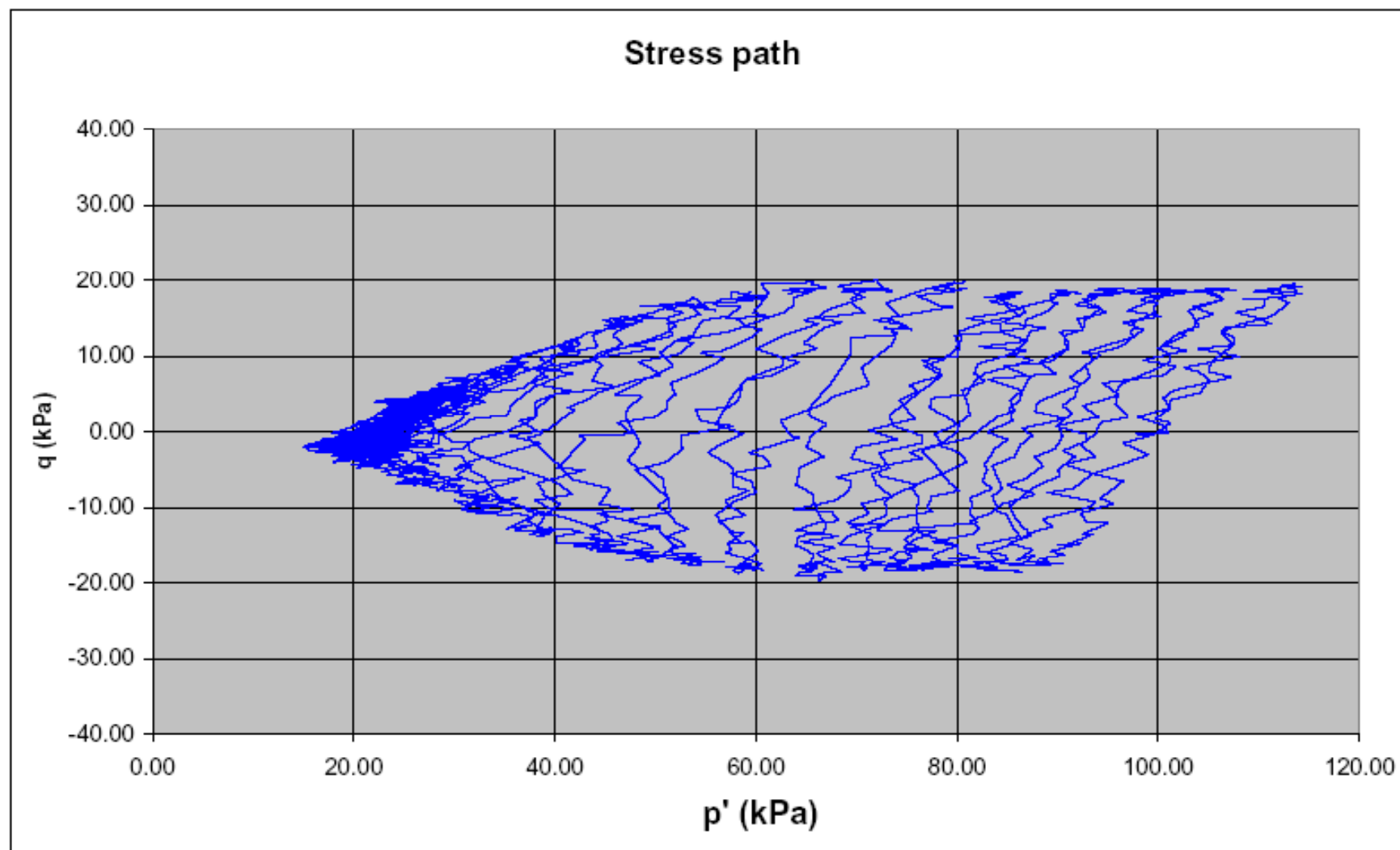
- Forza assiale applicata = 75 N
- Ampiezza picco-picco = 150 N
- Frequenza di prova = 0.250 Hz
- Forma d'onda = Sinusoidale
- Condizioni non drenate
- CSR = 20/90

### Dati Campione

- Località: Toiano - Palaia (PI)
- $G_s$ : 2.66
- Non plastico , non liquido
- 86 % di sabbia

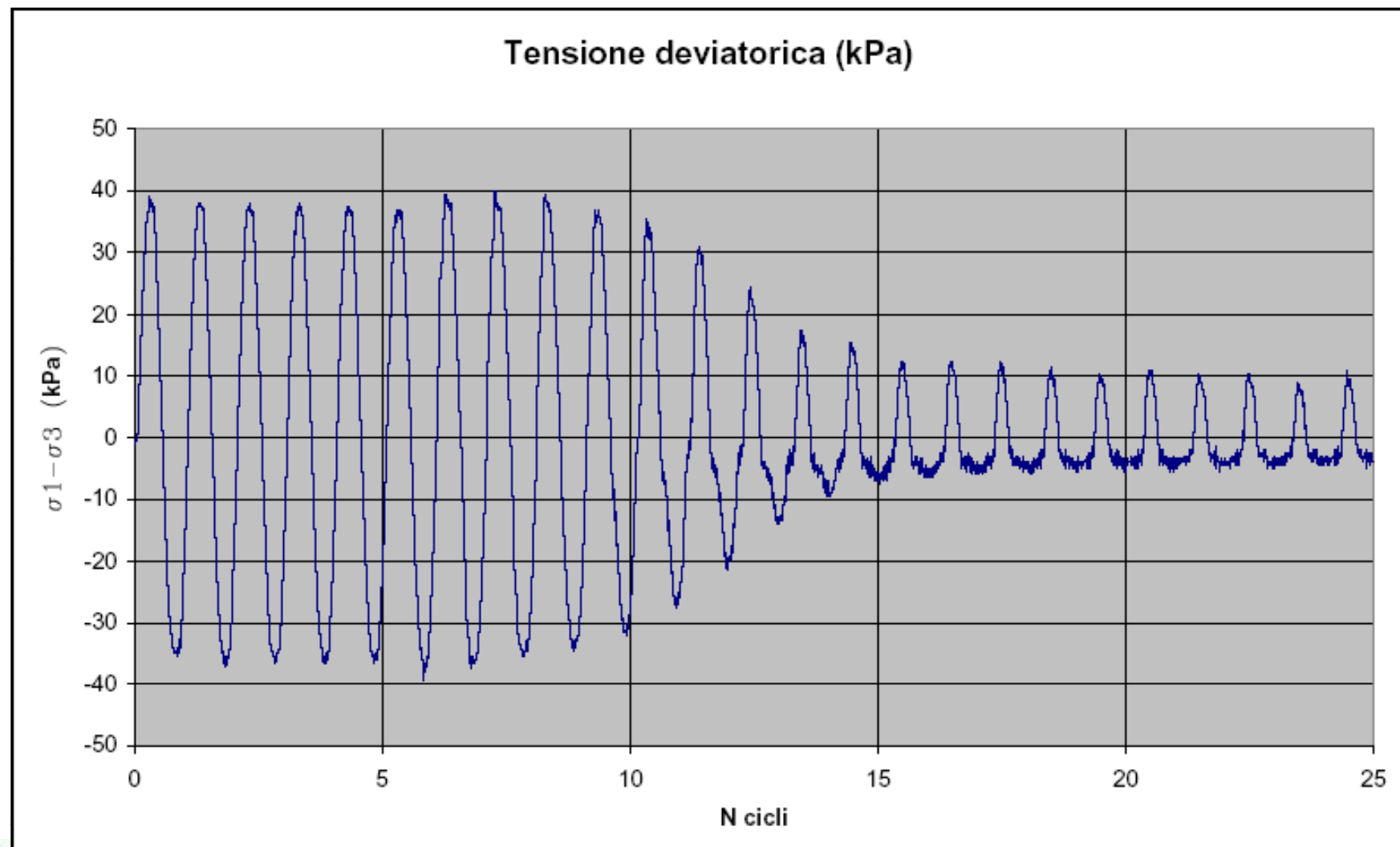
## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

### Fase ciclica



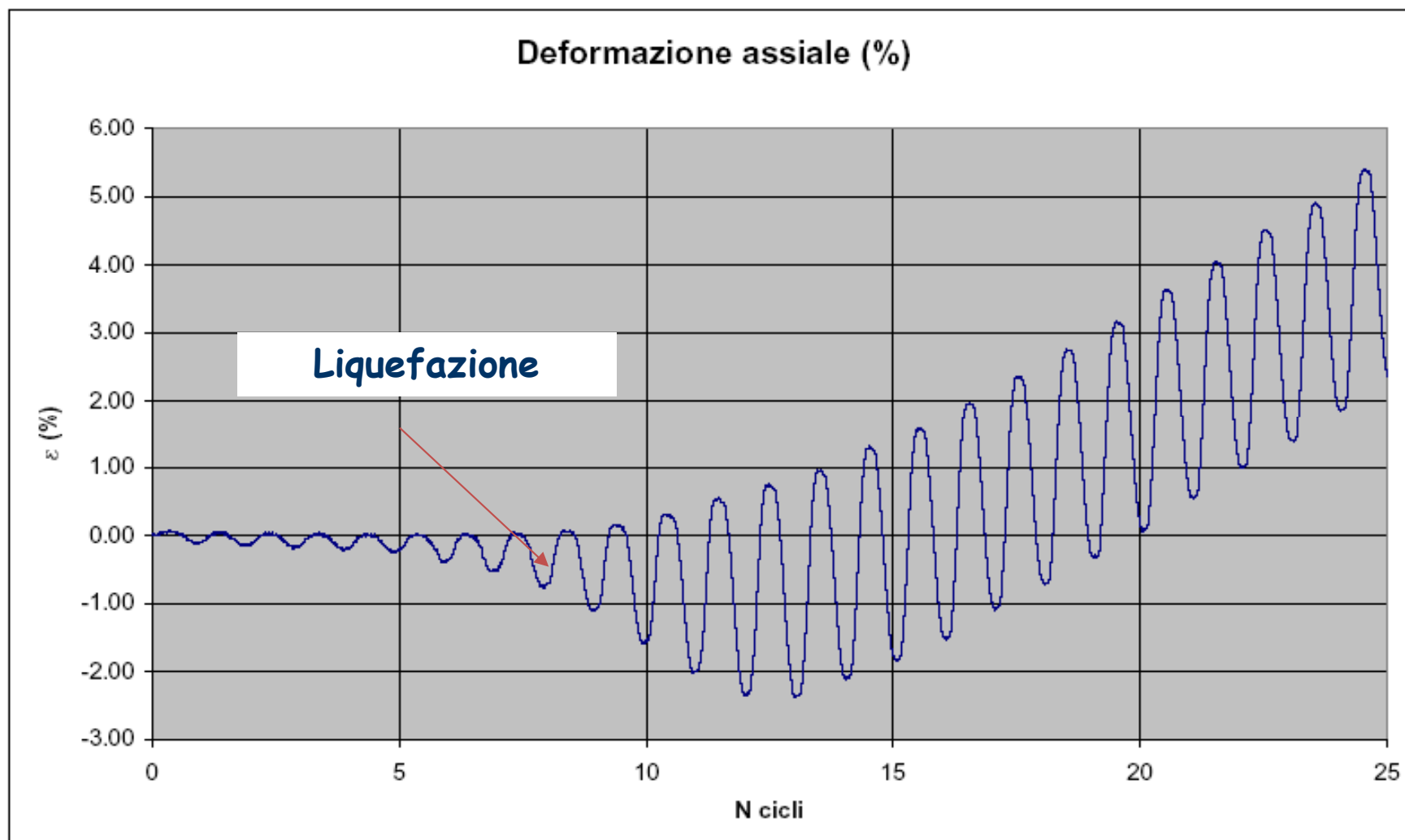
## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

### Fase ciclica



## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

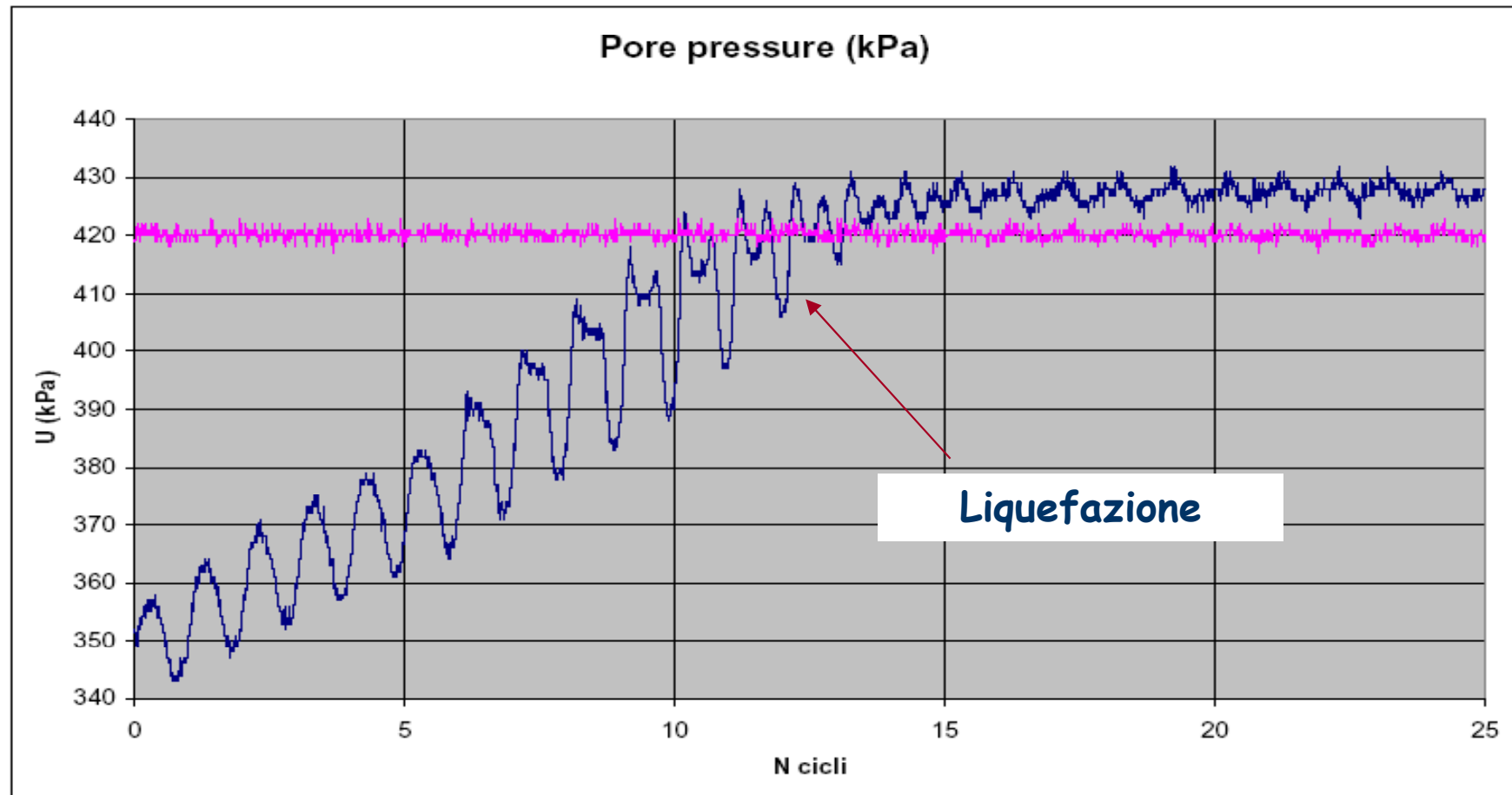
### Fase ciclica



## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

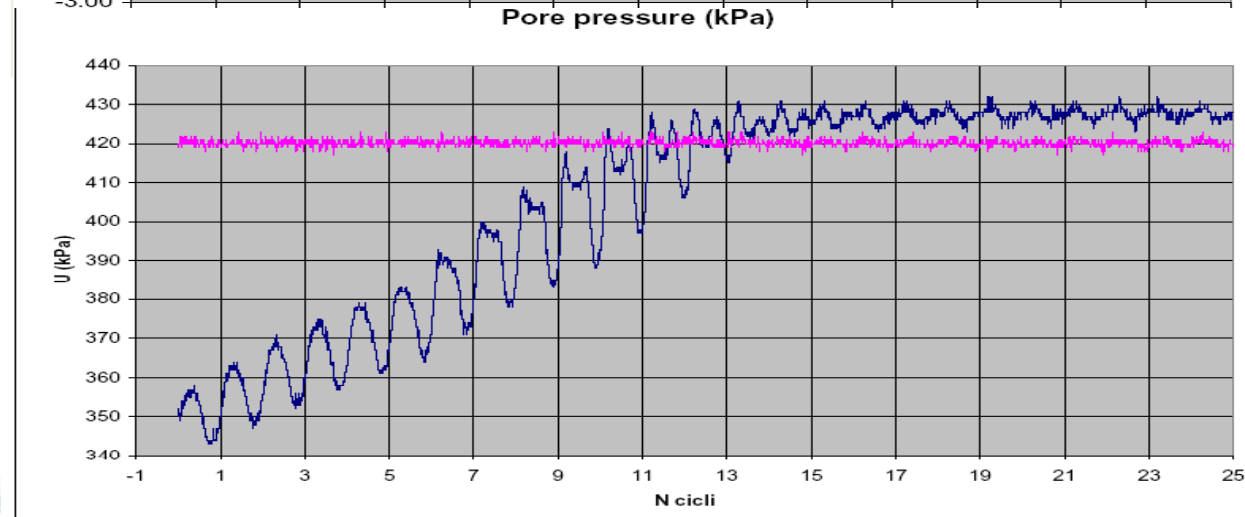
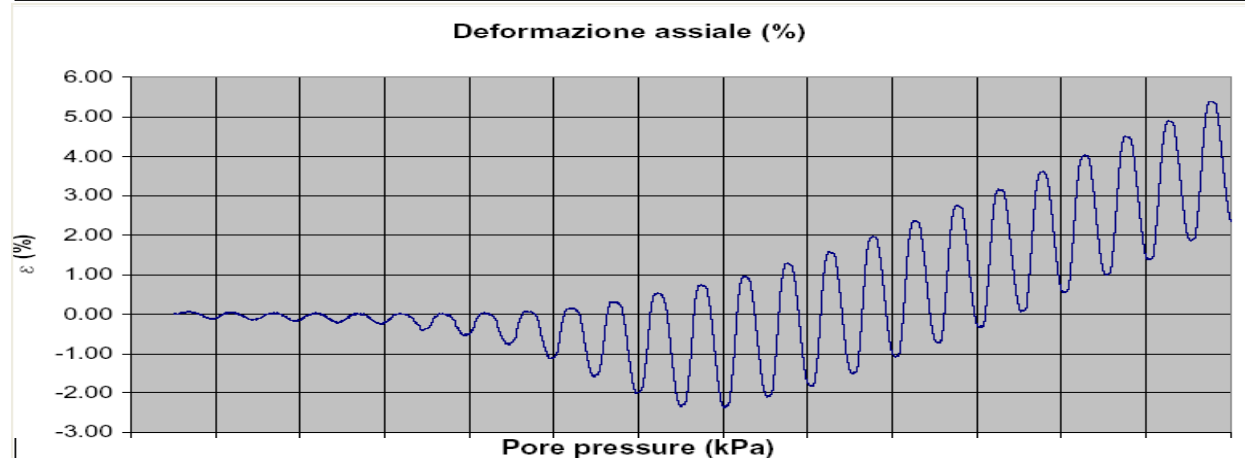
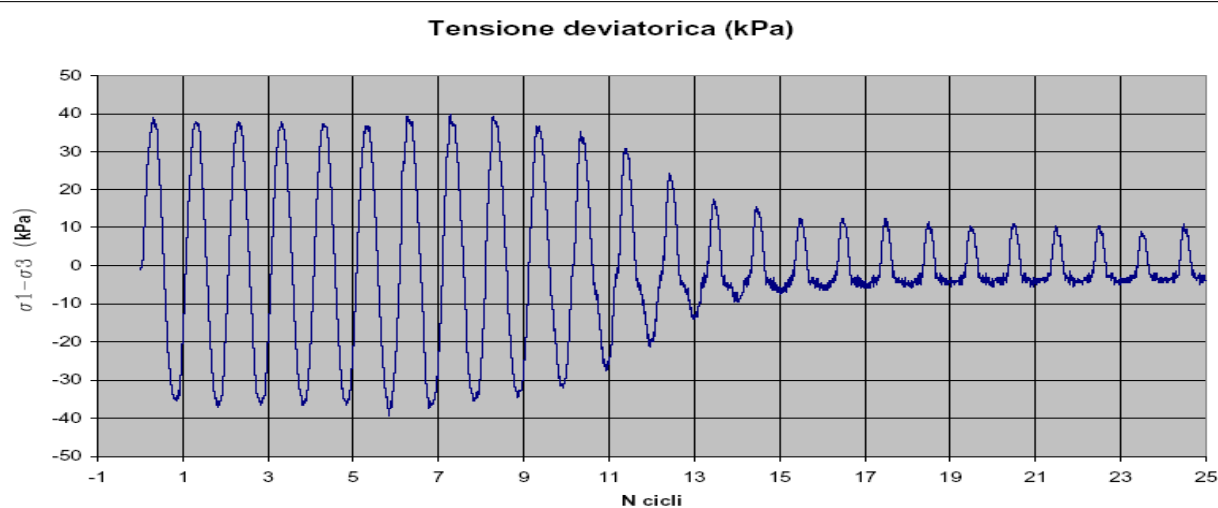
### Fase ciclica

— Pressione di cella — Pressione dei pori



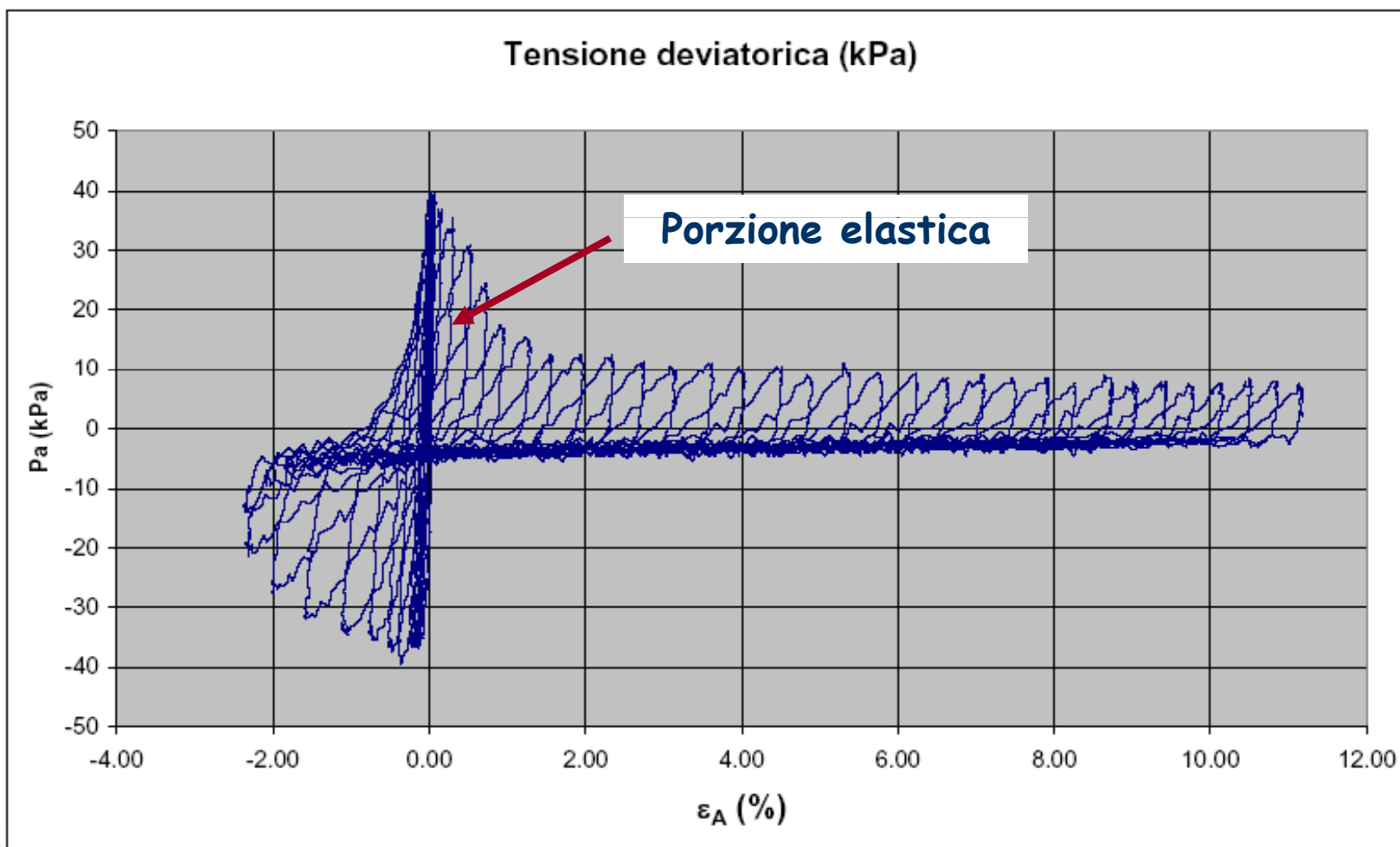


## Fase ciclica



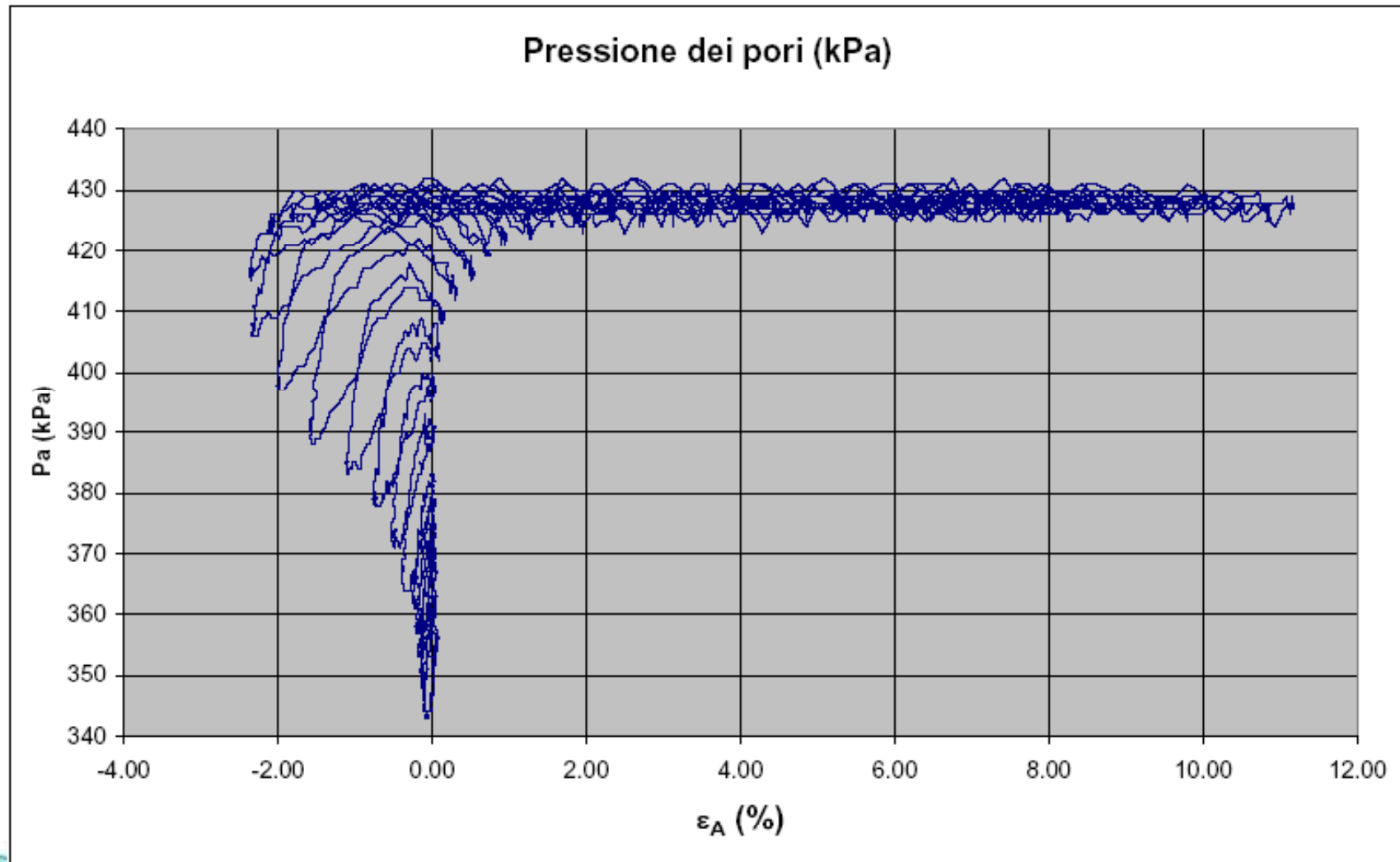
## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

Fase ciclica



## PROVA TRIASSIALE CICLICA SU SABBIA RICOSTITUITA IN CONTROLLO DI CARICO

### Fase ciclica



## ESEMPIO PROGRAMMA CORSO PER PROFESSIONISTI

GIORNO	ORARIO	DESCRIZIONE ATTIVITA'
LUNEDI	MATTINA	Introduzione al corso; Cenni sulla normativa vigente; Eurocodici; Stato dell'arte sulla normativa riguardante i laboratori in Italia; Programma delle giornate;
	POMERIGGIO	Visita generale ai laboratori; Apertura campione indisturbato e rimaneggiato; Descrizione del campione; Pocket penetrometer; Preparazione porzioni di carota per le prove; Determinazione Contenuto naturale d'acqua; Determinazione densità apparente; Montaggio edometria.
MARTEDI	MATTINA	Preparazione provino per prova di taglio anulare; Preparazione materiale per prove di classificazione (analisi granulometrica, peso specifico, limiti di consistenza); Pesatura contenuti d'acqua e calcolo.
	POMERIGGIO	Impasto limiti di consistenza; Montaggio fase di consolidazione prove di taglio diretto; Preparazione provino per taglio torsionale e inizio fase di consolidazione; Passo edometro.



GIORNO	ORARIO	DESCRIZIONE ATTIVITA'
MERCOLEDI	MATTINA	Termine fase di consolidazione taglio diretto e residuo e inizio fase di rottura; Setacciatura per via umida; Esecuzione limiti di consistenza.
	POMERIGGIO	Determinazione peso specifico dei grani: metodo ad acqua, uso del picnometro a elio; Compressione semplice.
GIOVEDI	MATTINA	Analisi granulometrica: prove di sedimentazione con densimetro e sedigrafo; Pesatura dei limiti di consistenza.
	POMERIGGIO	Prova triassiale UU e montaggio provino in Autotriax e saturazione provino.
VENERDI	MATTINA	Elaborazione prove; Consolidazione provino in Autotriax.
	POMERIGGIO	Presentazione utilizzo prove in estensione (autotriax); Prove dinamiche. Conclusione corso.

*Grazie per l'attenzione*