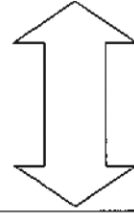


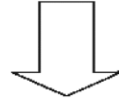
# **PROGRAMMAZIONE INDAGINI**

**Cartografia geologica**

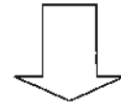
**Sopralluoghi**



**Individuazione delle problematiche**



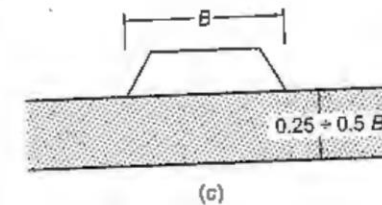
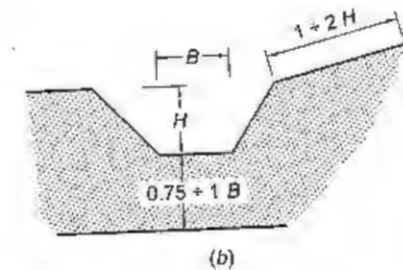
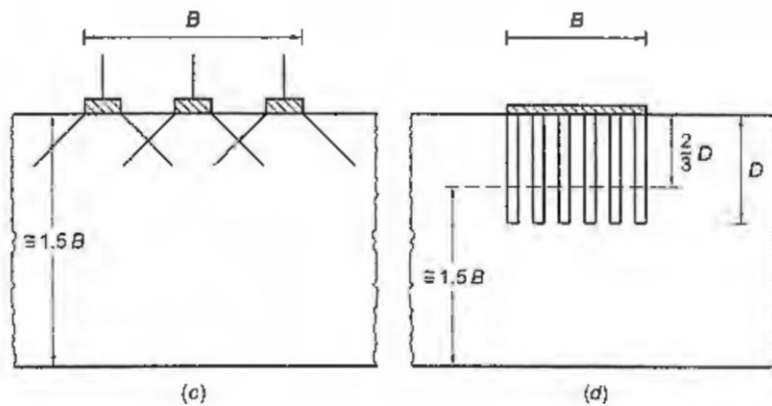
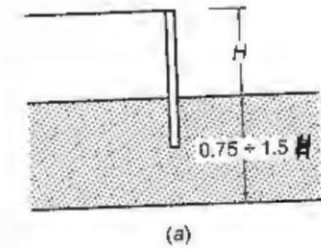
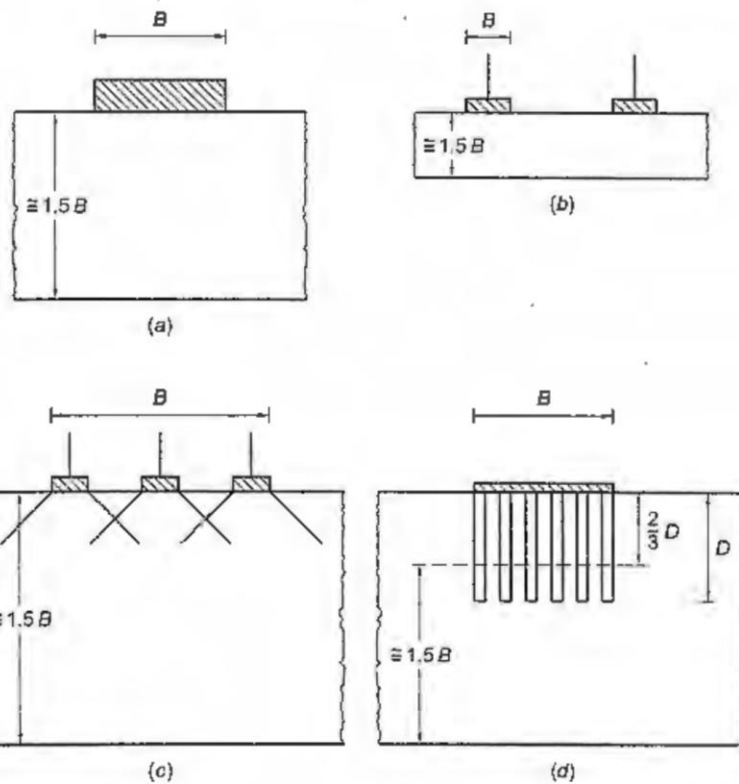
**Programmazione preliminare indagini**



**Redazione documento preliminare**

# ESTENSIONE DELLE INDAGINI



- EC7 → Categorie Geotecniche (I, II, III);
- Predimensionamento → teoria dell'elasticità →  $\Delta\sigma_z = 0.1 \cdot q$



## **EC7: CATEGORIE GEOTECNICHE**

<b>Cat.</b>	<b>Struttura</b>	<b>Rischi</b>	<b>Indagini - Analisi</b>
<b>1</b>	<b>Piccola, relativamente semplice</b>	<b>Trascurabili</b>	<b>Qualitative, esperienza</b>
<b>2</b>	<b>Convenzionale</b>	<b>Non eccezionali</b>	<b>Quantitative, routine</b>
<b>3</b>	<b>Molto grandi o atipiche</b>	<b>Eccezionali</b>	<b>Prove su modello, metodo oss.</b>

# SONDAGGI GEOTECNICI

- ❑ CONOSCERE LA SUCCESSIONE DEGLI STRATI  
*STRATIGRAFIA DEL TERRENO*
- ❑ PRELEVARE CAMPIONI RAPPRESENTATIVI DEGLI STRATI  
ATTRAVERSATI
  - 📁 CAMPIONI INDISTURBATI 1  TERRENI A GRANA FINE
  - 📁 CAMPIONI RIMANEGGIATI 2  TERRENI A GRANA GROSSA
- ❑ ACCERTARE LA PRESENZA E LA POSIZIONE DELLE FALDE
- ❑ ALTRO, e.g.: CONTAMINAZIONE, REPERTI ARCHEOLOGICI,  
VUOTI SOTTERRANEI, FAGLIE, etc.

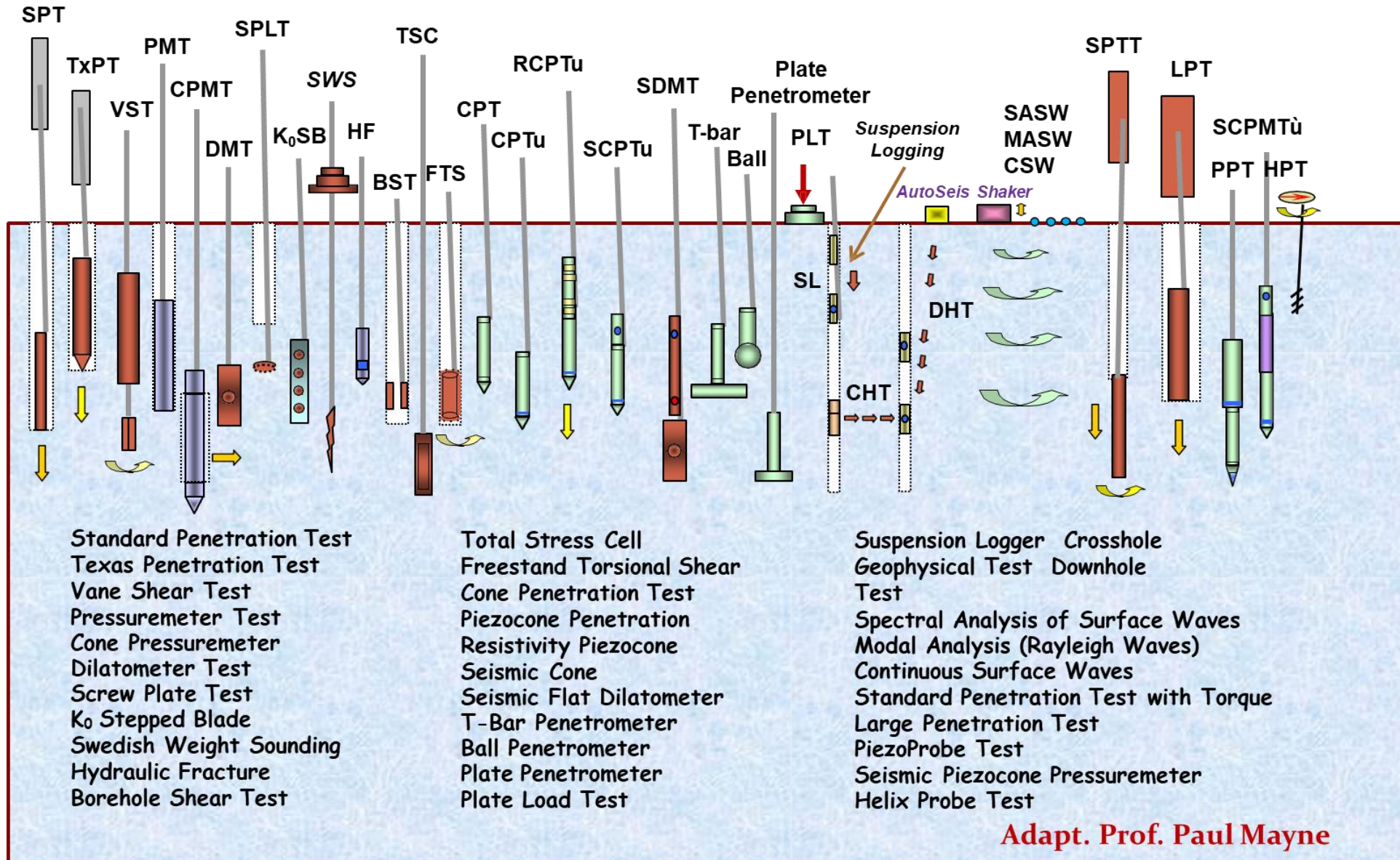
1 PROPRIETA' FISICHE, CHIMICHE, MECCANICHE.

2 PROPRIETA' FISICHE, CHIMICHE

## **MEZZI DI INDAGINE**

- **Sondaggi:**
  - **percussione, elica, rotazione;**
  - **carotaggio continuo, distruzione**
- **Prove in foro di sondaggio:**
  - **SPT**
  - **Geofisiche (sismiche)**
  - **Piezometriche**
  - **Inclinometriche**
- **Prove fuori da sondaggi:**
  - **DPT**
  - **CPT**
  - **PLT**
  - **FVT**

# PROVE GEOTECNICHE IN-SITU DISPONIBILI



# PROVE GEOTECNICHE IN-SITU DISPONIBILI

1. Prove in foro di sondaggio - SPT
2. Prove in foro sismiche (Down-Hole, Cross-Hole)
3. In foro di sondaggio (piezometri, inclinometri ...)
4. DPT (Continuous Dynamic Penetration Test)
5. CPT (CPT, CPT<sub>e</sub>, CPT<sub>u</sub>, SCPT<sub>u</sub>)
6. DMT (SDMT)
7. PLT (Plate Load Test)
8. MP (Pressiometro Menard) – SBPT (Self-Boring Pressuremeter Test)
9. FVT (Field Vane Test)

# PROVE GEOTECNICHE IN-SITU

**Standard Penetration Test (SPT)**

**Prova penetrometrica dinamica**

**Cone Penetration Test (CPT)**

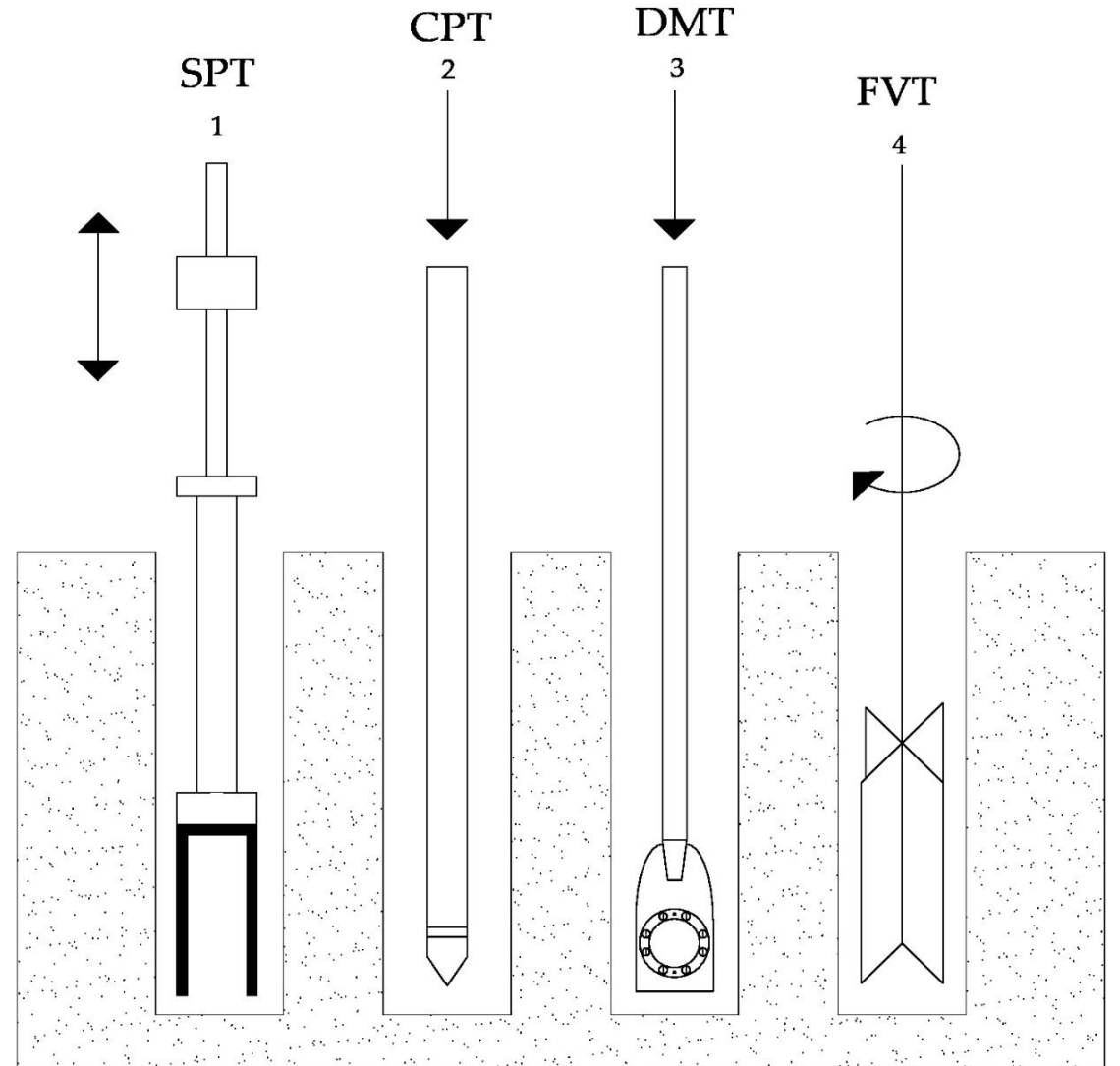
**Prova penetrometrica statica**

**Flat Dilatometer Test (DMT)**

**Prova dilatometrica (ad es. Dilatometro Marchetti)**

**Field Vane Test (FVT)**

**Prova Scissometrica**





# Perché ci sono utili le prove in-situ?

1. Depositi con materiali a grana grossa
2. Variabilità spaziale dei depositi naturali (proprietà ecc..)
3. Costi
4. Tempo
5. Le prove in-situ e di laboratorio sono complementari

# Perché ci sono utili le prove in-situ?

Depositi con materiali a grana grossa → Difficile il prelievo di campioni indisturbati



# Perché ci sono utili le prove in-situ?

Campione indisturbato (grana grossa) -> mediante tecnica del congelamento



# CPT - Prova penetrometrica statica

## Scopi della prova CPT:

1. Ricostruzione del profilo stratigrafico (valutazione indiretta -> interpretazione risultati prova)
2. Resistenza del terreno
3. Parametri di rigidezza (attenzione...)
4. Permeabilità (mediante valutazione indiretta dai risultati della prova oppure mediante prova di dissipazione)
5. Progettazione di fondazioni superficiali e fondazioni su pali
6. Valutazione del potenziale di liquefazione di sabbie (liquefazione indotta da sisma)

## Campo di applicazione della prova CPT:

Terreni a grana fine (argille e limi)

Terreni a grana grossa (sabbie)

NO ghiaie e ciottoli! -> è possibile danneggiare l'attrezzatura di prova.

# CPT - Attrezzatura di Prova

CPTm – Punta Begemann



CPTe (Punta elettrica) – CPTu (Piezocono)



# CPT - Attrezzatura di Prova

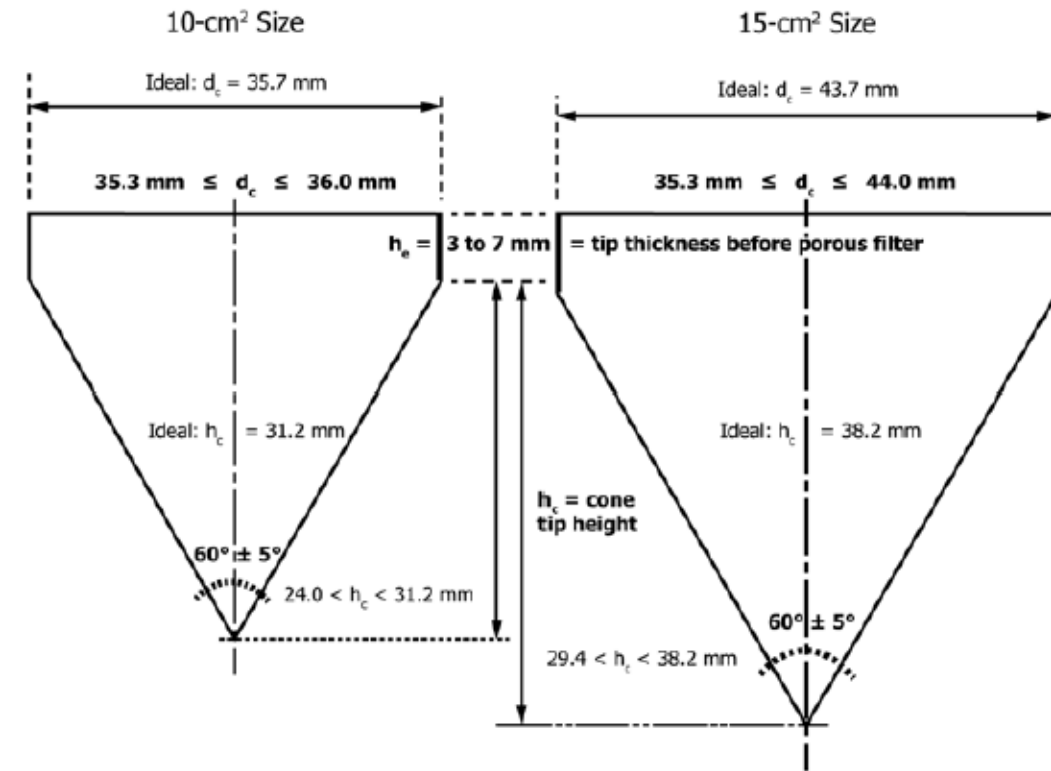
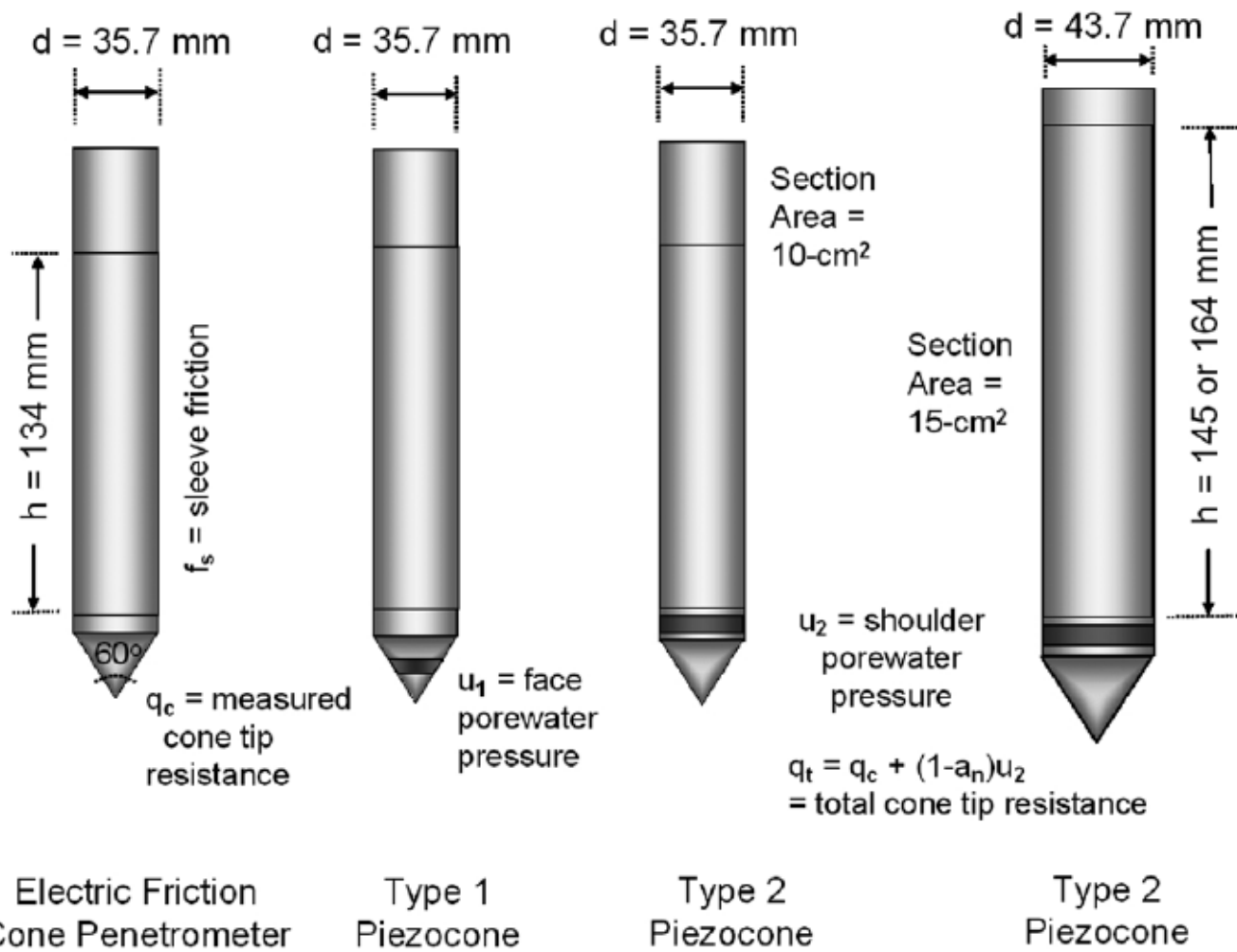


FIG. 2 Manufacturing and Operating Tolerances of Cones (5)

FIG. 3 Penetrometer Design Configurations: (a) Electric Friction-type, (b) Type 1 Piezocone, (c) Standard 10-cm<sup>2</sup> Type 2 Piezocone, and (d) 15-cm<sup>2</sup> Type 2 Version (7)



# CPT – Esecuzione della prova

1. Infissione della punta conica ad una velocità di avanzamento costante di 2 cm/s
  - Argille/Limi (Condizioni Non Drenate)
  - Sabbie (Condizioni Drenate)
2. CPT<sub>m</sub> ( $q_c - f_s$ ) – Misura ogni 20 cm (ASTM D3441)
3. CPT<sub>u</sub> ( $q_c - f_s - i - u$ ) – Misura ogni 2 cm (ASTM D5778) o 1 cm
4. SCPT<sub>u</sub> ( $q_c - f_s - i - u - t_s - t_p$ )

## DEFINIZIONI:

$q_c$  = resistenza alla punta (misurata) – tip resistance

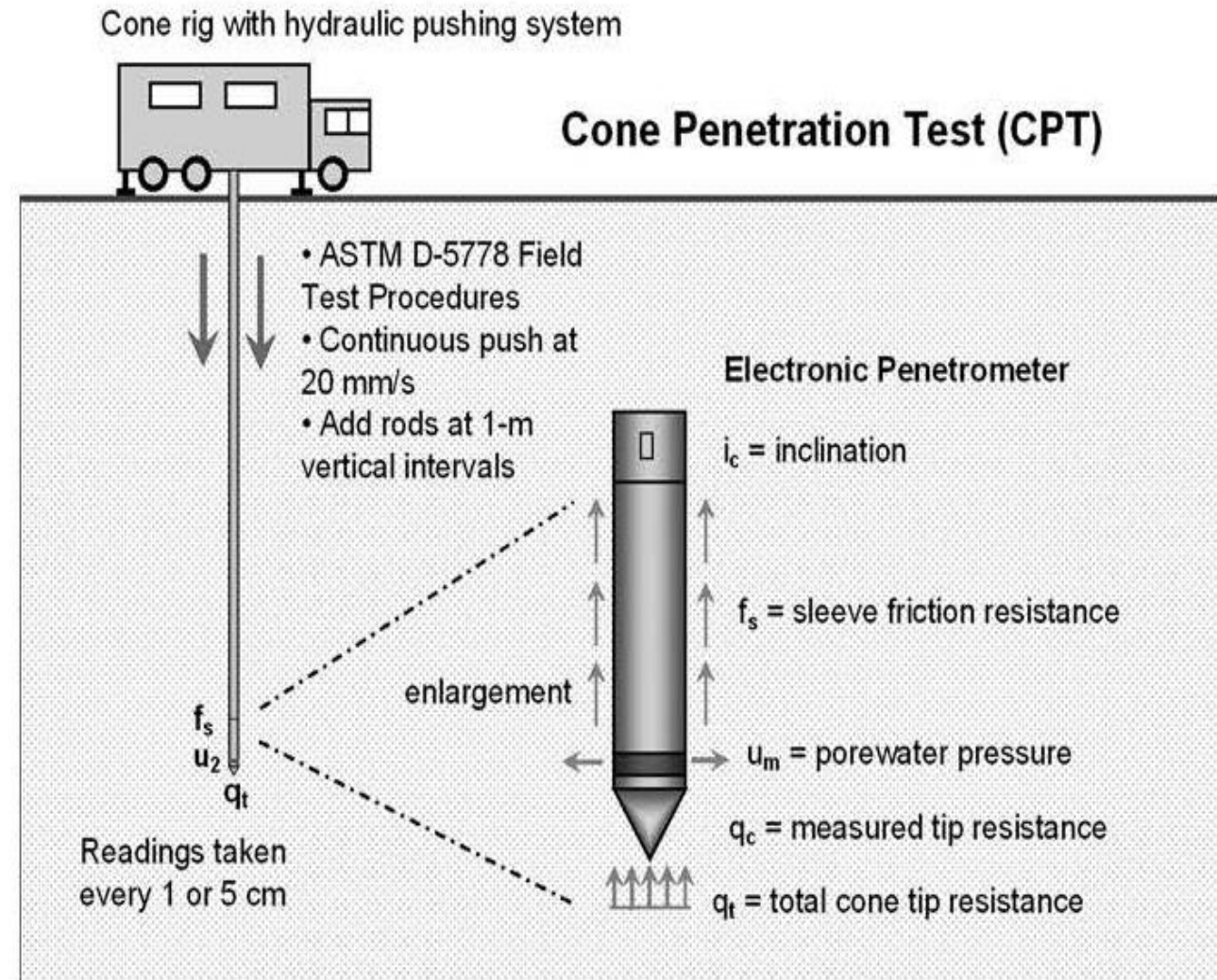
$f_s$  = attrito laterale (misurato) – sleeve friction

$i$  = inclinazione rispetto alla verticale

$u$  = pressione dei pori (misurata) – porewater pressure

$q_t$  = resistenza alla punta totale – total tip resistance

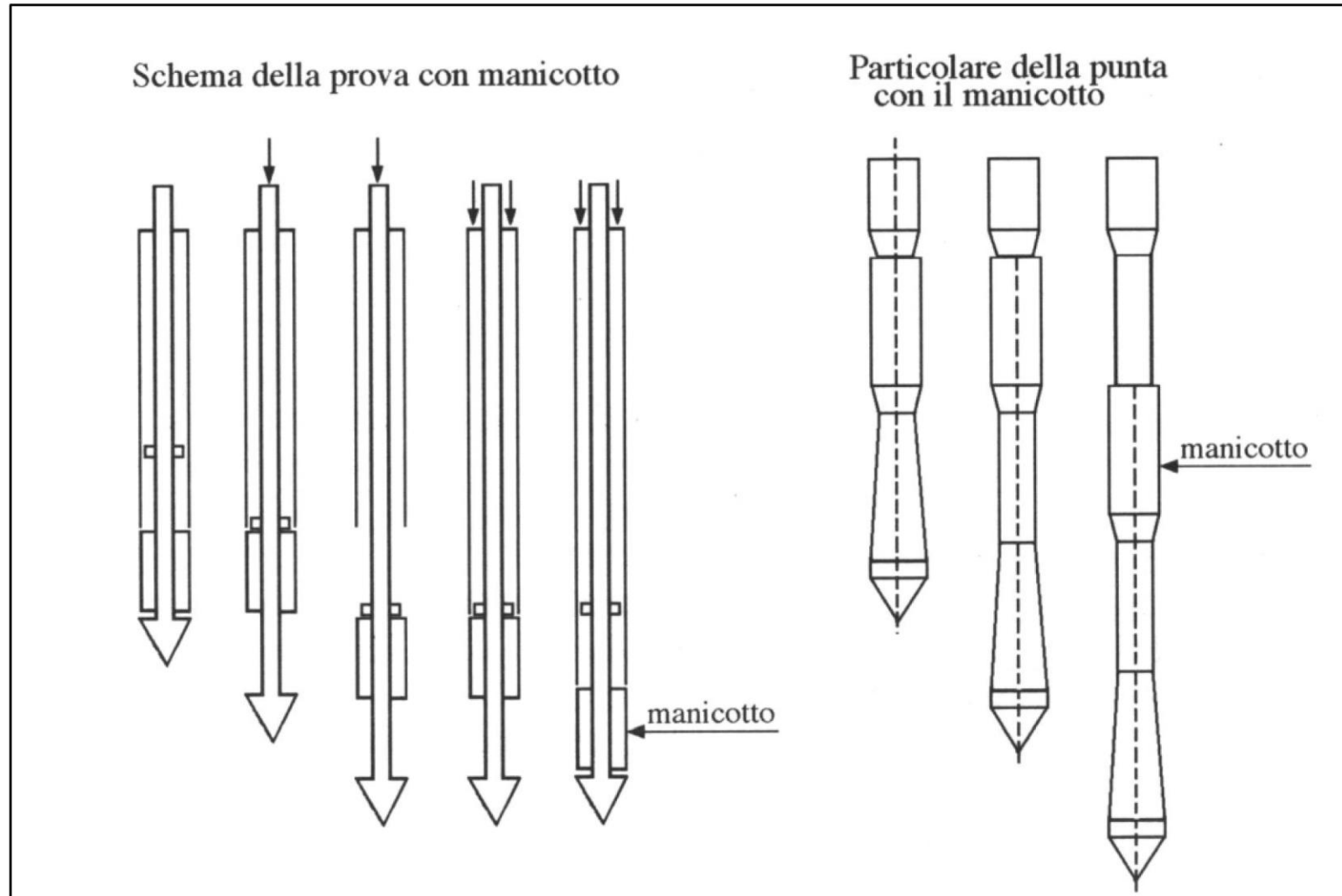
$t_p$  e  $t_s$  = tempi di arrivo di segnali generati in superficie



Overview of the cone penetration test per ASTM D 5778 procedures.



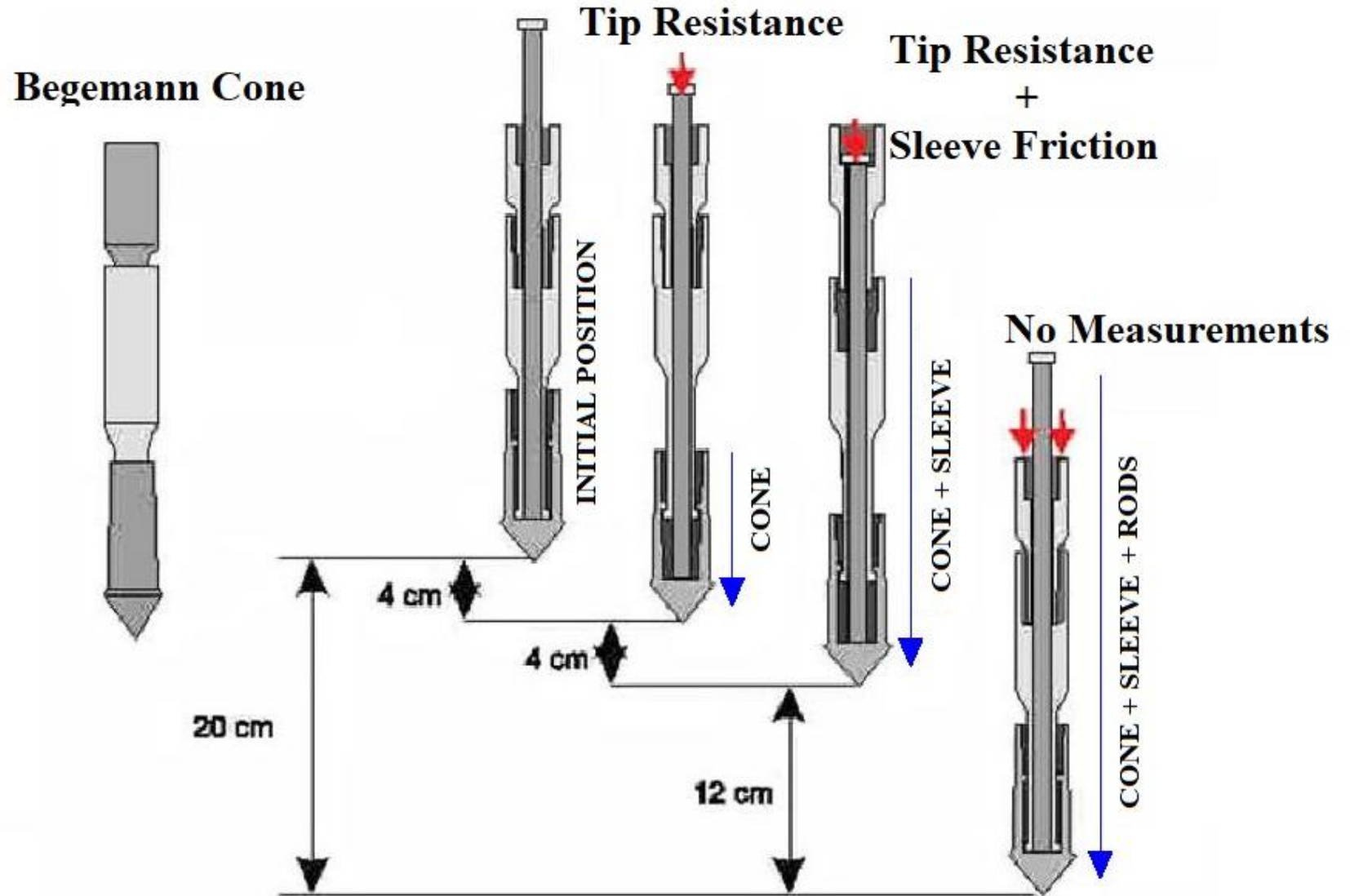
# CPTm – Punta Begemann



Punta Begemann per prove CPT (Begemann, 1995)

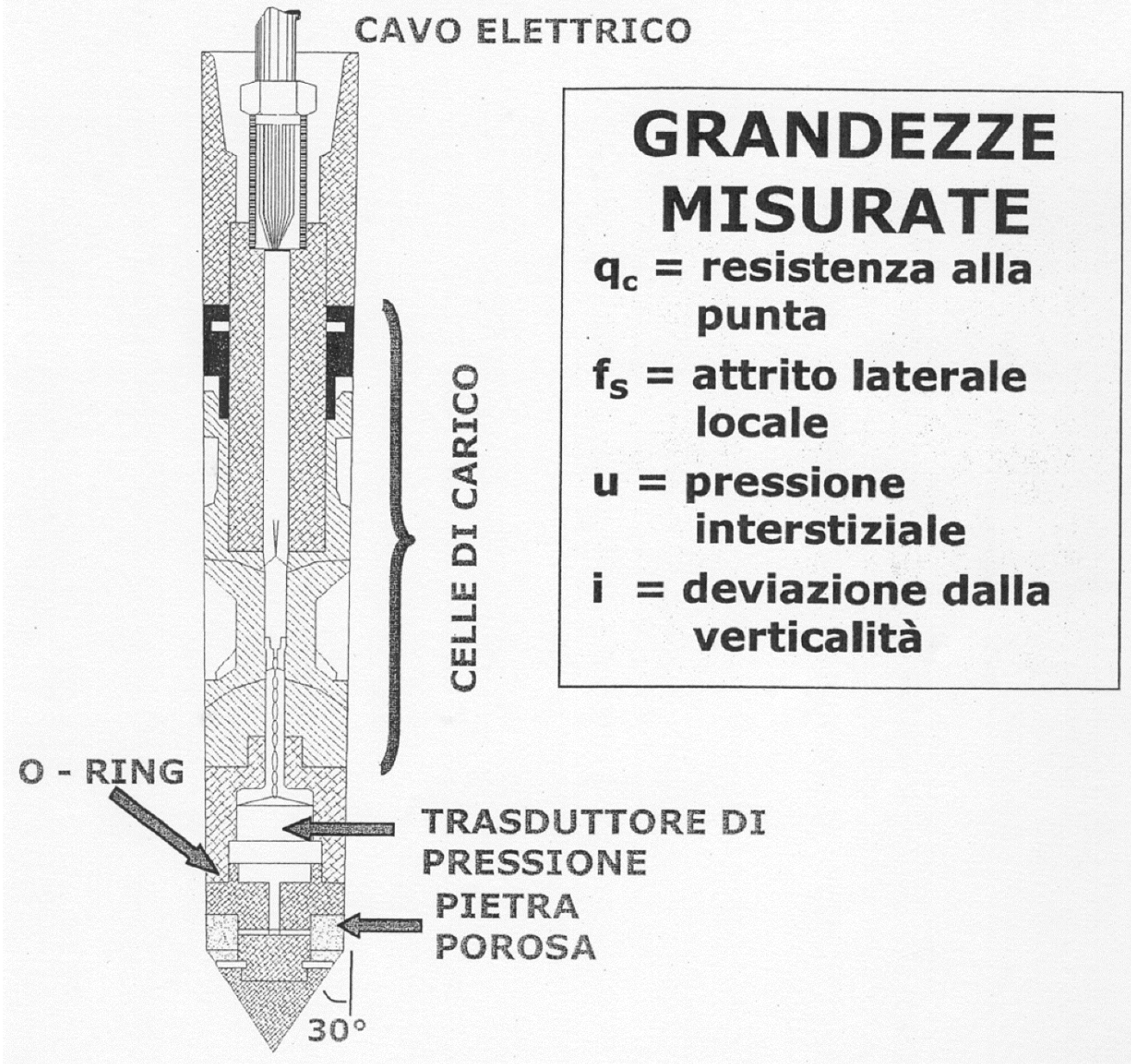
# CPTm – Punta Begemann

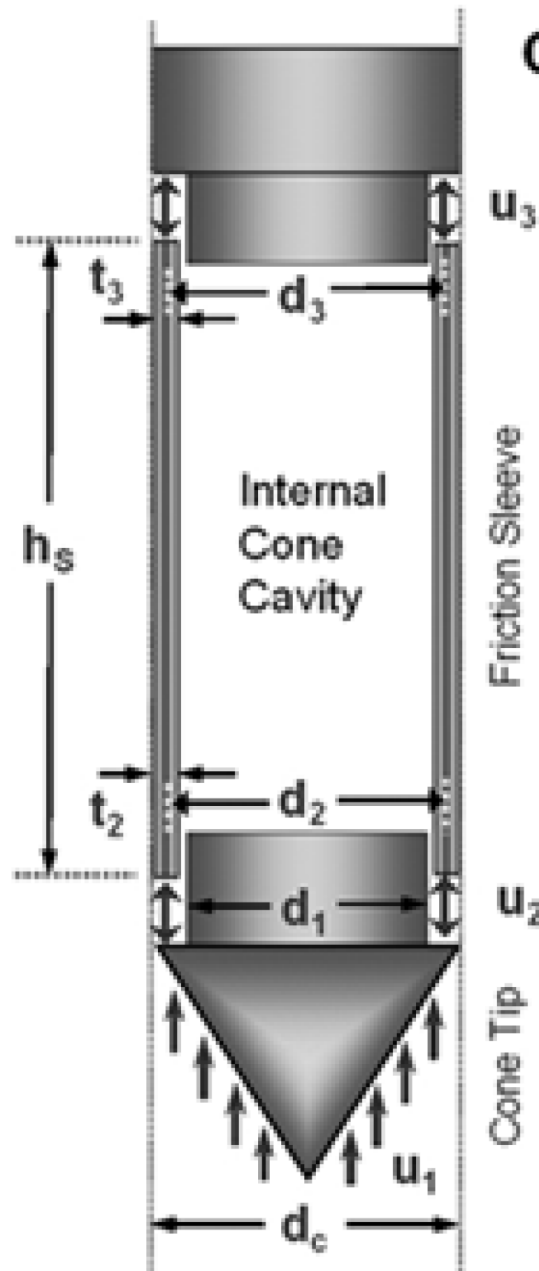
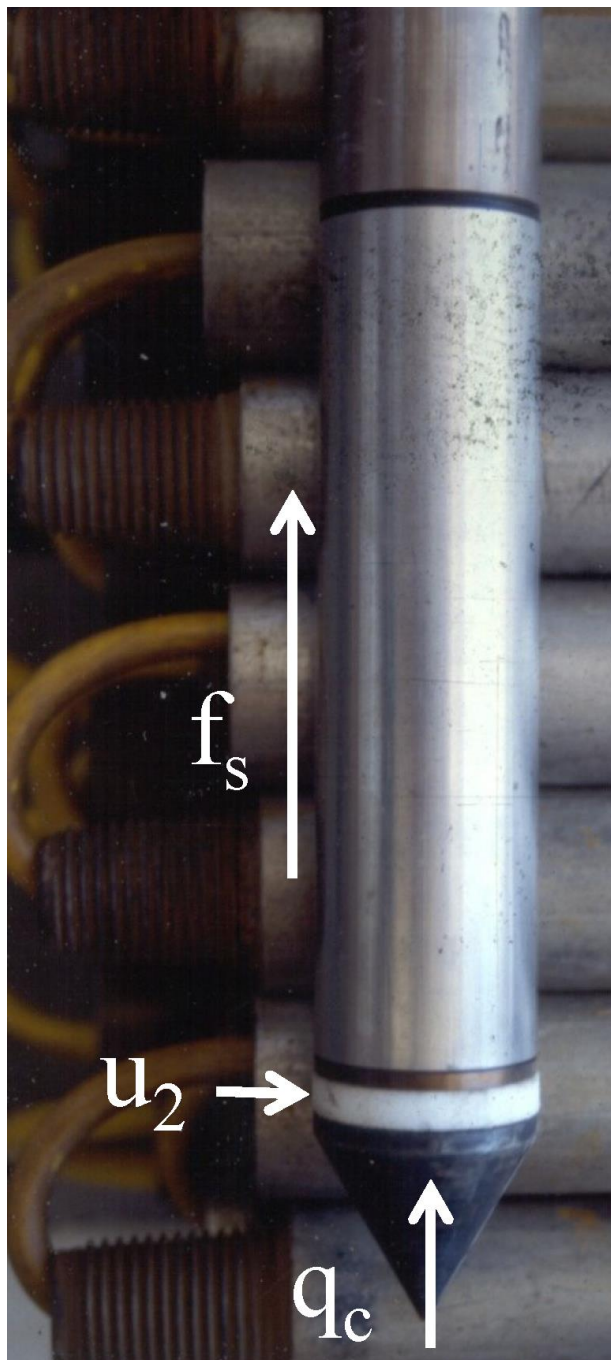
1. Infissione della punta conica ad una velocità di avanzamento costante di 2 cm/s
  - Argille/Limi (Condizioni Non Drenate)
  - Sabbie (Condizioni Drenate)
2. CPTm ( $q_c - f_s$ ) – Misura ogni 20 cm (ASTM D3441)



# PIEZO CONO CPTU

1. Infissione della punta conica ad una velocità di avanzamento costante di 2 cm/s
  - Argille/Limi (Condizioni Non Drenate)
  - Sabbie (Condizioni Drenate)
2. CPTu ( $q_c - f_s - i - u$ ) – Misura ogni 2 cm (ASTM D5778) o 1 cm
3. SCPTu ( $q_c - f_s - i - u - t_s - t_p$ )





## Corrections for Tip and Sleeve Readings

$d_j$  = diameter geometry (as shown)

$t_j$  = thickness of friction sleeve

$u_l$  = measured porewater pressure

$q_c$  = measured cone tip resistance

$f_s$  = measured sleeve friction

$q_t$  = total cone tip resistance

$f_t$  = total sleeve resistance

$a_n$  = tip net area ratio from triaxial test

$b_n$  = sleeve net ratio from triaxial test

$h_s$  = height of sleeve

### Sleeve Friction:

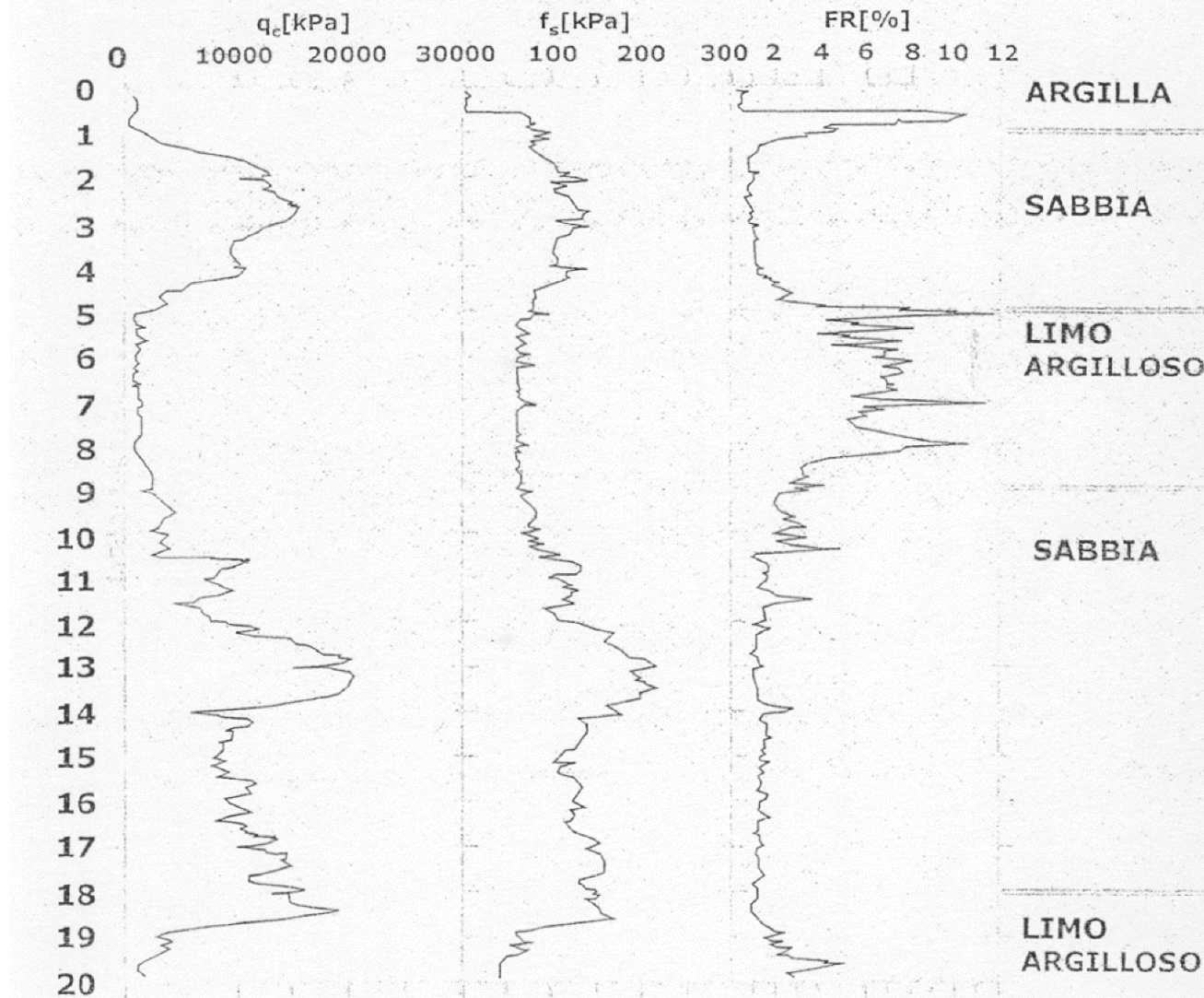
$$f_t = f_s - (\pi d_2 t_2 u_2 + \pi d_3 t_3 u_3) / (\pi d_c h_s)$$

$$f_t \approx f_s - b_n u_2$$

### Tip Resistance:

$$q_t = q_c + (1 - a_n) u_2$$

# RISULTATO DELLA PROVA ENETROMETRICA STATICA CPT



# ESEMPIO PROVA CPTU

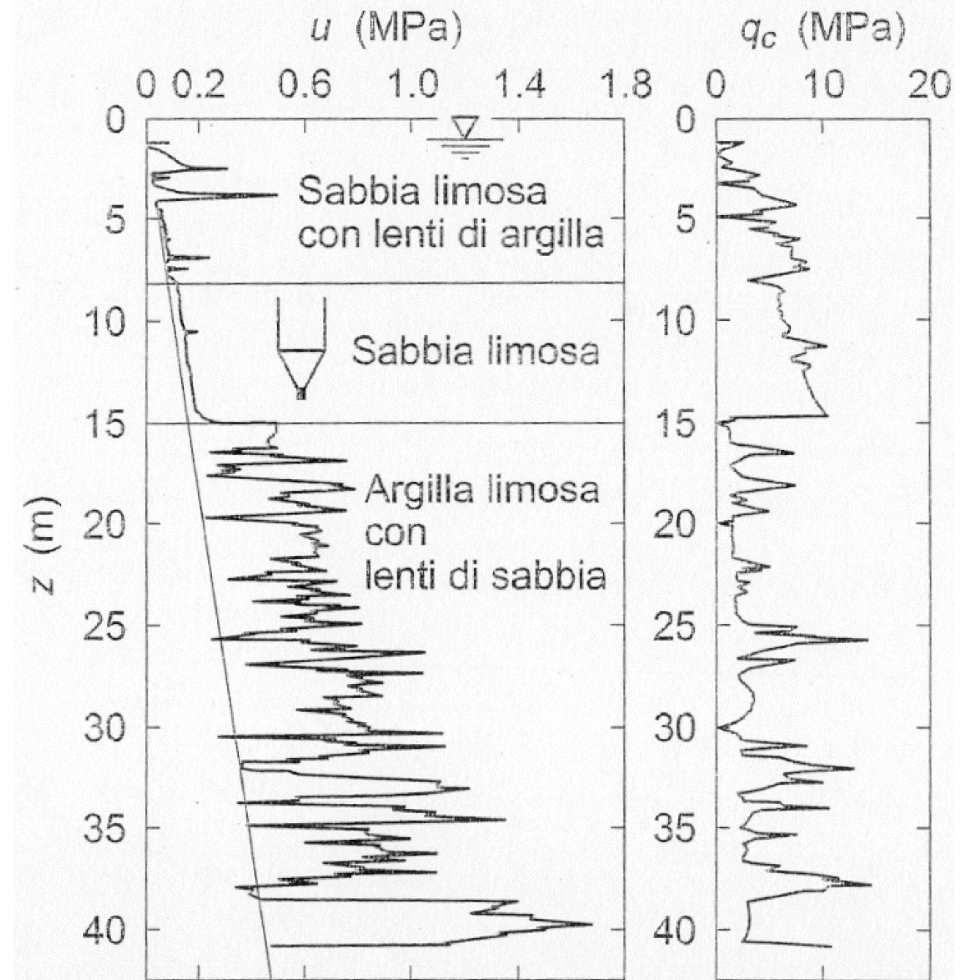
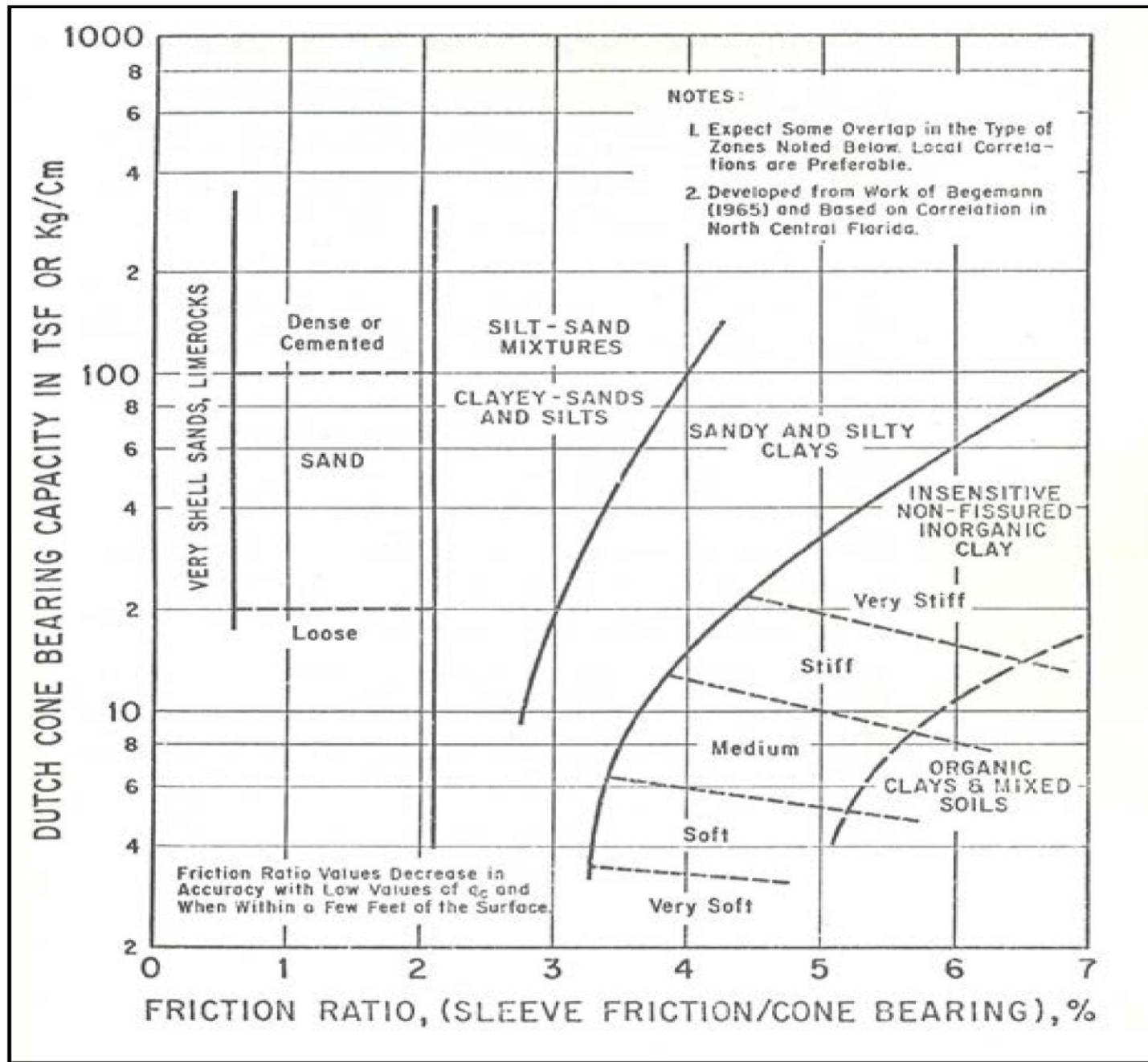


Figura 1.29 Prova eseguita con il piezocono dei depositi di Ravenna (Battaglio et al., 1986).

# Interpretazione CPT – Ricostruzione profilo stratigrafico

## CARTE DI CLASSIFICAZIONE

1. Begemann (1965)
2. Schmertmann (1978)
3. Searle (1979)
4. Douglas and Olsen (1981)
5. Robertson and Campanella (1986)
6. Robertson (1990, 2009 ...)
7. Eslami and Fellenius (1997)



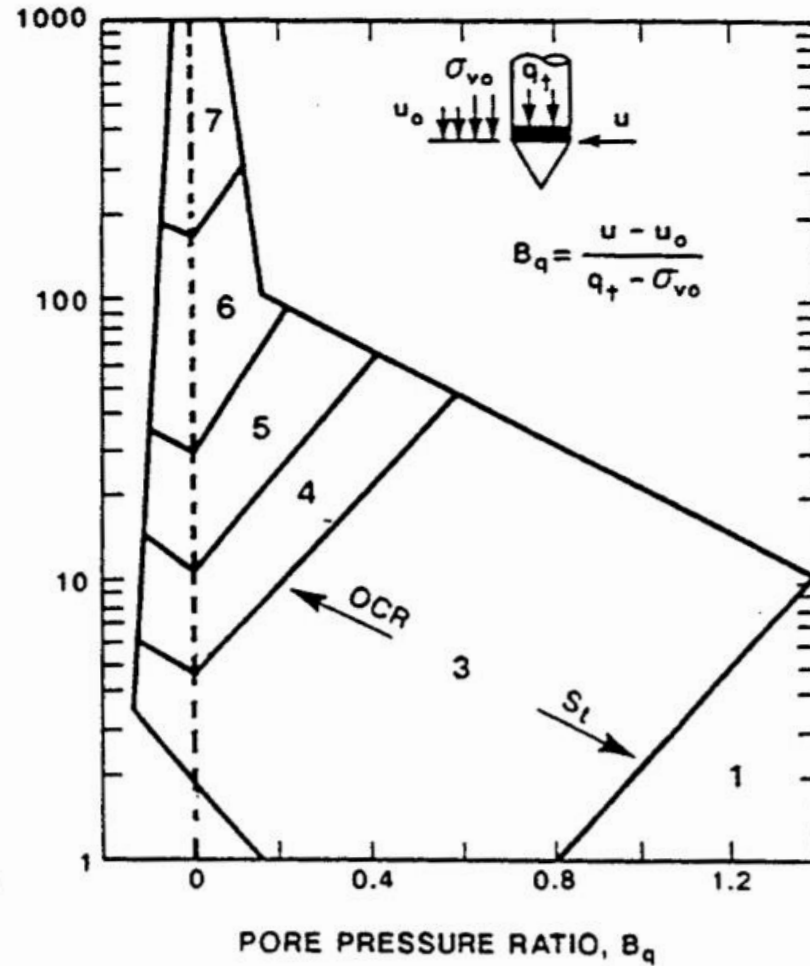
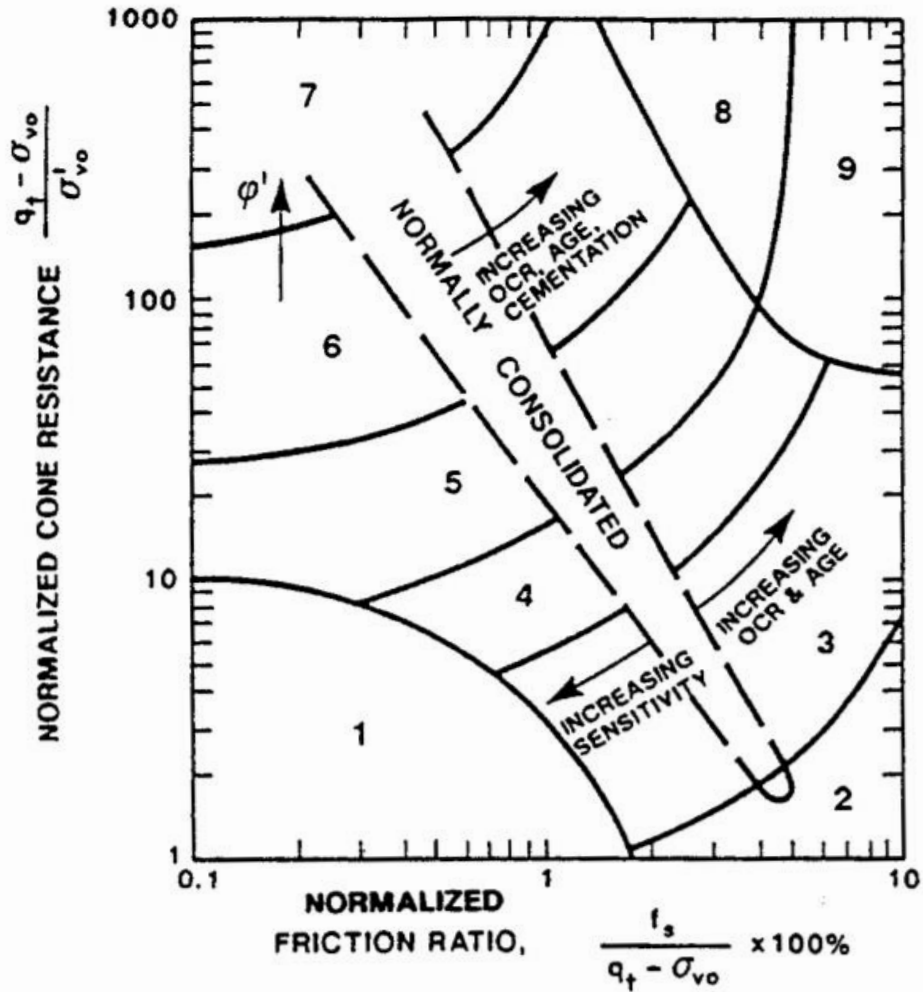
Carta di classificazione (Schmertman, 1978)

# Carta di Classificazione - Robertson (1990)

$$Q_{t1} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} ;$$

$$F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \cdot 100 ;$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$



## SBTn Soil Classes:

- 1: sensitive, fine grained
- 2: organic soil-peat
- 3: clays-clays to silty clay
- 4: silt mixtures-clayey silt to silty clay
- 5: sand mixtures-silty sand to sandy silt
- 6: sands- clean sand to silty sand
- 7: gravelly sand to sand
- 8: very stiff sand to clayey sand (heavily OC or cemented)
- 9: very stiff, fine grained (heavily OC or cemented)



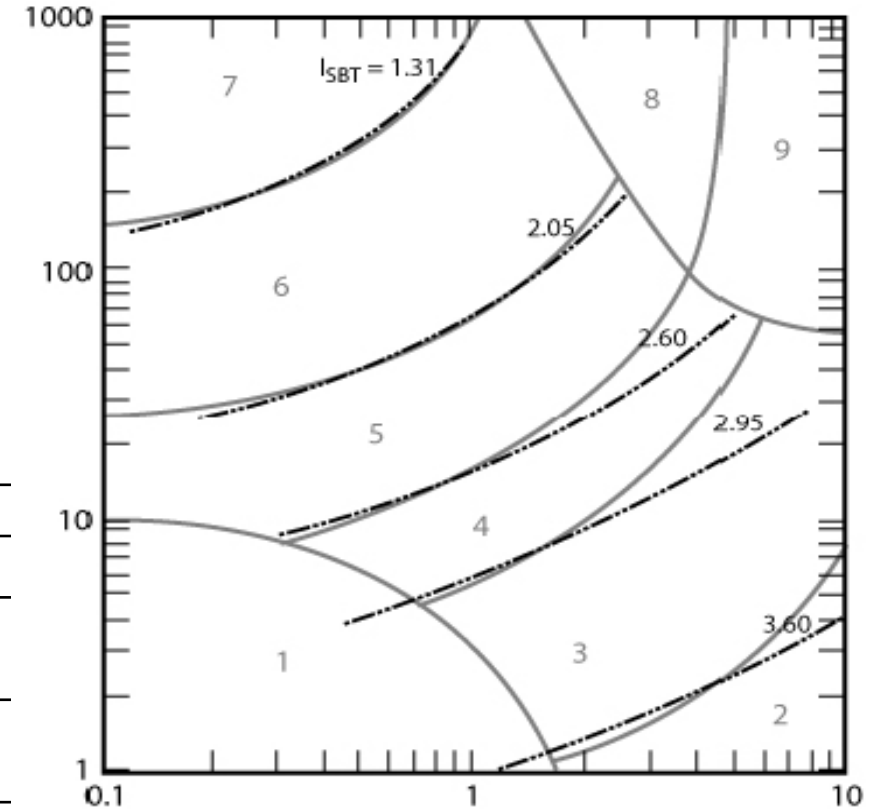
# Carta di Classificazione - Robertson (1990)

Indice di classificazione ( $I_c$ ) -> La valutazione di  $I_c$  richiede un calcolo iterativo (3-4 iterazioni)

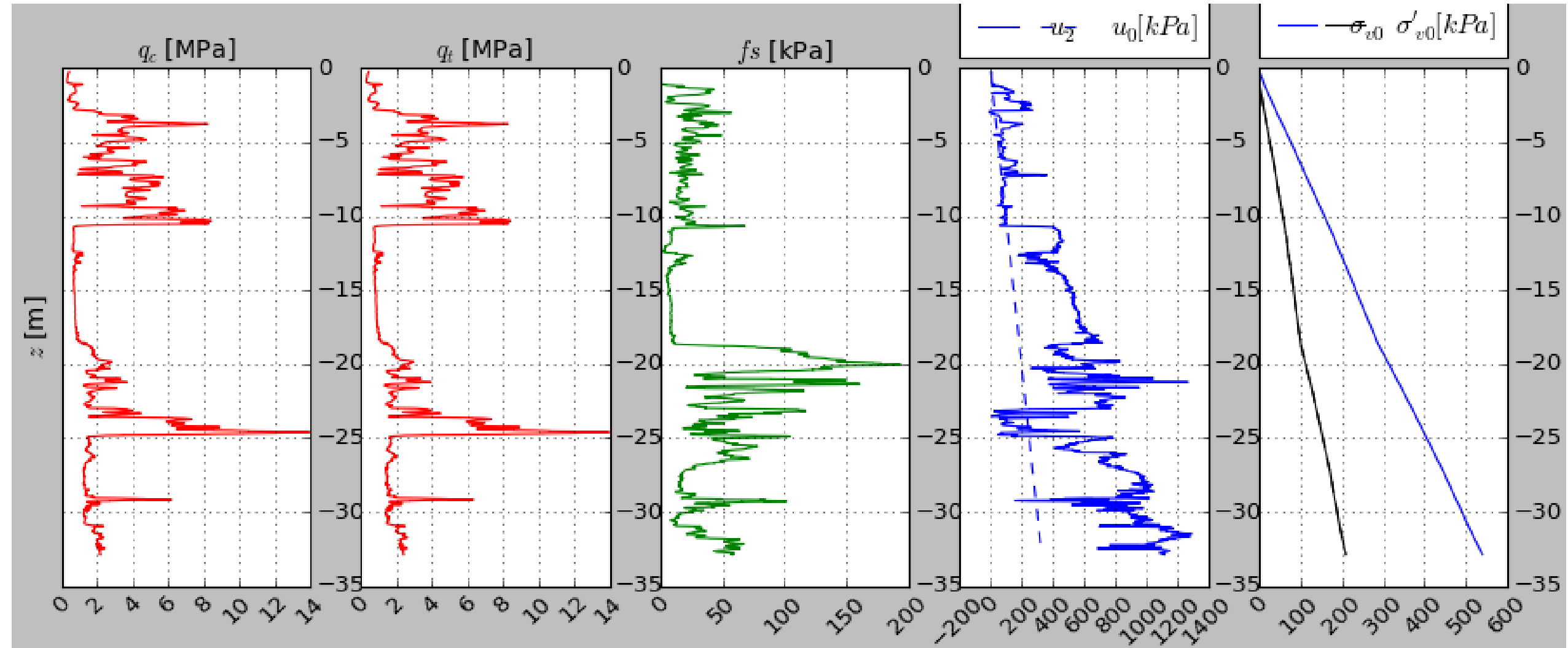
$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log F + 1.22)^2}$$

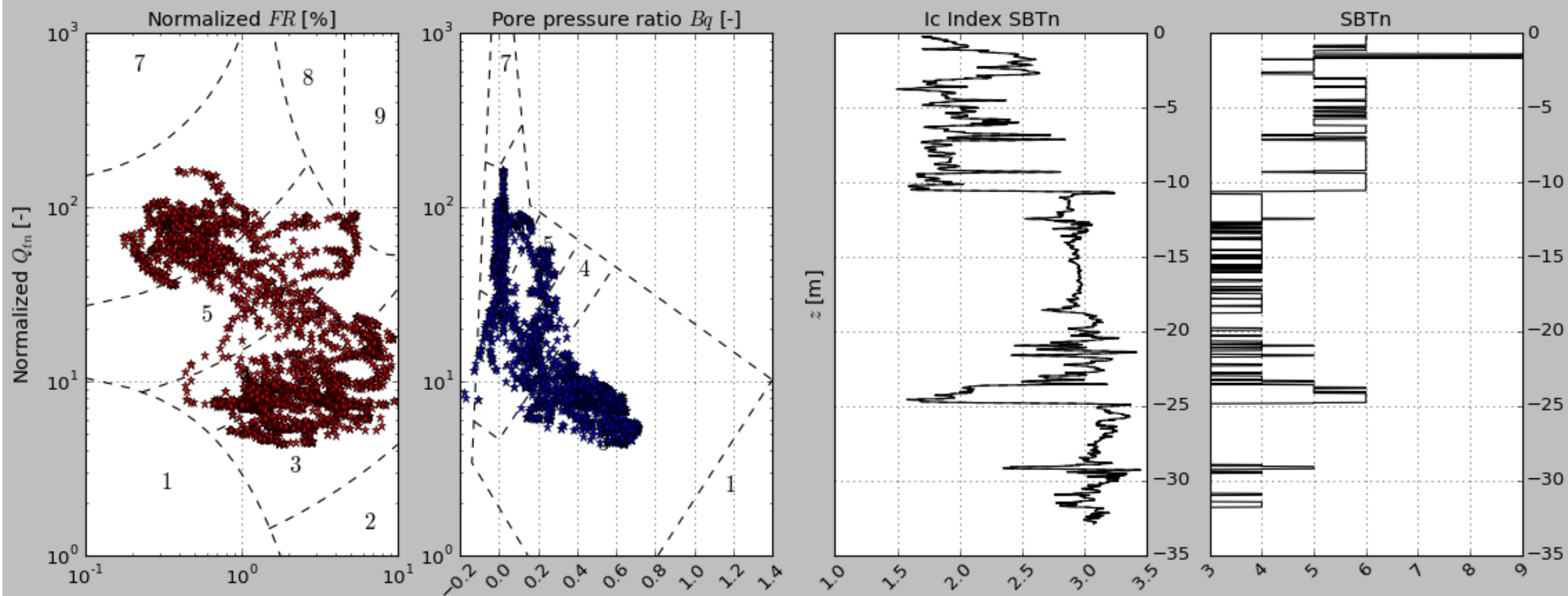
$$Q_{tn} = \left( \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma_{atm}} \right) \left( \frac{\sigma_{atm}}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$n = 0.381 \cdot I_c + 0.05 \cdot \left( \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma_{atm}} \right) - 0.15$$



Soil classification (SBTn)	(Robertson SBTn 1990)	$I_c$ Index Values
Organic soils: peats	2	$I_c > 3.60$
Clays: silty clay to clay	3	$2.95 < I_c < 3.60$
Silt Mixtures: clayey silt to silty clay	4	$2.60 < I_c < 2.95$
Sand Mixtures: silty sand to sandy silt	5	$2.05 < I_c < 2.60$
Sands: clean sand to silty sand	6	$1.31 < I_c < 2.05$
Gravelly sand to dense sand	7	$I_c < 1.31$





# Stima dei parametri geotecnici da CPT

La densità relativa ( $D_R$ ) per le classi SBTn 5, 6, 7 e 8 può valutarsi con la relazione di Lancellotta (1983)

$$D_R = 68 \left[ \log \left( \frac{q_t}{\sqrt{\sigma_{atm} \sigma'_{v0}}} \right) - 1 \right]$$

La tensione di preconsolidazione  $\sigma'_p$  può essere valutata mediante Mayne (2007), applicabile per tutti i materiali (informazione al più da integrare con quanto ottenuto in laboratorio con prova edometrica)

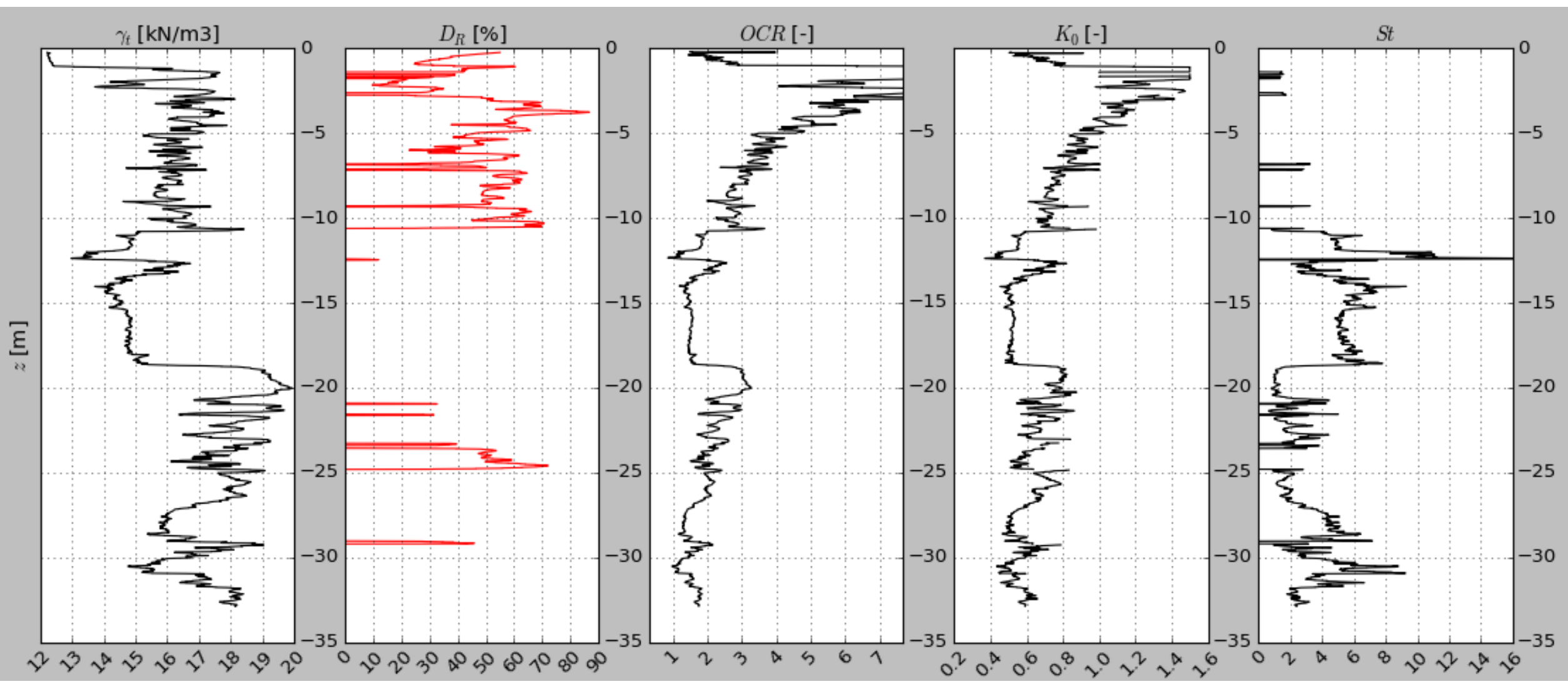
$$\sigma'_p = 0.101 \sigma_{atm}^{0.102} G_0^{0.478} \sigma'_{v0}{}^{0.420}$$

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$$

$$G_0 = (q_t - \sigma_{v0}) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55I_c + 1.68} \quad (\text{Robertson P.K., 2009})$$

La tensione geostatica efficace laterale può essere ricavata con la nota relazione di  $K_0$  (Mayne and Kulhawy, 1982) per classi SBTn classes 1,2,3,4 and 9. In caso di sabbie, tale espressione può ancora essere usata ma il valore massimo suggerito per  $K_0$  è 1.5.

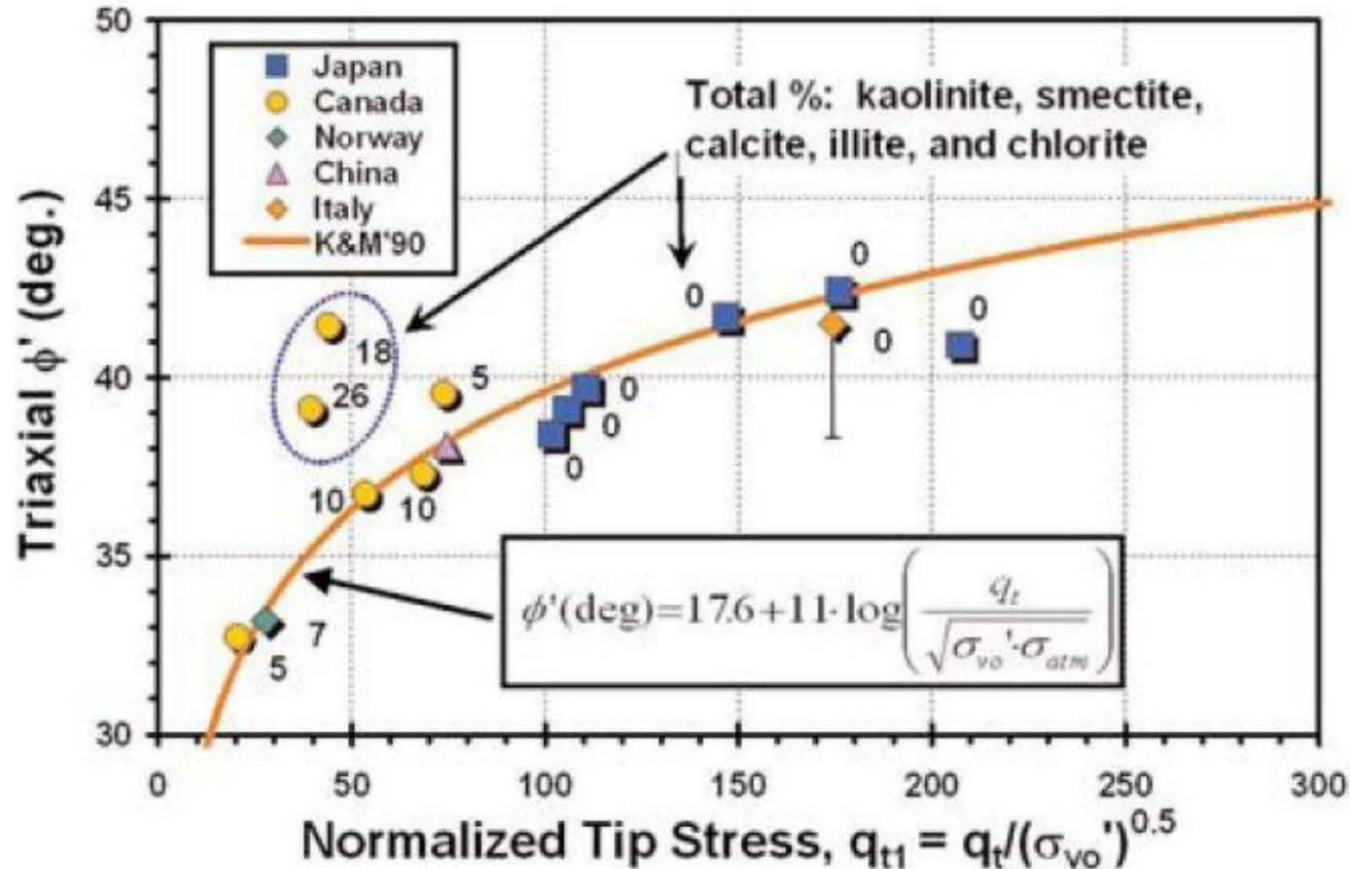
$$\frac{\sigma'_{h0}}{\sigma'_{v0}} = K_0 = (1 - \sin \varphi') OCR^{\sin \varphi'}$$



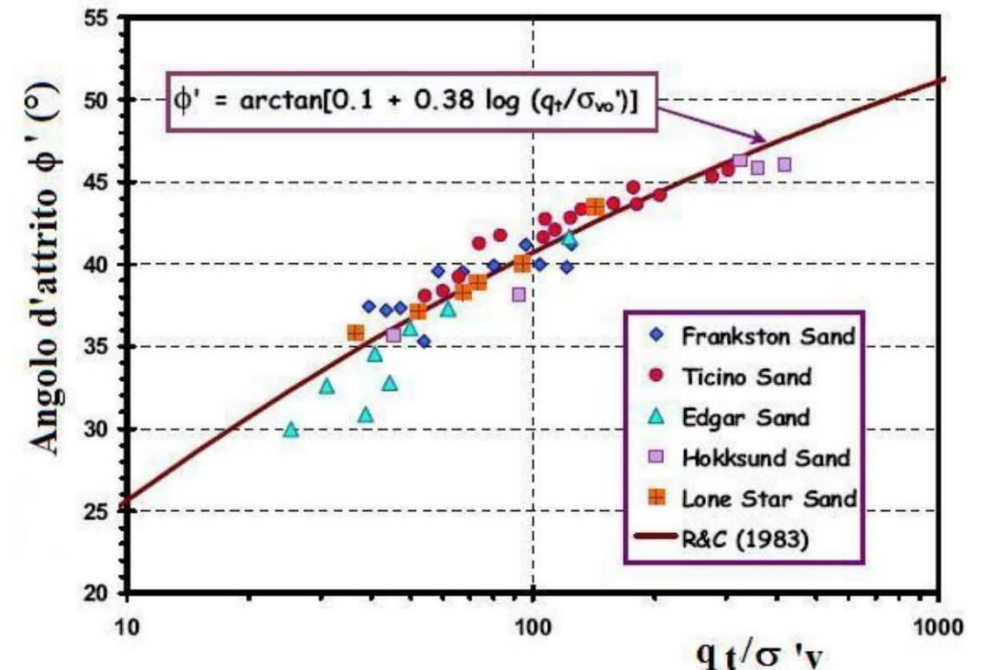
# Stima dei parametri geotecnici da CPT

L'angolo di resistenza al taglio per le classi SBTn 5,6,7 e 8 può essere ricavato con l'equazione proposta da Kulhawy and Mayne (1990). Correlazione sviluppata a partire dai risultati di prove triassiali su campioni di sabbia Giapponesi e campionati mediante la tecnica del congelamento.

$$\phi'(^{\circ}) = 17.60^{\circ} + 11^{\circ} \log \left( \frac{q_t}{\sqrt{\sigma_{v0}' \cdot \sigma_{atm}}} \right)$$



Una correlazione alternativa è quella di Robertson and Campanella (1983) molto usata nella pratica e ottenuta da prove in CC

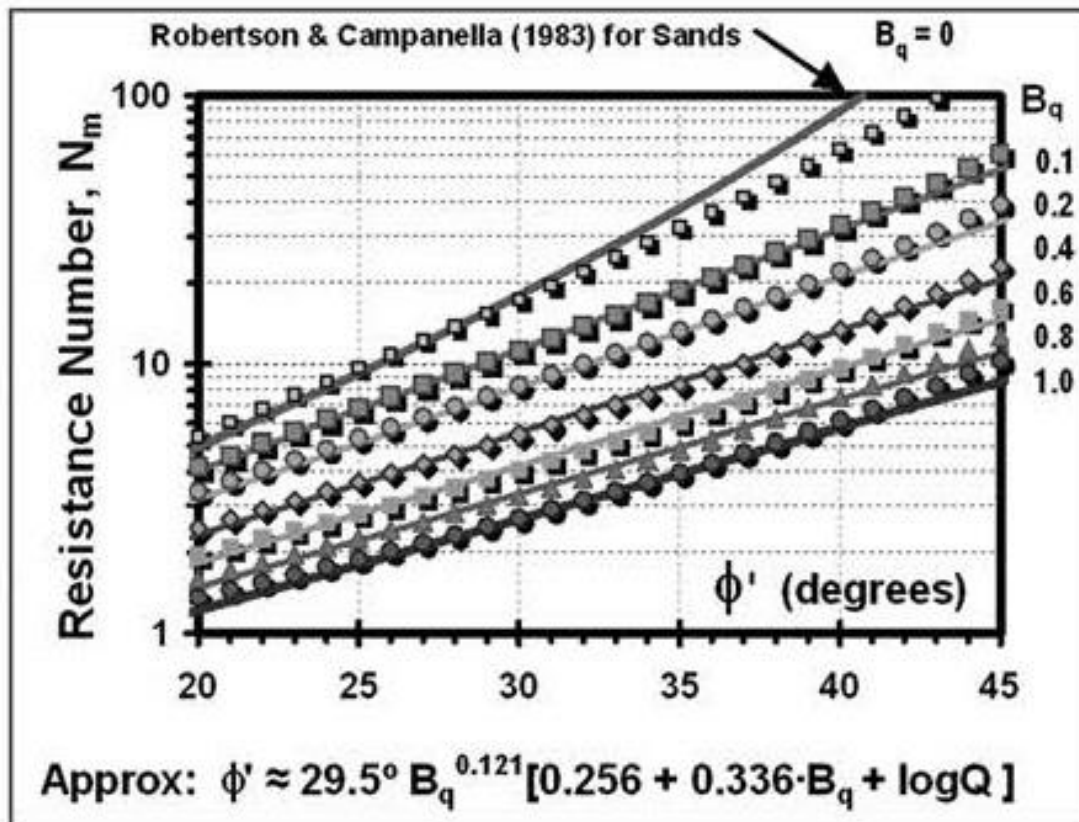


# Stima dei parametri geotecnici da CPT

Per terreni a gran fine (SBTn 1,2,3,4,9) l'angolo di resistenza al taglio può stimarsi con la relazione di Mayne and Campanella (2005). Attenzione all'uso di questa relazione in caso di terreni parzialmente saturi.

$$\phi' = 29.5^\circ B_q^{0.121} (0.256 + 0.336 B_q + \log Q)$$

Questa relazione è applicabile quando  $0.10 < B_q < 1.00$  e  $20^\circ < \phi' < 45^\circ$ .



## Notes for NTNU Method:

1. Define Cone Resistance Number:  $N_m = (q_t - \sigma_{vo}) / (\sigma_{vo}' + a')$
2. Attraction:  $a' = c' \cot \phi'$  where  $\phi'$  = effective friction angle and  $c'$  = effective cohesion intercept.
3. For case where  $a' = c' = 0$ :  $N_M = Q = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma_{vo}'$
4. Define Porewater Pressure Parameter:  $B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma_{vo})$
5. Approximate Expression Given for Ranges:  $0.1 < B_q < 1.0$  and  $20^\circ < \phi' < 45^\circ$

# RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA ( $c_u - s_u$ ) DA PROVE CPT

## INTERPRETAZIONE SEMI-EMPIRICA

$$s_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N}$$

- Argille tenere:  $N = 14 \pm 4$
- Argille sovraconsolidate:  $N = 17 \pm 5$
- Argille fessurate:  $N = 10 \div 30$

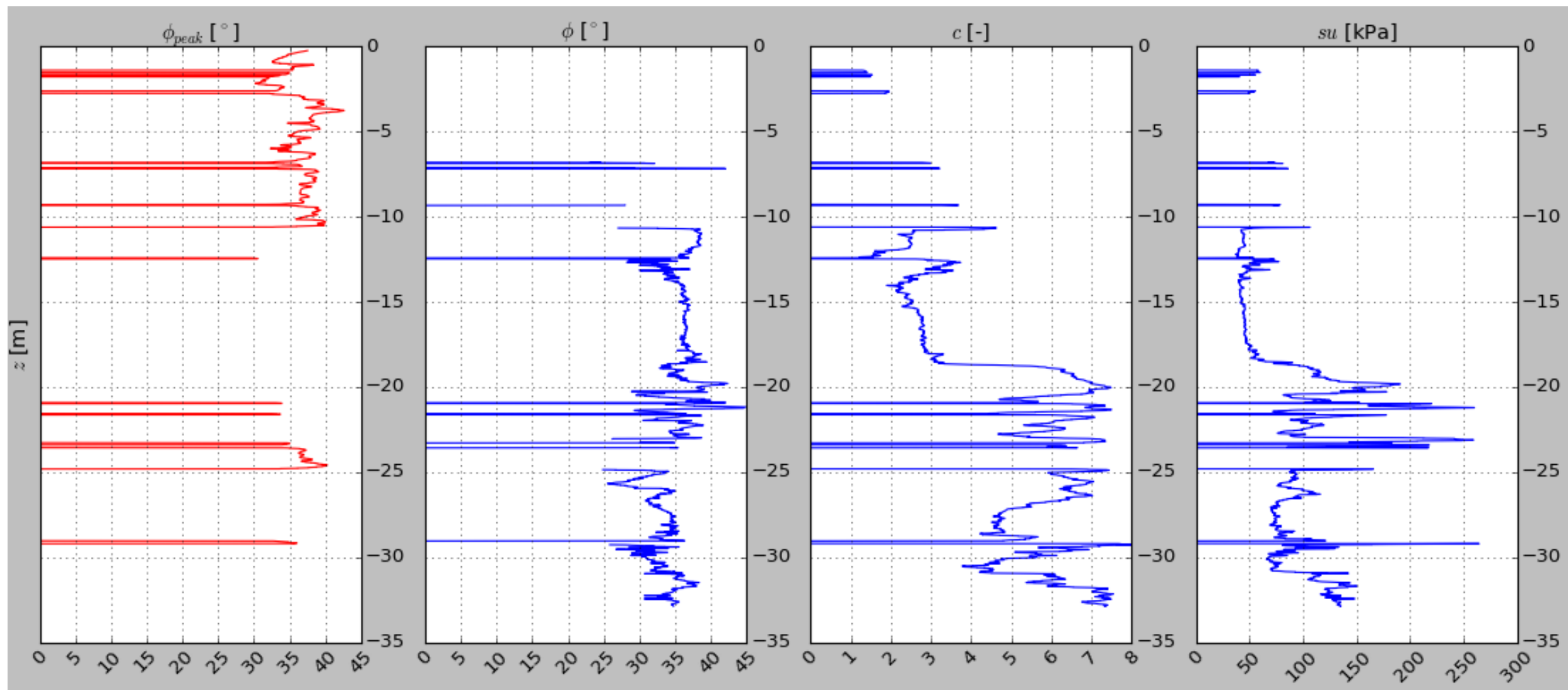
Where  $N_{kt}$  is the cone factor that depends on soil stiffness, OCR and soil sensitivity.

But soil sensitivity has the largest influence

$$N_{kt} = 10.5 + 7 \log(F_r)$$

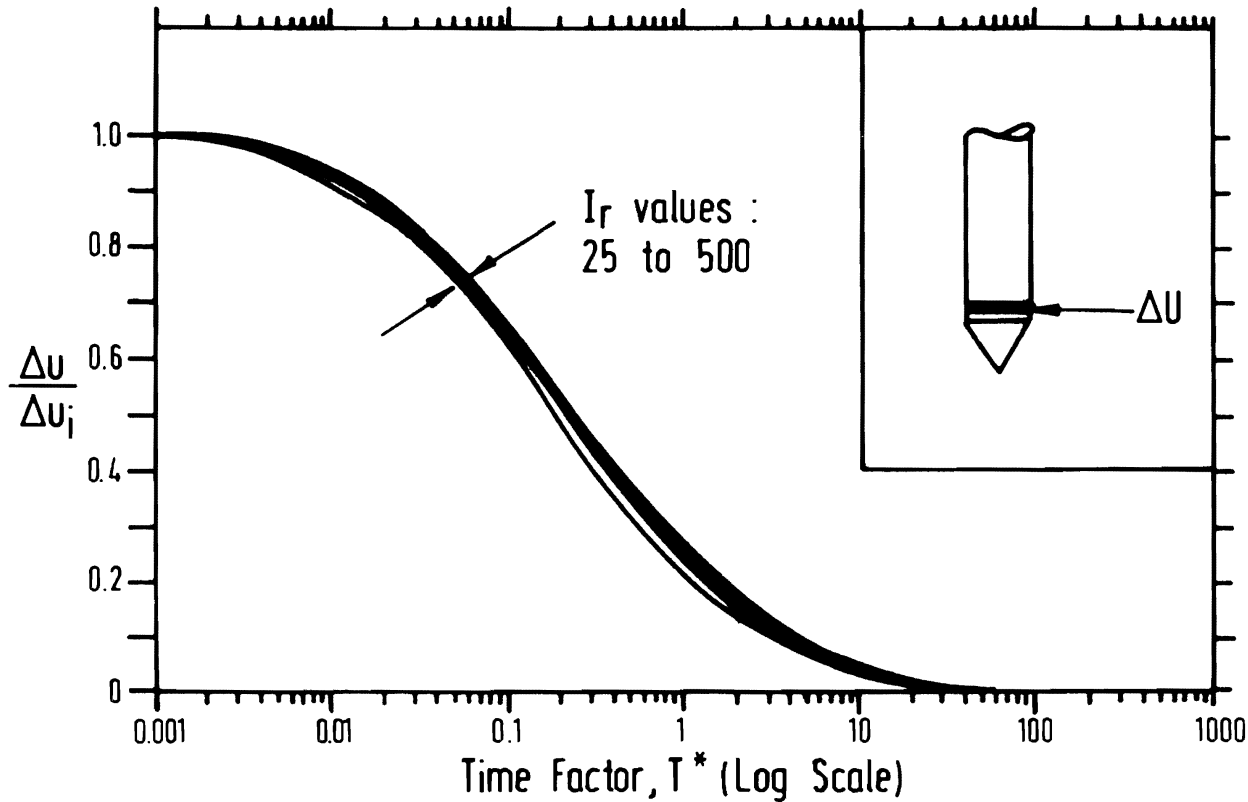
$$F_r = [(f_s / (q_t - \sigma_{vo}))] 100\%$$





# Prova di Dissipazione

$$\frac{\Delta u_t}{\Delta u_i} = \frac{(u_2 - u_0)_t}{(u_2 - u_0)_i}$$



La soluzione proposta da Teh and Houlsby (1991)

$$T^* = \frac{c_h t}{a_c^2 \sqrt{I_r}}$$

$$c_h = \frac{T_{50} \cdot a_c^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t_{50}}$$

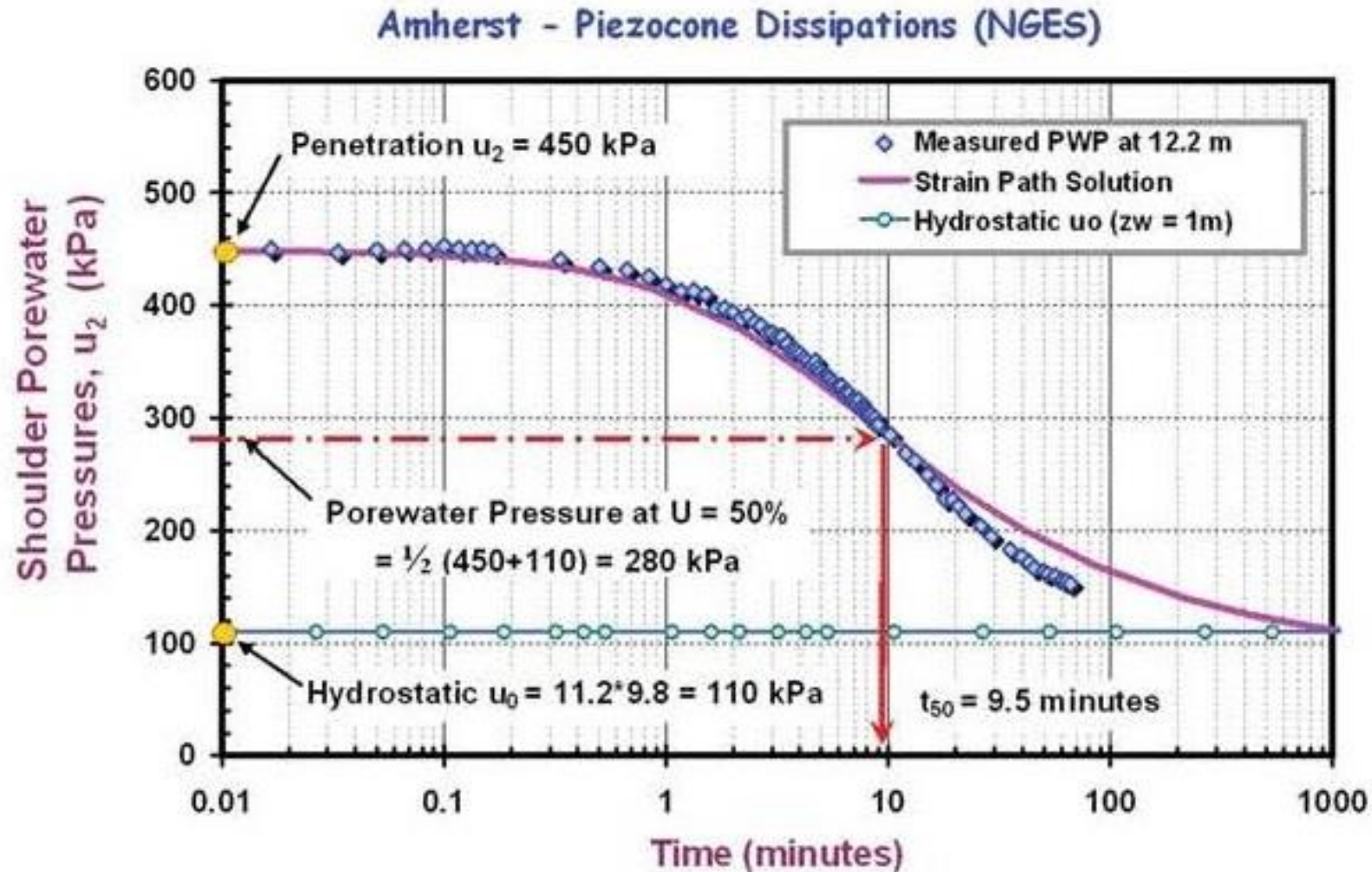
$$I_r = \frac{G}{s_u} \text{ (rigidity index)}$$

$a_c$  raggio della punta conica

$t_{50}$  è il tempo trascorso dall'inizio della prova al momento in cui la sovrappressione dell'acqua si è dissipata del 50%

$T_{50} = 0.245$  è il fattore di tempo adimensionale corrispondente al 50% della dissipazione della  $u_2$

# Prova di Dissipazione



$$c_h = \frac{T_{50} \cdot a_c^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t_{50}}$$

Measured dissipation at Amherst NGES and definition of  $t_{50}$  at 50% consolidation.

# SPT - Prova penetrometrica dinamica

## Scopi della prova SPT:

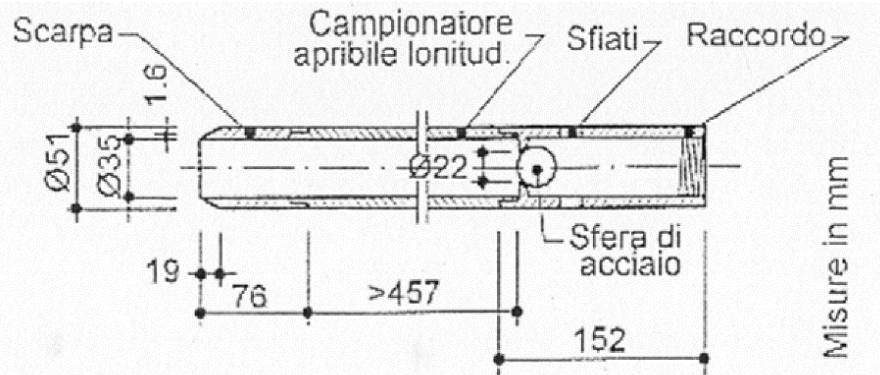
1. Fornisce un campione di terreno disturbato per la valutazione del contenuto d'acqua e la classificazione in laboratorio.
2. Ricostruzione del profilo stratigrafico (valutazione indiretta -> interpretazione risultati prova)
3. Resistenza del terreno e stato di addensamento
4. Progettazione di fondazioni superficiali e fondazioni su pali
5. Valutazione del potenziale di liquefazione di sabbie (liquefazione indotta da sisma)

## Campo di applicazione della prova SPT:

Depositi con materiale a grana grossa, tuttavia in caso di ghiaie e ciottoli è possibile che la prova vada a rifiuto o addirittura che si arrivi a danneggiare l'attrezzatura di prova.

# SPT – Attrezzatura di Prova

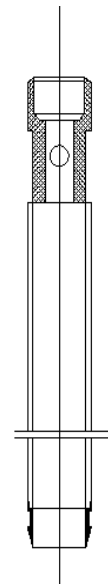
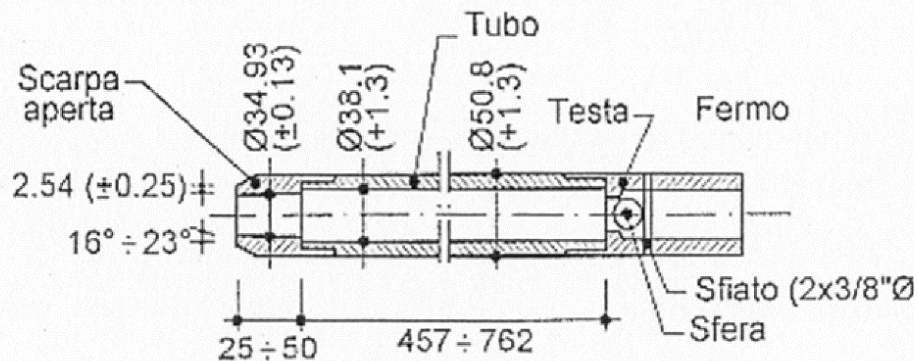
## Campionatore ISSMGE - ISSMGE (1998)



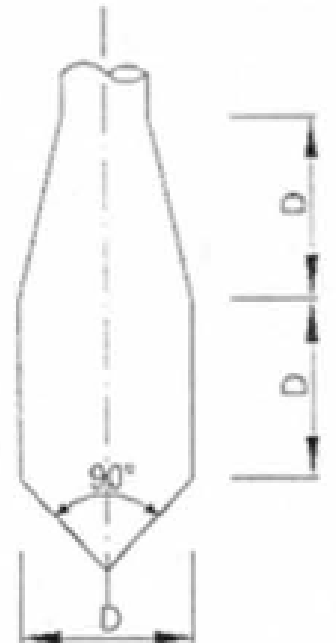
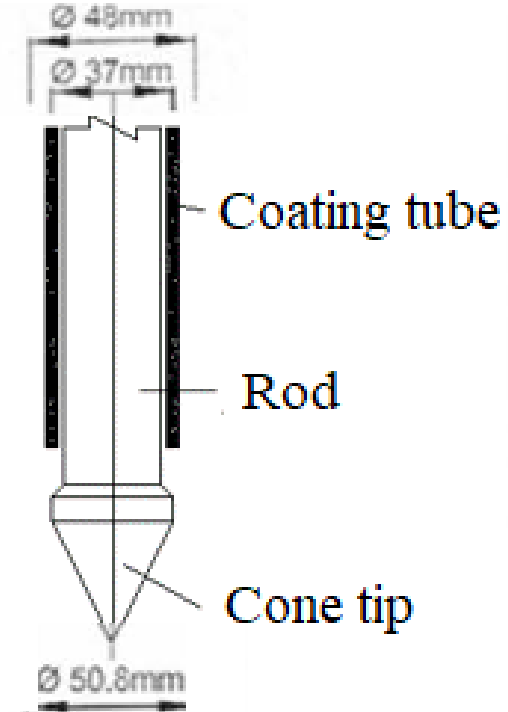
DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)  
Continuous Dynamic Penetrometric Test

ISSMGE

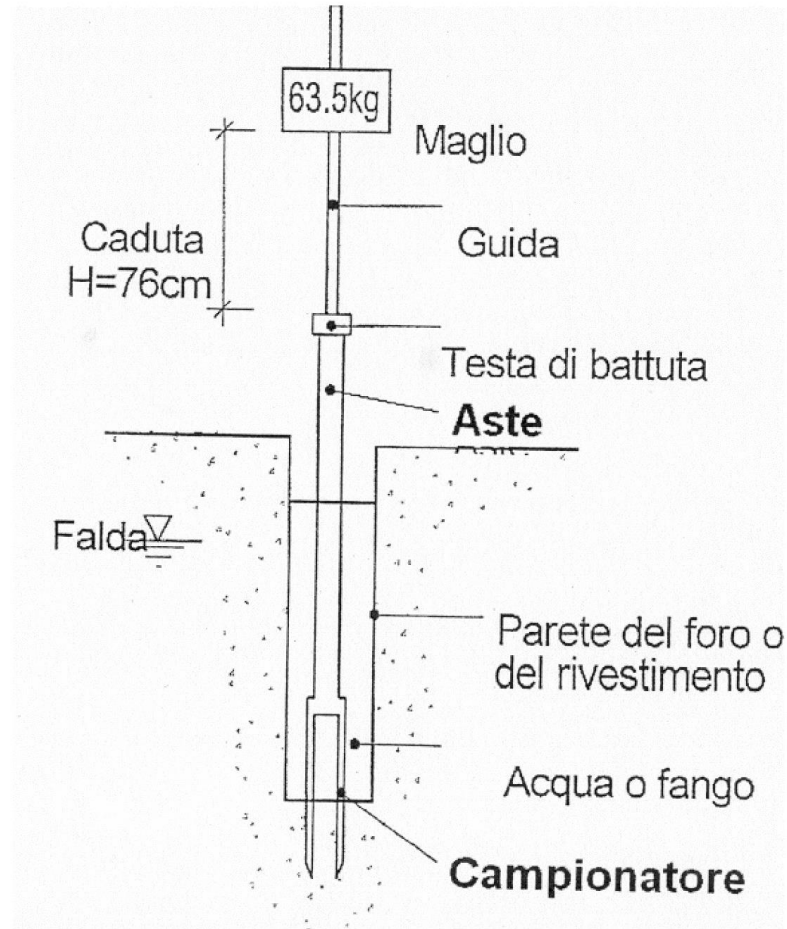
## Campionatore Raymond ASTM D1586



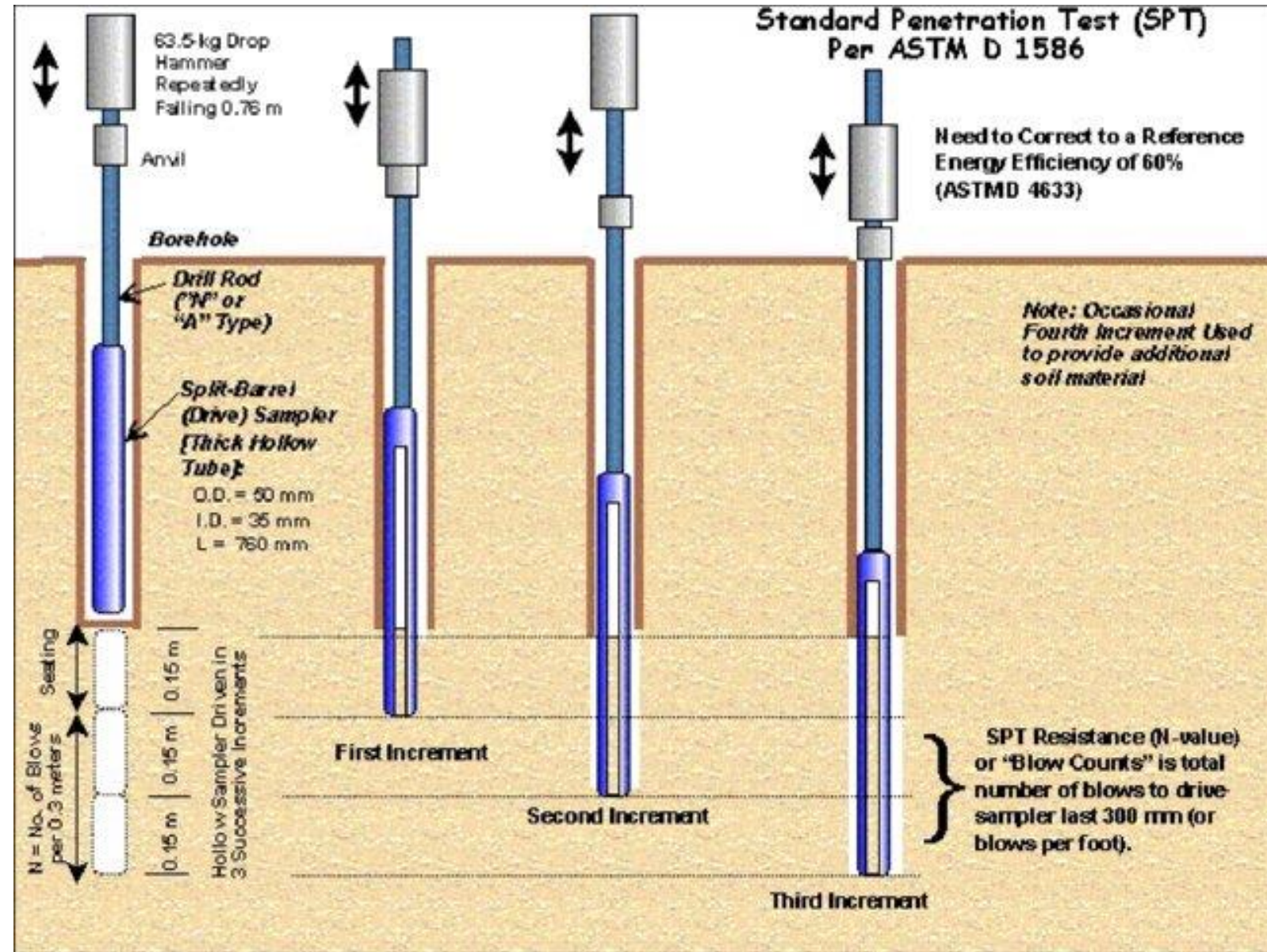
Meardi - AGI



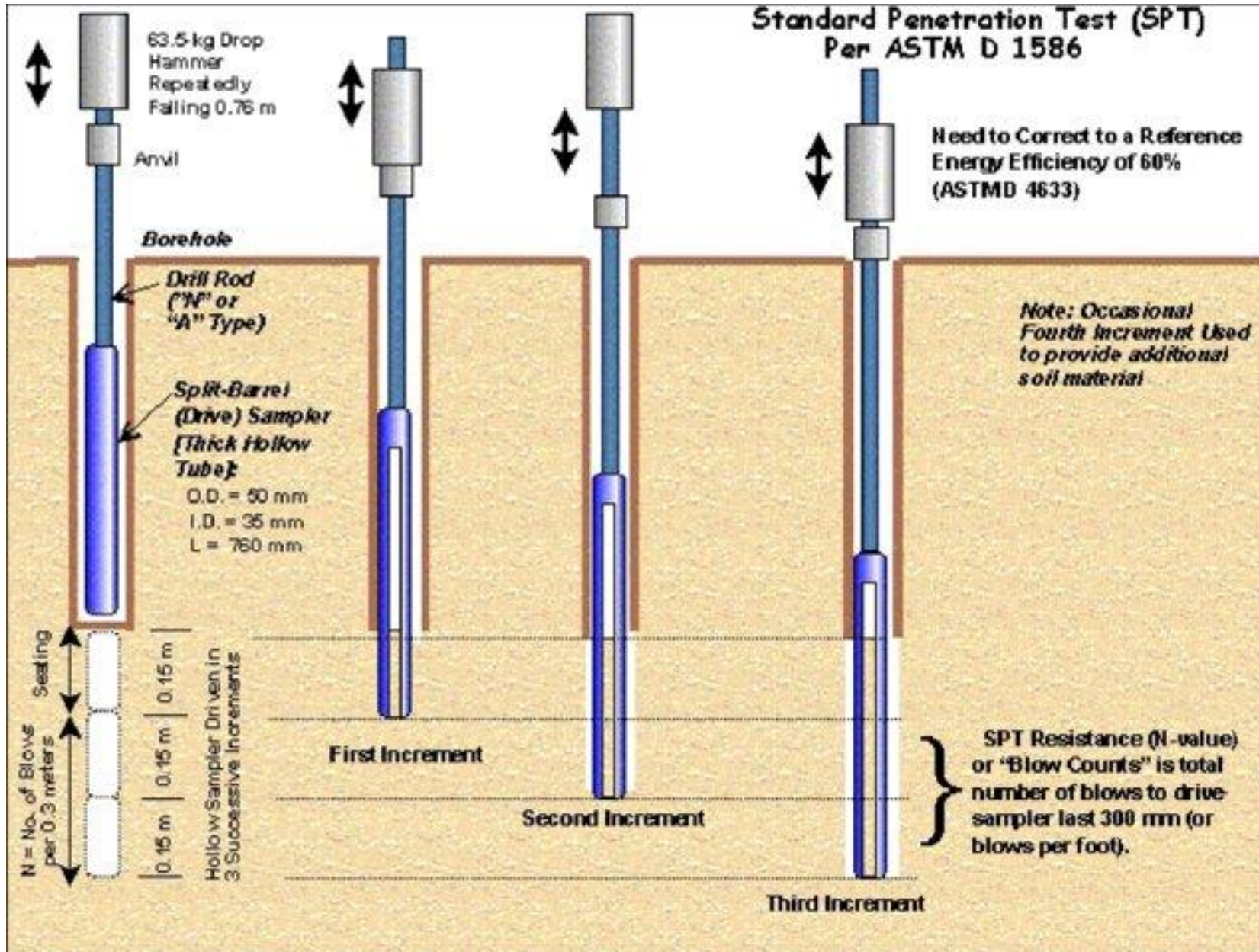
# SPT – Esecuzione della prova



Schema della prova SPT



# SPT – Interpretazione



MISURA

$$N_{SPT} \\ (N_2 + N_3)$$

CORREZIONE

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$$

60 è la percentuale dell'energia teorica di caduta del maglio

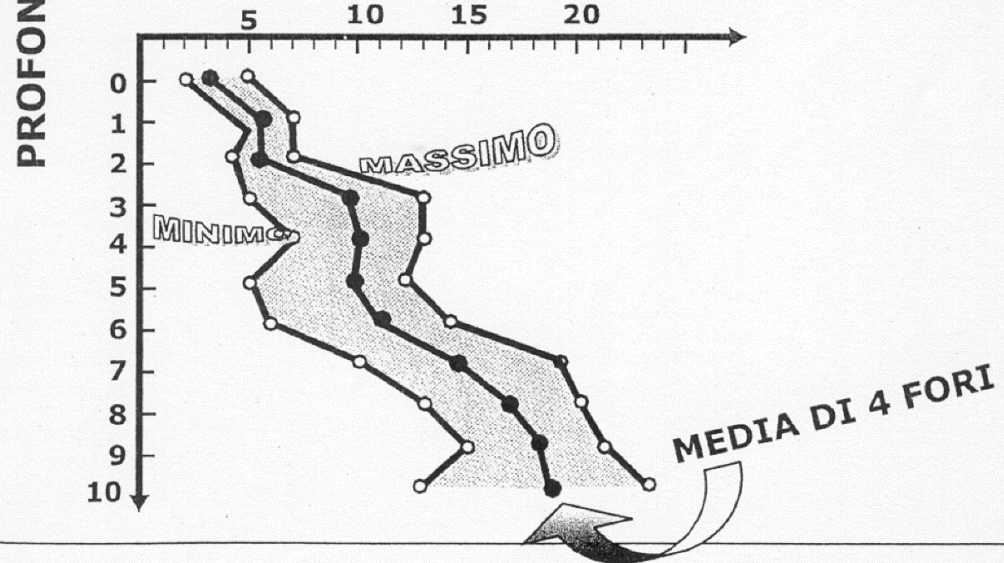
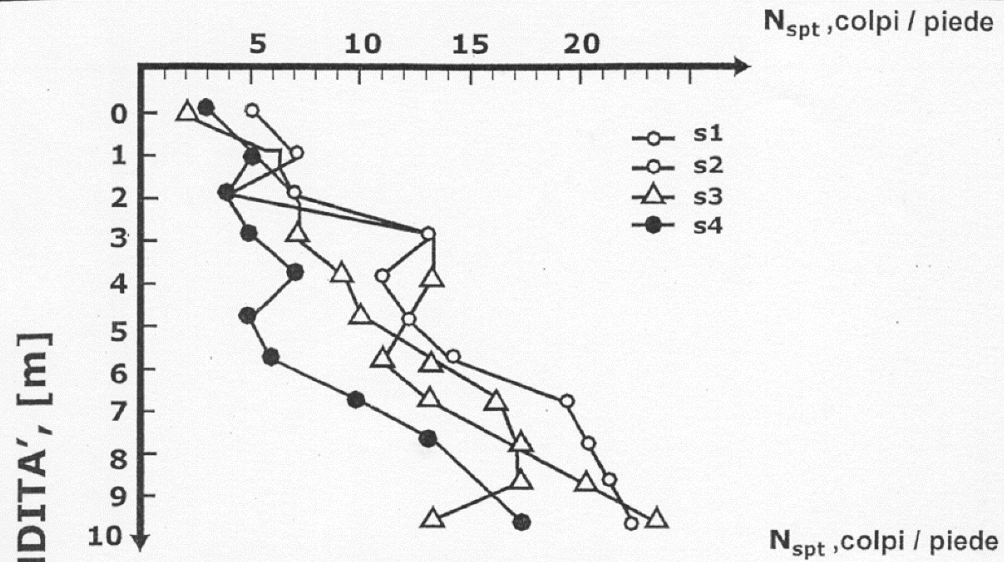
$$C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{1/2};$$

Correzione ad una pressione di riferimento di 100 kPa (1 atm)

$$C_E = ER/60$$

Correzione Efficienza

# RISULTATI DELLE PROVE SPT





# SPT - Interpretazione

$$e_{max} - e_{min} = 0.23 + \frac{0.06}{D_{50}}$$

$$1. \quad \bar{\varphi} = 28 + 0.14 \cdot D_R$$

$$2. \quad \bar{\varphi} = 31.5 + 0.115 \cdot D_R$$

$$3. \quad \bar{\varphi} = 34.5 + 0.10 \cdot D_R$$

$$4. \quad \bar{\varphi} = 38 + 0.08 \cdot D_R$$

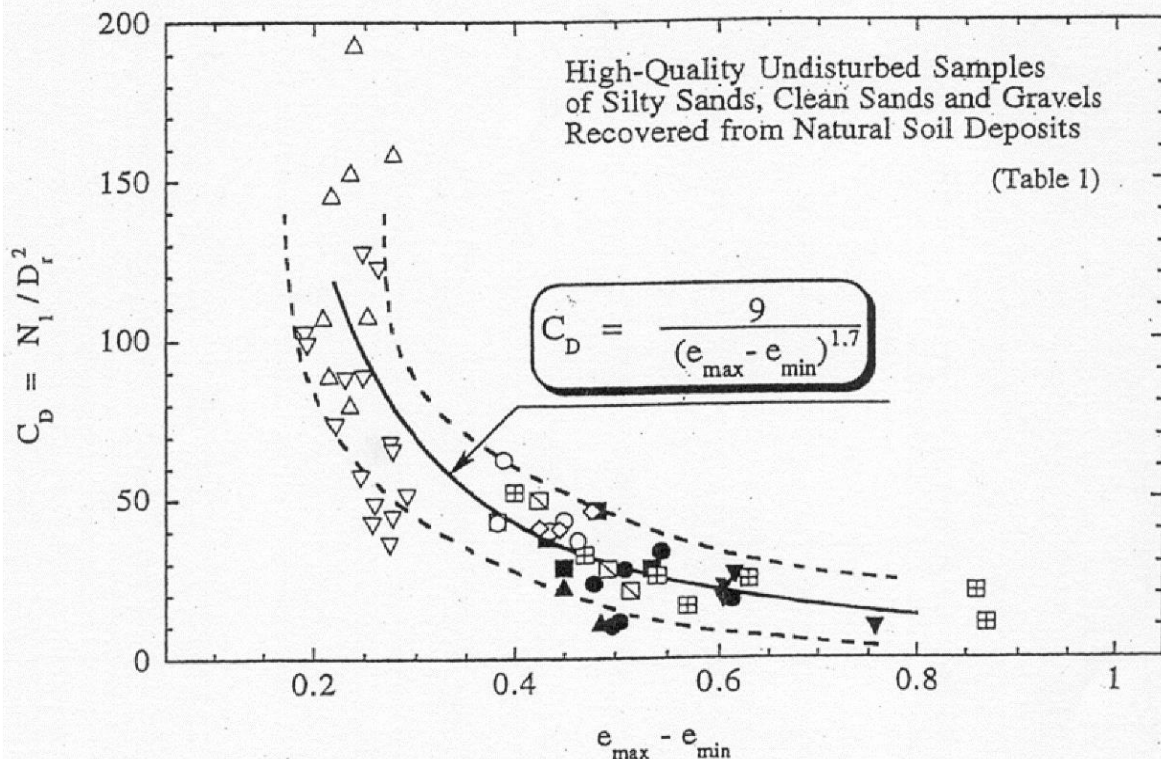
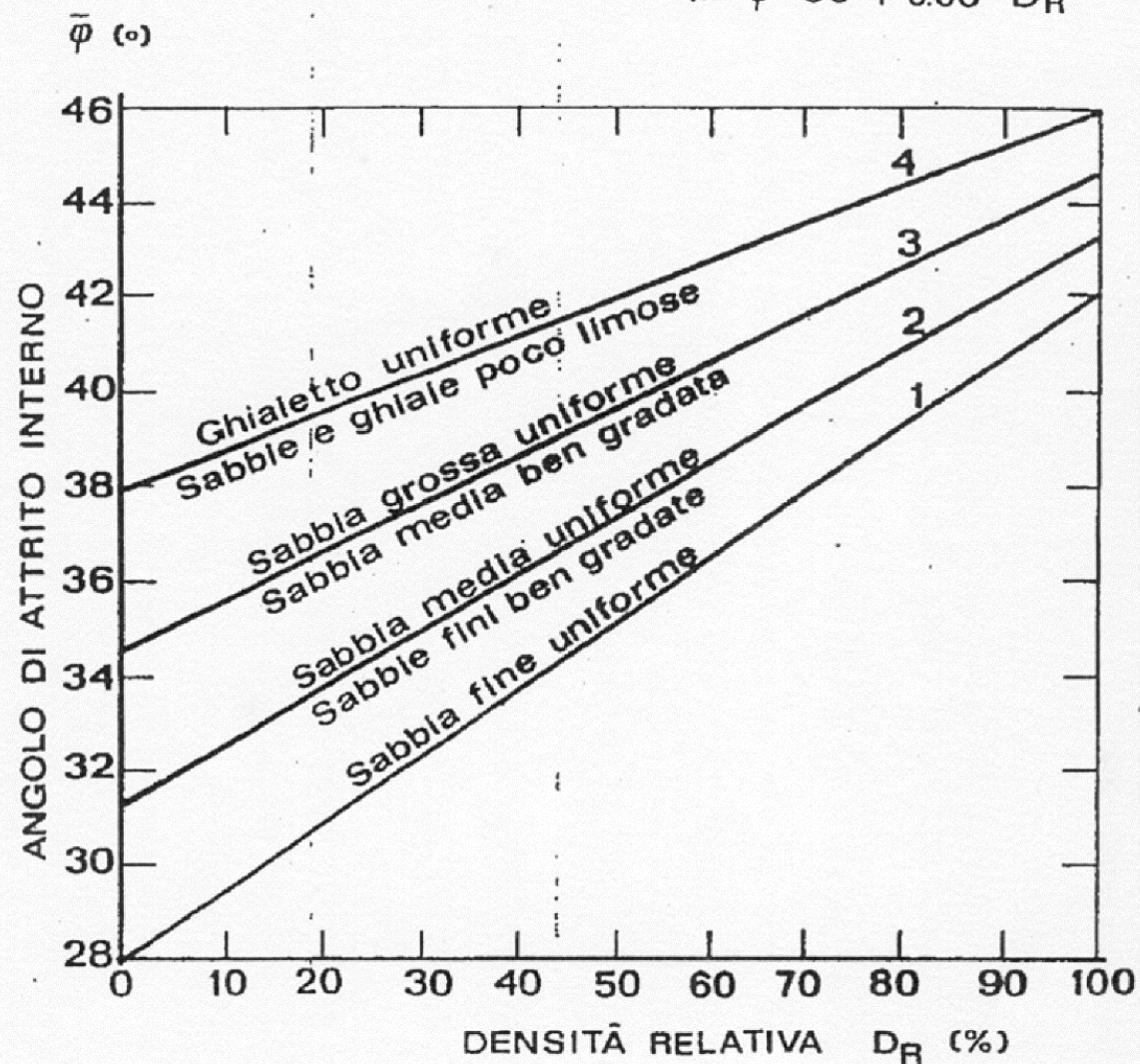


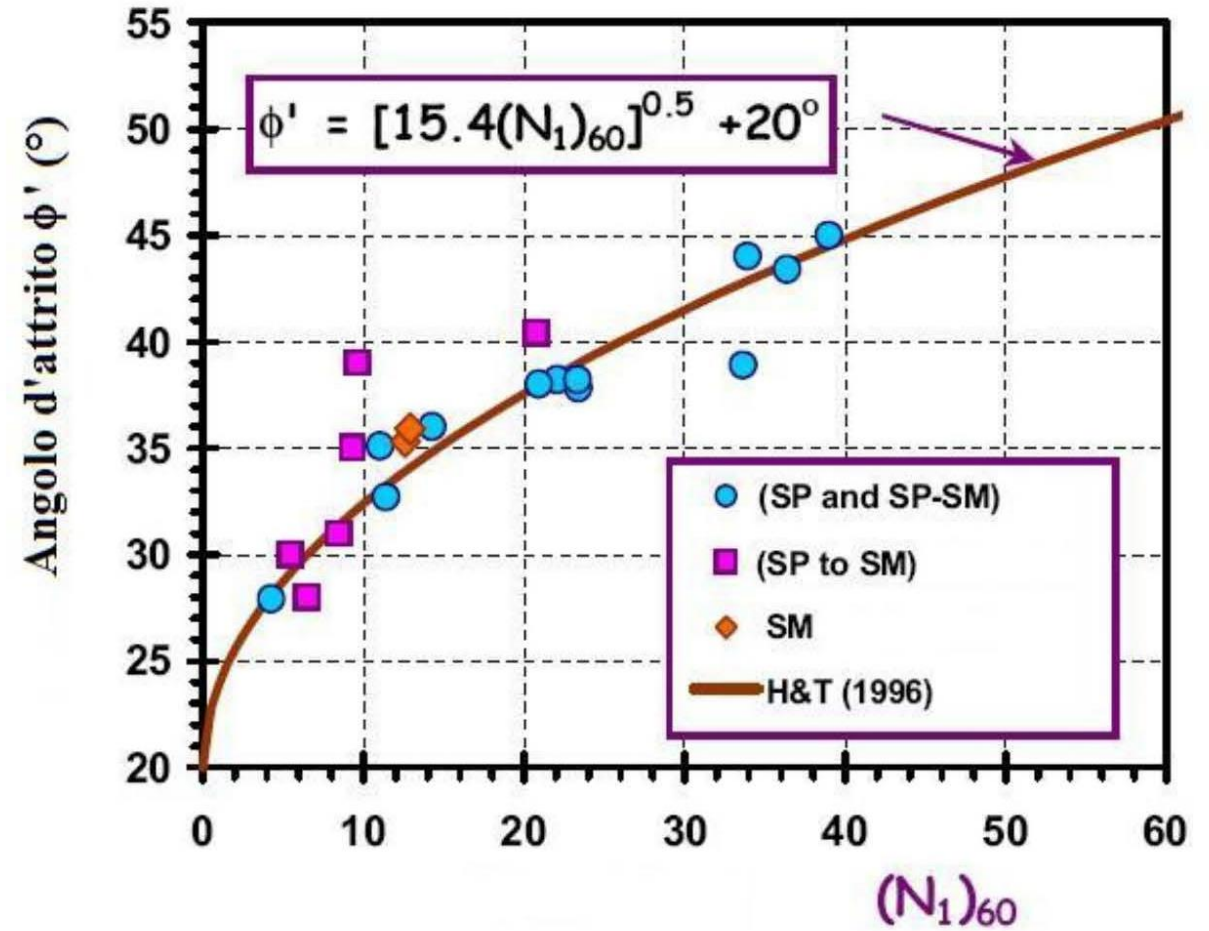
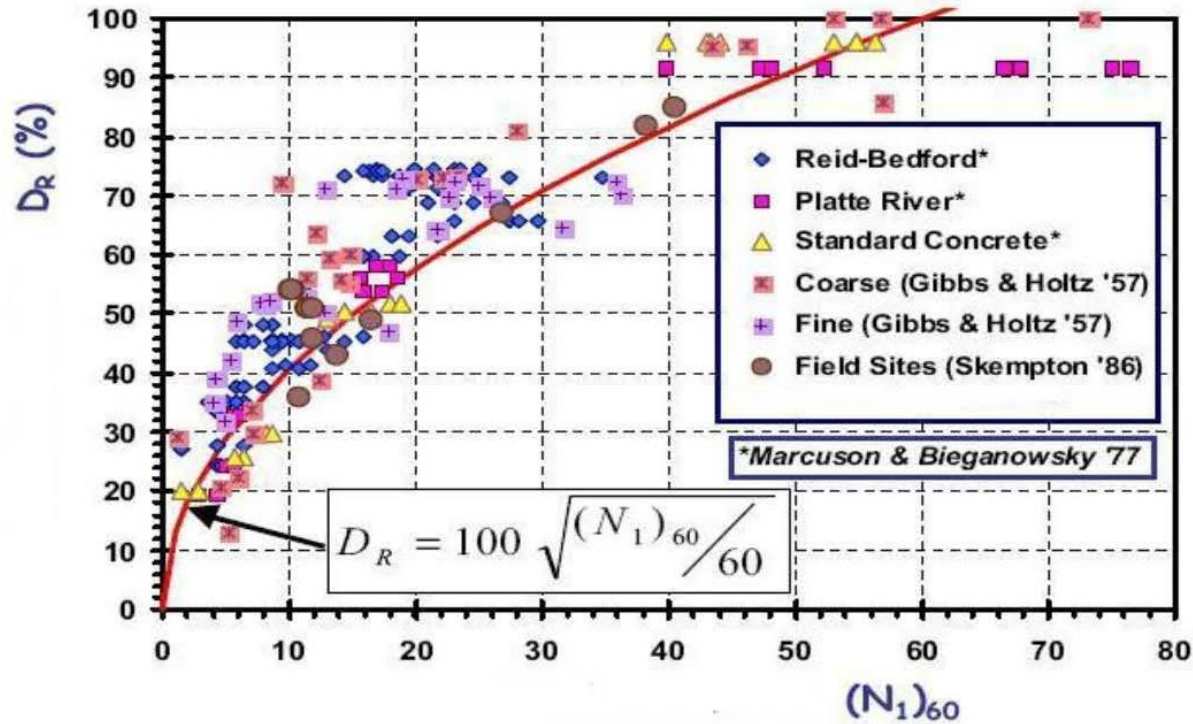
Fig. 6. Relationship between  $N_1/D_r^2$  and void ratio range

CUBRINOWSKI E ISHIHARA 1999

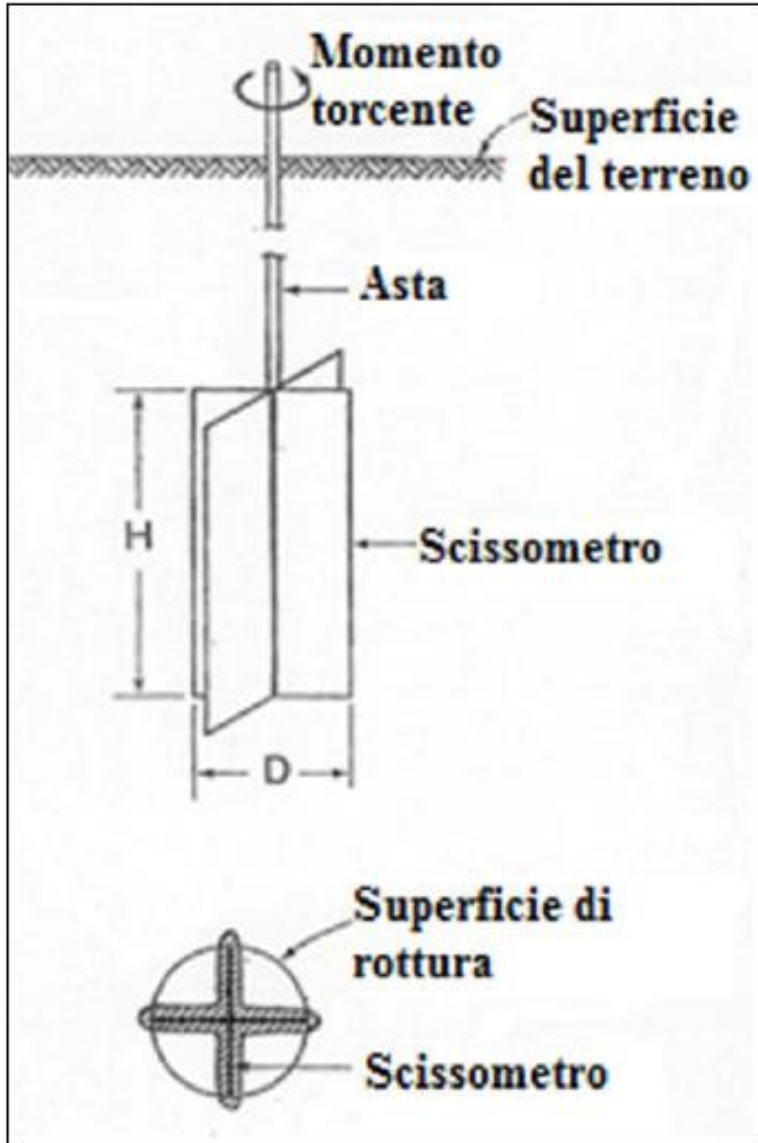


# SPT – Interpretazione

$$D_R = 100 \sqrt{\frac{N_{1(60)}}{60}}$$



# Prova Scissometrica - FVT



## Field Vane Test – Materiali Coesivi

ASTM D2573

$H = 110-130 \text{ mm}; D = H/2$

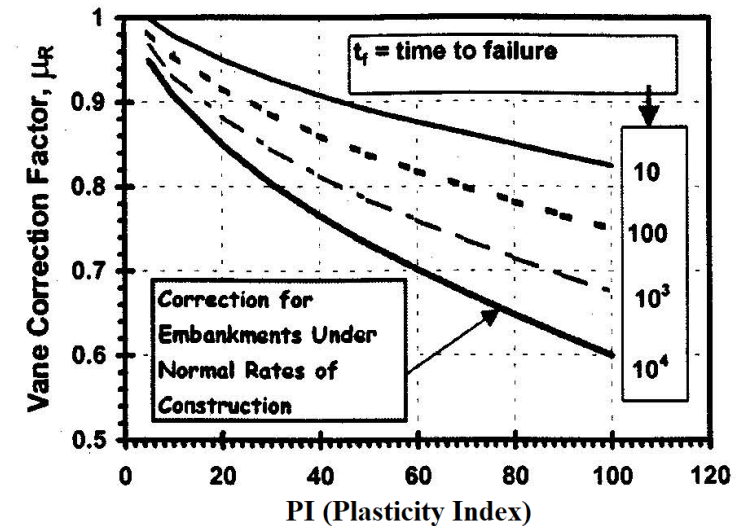
Momento torcente applicato allo scissometro ad una velocità di 0.1 deg/sec (=6 deg/min)

### Resistenza al taglio non drenata

- $S_u = 6 T_{\max} / 7\pi D^3$

### Sensitività:

- $S_t = S_u \text{ (peak)} / S_u \text{ (remolded)}$



Proposed Correction Factor to Raw Field Vane Shear Data from Plasticity Index (after Chandler, 1988)

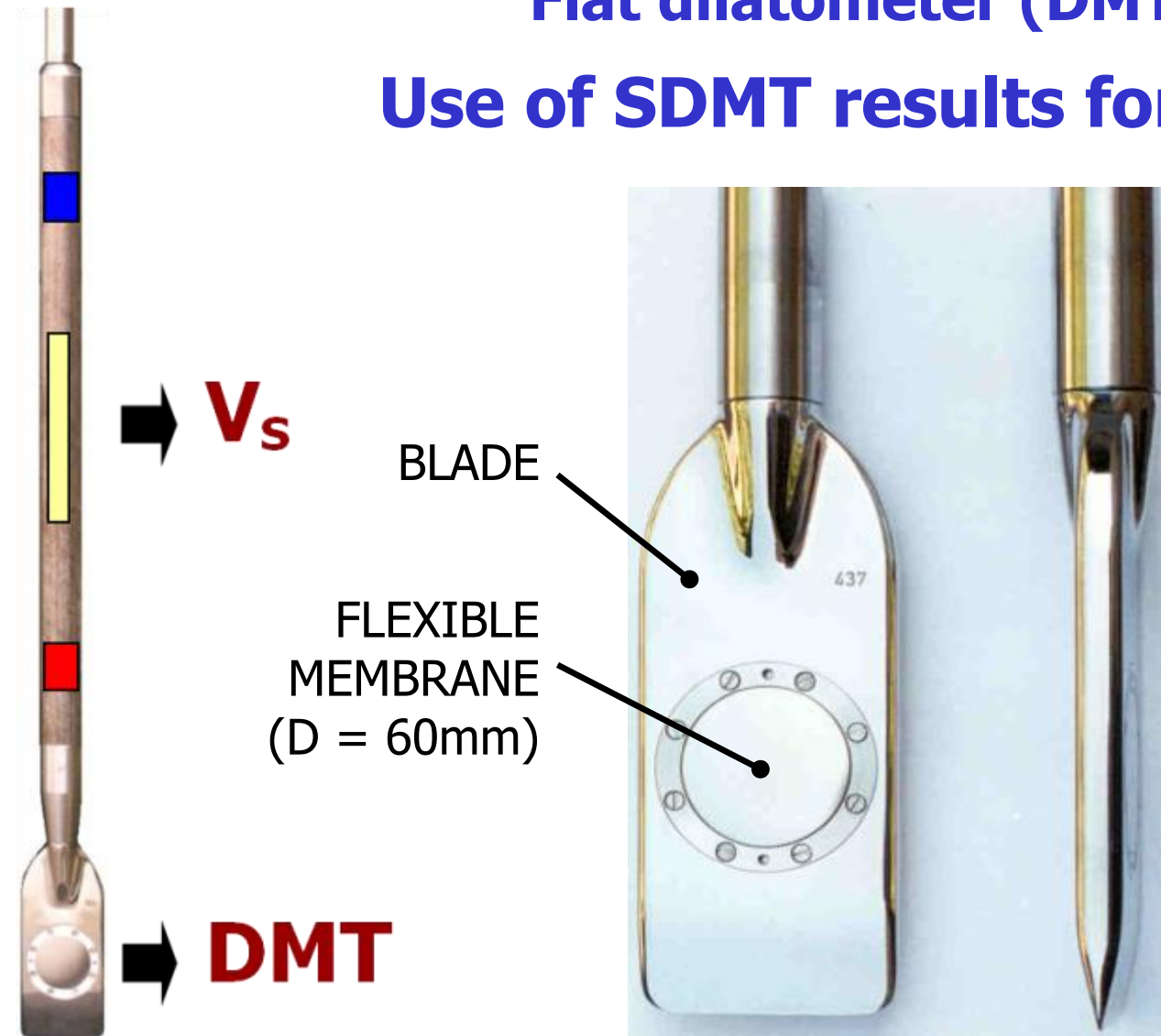
### Correzione all' $S_u$ misurata:

$$S_{u,c} = \mu_r S_u$$

# DMT

## Flat dilatometer (DMT) & Seismic DMT (SDMT)

### Use of SDMT results for engineering applications



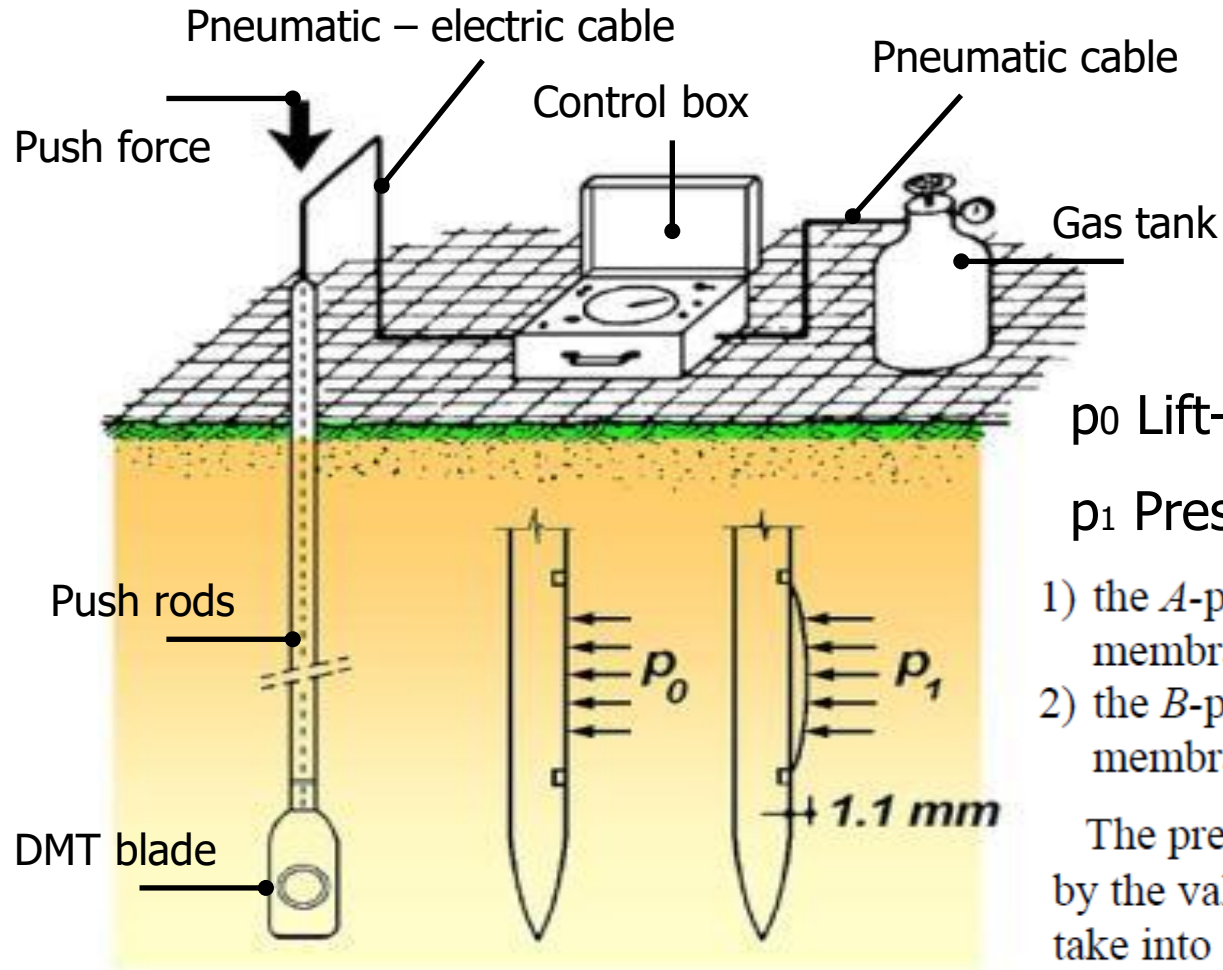
#### DILATOMETER BLADE

##### Blade and membrane characteristics

The nominal dimensions of the blade are 95 mm width and 15 mm thickness. The blade has a cutting edge to penetrate the soil. The apex angle of the edge is  $24^\circ$  to  $32^\circ$ . The lower tapered section of the tip is 50 mm long. The blade can safely withstand up to 250 kN of pushing thrust.

The circular steel membrane is 60 mm in diameter. Its normal thickness is 0.20 mm (0.25 mm thick membranes are sometimes used in soils which may cut the membrane). The membrane is mounted flush on the blade and kept in place by a retaining ring.

# DMT TEST LAYOUT & COMPONENTS



$p_0$  Lift-off pressure

$p_1$  Pressure for 1.1 mm expansion

- 1) the  $A$ -pressure, required to just begin to move the membrane against the soil ("lift-off")
- 2) the  $B$ -pressure, required to move the center of the membrane 1.1 mm against the soil.

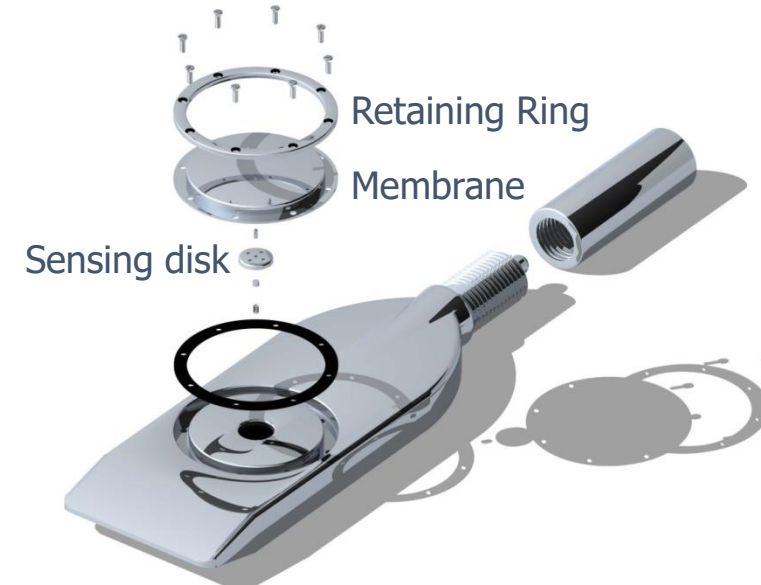
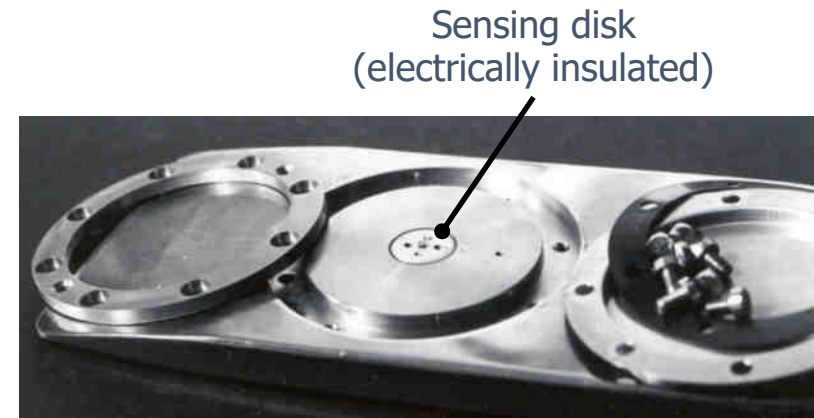
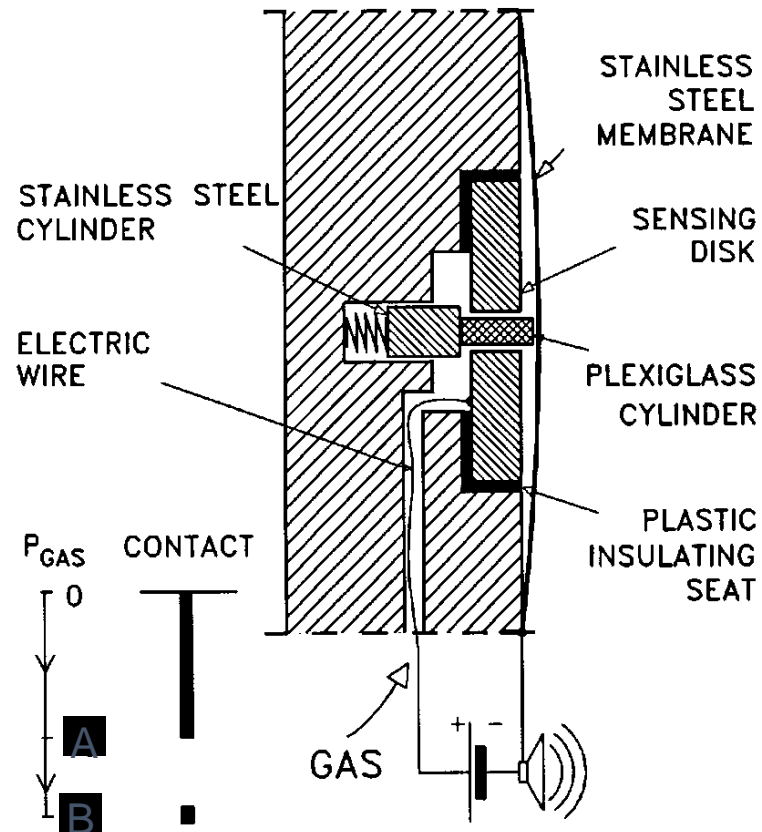
The pressure readings  $A$ ,  $B$  must then be corrected by the values  $\Delta A$ ,  $\Delta B$  determined by calibration, to take into account the membrane stiffness, and converted into  $p_0$ ,  $p_1$ .



Measurements performed after penetration → independent from insertion method

# DMT WORKING PRINCIPLE

## WORKING PRINCIPLE



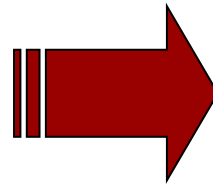
Blade is like an electrical switch, can be off or on

# DMT INTERMEDIATE PARAMETERS

DMT Readings

$P_0$

$P_1$



Intermediate Parameters

$I_d$ : Material Index

$K_d$ : Horizontal Stress Index

$E_d$ : Dilatometer Modulus

## Id: Material Index

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0}$$

clay  $0.1 < I_D < 0.6$   
 silt  $0.6 < I_D < 1.8$   
 sand  $1.8 < I_D < (10)$

## Ed: Dilatometer Modulus

$$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$$

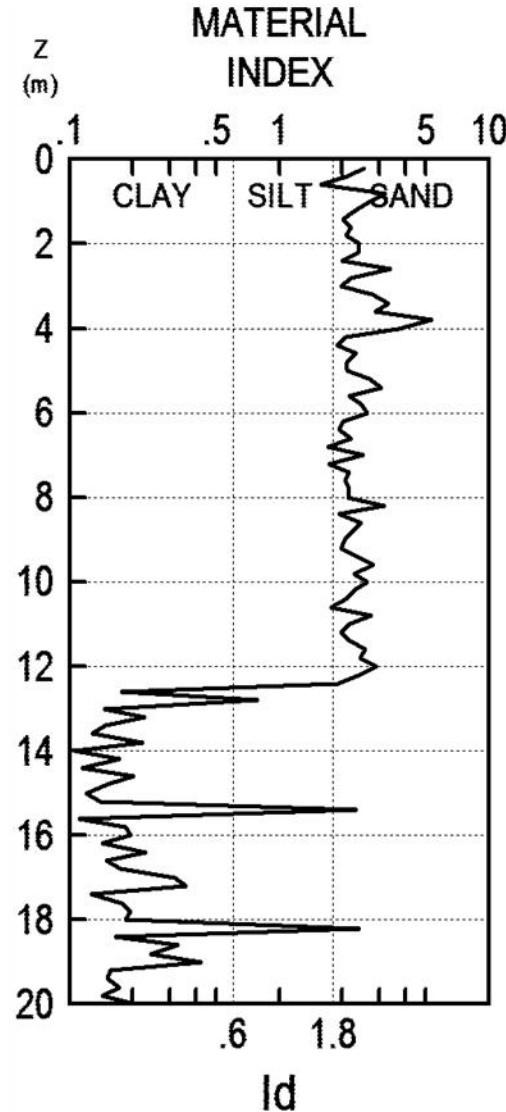
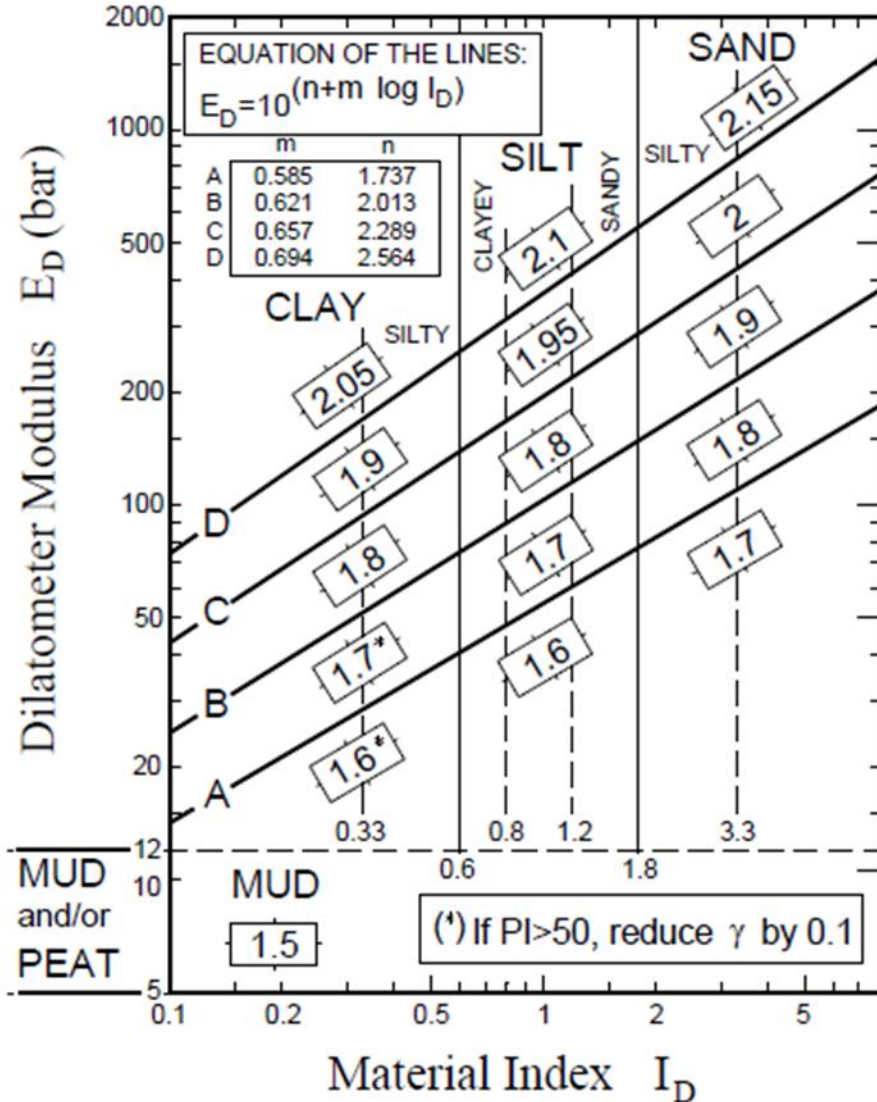
The symbol  $E_D$  should not evoke special affinity with the Young's modulus  $E'$

$$M_{DMT} = R_M E_D$$

$$E' = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} M$$

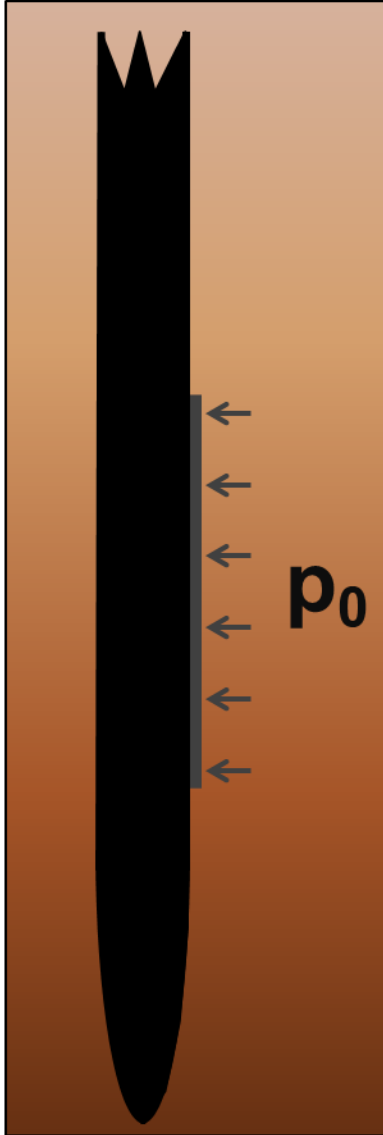
(e.g. for a Poisson's ratio  $\nu = 0.25-0.30$  one obtains  $E' \approx 0.8 M_{DMT}$ ).

### SOIL DESCRIPTION and ESTIMATED $\gamma/\gamma_w$





# **$K_D$ CONTAINS INFORMATION ON STRESS HISTORY**



$$K_D = \frac{(p_0 - u_0)}{\sigma'_v}$$

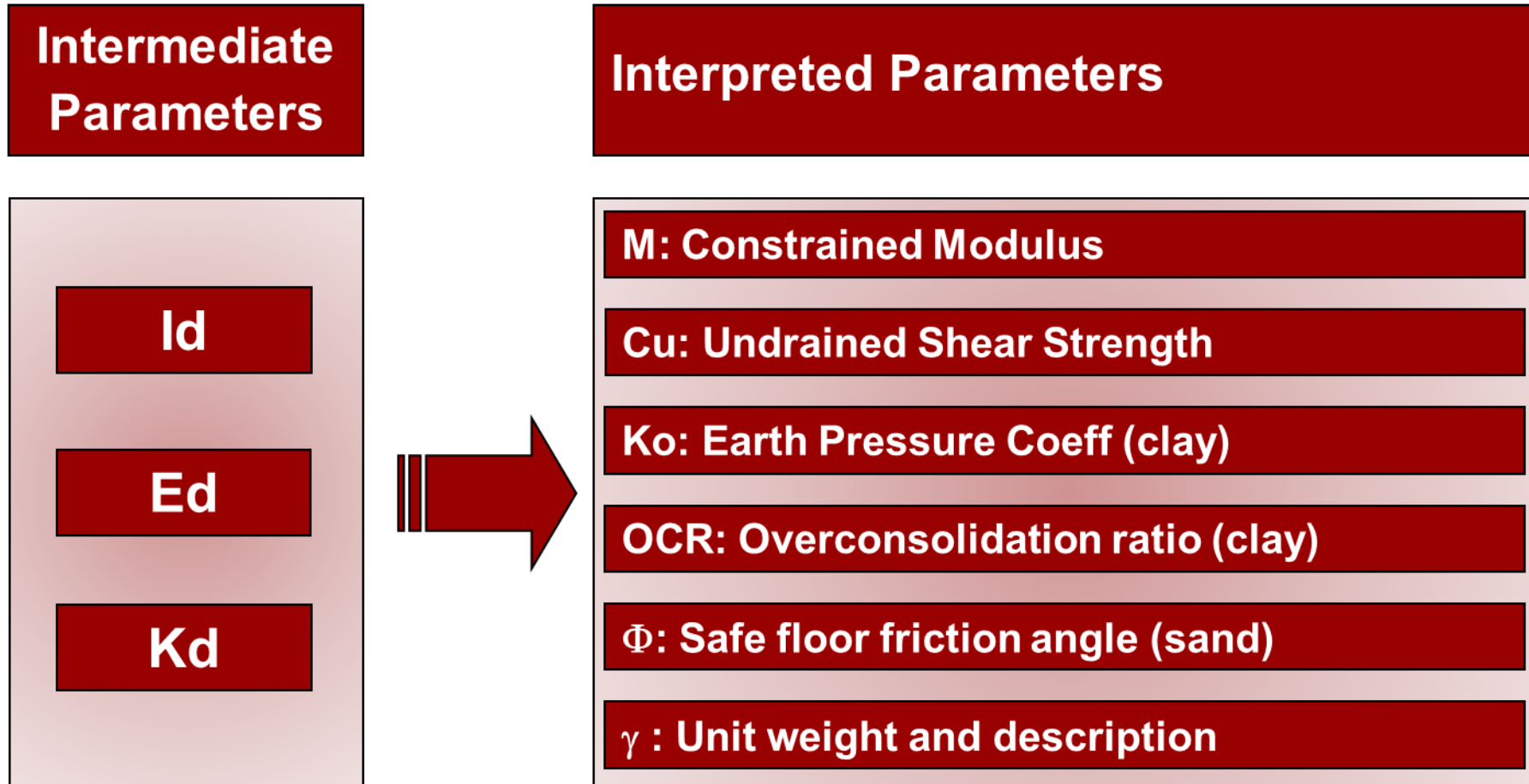
formula similar to  $K_0$ :  $(p_0 - u_0) \rightarrow \sigma'_h$

$K_D$  is an “amplified”  $K_0$ , because  $p_0$  is an “amplified”  $\sigma_h$  due to penetration

Very roughly  $K_D \approx 4K_0$  E.g. in NC  $K_0 \approx 0.5$  and  $K_D \approx 2$

$K_D$  well correlated to OCR and  $K_0$  (clay)

# DMT FORMULAE – INTERPRETED PARAMETERS



# DMT FORMULAE (1980 – TODAY)

		SYMBOL	DESCRIPTION	BASIC DMT REDUCTION FORMULAE	
<b>Po and P1</b>	}	<b>p<sub>0</sub></b>	Corrected First Reading	$p_0 = 1.05 (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 (B - Z_M - \Delta B)$	
		<b>p<sub>1</sub></b>	Corrected Second Reading	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$	
<b>Intermediate parameters</b>	}	<b>I<sub>D</sub></b>	Material Index	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	
		<b>K<sub>D</sub></b>	Horizontal Stress Index	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$	
		<b>E<sub>D</sub></b>	Dilatometer Modulus	$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	
<b>Interpreted parameters</b>	}	<b>K<sub>0</sub></b>	Coeff. Earth Pressure in Situ	$K_{0,DMT} = (K_D / 1.5)^{0.47} - 0.6$	
		<b>OCR</b>	Overconsolidation Ratio	$OCR_{DMT} = (0.5 K_D)^{1.56}$	
		<b>c<sub>u</sub></b>	Undrained Shear Strength	$c_{u,DMT} = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	
		<b>Φ</b>	Friction Angle	$\Phi_{safe,DMT} = 28^\circ + 14.6^\circ \log K_D - 2.1^\circ \log^2 K_D$	
		<b>c<sub>h</sub></b>	Coefficient of Consolidation	$c_{h,DMTA} \approx 7 \text{ cm}^2 / t_{rex}$	
		<b>k<sub>h</sub></b>	Coefficient of Permeability	$k_h = c_h \gamma_w / M_h$ ( $M_h \approx K_0 M_{DMT}$ )	
		<b>γ</b>	Unit Weight and Description	(see chart in Fig. 16)	
		<b>M</b>	Vertical Drained Constrained Modulus	$M_{DMT} = R_M E_D$ if $I_D \leq 0.6$ $R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$ if $I_D \geq 3$ $R_M = 0.5 + 2 \log K_D$ if $0.6 < I_D < 3$ $R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ with $R_{M,0} = 0.14 + 0.15 (I_D - 0.6)$ if $K_D > 10$ $R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D$ if $R_M < 0.85$ set $R_M = 0.85$	
		<b>u<sub>0</sub></b>	Equilibrium Pore Pressure	$u_0 = p_2 = C - Z_M + \Delta A$	

$Z_M$  = Gage reading when vented to atm. If  $\Delta A$  &  $\Delta B$  are measured with the same gage used for current readings A & B, set  $Z_M = 0$  ( $Z_M$  is compensated)

$u_0$  = pre-insertion pore pressure

$\sigma'_{v0}$  = pre-insertion overburden stress

$E_D$  is NOT a Young's modulus E.  $E_D$  should be used only AFTER combining it with  $K_D$  (Stress History). First obtain  $M_{DMT} = R_M E_D$ , then e.g.  $E \approx 0.8 M_{DMT}$

for  $I_D < 1.2$

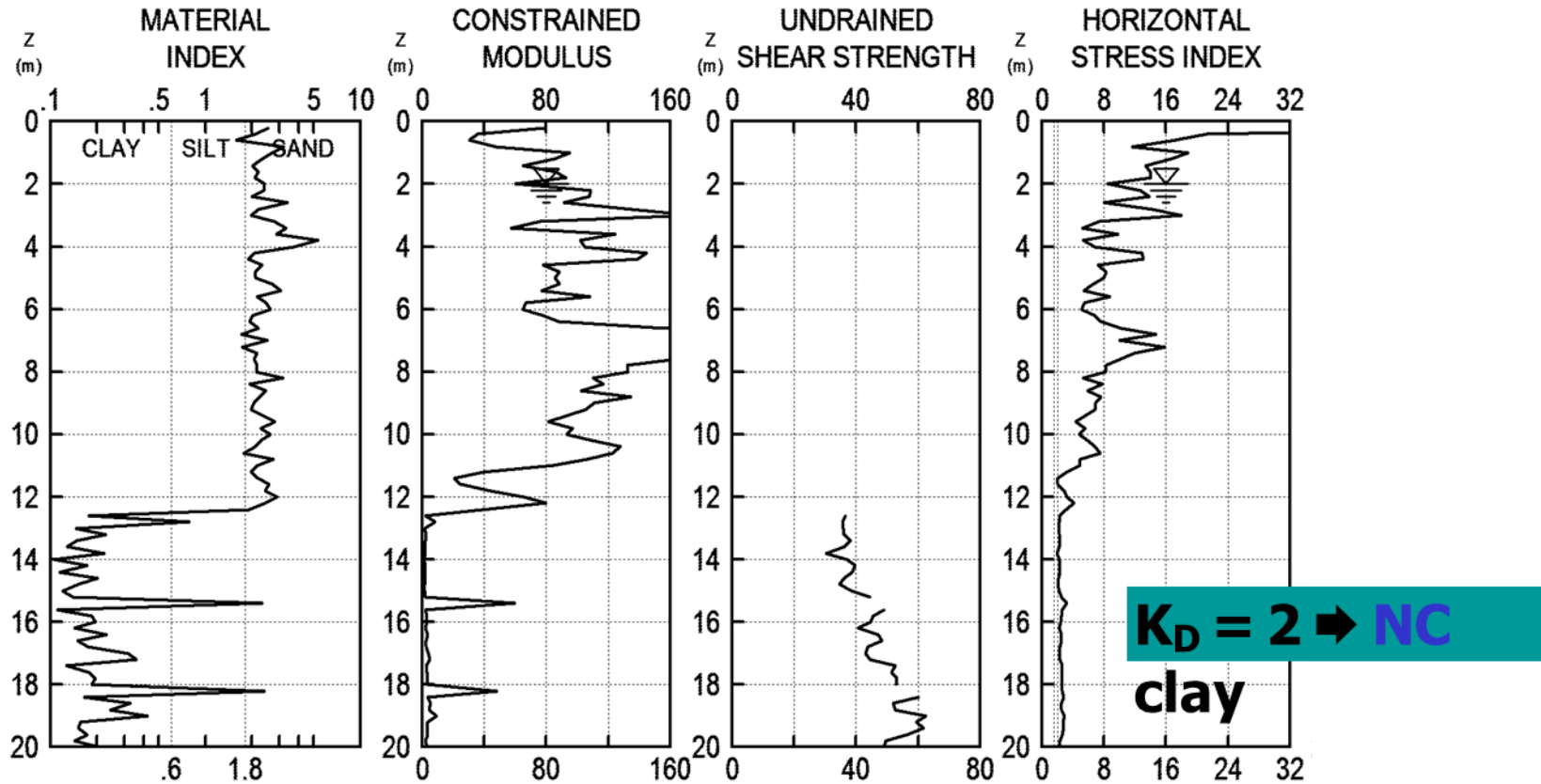
for  $I_D < 1.2$

for  $I_D < 1.2$

for  $I_D > 1.8$

$t_{rex}$  from A-log t DMT-A decay curve

# DMT results



$I_D$



soil type  
(clay, silt,  
sand)

$M$



common use  
Generally  
dependable

$C_u$

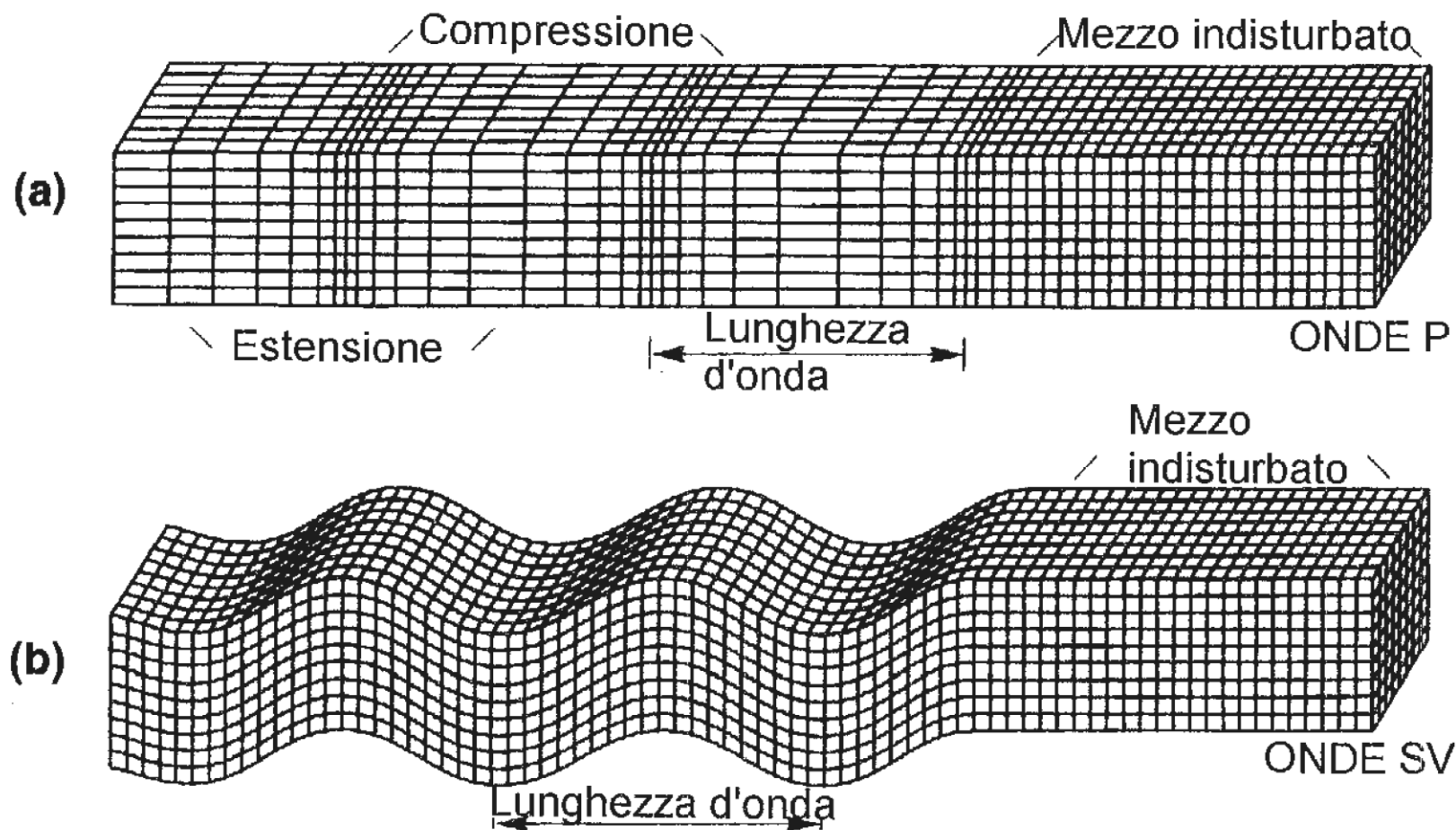


$K_D$



shape similar to OCR  
helps understand  
*history* of deposit

# ONDE DI VOLUME (BOLT 1988)



# GENERALITA' ONDE SISMICHE

## VELOCITA' DI PROPAGAZIONE

$$V_s = \frac{d}{t_s} \quad V_p = \frac{d}{t_p} \quad V_R = f(\omega) = \lambda \cdot f$$

## CARATTERISTICHE ELASTICHE

$$G_o = \rho V_s^2 \quad M_o = \rho V_p^2 \quad V_R / V_s \cong (0.862 + 1.14\nu) / (1 + \nu)$$

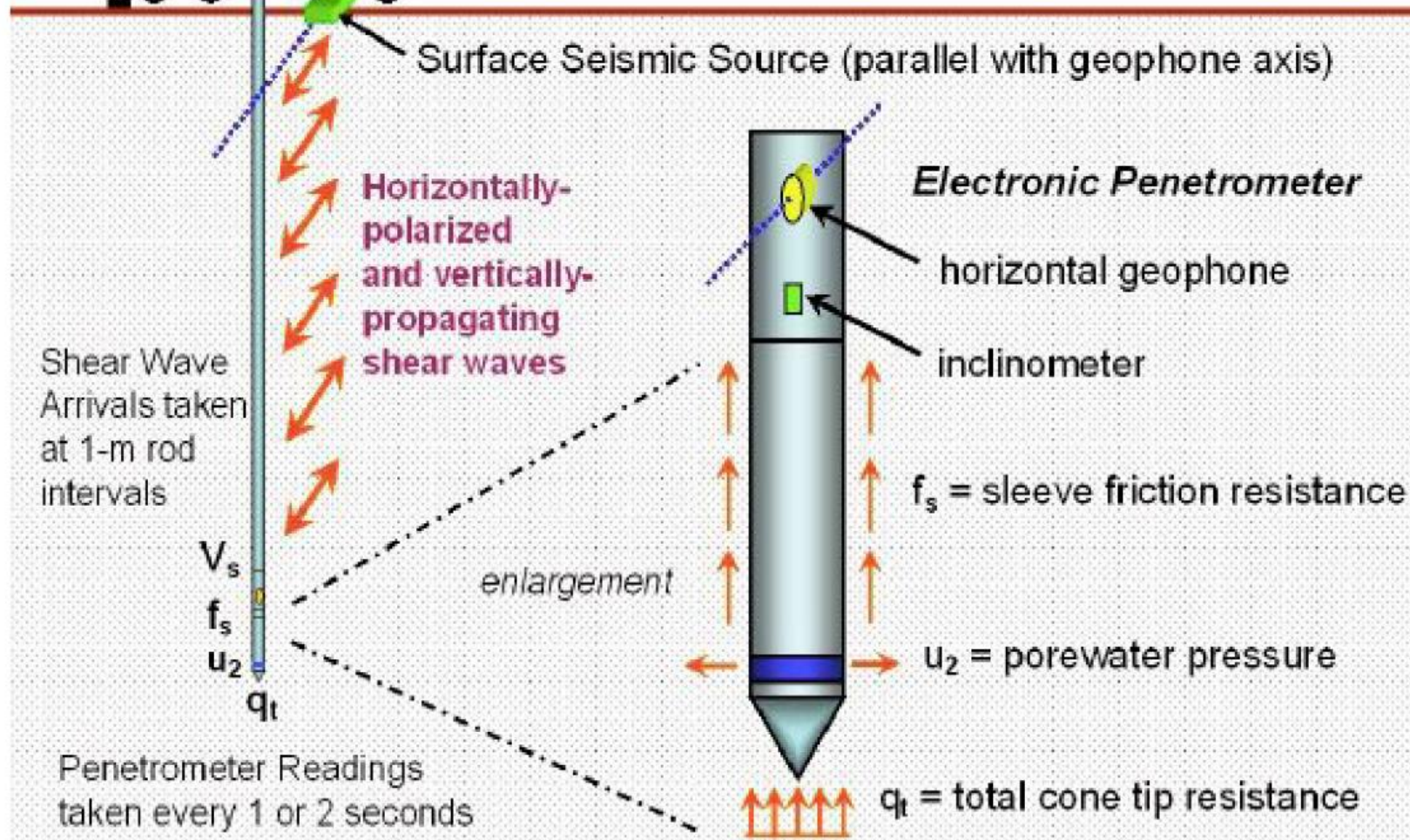
$$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2(V_p^2 - V_s^2)$$

$$\gamma = \frac{\dot{u}_s}{V_s}$$

Cone Truck

# Seismic Cone Penetration Test (SCPT)

ASTM D 5778 and ASTM STP 1213



## SCPT<sub>u</sub>

*7 measurements!*

$q_t$

$f_s$

$u_2$

$V_s (V_p)$

$t_{50}$

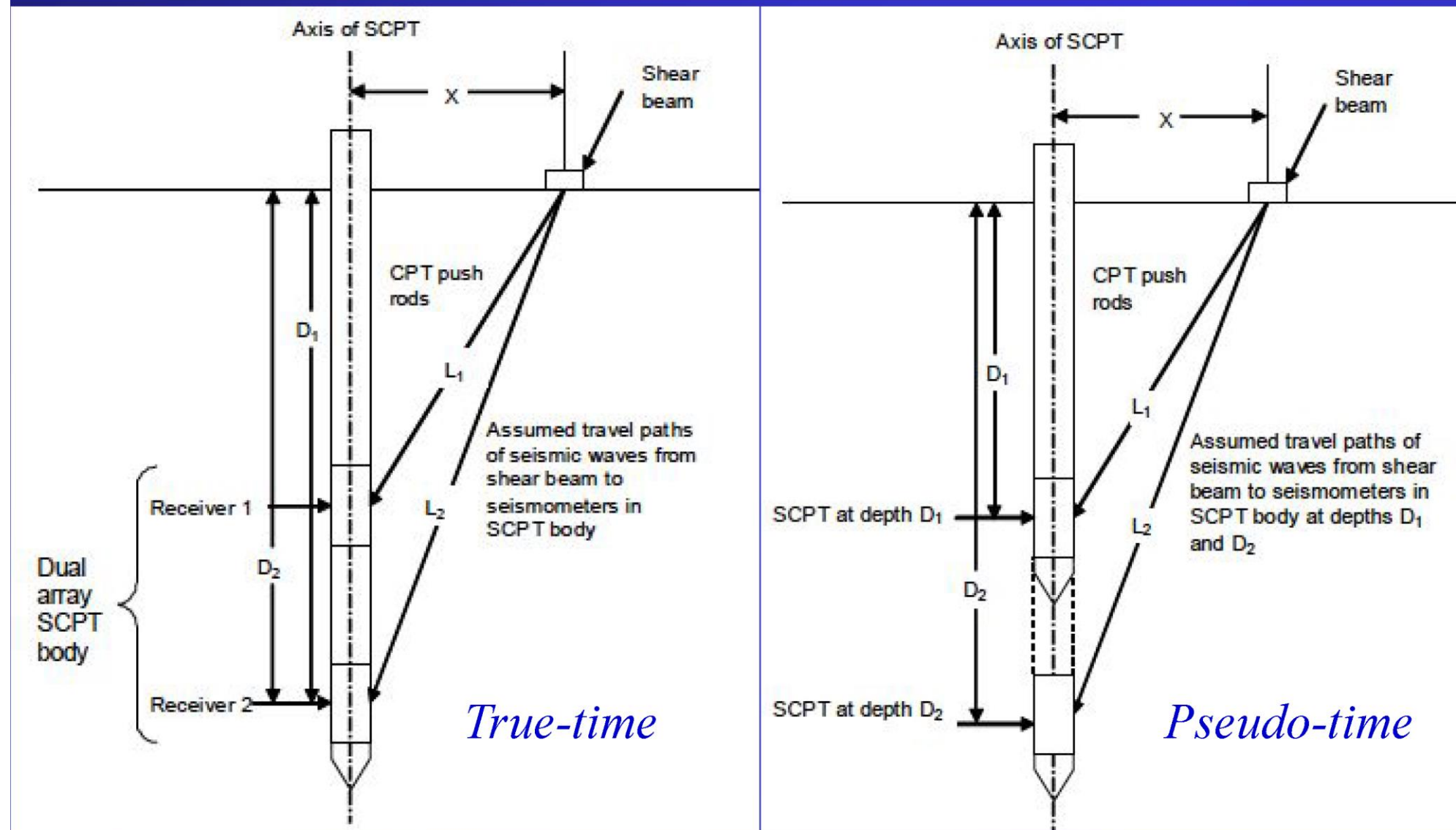
$u_o$

$i$

*diss*

*After Mayne, 2014*

# True & Pseudo-time interval





# S.C.P.T. (seismic cone penetration test)

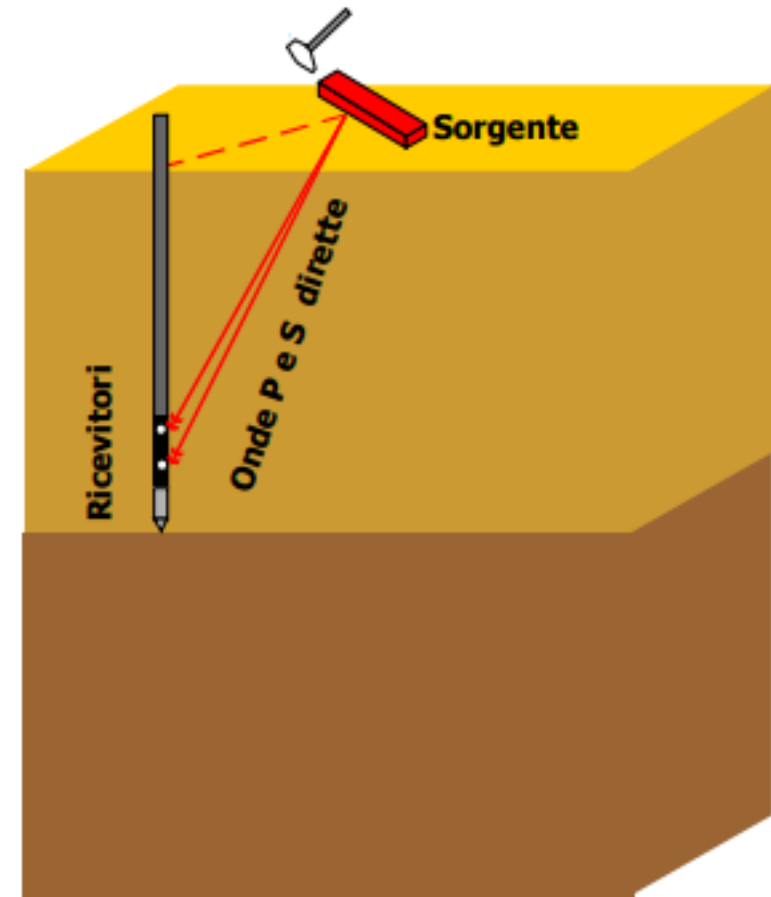
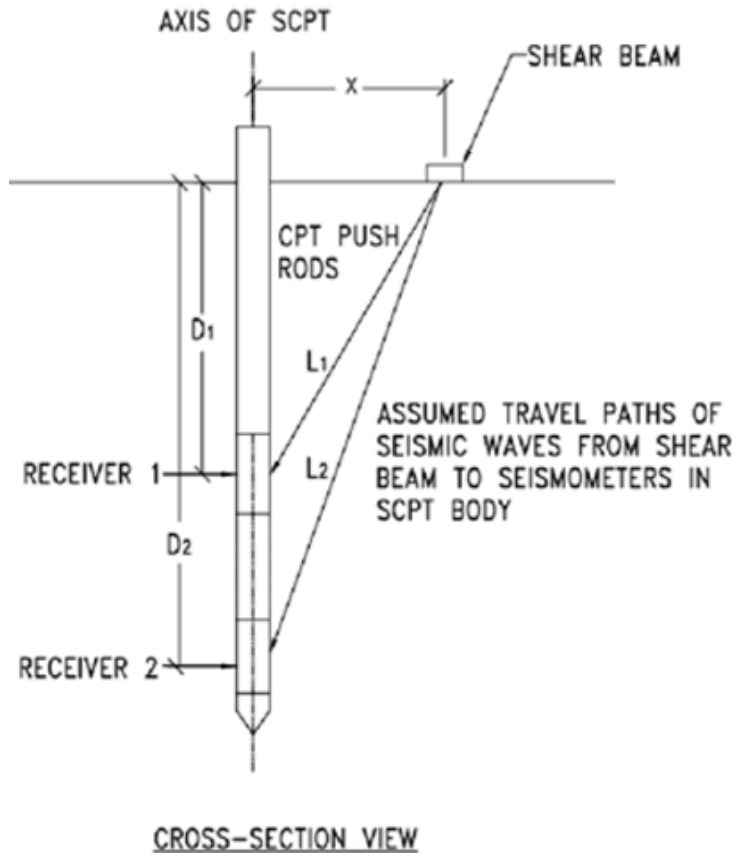
## ATTREZZATURA SCPT:

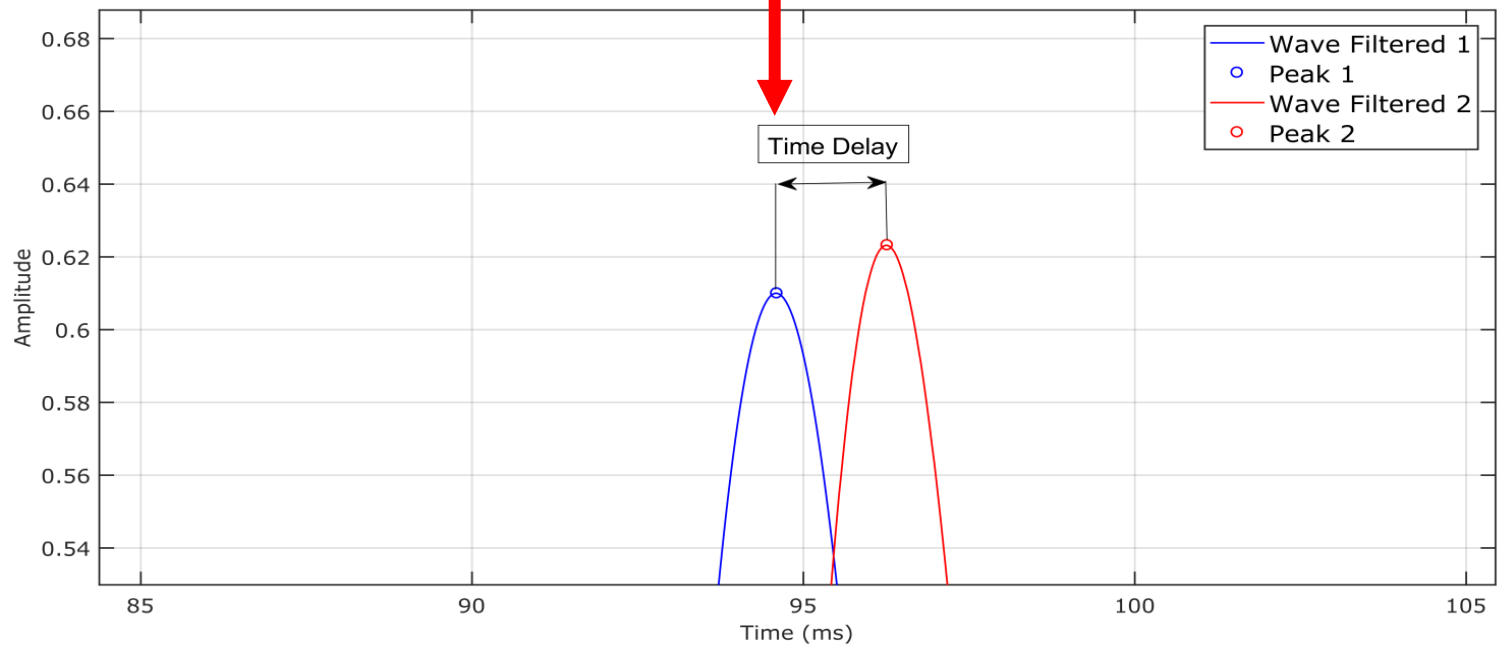
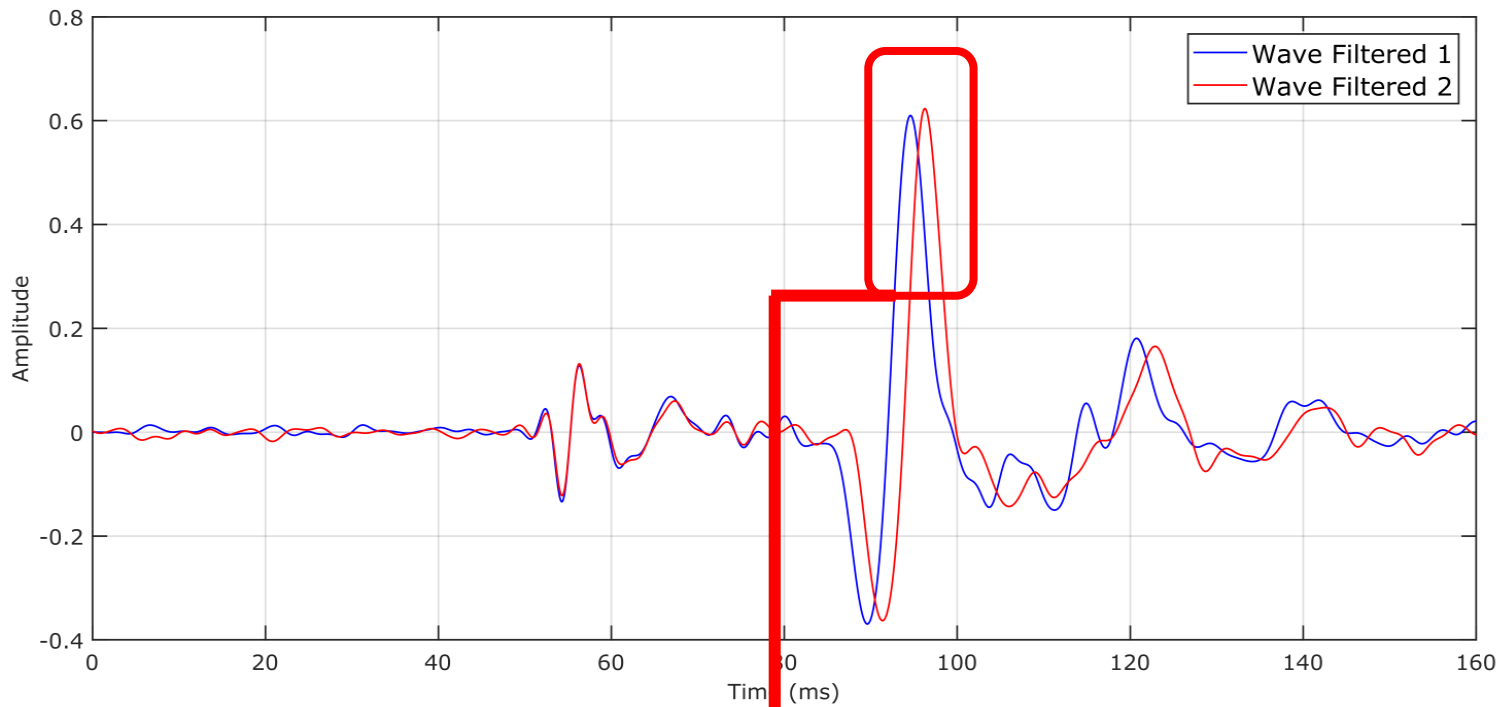
- Sorgente Onde P e S
- 1 o 2 ricevitori (Distanziati:  $D_2 - D_1 = 50\text{cm}$ )
- Trigger
- Sismogramma
- Penetrometro a punta conica

Valutazione di  $V_p$  e  $V_s$ :

$$V_{s/p} = \frac{L_2 - L_1}{\Delta T_{2-1}}$$

$\Delta T_{2-1}$  = Differenza fra il tempo di percorrenza dell'onda dalla sorgente al ricevitore 2 e dalla sorgente al ricevitore 1.





✓ DETERMINAZIONE TIME DELAY

$\Delta T_{R2-R1}$  = time delay  
 $L_{R2}-L_{R1}$  = Differenza tra il percorso ric2-sorgente e ric1-sorgente.

$$V_s = \frac{L_{R2} - L_{R1}}{\Delta T_{R2-R1}}$$

# Categorie di Sottosuolo secondo le NTC 2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;  
 $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;  
 $N$  numero di strati;  
 $H$  profondità del substrato,  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.