

# Ordine Geologi delle Marche

## Jesi (An) - 20.01.2012

### Prove Geotecniche in Situ

Parte I - Lo stato attuale delle prove in situ  
dinamiche e statiche (meccaniche)

*Alberto Bruschi*

Basiglio (Mi) - [albertobruschi2@virgilo.it](mailto:albertobruschi2@virgilo.it)

# Un progetto geotecnico oggi (teorico)



da Mayne

Realtà o Utopia(?)

# Le prove in sito considerate



# La potenzialità delle prove

| Prova                                            | SPT             | DP                  | CPTM                            |
|--------------------------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
| Tipo di terreno                                  | Ghiaie e sabbie | Ghiaie e sabbie     | Tutti escluse ghiaie grossolane |
| Profilo stratigrafico                            | No              | Si, ogni 20 o 30 cm | Si, Ogni 20 cm                  |
| Prelievo Campioni                                | Si              | No                  | No                              |
| Sensibilità ai cambiamenti litologici            | Discreta        | Buona               | Buona                           |
| Correlazioni empiriche per derivare i parametri  | Si              | Si                  | Si                              |
| Interpretazione teorica per derivare i parametri | No              | No                  | Si                              |
| Possibilità di aggiungere altri sensori          | No              | No                  | No                              |
| Ripetibilità                                     | Mediocre        | Discreta            | Buona                           |

# L'affidabilità delle prove

| Prova | Lit. | U | $\phi$ | $S_u$ | $I_D$ | M | $C_v$ $C_h$ | E $G_0$ | $K_0$ | OCR |
|-------|------|---|--------|-------|-------|---|-------------|---------|-------|-----|
| SPT   | 10** | 0 | 6      | 3     | 6     | 6 | 0           | 3       | 0     | 3   |
| DP    | 3    | 0 | 6      | 3     | 6     | 6 | 0           | 6       | 0     | 3   |
| CPTM  | 10   | 0 | 6      | 3     | 10    | 6 | 0           | 6       | 3     | 6   |

\*\* Se in foro di sondaggio

Da Lunne et al., modificata

Lit = litologia - U = pressione nei pori -  $\phi$  = angolo d'attrito -  $S_u$  = resistenza al taglio non drenata -  $I_D$  = densità relativa - M = Modulo confinato -  $C_v / C_h$  = parametri di consolidamento - E/  $G_0$  = moduli di Young e di taglio -  $K_0$  = tensione orizzontale in sito - OCR = storia dello stato tensionale (grado di sovraconsolidamento)

Punteggi: 10 = ottima - 6 = buona - 3 = limitata - 0 = nessuna

# L'applicabilità delle prove

Punteggi: 10 = ottima - 6 = buona - 3 = limitata - 0 = nessuna

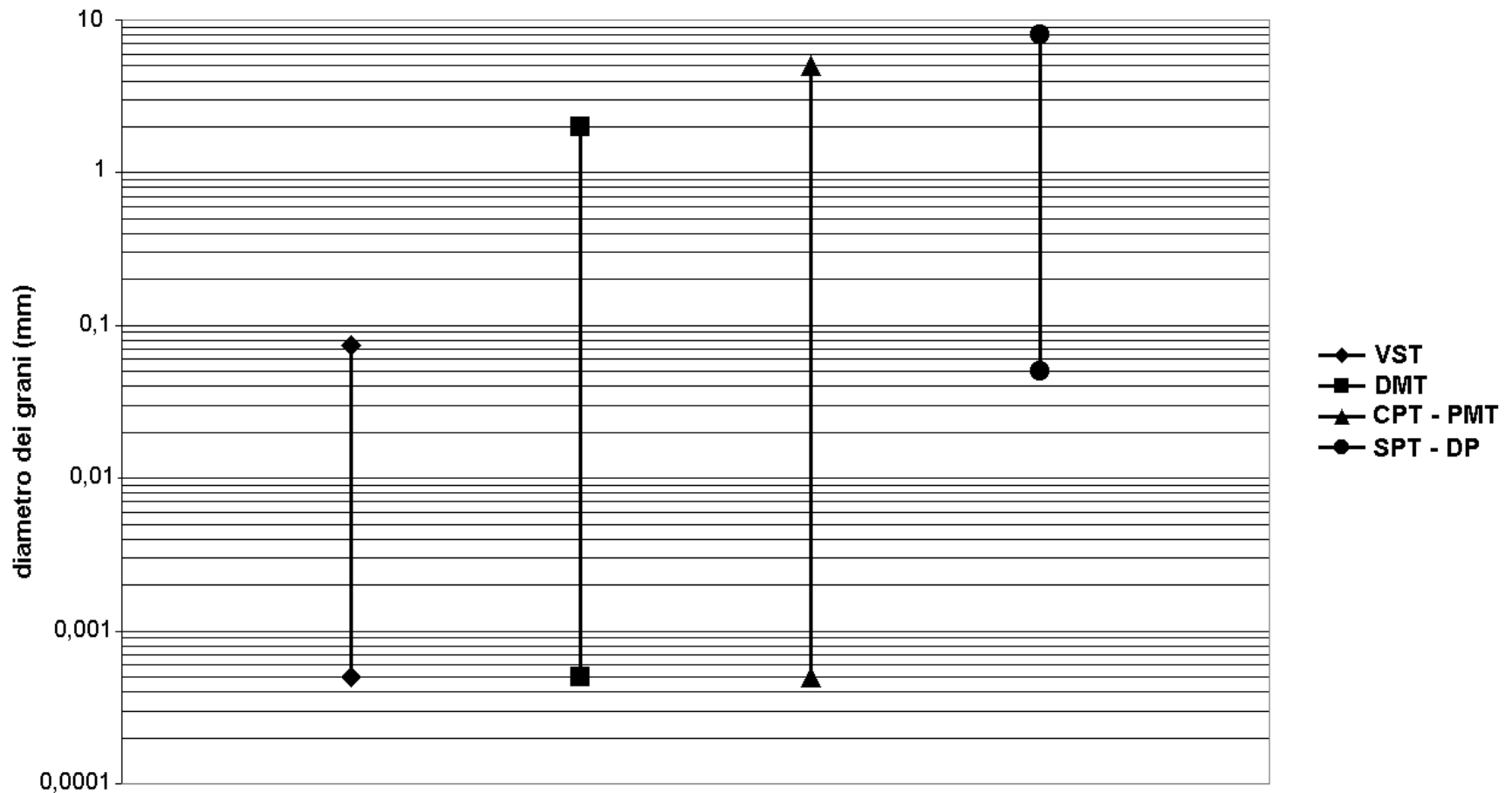
| Applicazione         |    | Litologia  | SPT- DP | CPTM |
|----------------------|----|------------|---------|------|
| Fondazione diretta   | q  | Incoerente | 6       | 6    |
|                      |    | Coesiva    | 3       | 3/6  |
|                      | s  | Incoerente | 3       | 3/6  |
|                      |    | Coesiva    | 0       | 3/6  |
|                      | t  | Coesiva    | 0       | 6    |
| Fondazione su pali   | qb | Incoerente | 10      | 10   |
|                      |    | Coesiva    | 10      | 10   |
|                      | ql | Incoerente | 3       | 6    |
|                      |    | Coesiva    | 3       | 6    |
| Stabilità del pendio | Fs | Incoerente | 3       | 6    |
|                      |    | Coesiva*   | 3       | 3    |
|                      |    | Coesiva**  | 0       | 0    |
| Miglioramento        |    | Incoerente | 3/6     | 10/6 |
|                      |    | Coesiva    | 3       | 10/6 |

\* Sforzi totali  
\*\*Sforzi efficaci

q = capacità portante; s = cedimenti ; t = s nel tempo;  
qb = di base; ql = laterale; Fs =sicurezza

Da Failmezger, modificata

# I limiti di fattibilità delle prove in situ



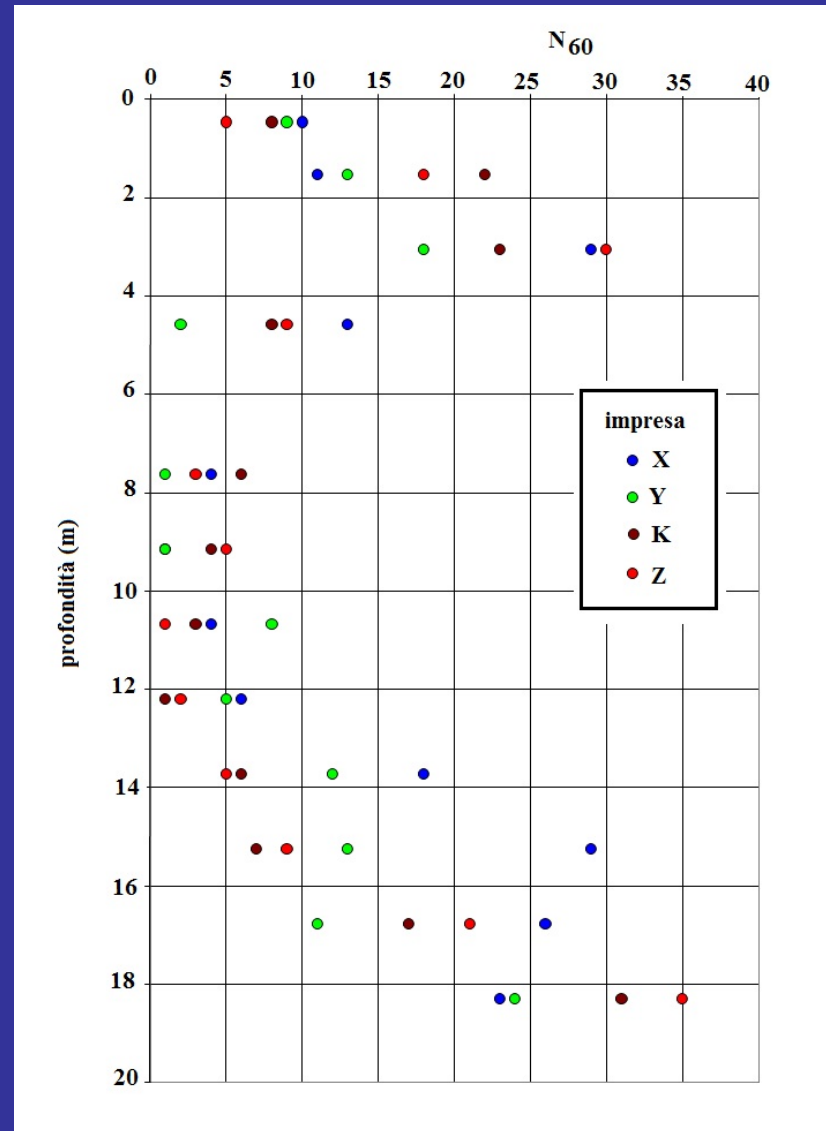
# La lunghezza indicativa delle prove in situ

| Tipologia dell'opera | Profondità di indagine                                                              |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Fondazione diretta   | Da 1 a 2 volte la larghezza della fondazione                                        |
| Fondazione su pali   | 1,5 volte la larghezza della palificata (a partire da 2/3 della lunghezza del palo) |
| Muro di sostegno*    | Da 0,75 a 1,5 volte l'altezza del muro                                              |
| Paratia*             | Da 0,75 a 1,5 volte l'altezza libera                                                |
| Scavo*               | Da 0,75 a 1,5 volte l'altezza del fronte                                            |
| Rilevato             | Da 0,5 a 1 volta la semilarghezza del rilevato                                      |

\* il volume significativo si estende a monte fino a due volte l'altezza dell'opera

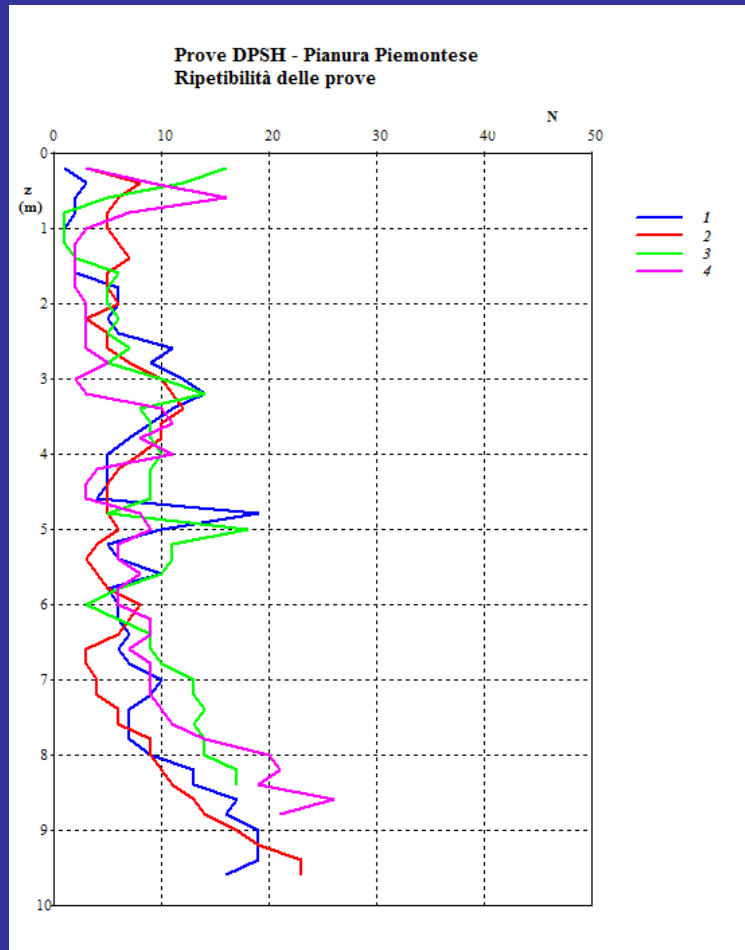
... spesso teorica, ahimè ...

# La ripetibilità delle prove in sito - SPT

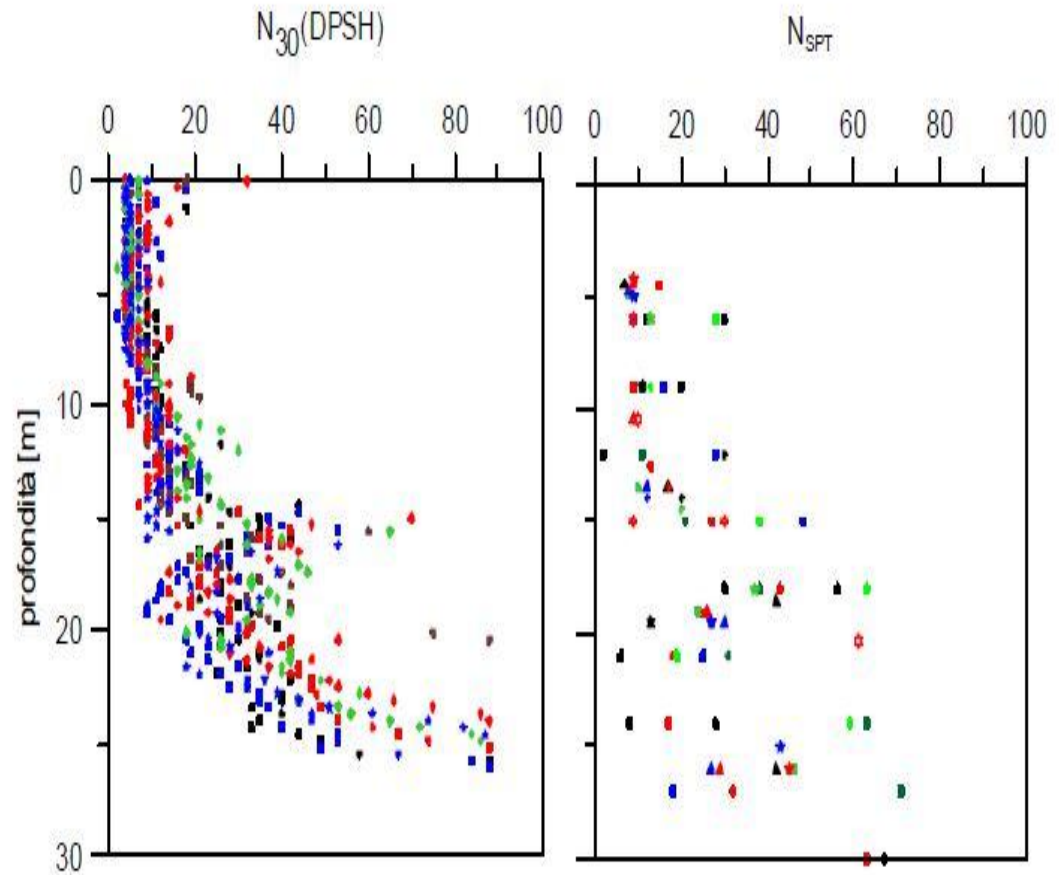


AB

# La ripetibilità delle prove in sito - DP



Prove DPSH in un sito piemontese



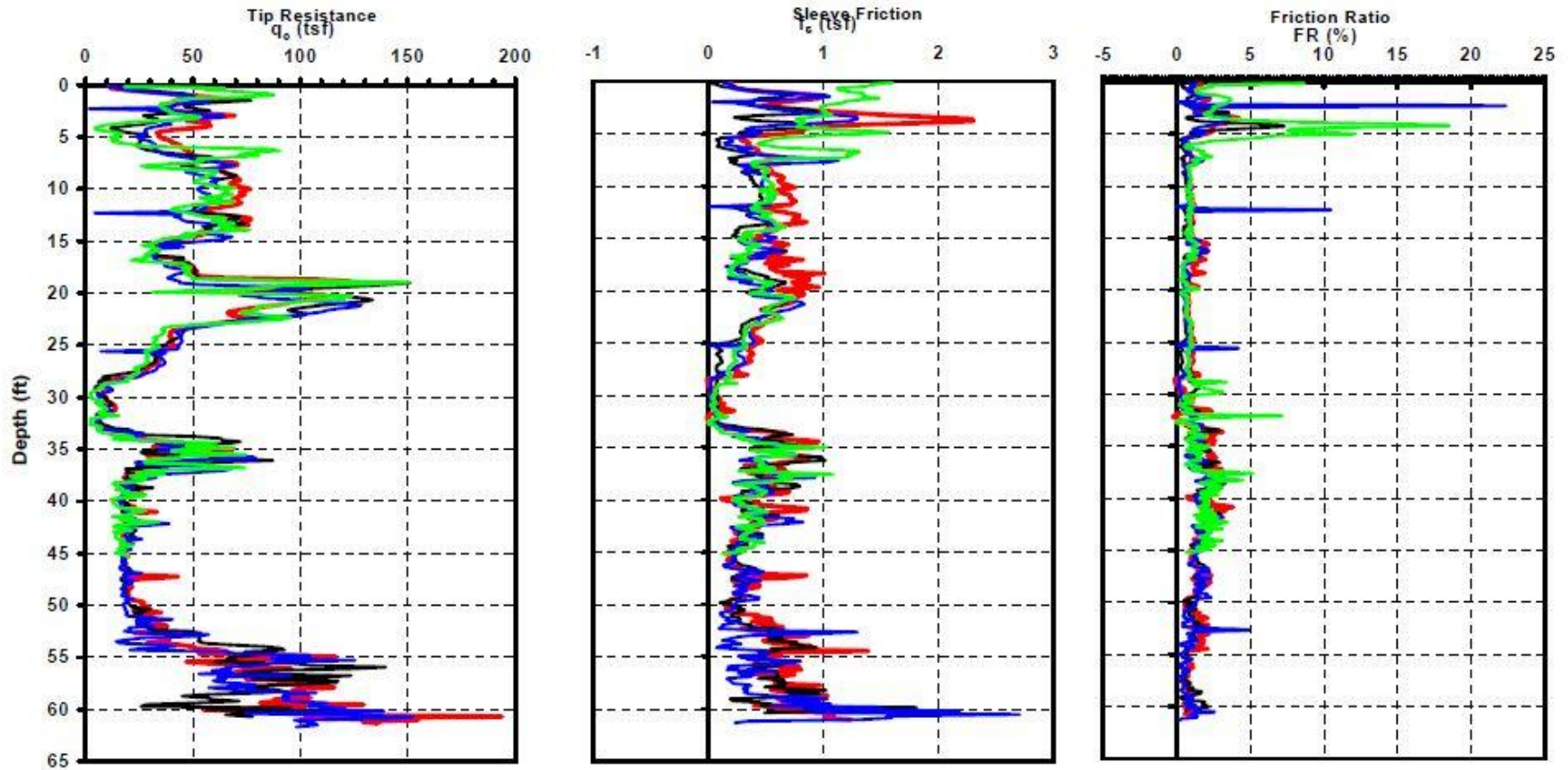
Alluvioni del fiume Arno (da Squeglia et al., 2006)

# La ripetibilità delle prove in sito - CPT

University of Central Florida FDOT Research Site

CPT Location 3

SMO Red  
Bartow Black  
UF Blue  
Ardaman Green



# Un commento generale sulle prove

## Prova SPT

| Vantaggi                                               | Svantaggi                                              |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Si ottiene un campione disturbato <sup>*)</sup>        | Costosa <sup>**)</sup>                                 |
| Ottenere sia un numero che un campione <sup>***)</sup> | Ottenere sia un numero che un campione <sup>***)</sup> |
| Semplice e robusto                                     | Un solo numero                                         |
| Valido in diversi tipi di terreno                      | Poco applicabile in argille tenere                     |
| Si può eseguire in rocce tenere                        | Variabilità elevata ed incerta                         |
| Usato in tutto il mondo                                | Discontinua                                            |

(\*) A condizione che si usi una punta aperta (campionatore Raymond)

(\*\*) si esegue in foro di sondaggio

(\*\*\*) Il poter ottenere assieme ad un numero anche un campione è utile ma problematico in quanto è difficile far bene due cose contemporaneamente

# Un commento generale sulle prove

## Prova DP

| Vantaggi                                               | Svantaggi                                                                     |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Attrezzatura facilmente trasportabile                  | Attrezzature diverse operanti nel mondo senza standardizzazione               |
| Semplice da eseguire ed economica                      | Attrito sulle aste in assenza di utilizzo del rivestimento                    |
| Non richiede personale particolarmente specializzato   | Non si eseguono misure del rendimento energetico del dispositivo di battitura |
| Veloce da eseguire                                     | In Italia troppe tipologie di prova ammesse (4)                               |
| Valido nei terreni a grana grossa                      | Poco attendibile nei terreni a grana fine                                     |
| Resistenza misurate in continuo (ogni 10 o 20 o 30 cm) | Nessun campione di terreno                                                    |

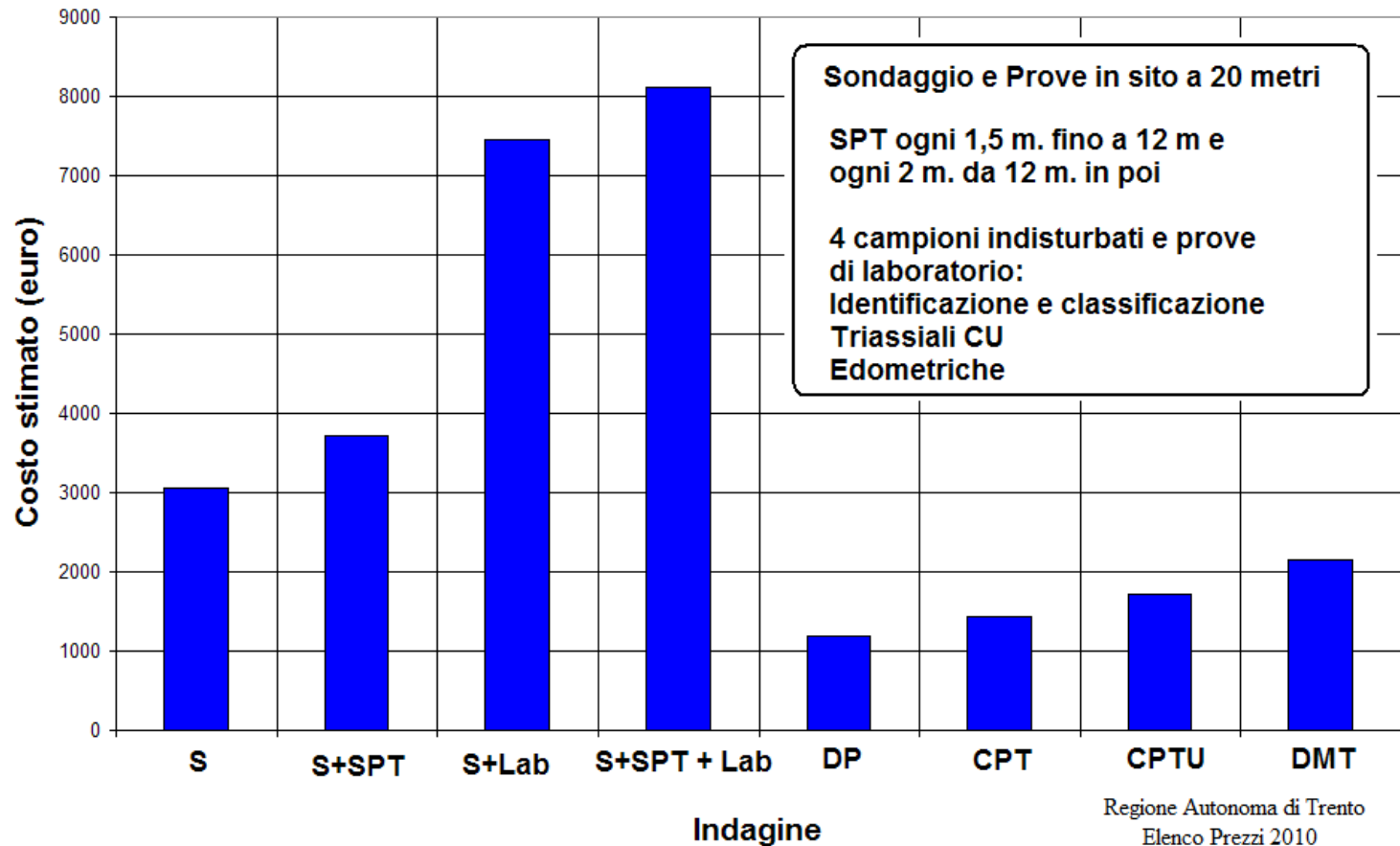
# Un commento generale sulle prove

## Prova CPTM

| Vantaggi                              | Svantaggi                                                 |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Attrezzatura facilmente trasportabile | Richiede operatori con esperienza                         |
| Profilo dati in continuo (20 cm)      | Nessun campione di terreno                                |
| Economica con alta produttività       | Non adatta in depositi ghiaiosi grossolani                |
| Risultati poco soggettivi             | In caso di ghiaie o depositi cementati necessario preforo |
| Molto adatta ai terreni teneri        |                                                           |

# Per finire ...

## I costi



# Ordine Geologi delle Marche

## Jesi (An) - 20.01.2012

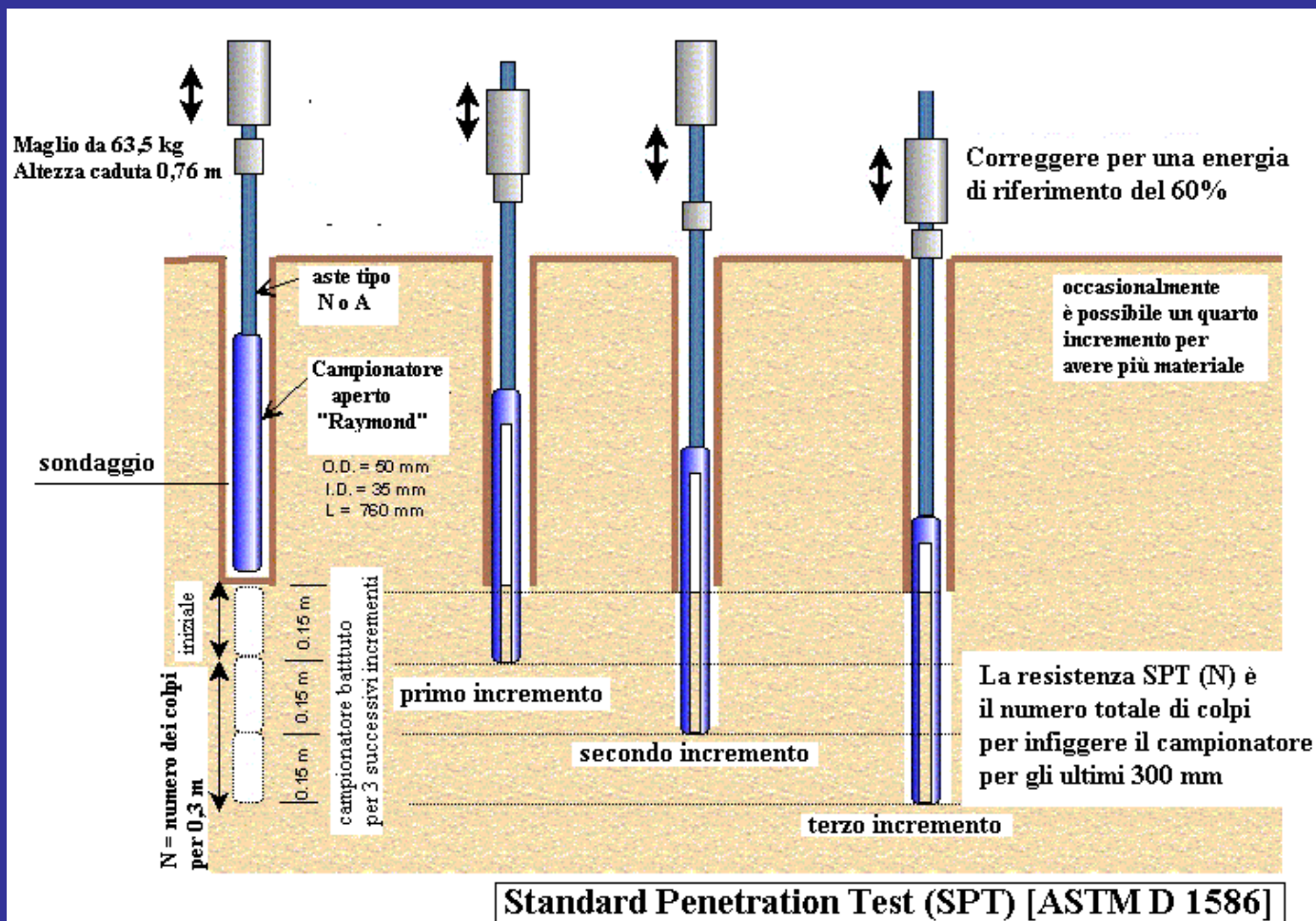
### Prove Geotecniche in Situ

Parte II – Un approfondimento sulle prove in situ  
SPT - DP – CPT (meccaniche)

*Alberto Bruschi*

Basiglio (Mi) - [albertobruschi2@virgilo.it](mailto:albertobruschi2@virgilo.it)

# La prova SPT



# La prova SPT: commenti

- Diametro di perforazione non superiore a 130 mm (preferibile 101 mm)
- La perforazione o l'eventuale rivestimento metallico non deve superare la quota della prova
- Impiegare acqua o fango di perforazione (evitare perforazione a secco)
- Il livello del fluido deve essere sempre superiore al livello di falda
- Alla quota della prova eseguire la pulizia del foro con utensile di perforazione adatto (tricono) e fango; la circolazione del fluido deve essere radiale rispetto al foro
- Altamente raccomandabile il suggerimento del Dott. Togliani di non limitare la prova a 3 affondamenti (15+15+15) ma proseguirla in continuo per almeno un metro per bypassare una eventuale zona ancora rimaneggiata, continuando a misurare N<sub>15</sub>

# La prova SPT

## le correzioni da applicare

$$N_{60} = N (CE)(CR)(CS)(CB)$$

$$N_{1,60} = N_{60} (CN)$$

N = numero dei colpi misurato

CE = correzione per l'energia trasmessa alle aste

CR = correzione per la lunghezza delle aste

CS = correzione per il metodo di campionamento

CB = correzione per il diametro del foro

N<sub>1,60</sub> = numero dei colpi normalizzato per la profondità di prova

CN = correzione per la pressione litostatica

La correzione CN va applicata nei terreni sabbiosi per il calcolo della densità relativa e dell'angolo d'attrito, parametri influenzati dalla tensione efficace agente alla quota di prova, nonché nella valutazione della liquefacibilità del sito.

# Fattori di correzione al valore di N

$CE = ER/60$

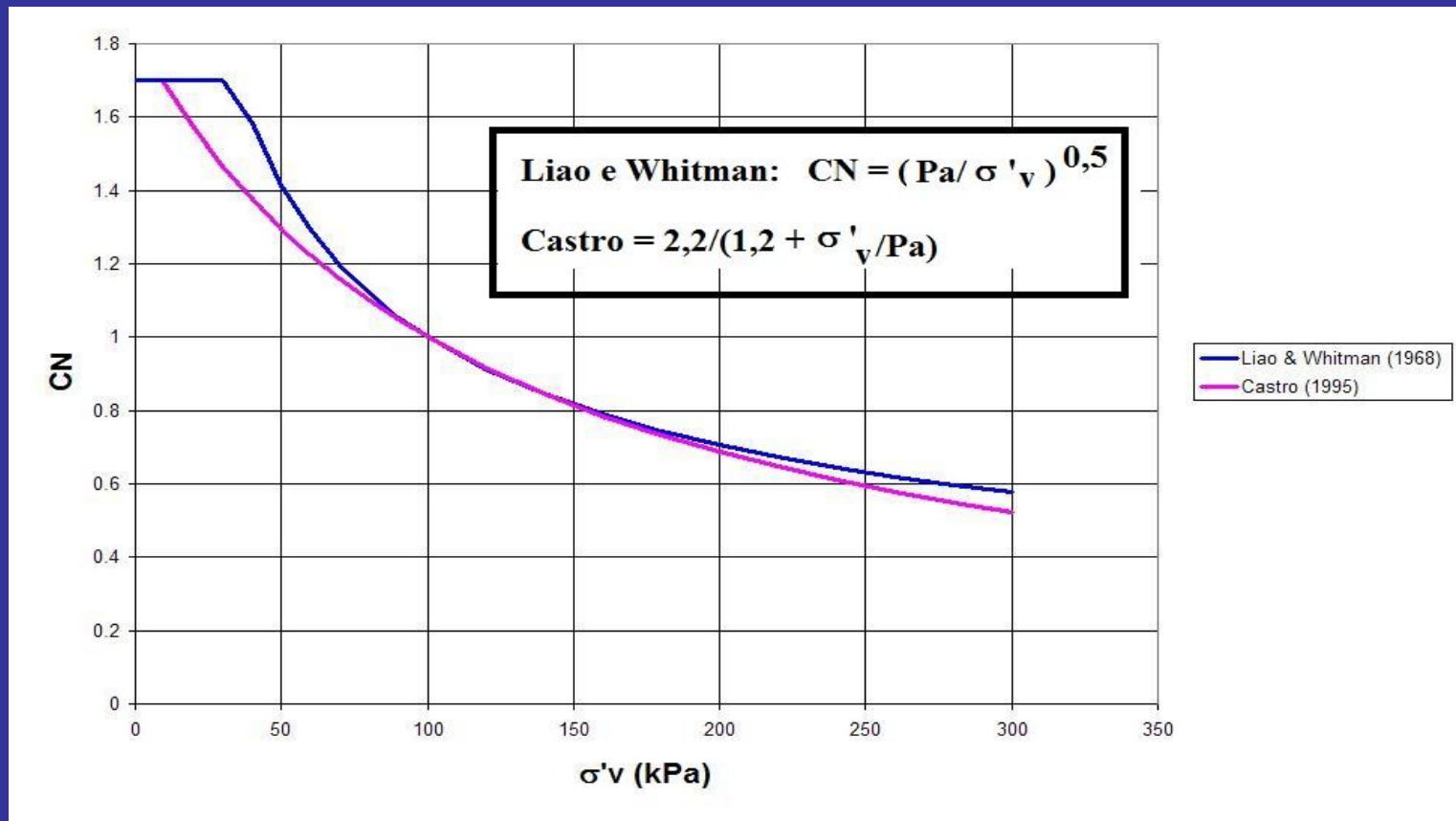


E' di fondamentale importanza misurare  $ER$  = energia trasmessa alle aste (dovrebbe essere sempre determinata con l'apposito strumento); generalmente intorno al 50-80%

## Fattori di correzione al valore di N

|                         |    |                                |           |
|-------------------------|----|--------------------------------|-----------|
| Lunghezza delle aste    | CR | 3 – 4 m                        | 0,75      |
|                         |    | 4 – 6 m                        | 0,85      |
|                         |    | 6 – 10 m                       | 0,95      |
|                         |    | 10 – 30 m                      | 1         |
|                         |    | > 30                           | 1         |
| Diametro del foro       | CB | 65 – 115 mm                    | 1,00      |
|                         |    | 150 mm                         | 1,05      |
|                         |    | 200 mm                         | 1,15      |
| Metodo di campionamento | CS | Campionatore standard          | 1,0       |
|                         |    | Campionatore con portacampioni | 1,1 ÷ 1,3 |

# Fattori di correzione al valore di N<sub>CN</sub>

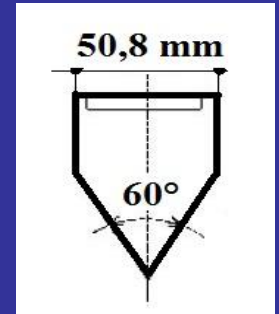


$CN$  riporta il valore di  $N_{60}$  al valore che si avrebbe se la pressione litostatica efficace alla profondità di misura di  $N_{60}$  fosse pari alla pressione atmosferica  $Pa$  (1 atm,  $\approx 1$  Kg/cmq,  $\approx 101$  kPa); il valore massimo raccomandato di  $CN$  è 1,7.

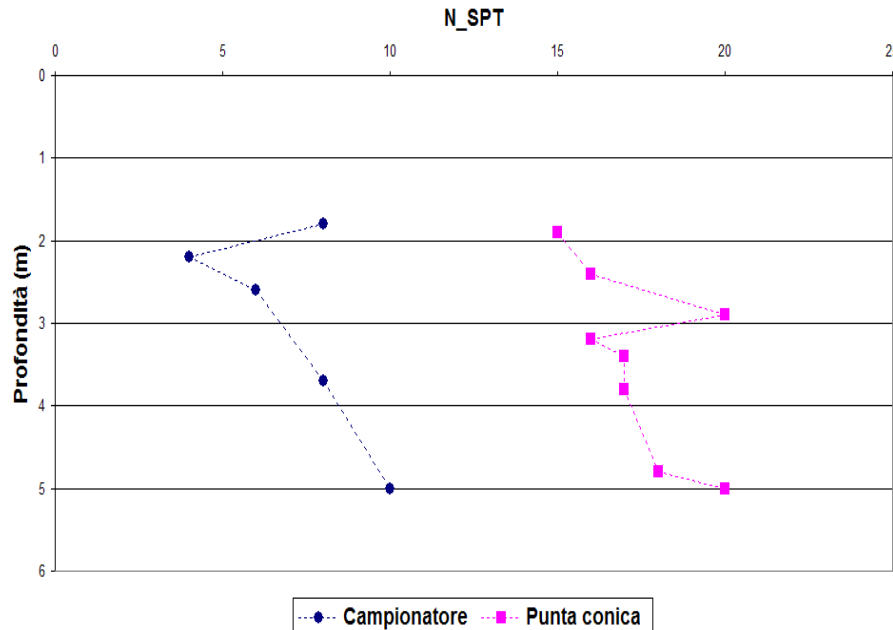
# Una nota importante

Nella realtà italiana e svizzera viene sistematicamente impiegata la punta conica e non il campionatore, come si dovrebbe, anche nelle terre prive di ghiaia.

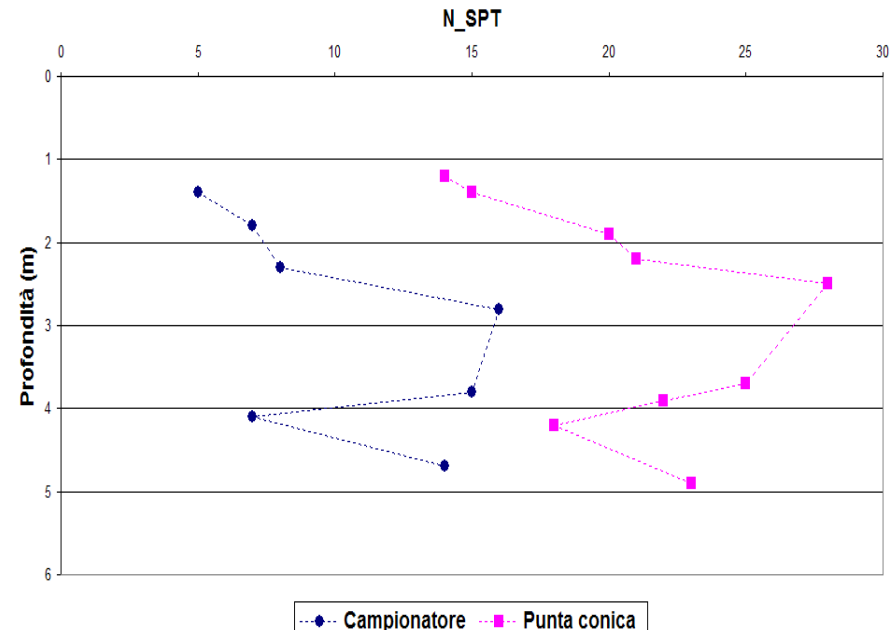
Le differenti caratteristiche di penetrazione del campionatore e della punta conica portano a risultati che possono essere paragonabili come tendenza ma del tutto diversi dal punto di vista numerico.



Prova SPT in sabbie sciolte



Prova SPT in sabbie addensate



ISOPT-1 Orlando, 1988

# Una nota importante

Sarebbe quindi necessaria una riconversione dei valori di  $N_{60}$  da *cono* a *campionatore*, poco praticabile in quanto si dovrebbe ricorrere ad un ennesimo fattore di correzione, il che non dà alcuna certezza di lavorare su dati omogenei.

In letteratura si trovano diversi tentativi di stabilire una correlazione tra campionario aperto e cono: Meyerhof (1956) raccomanda di utilizzare per il passaggio da  $N_{cono}$  a  $N_{SPT}$  in valore di 0,5; Shultze e Knausenberger (1957) propongono il valore di 0,8; Mohan (1970) trova il valore di 0,75.

Cardenas (2002) da una estesa serie di indagini nei terreni cileni per la realizzazione di terminali petroliferi trova il valore di 0,5.

Considerando che i valori riportati si riferiscono a terreni ghiaiosi ed essendo ormai consolidata la prassi di utilizzare sempre e comunque la punta conica e troppo costosa una presenza costante in cantiere per il controllo della stretta osservanza delle specifiche, in alternativa è consigliabile continuare la prova SPT oltre i canonici 45 cm. (come detto prima), considerarla quindi come una prova DP calcolando la resistenza dinamica e successivamente la resistenza statica equivalente, applicando la correlazioni proprie dalla prova statica (Togliani, 2002).

# Fonti errore nella prova SPT

- Le più comuni fonti di errore nella valutazione di N legate all'attrezzatura utilizzata sono riportate di seguito:
- Pulizia del foro inadeguata
- Mantenimento di un livello di fluido nel foro non adeguato
- Altezza di caduta non controllata
- Peso del maglio non controllato
- Il maglio colpisce il collare in maniera eccentrica
- Utilizzo di aste non perfettamente verticali
- Misura del numero dei colpi non corretta
- 
- Un controllo sull'affidabilità della prova SPT può essere eseguito applicando il criterio proposto da Schmertmann (1979) basato sui rapporti fra i tre valori di N misurati nell'intervallo di 45 cm ( $N_1 + N_2 + N_3$ ):

$$X_1 = \frac{N_1}{N_3} \quad X_2 = \frac{N_2}{N_3}$$

- perché la prova possa essere considerata affidabile deve essere sempre verificata la:  
$$X_1 < X_2$$
- se questa condizione non risulta verificata, la causa può essere ricondotta ad un cambio di litologia nei 45 cm attraversati o alla mancanza o non corretta esecuzione della pulizia del foro prima dell'esecuzione della prova.

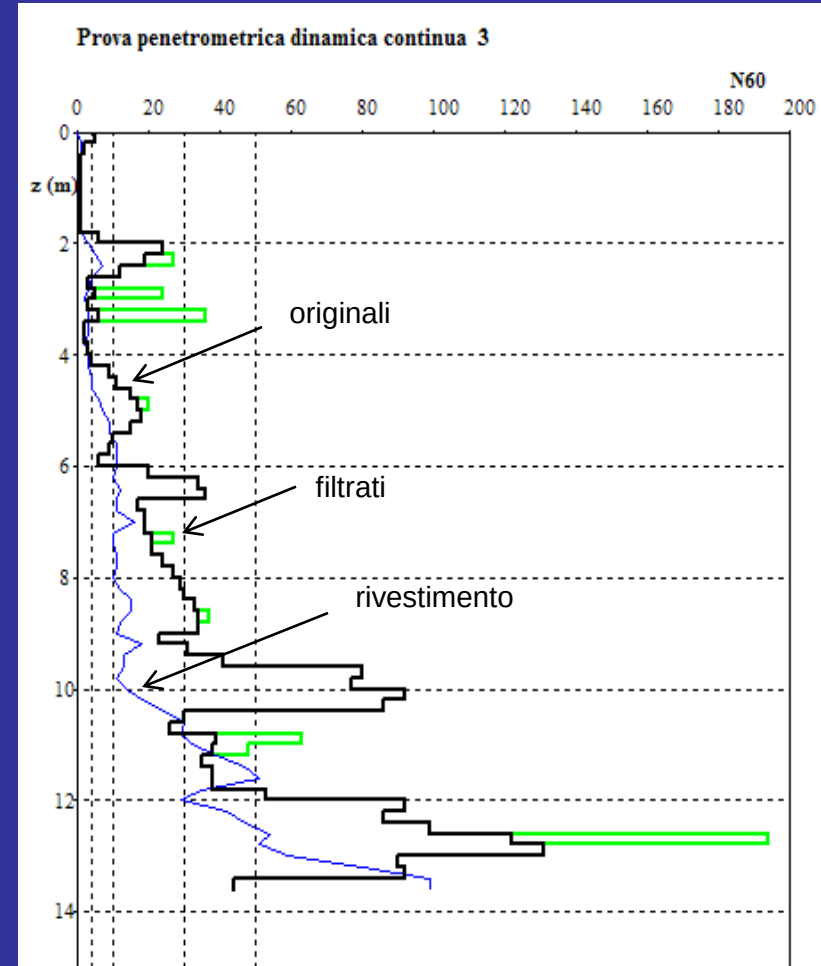
# La prova DP

La prova è una prova dinamica continua in cui i valori misurati della resistenza alla punta possono essere ricondotti al valore di NSPT grazie a delle costanti di trasformazione funzione delle caratteristiche del tipo di penetrometro dinamico impiegato (anche se si dovrebbe sempre impiegare il DPSH).

Il vantaggio è che, oltre ad essere meno costosa della prova SPT, fornisce valori di N continui con la profondità.

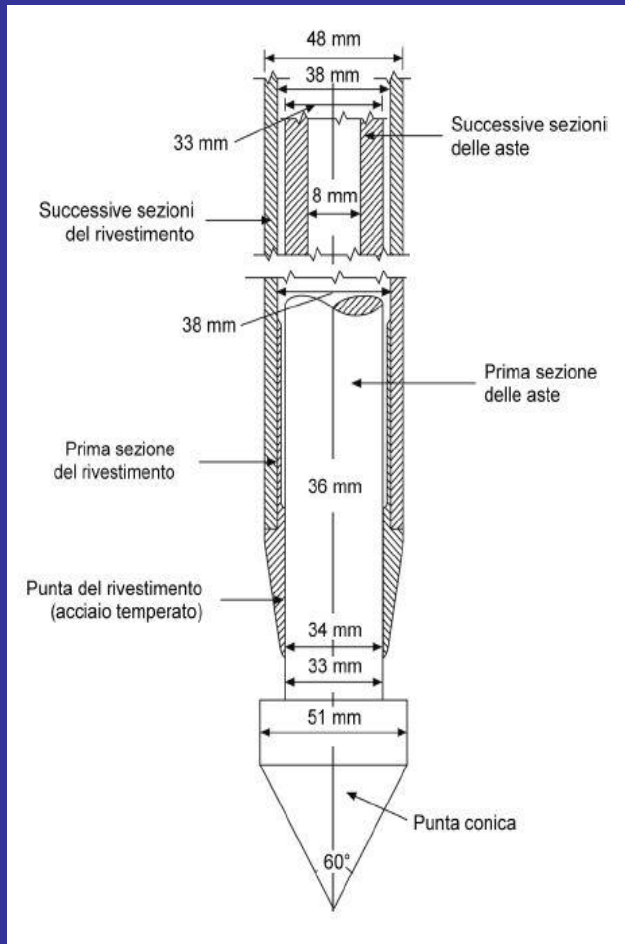
I valori, convertiti in N60, possono essere smussati con tecniche di filtering (smussamento dei picchi).

La stratigrafia attraversata può essere sommariamente identificata impiegando (obbligatoriamente) il rivestimento in avanzamento o dedotta da altre tipologie di indagine eseguite in adiacenza (progetti di una certa dimensione o importanza).



PGS\_SCPT ver. 3.1 ©Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

# La prova DP: una stima della litologia



- Con l'utilizzo del DPSH Meardi-AGI, molto utilizzato in Italia del nord, in prima approssimazione una indicazione sulla natura dei terreni attraversati può essere stimata in accordo a quanto indicato dal Prof. Meardi sulla base della resistenza del rivestimento:
- Per resistenze basse inferiori a quelle della punta: **GHIAIOSO**
- Per resistenze basse a cavallo della punta: **SABBIOSO**
- Per resistenze che aumentano linearmente e maggiori di quelle della punta: **LIMOSO**
- Per resistenza che aumentano con legge esponenziale: **ARGILLOSO**

L'ing. P. Meardi suggeriva (1981) che il rivestimento può seguire la punta anche dopo 2 m. in caso di sabbie e ghiaie, deve seguire immediatamente la punta in caso di argille

# La prova DP: una stima della litologia

- Con gli altri tipi di penetrometri si possono utilizzare i seguenti suggerimenti:

| Rapporto $N_{\text{punta}}/N_{\text{rivestimento}}$ | Natura del terreno |
|-----------------------------------------------------|--------------------|
| $< 4$                                               | ghiaiosa           |
| $2 \div 4$                                          | sabbiosa           |
| $0,7 \div 2$                                        | sabbiosa limosa    |
| $0,4 \div 0,7$                                      | limosa             |
| $0,4 \div 0,25$                                     | limosa argillosa   |
| $< 0,25$                                            | argillosa          |

Dott. De Bernardo (Program Geo) 2005

E' importante sottolineare che le indicazioni date sono da considerarsi di primo tentativo e vanno sempre suffragate con una conoscenza della geologia dell'area di indagine o da un sondaggio geognostico

# La prova DP: il passaggio da $N_{SPT}$ a $N_{DP}$

- Normalmente si pone  $N_{SPT} = N_{DP}$ , incorrendo quindi nell'errore di non considerare le diverse energie prodotte da ogni sistema; personalmente ritengo che il miglior modo per eseguire tale passaggio sia il ricorrere al metodo proposto da LaCroix e Horn (1973) per cui:

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) N$$

- $W$  = peso del maglio (kg) -  $H$  = altezza di caduta (cm) -  $D$  = diametro del cono (cmq) -  $L$  = penetrazione standard (cm) -
- $N$  = numero dei colpi misurato nella prova non standard
- Diversi Autori (Meardi 1967, 1971, 1974), (Vanelli e Benassi, 1983), (Tisconi, 1987) hanno cercato di correlare i valori  $N_{DP}$  ai valori di  $N_{SPT}$  sulla base di prove SPT eseguite in adiacenza a prove DP, con risultati che non possono essere convalidati dato il limitato numero di prove eseguite in un ambito litologico locale e le incertezze legate alle stesse modalità di prova, non chiaramente specificate.
- La relazione di LaCroix e Horn ha il vantaggio di poter considerare energie specifiche legate al tipo di attrezzatura utilizzata.

# La prova DP: le costanti di trasformazione

- I valori delle costanti di trasformazione da utilizzare sono:

| Penetrometro                    | Valore della costante |
|---------------------------------|-----------------------|
| DPL leggero ISSMFE              | 0,63                  |
| DPM medio ISSMFE                | 0,76                  |
| DPSH superpesante ISSMFE-Emilia | 1,51                  |
| DPSH superpesante Meardi-AGI    | 1,16                  |

- I valori indicati, ed in particolare quelli relativi alle DPSH, sono stati confermati recentemente sia da Crespellani et al. (2002) nella valutazione del rischio di liquefazione a Nocera scalo (Umbria) che in un studio compiuto da Gaba et al. (2004), oltre che da altri ricercatori (Tonks & Whyte, 1989).
- Bisogna tenere sempre presente che i valori delle costanti di trasformazione calcolati sono puramente teorici e, come tali, indicativi.

# La Prova DP: smussamento statistico dei picchi

- Come tutti gli addetti ai lavori ben sanno, la maggior parte dei diagrammi penetrometrici è caratterizzato dalla presenza di "picchi" dovute a contingenze locali che falsano in eccesso il valore di  $N_{DP}$  misurato.
- E' opportuno in questo caso applicare su tutta la serie di misure un funzione di smussamento dei picchi (filtering).
- Come funzione di smussamento si può applicare quella proposta da Crespellani & Loi per cui si definisce una funzione "G" con:
  - $G = N_{(i-1)} + N_{(i)} \alpha$  nel caso sia  $N_{(i-1)} > N_{(i+1)}$
  - $G = N_{(i+1)} + N_{(i)} \alpha$  nel caso sia  $N_{(i-1)} < N_{(i+1)}$
- dove  $\alpha$  è un coefficiente riduttivo.
- Se "G" risulta inferiore a  $N_{(i)}$ ,  $N_{(i)}$  prende un valore "smussato" pari a:

$$N_{(i)} = \frac{m_1 N_{(i-1)} + m_2 N_{(i)} + m_3 N_{(i+1)}}{\sum m_1 + m_2 + m_3}$$

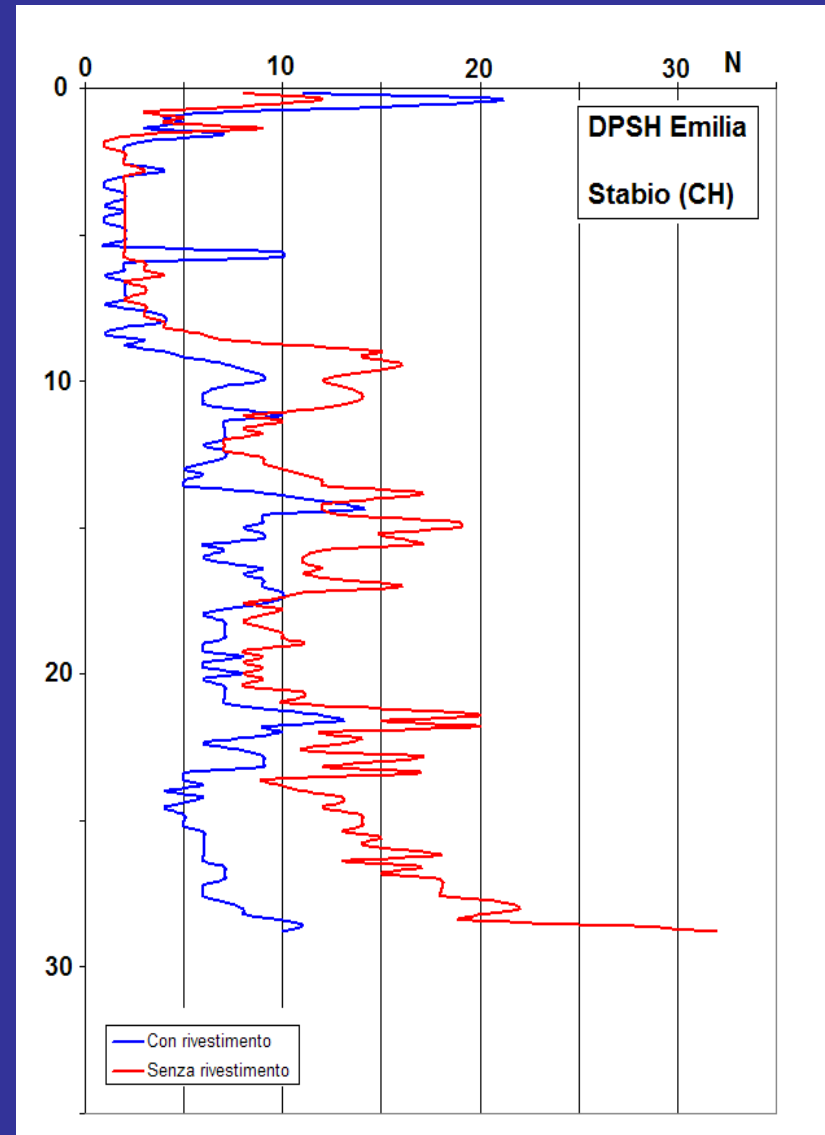
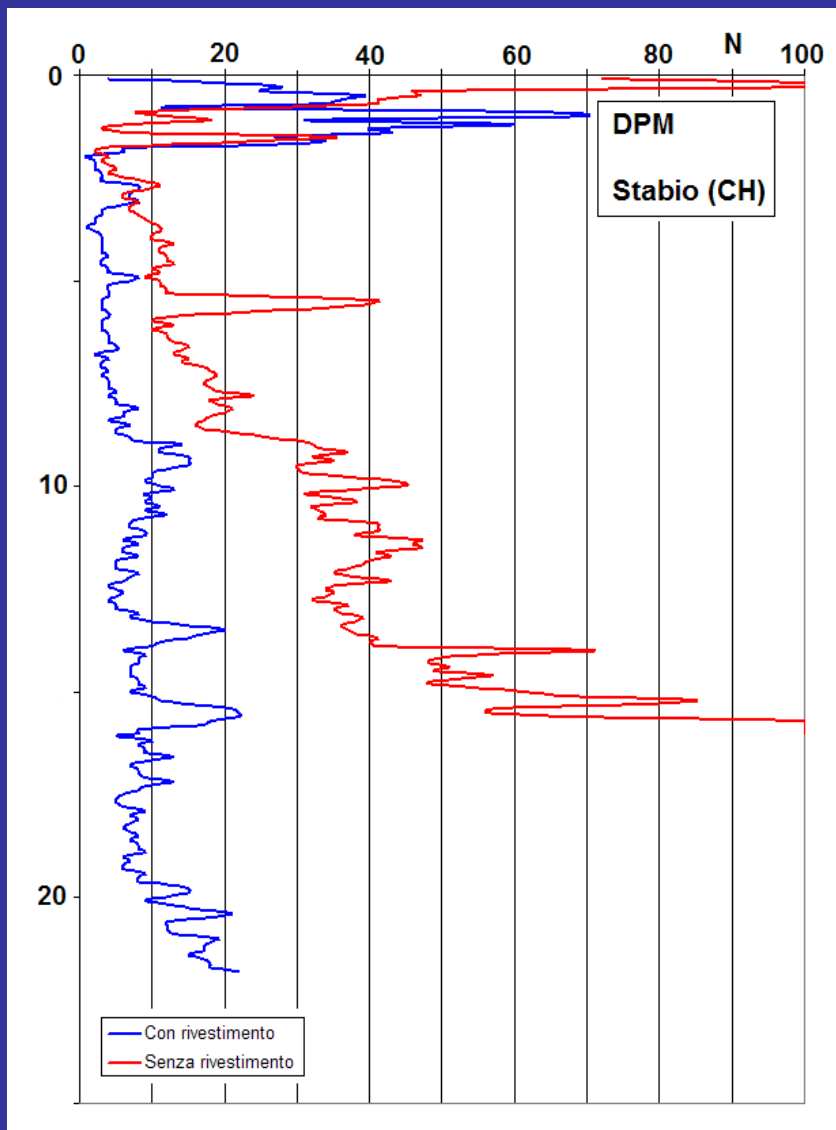
- dove  $m_1, m_2, m_3$  sono coefficienti ponderali.
- I valori ottimali dei coefficienti sono:
- $\alpha = 0,08$  -  $m_1 = 10$  -  $m_2 = 3$  -  $m_3 = 10$

# La Prova DP: l'importanza del rivestimento

- Nelle prove DP, la prova risulta spesso eseguita non correttamente a causa dell'attrito sulle aste in mancanza di rivestimento.
- Tutti gli Autori sono concordi sull'importanza di eliminare tale attrito, facendo seguire alla punta un diametro esterno pari o lievemente inferiore alla base del cono.
- L'infissione del rivestimento dovrebbe sempre essere eseguita, soprattutto nei terreni fini, utilizzando il metodo "30 + 30" o "20 + 20" (il rivestimento viene infisso per 30 (o 20) cm dopo ogni penetrazione della punta di 30 (o 20) cm).
- Prassi comune in Italia, per accorciare i tempi della prova, è infiggere tutta l'asta collegata alla punta e, a seguire, tutto il tubo di rivestimento.
- Tale ovvia procedura non viene sempre rispettata, con la conseguenza di falsare completamente il profilo di resistenza del terreno e di conseguenza la relativa interpretazione.
- Il SUPSI (Scuola Universitaria Superiore della Svizzera Italiana) ha voluto, e potuto, realizzare due campi prove sperimentali (Togliani & Beatrizotti, 2004) sotto la supervisione del Dott. Togliani; i risultati (relativamente alle prove DP) sono di seguito riportati.

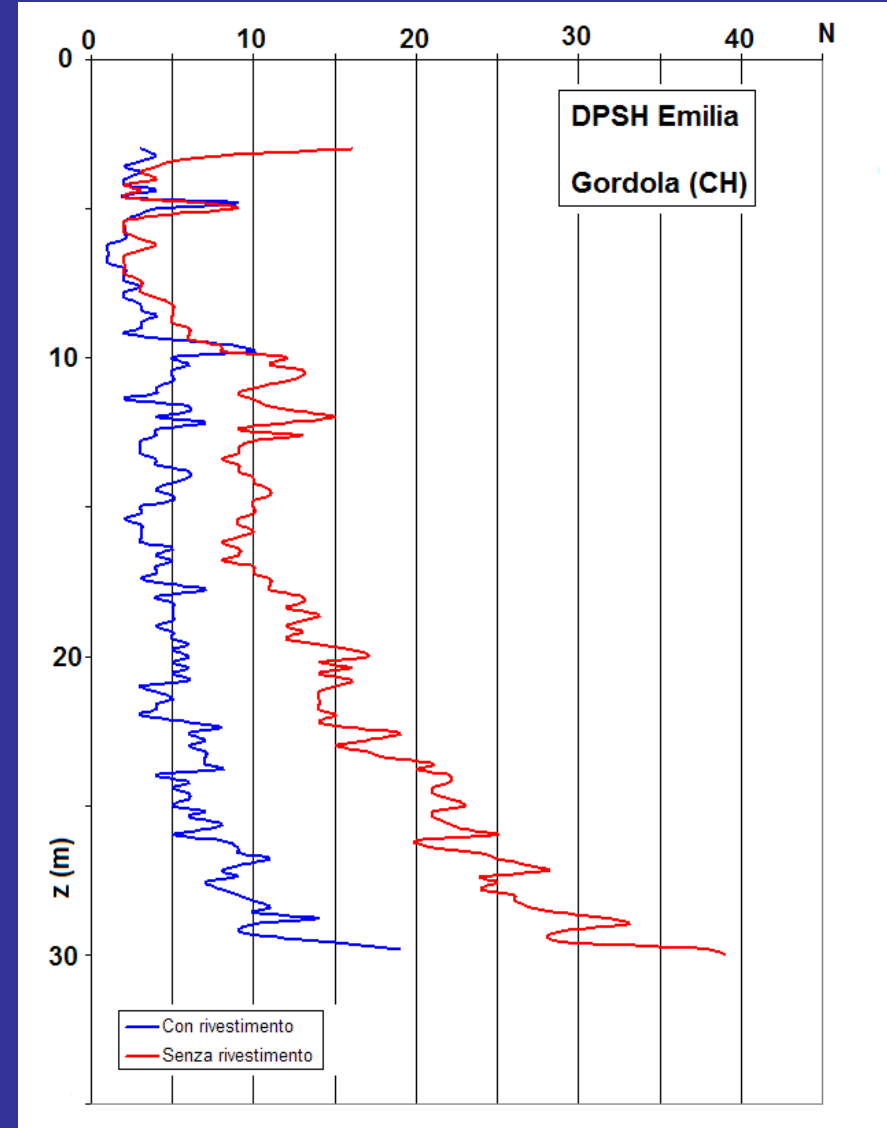
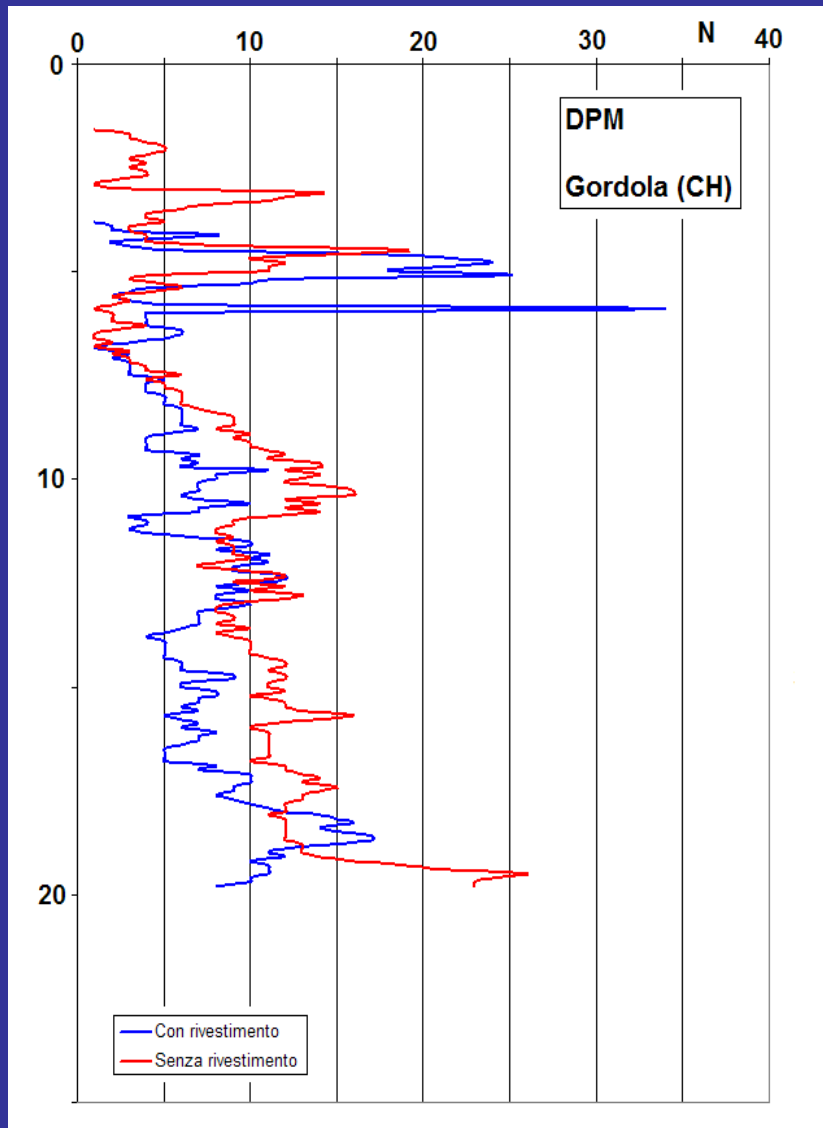
# Sito sperimentale di Stabio (Canton Ticino) – depositi fluviali e lacustrini (Würm)

Dati cortesemente forniti dal Dott. Togliani



# Sito sperimentale di Gordola (Canton Ticino) – depositi alluvionali (Würm)

Dati cortesemente forniti dal Dott. Togliani



# La prova DP: l'interpretazione della prova

- Per l'interpretazione della prova si può ricorrere a tre metodi diversi:
  1. risalire dai valori di  $N_{DP}$  ai valori di  $N_{SPT}$  (secondo quanto visto prima) e applicare le correlazioni note per la prova SPT
  2. calcolare dalla prova DP la resistenza dinamica  $r_d$  (o  $q_d$ ) e da questa risalire alla resistenza alla punta  $q_c$  propria della prova penetrometrica statica, applicando quindi le correlazioni proprie alla prova CPT
  3. correlare direttamente i valori di  $N_{DP}$  alla resistenza alla punta statica  $q_c$
- Il metodo esposto al punto 3) è poco raccomandabile in quanto le correlazioni proposte da vari Autori sono generalmente inaffidabili in quanto non sono esplicitate chiaramente le condizioni di prova (assenza o presenza del rivestimento) e le tipologie di attrezzatura utilizzata.
- Il calcolo della resistenza statica equivalente attraverso il punto 2) avviene attraverso la:
  - $q_c(eq) = \alpha r_d$

# La prova DP: l'interpretazione della prova

- La resistenza dinamica è calcolata con le classiche formule degli Olandesi:

$$r_d = \frac{M H}{e A}$$

$$q_d = \frac{M^2 H}{(e A)(M + Q)}$$

- $M$  = peso del maglio (kg) -  $H$  = altezza di caduta (cm) -  $A$  = area della base del cono (cmq) -  $Q$  = peso totale della testa di battuta e della batteria di aste (kg) -  $e$  = penetrazione standard (cm)
- $r_d$  va utilizzato nelle prove eseguite con il rivestimento,  $q_d$  in quelle senza.
- Il valore calcolato va diviso per 10 per passare da kg/cmq a MPa

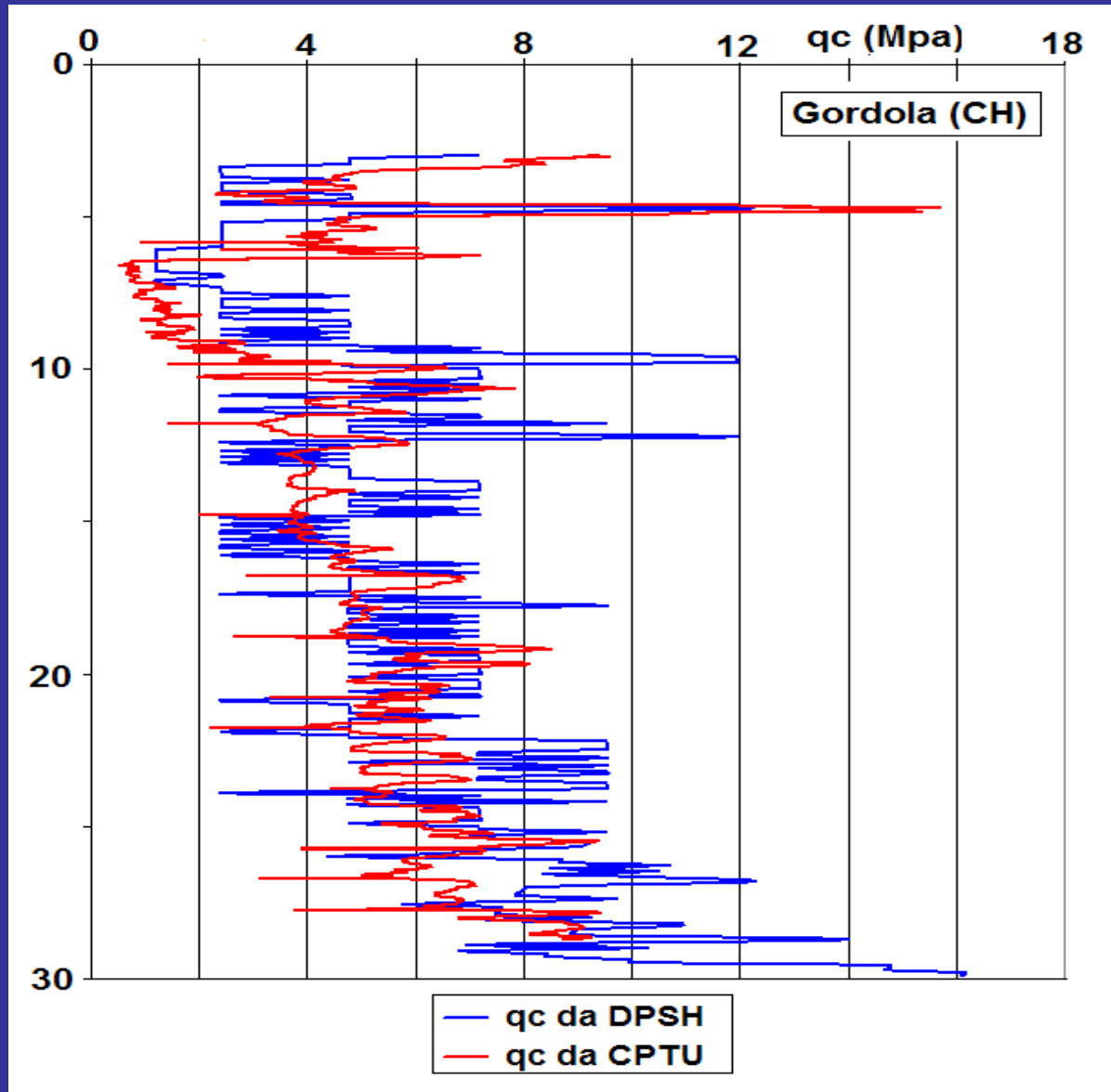
# La prova DP: l'interpretazione della prova

- Il coefficiente  $\alpha$ , in funzione della litologia attraversata prende i seguenti valori:

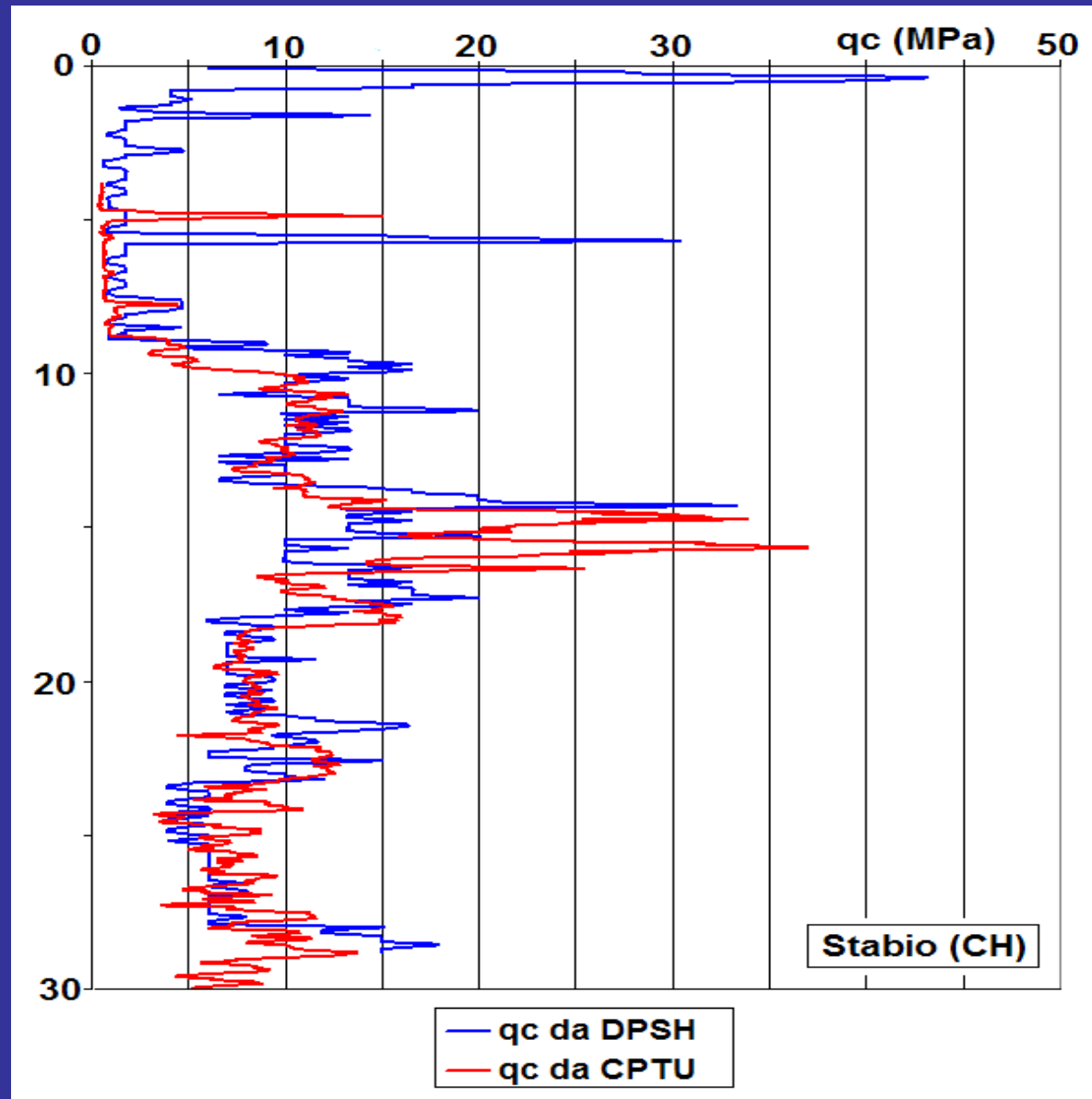
| Litologia (classificazione USCS) | $\alpha$  |
|----------------------------------|-----------|
| Pt - OH – MH - CH                | 0,4       |
| OL – CL                          | 0,5       |
| CL – ML                          | 0,6       |
| ML                               | 0,7       |
| SC                               | 0,8       |
| SM – SP                          | 0,9       |
| SW                               | 1,0       |
| GP - GW                          | 1,1 ÷ 1,2 |

- I valori di  $q_c(eq)$  sono raffrontati nelle diapositive seguenti con i valori di  $q_c$  misurati in prove CPTU adiacenti; le esperienze SUPSI dimostrano che la sovrapposizione può essere considerata soddisfacente, a patto che il valore di  $r_d$  sia derivato da prove tipo DPSH eseguite con il rivestimento.

# Prove DP: passaggio da N a rd a qc

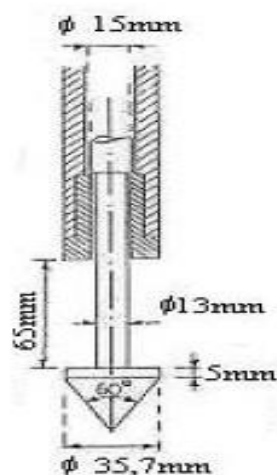


# Prove DP: passaggio da N a rd a qc

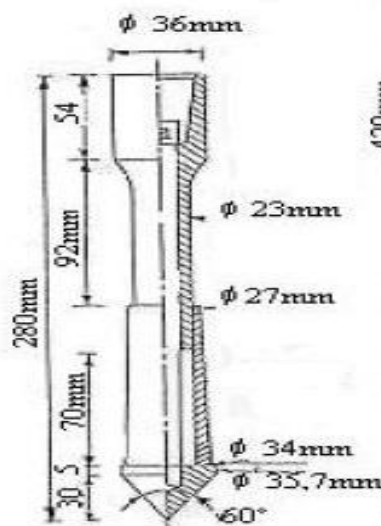


# La prova CPTM: l'evoluzione della misura della resistenza

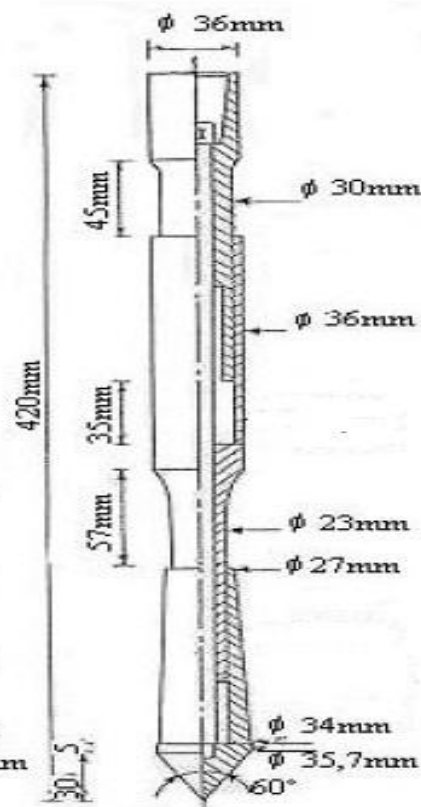
## Punte CPT



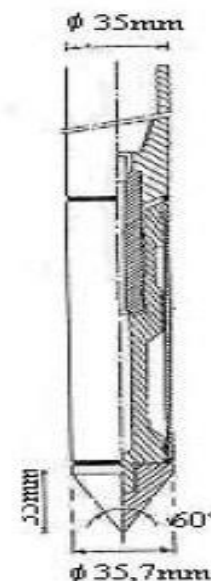
**cono  
semplice  
1936**



**punta  
protetta  
1948**



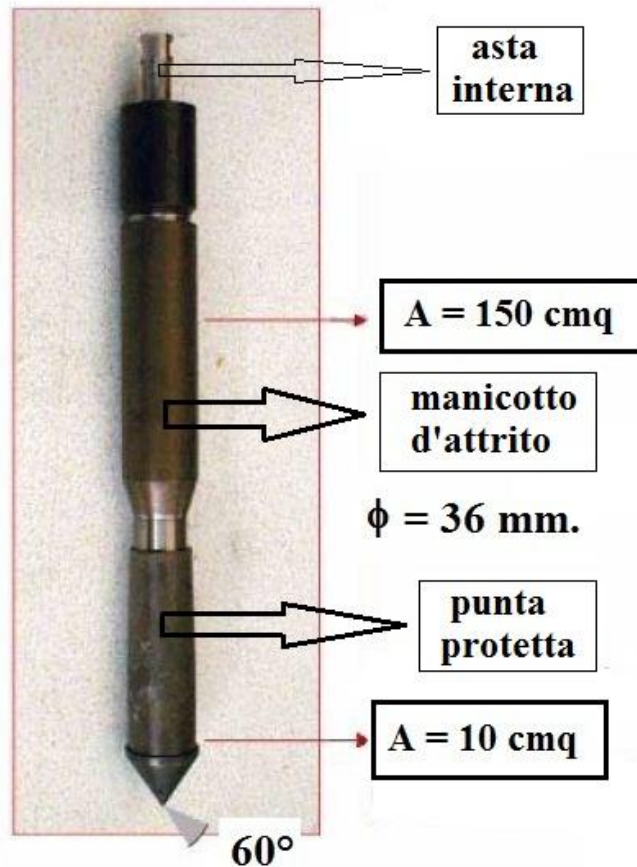
**punta  
Begemann  
punta protetta  
e  
manicotto  
d'attrito  
1953**



**punta  
elettrica  
1960**

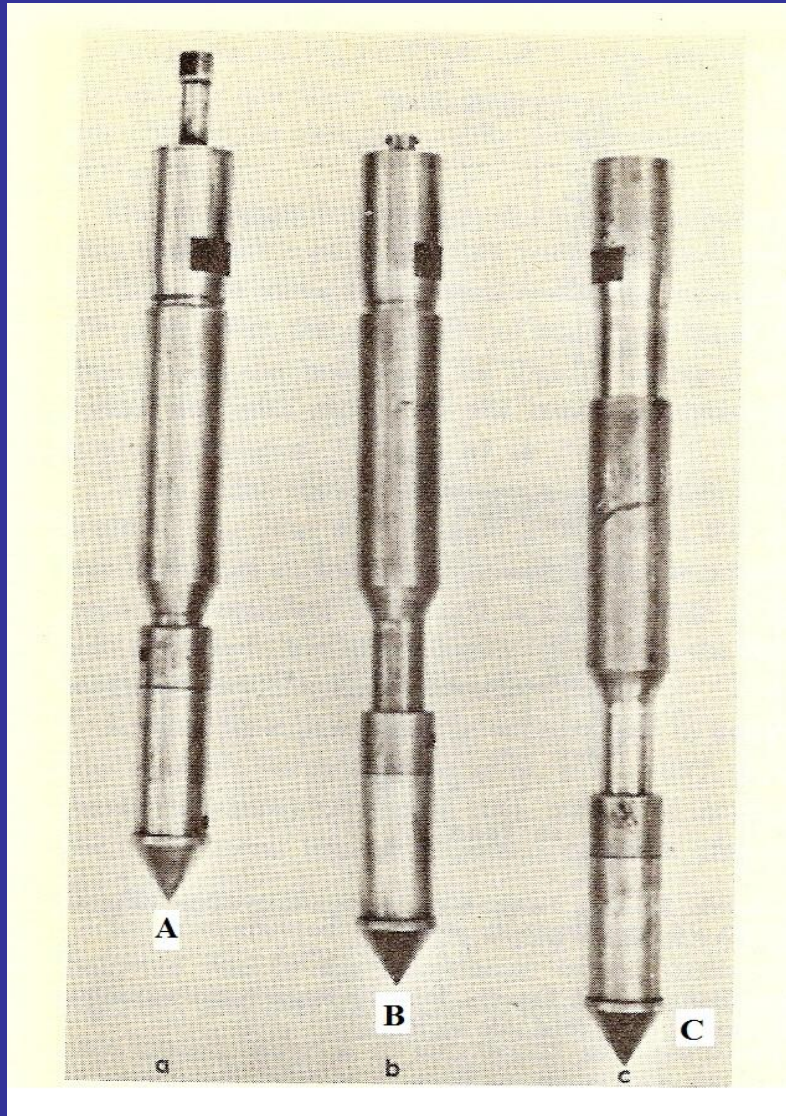
# La prova CPTM: la punta Begemann (1953)

## CPTM punta Begemann



Le aste di spinta sono due, coassiali; quella interna misura le resistenza alla punta e di attrito (più propriamente adesione) lungo il manicotto, Quella esterna permette la penetrazione di tutta la batteria

# La prova CPTM: la punta Begemann (1953)



A – posizione iniziale

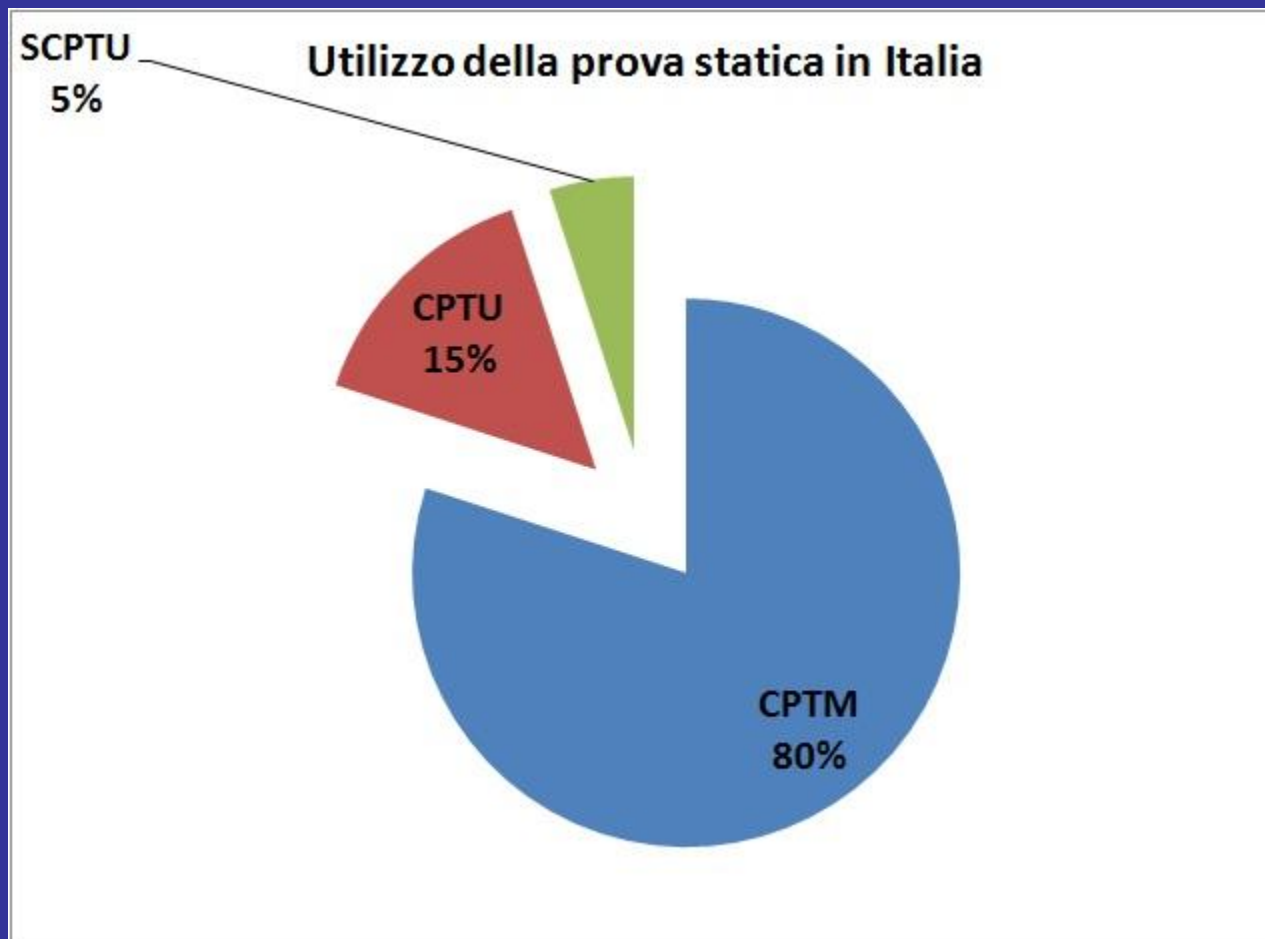
B – mediante l'asta interna collegata alla punta si avanza la stessa per 4 cm e si misura la resistenza; il manicotto viene agganciato

C – la punta ed il manicotto vengono fatti avanzare per altri 4 cm e si misura la resistenza totale (la resistenza d'attrito sarà la resistenza totale meno la resistenza di punta)

Si esercita la pressione sull'asta esterna che quindi spinge la parte mobile superiore per 12 cm raggiungendo così l'intervallo di misura di 20 cm

Si ripete il ciclo fino alla profondità voluta

# La prova CPTM: la stato attuale in Italia



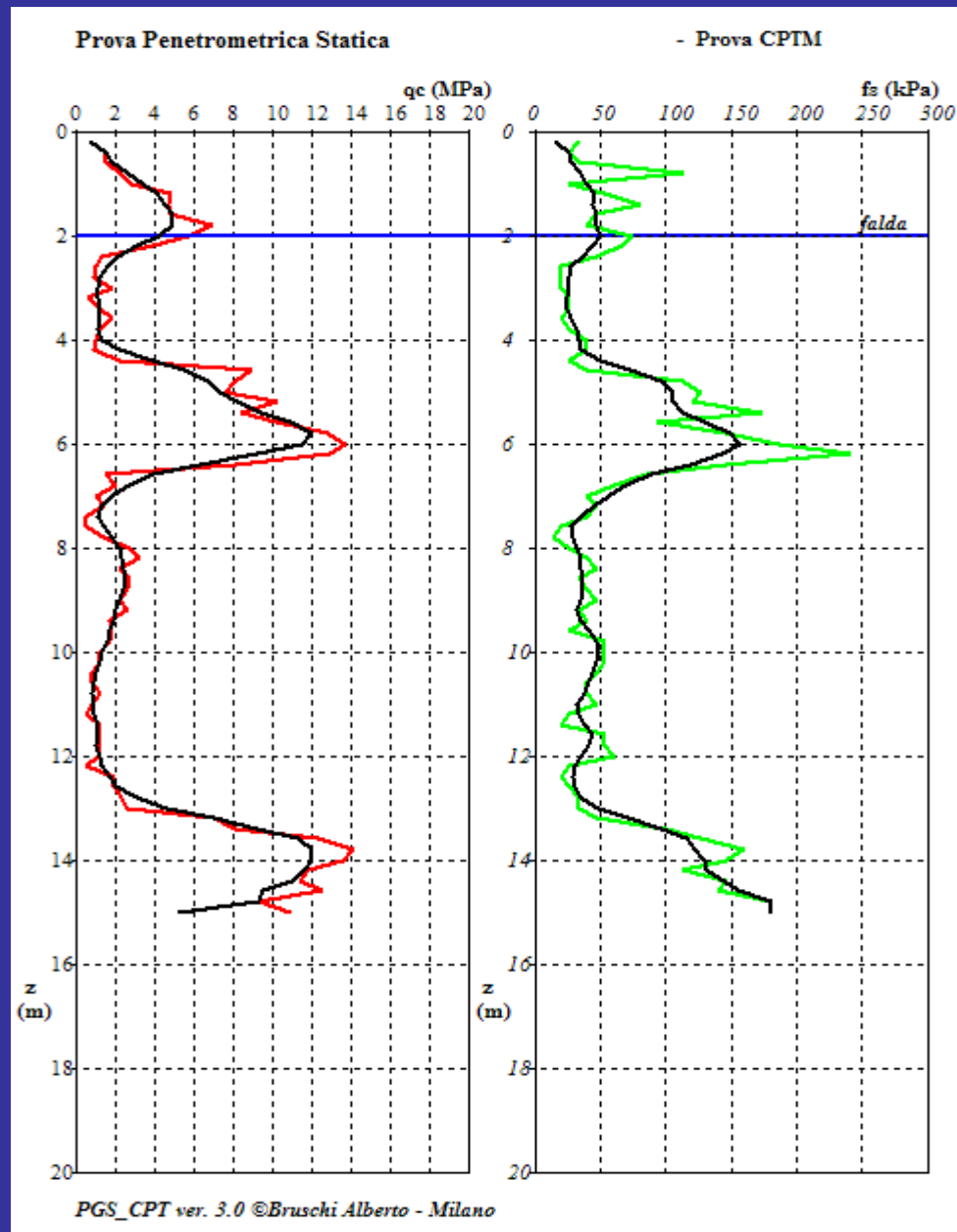
Da Viana de Fonseca, CPT'10

# La Prova CPTM: smussamento dei dati

- Nella parte dedicata alle prove dinamiche abbiamo visto come eseguire uno smussamento dei picchi anomali del numero dei colpi.
- Si può eseguire la stessa operazione anche per le prove statiche; in questo caso è più appropriato eseguire una perequazione sui valori misurati di qc e di fs, cioè una operazione di "smoothing" che permette di ridurre quei valori che sono troppo diversi dagli altri, riducendo quindi la variabilità dei dati.
- Consigliabile è applicare una media mobile a 5 termini (sostituendo ad ogni dato della serie la media con i due dati precedenti ed i due dati successivi), in accordo con la:

$$X_i = \sum_2^{n-2} \left( \frac{X_{i-2} + X_{i-1} + X_i + X_{i+1} + X_{i+2}}{5} \right)$$

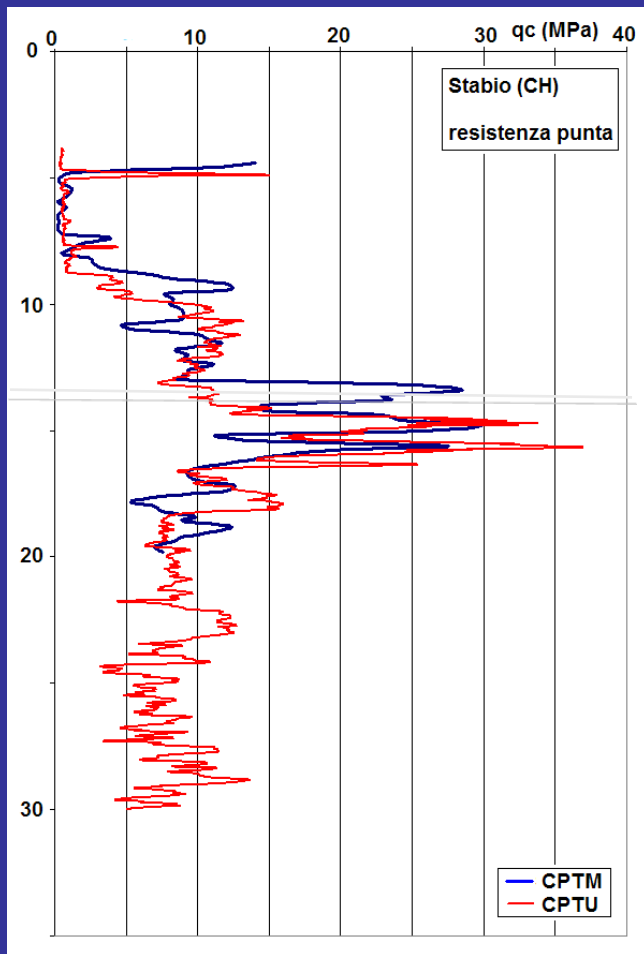
# La Prova CPTM: smussamento statistico dei dati



# La prova CPTM: problematiche

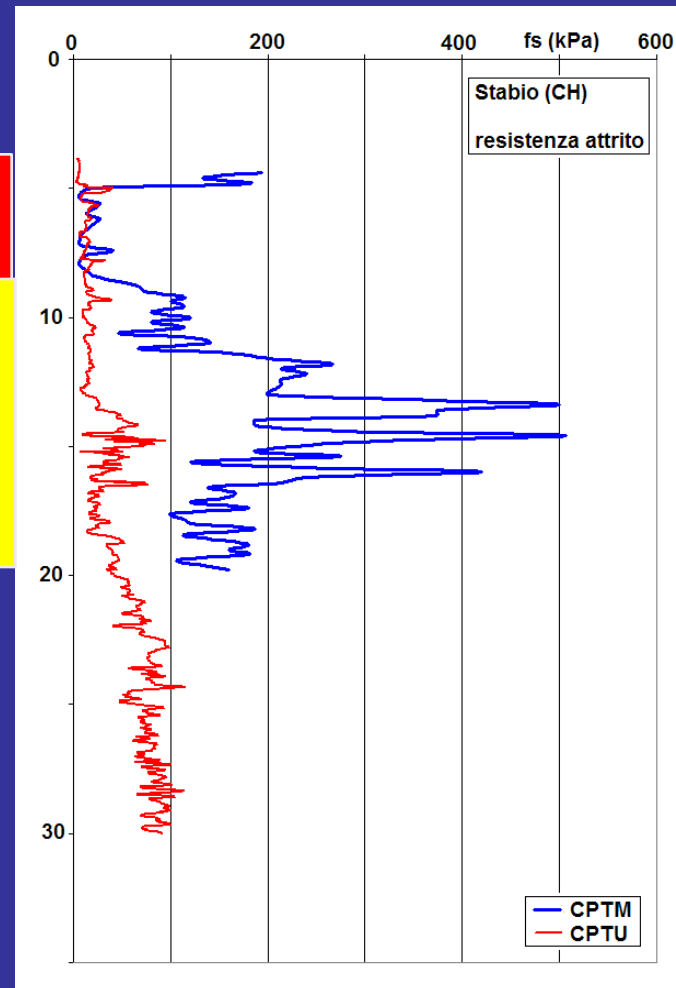
- Le misure della resistenza alla punta ( $q_c$ ) e della resistenza d'attrito ( $f_s$ ) si riferiscono a due quote diverse, per cui in terreni stratificati si possono verificare errori sostanziali nell'identificare il tipo di terreno attraversato
- La misura di  $q_c$  è influenzata dall'attrito che può svilupparsi lungo la protezione dietro al cono
- La misura di  $f_s$  può essere influenzata dalla resistenza incontrata dai bordi inferiori del manicotto
- Tale resistenza può, in caso di terreni sabbiosi, può raggiungere valori anche molto superiori rispetto a quello effettivo
- Il valore reale di  $f_s$  da utilizzare dovrebbe essere nei depositi sabbiosi ridotto del 30-40% rispetto al valore misurato
- Le diapositive seguenti raffrontano i valori di  $q_c$  e di  $f_s$  misurati in una prova statica con punta meccanica e quelli misurati con punta elettrica

# Sito sperimentale di Stabio (Canton Ticino) – depositi fluviali e lacustrini (Würm)



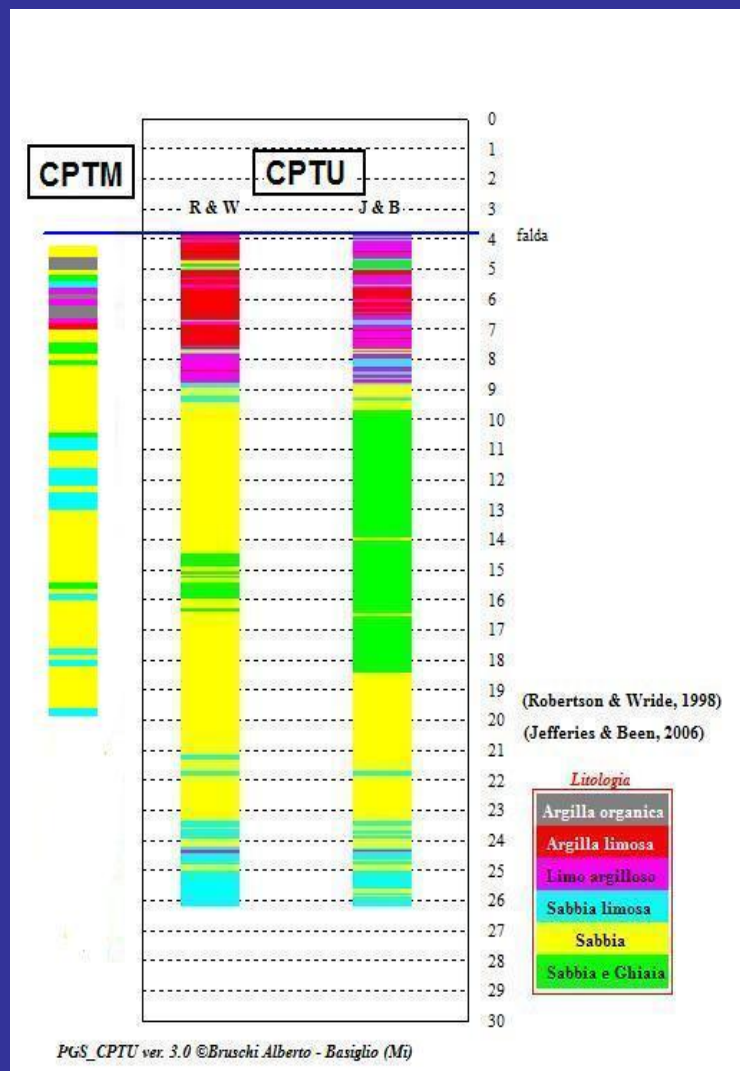
A

S

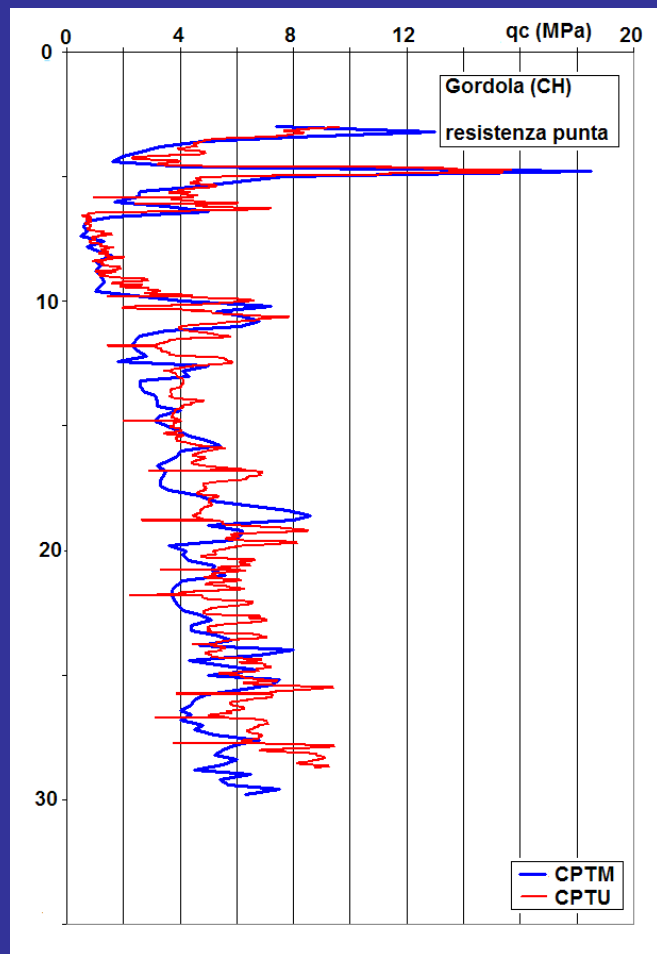


Dati cortesemente forniti dal Dott. Togliani

# Sito sperimentale di Stabio (Canton Ticino) – depositi fluviali e lacustrini (Würm)

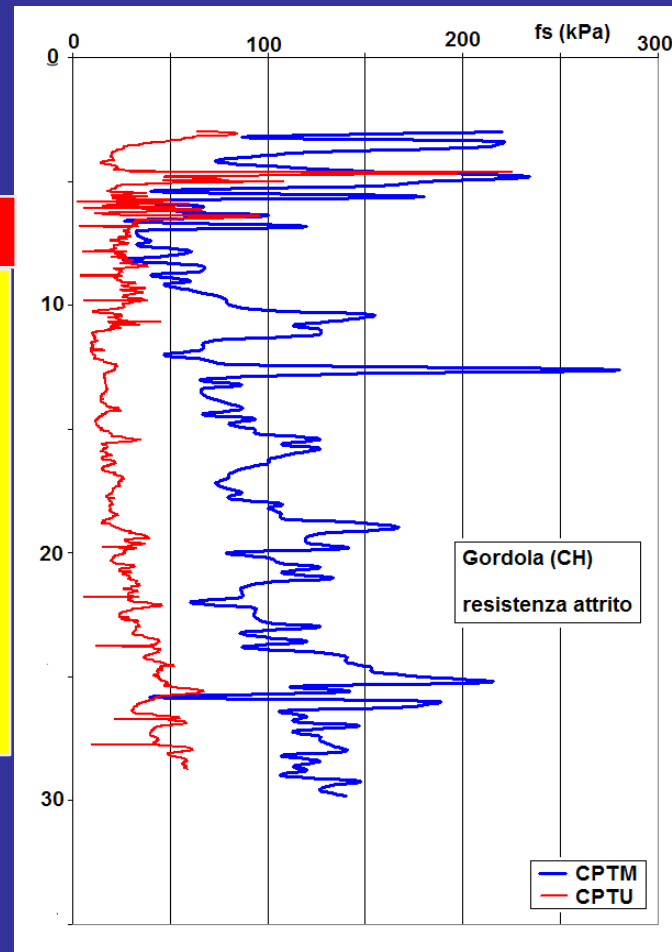


# Sito sperimentale di Gordola (Canton Ticino) – depositi alluvionali (Würm)



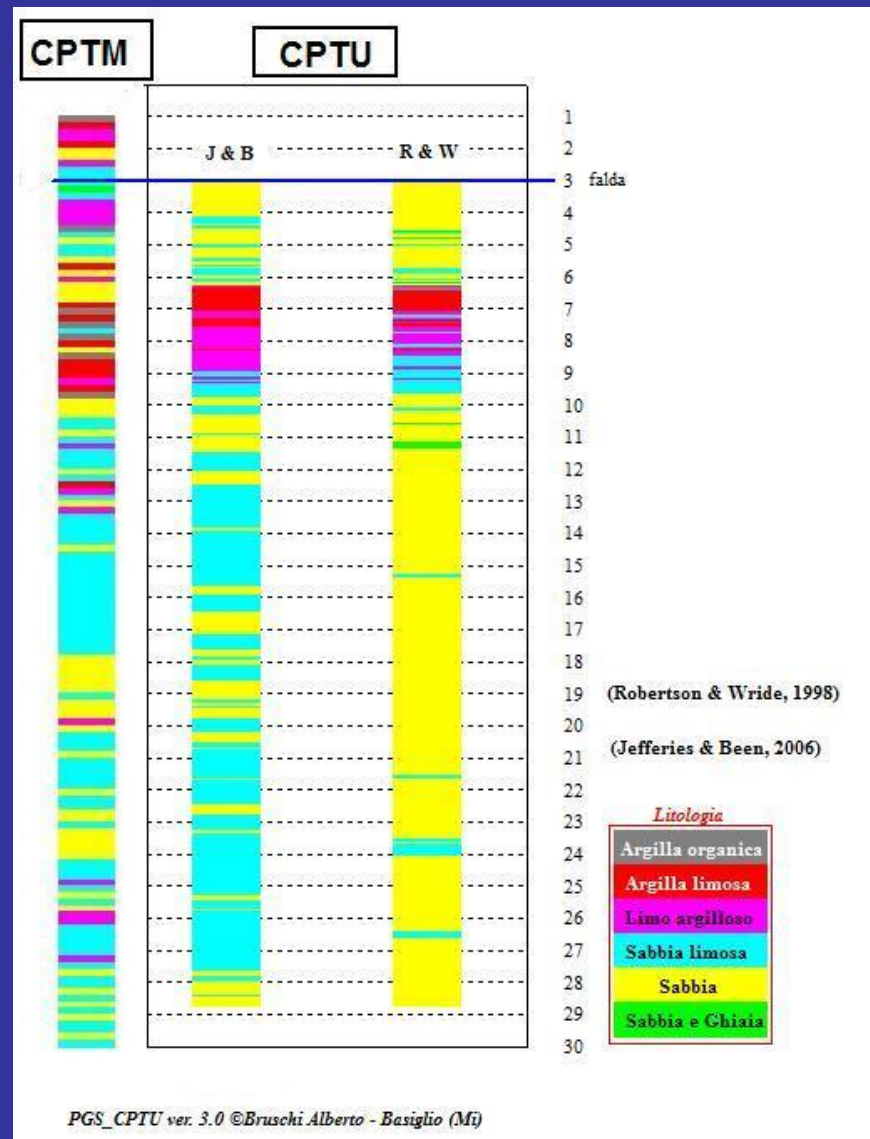
A

S

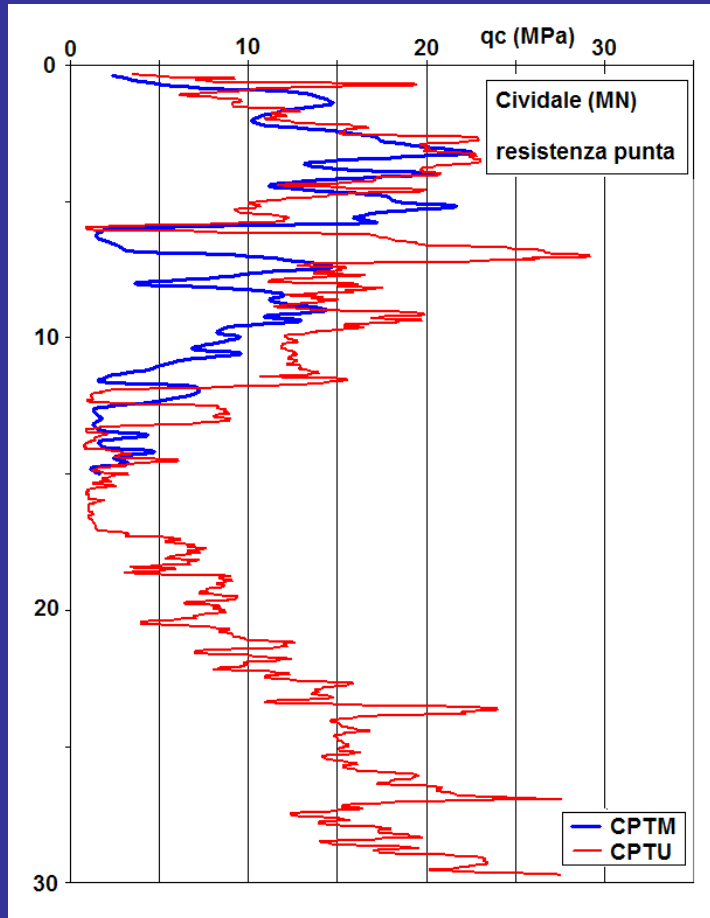


Dati cortesemente forniti dal Dott. Togliani

# Sito sperimentale di Gordola (Canton Ticino) – depositi alluvionali (Würm)

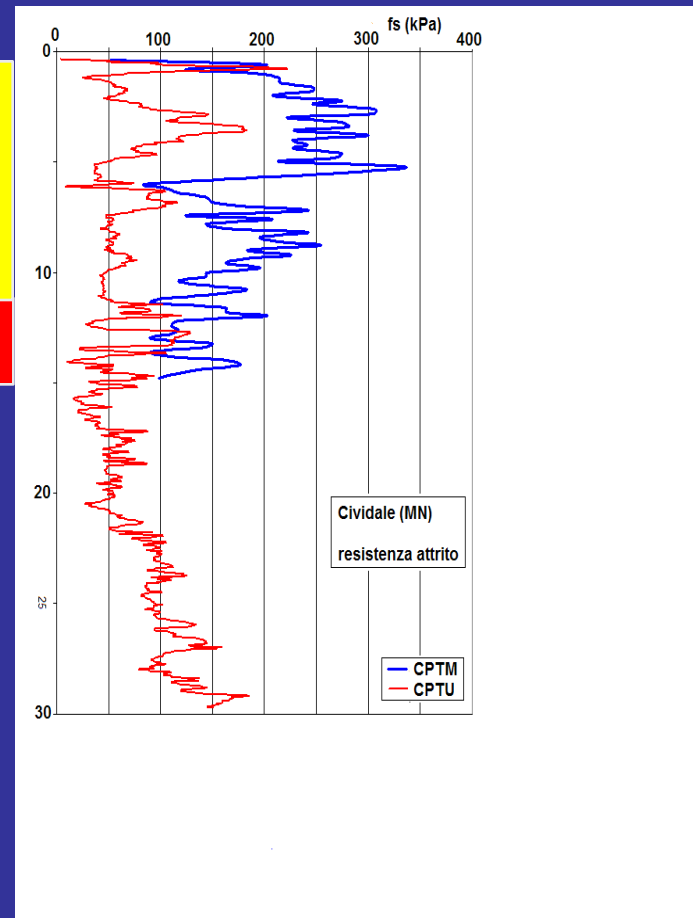


## Cividale (Mn) – depositi alluvionali (Würm)



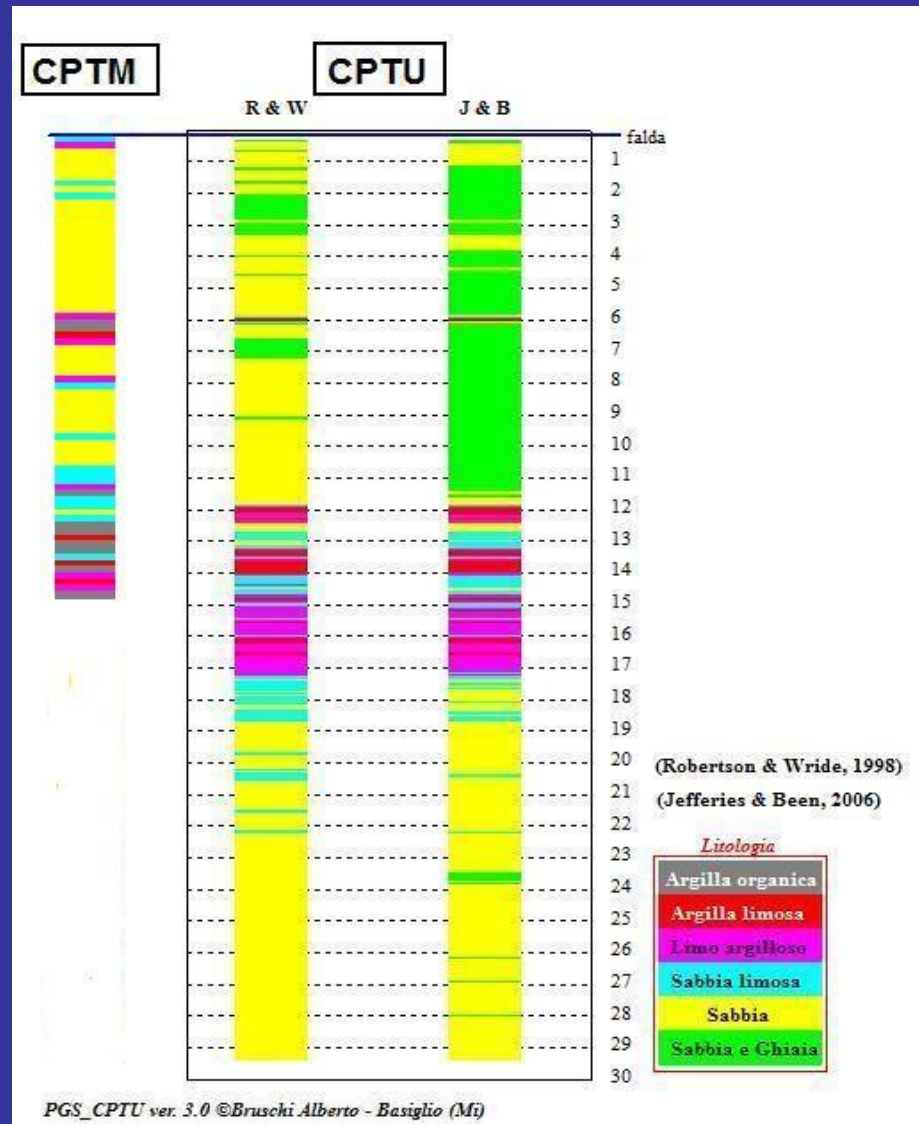
S

A



Dati cortesemente forniti dal Dott: Togliani

## Cividale (Mn) – depositi alluvionali (Würm)



## La prova CPTM: problematiche

- Nel caso di uso continuo e prolungato della punta Begemann va inoltre controllato lo stato di usura del manicotto che ha una notevole influenza sulla misura di  $f_s$



# I parametri di progetto il valore caratteristico

- Il valore caratteristico deve essere una stima ragionata e cautelativa del valore di un parametro geotecnico nello stato limite considerato:
- SLU: angolo d'attrito, coesione, peso di volume
- SLE: modulo elastico, modulo confinato

I parametri caratteristici prendono il suffisso "k":  $\phi'_k, c'_k, c_{uk}, E_k, M_k$

- Il parametro di progetto generico  $f_d$  (da utilizzare nelle verifiche) è

Per SLU Approccio 1 Combinazione 2:  $f_d = f_k / \gamma_M$

per SLU Approccio 1 Combinazione 1:  $f_d = f_k$

per SLE:  $f_d = f_k$

# I parametri di progetto

## il valore caratteristico

- La valutazione del valore caratteristico si differenzia in base al volume di terreno interessato dall'opera e alla rigidità della struttura
- Il valore caratteristico approssima il valore **medio** del parametro quando nello stato limite considerato il volume di terreno interessato dall'opera è elevato o, nel caso di fondazioni, la stessa è rigida; il valore caratteristico approssima il valore **minimo** del parametro quando nello stato limite considerato il volume di terreno interessato dall'opera è relativamente piccolo.

| Volume elevato ( $\approx$ valore medio)  | Volume piccolo ( $\approx$ valore minimo)           |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Fondazione molto rigida                   | Plinti o travi non collegati o strutture non rigide |
| Portata laterale dei pali                 | Portata di base dei pali                            |
| Pendii in frana e fronti di scavo estesi  | Fronti scavo non estesi                             |
| Opere di contenimento di notevole altezza | Opere di contenimento di modesta altezza            |

# I parametri di progetto

## il valore caratteristico (NTC\_08)

- Considerando la distribuzione statistica normale, calcolata con la "t" di Student si ha:

- Per elevati volumi coinvolti di terreno

$$X_k = X_m - t_{n-1}^{0,95} \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \right)$$

$x_k$  = valore caratteristico –  $x_m$  = valore medio della popolazione (valore medio del campione) –  $t$  = valore della distribuzione di Student per (n-1) gradi di libertà con probabilità 95% -  $\sigma$  = deviazione standard del campione –  $n$  = numero dei dati del campione

| n - 1 | $t_{(n-1)}^{0,95}$ | n - 1    | $t_{(n-1)}^{0,95}$ |
|-------|--------------------|----------|--------------------|
| 2     | 4,30               | 9        | 2,26               |
| 3     | 3,18               | 10       | 2,23               |
| 4     | 2,78               | 15       | 2,13               |
| 5     | 2,57               | 20       | 2,09               |
| 6     | 2,45               | 25       | 2,06               |
| 7     | 2,36               | 30       | 2,04               |
| 8     | 2,31               | $\infty$ | 1,96               |

- Per piccoli volumi coinvolti di terreno

$$X_k = X_m - Z_{0,05} \sigma \approx X_m - 1,645 \sigma$$

# I parametri di progetto

## il valore caratteristico (Eurocodice EC7)

- L'Eurocodice 7 prevede l'applicazione della relazione di Frank et al. (2004):

$$x_k = x_m (1 - K_n \text{ COV})$$

$x_k$  = valore caratteristico –  $x_m$  = valore medio della popolazione (valore medio del campione) –  $K_n$  = variabile dipendente della distribuzione di Student –  
COV = coefficiente di variazione =  $\sigma/x_m$  -  $n$  = numero dei campioni

- I valori di  $K_n$  possono essere anche calcolati
- con le:

$$K_{n(95\%)} = 6,891 \exp(-0,6661n) + 0,8315 \exp(-0,03509n)$$

Volumi elevati

$$K_{n(\text{frattile } 5\%)} = 8,703 \exp(-0,6081n) + 1,997 \exp(-0,005196n)$$

Volumi piccoli

| n        | $K_n$<br>Volumi<br>elevati | $K_n$<br>Volumi<br>piccoli |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| 3        | 1,69                       | 3,37                       |
| 4        | 1,18                       | 2,63                       |
| 5        | 0,95                       | 2,33                       |
| 6        | 0,82                       | 2,18                       |
| 8        | 0,67                       | 2,00                       |
| 10       | 0,58                       | 1,92                       |
| 20       | 0,39                       | 1,76                       |
| 30       | 0,31                       | 1,73                       |
| $\infty$ | 0,00                       | 1,64                       |

# I parametri di progetto

## il valore caratteristico (pochi campioni)

- Qualora si debbano eseguire delle analisi avendo a disposizione pochi dati (ad esempio quando si hanno a disposizione solo prove SPT) è consigliabile adottare la:

$$X_k = X_m - Z_{0,05} S \approx X_m - 1,645 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- Con deviazione standard ignota il valore di  $\sigma$  può essere ricavato dalla

$$COV = \frac{\sigma}{X_m}$$

derivando COV da valori noti in Letteratura

# I parametri di progetto

## il valore caratteristico (pochi campioni)

| parametro                              | COV |
|----------------------------------------|-----|
| Resistenza al taglio non drenata $S_u$ | 55% |
| Coesione efficace $c'$                 | 45% |
| Angolo d'attrito (argilla)             | 30% |
| Angolo d'attrito (limo)                | 15% |
| Angolo d'attrito (sabbia)              | 10% |
| Modulo di compressibilità              | 40% |

## il valore caratteristico allo SLE

Non vi è ancora uniformità di vedute sul valore caratteristico da assegnare al modulo confinato o al modulo elastico per il calcolo dei cedimenti; Vannucchi (2009) consiglia di usare la media dei valori, altri la mediana:

$$X_{med} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i}$$

Fine prima parte

Grazie