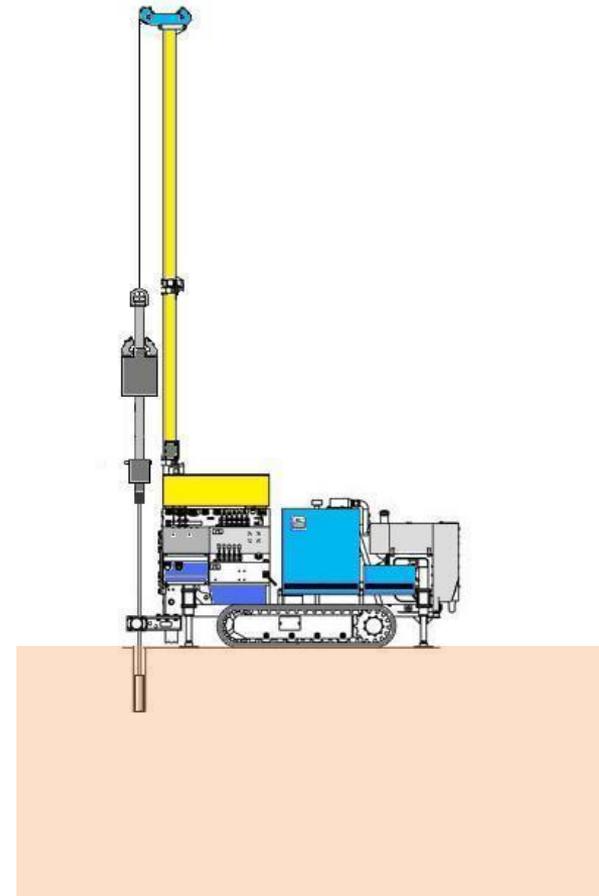


MEZZI DI INDAGINE

- **Scavi e trincee**
- **Sondaggi meccanici e perforazioni**
- **Campionamento**
- **Prove SPT Standard Penetration Test.**
- Prove penetrometriche dinamiche
- Prove penetrometriche statiche
- Prove Pressiometriche
- Prove Dilatometriche
- Prove Scissometriche
- Prove di carico con piastra
- Misure di permeabilità
- Misure delle velocità delle onde elastiche
- Prove cross-hole; down-hole



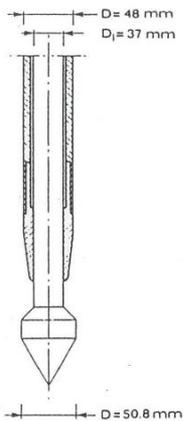


PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

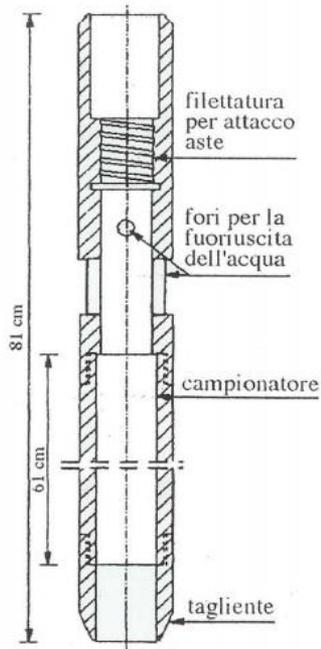
Campionatore Raymond



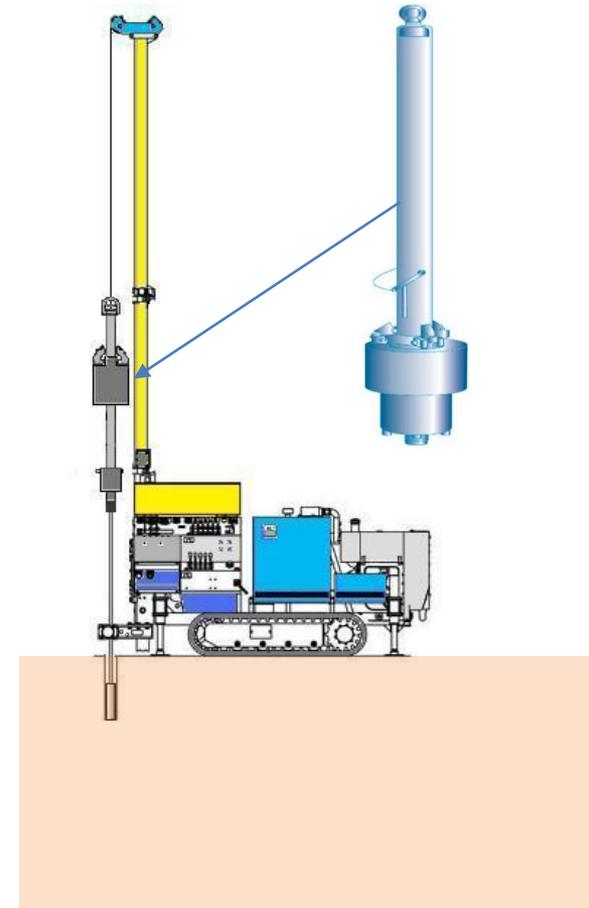
Punta conica
(per ghiaie grosse)



diametro $d = 51 \text{ mm}$
angolo = 60°

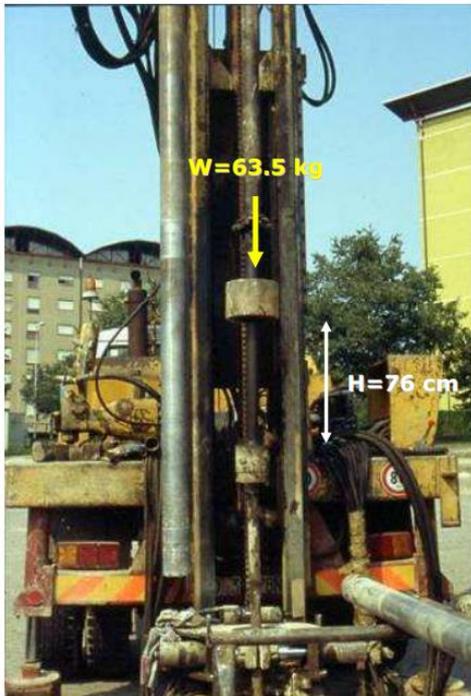


diametro interno $d = 35 \text{ mm}$
 $L = 355 \text{ mm}$

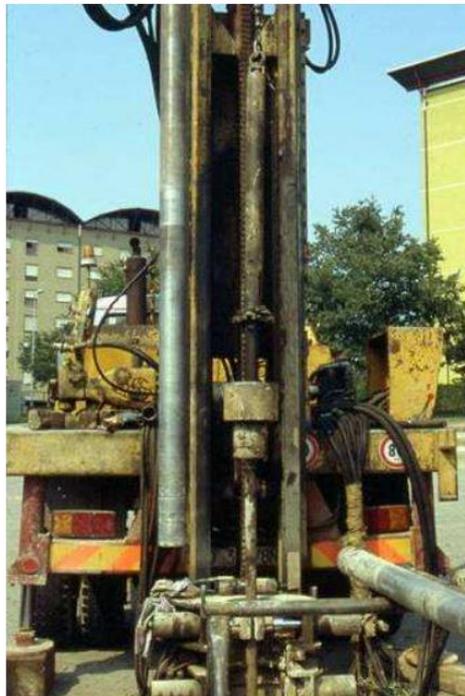


PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

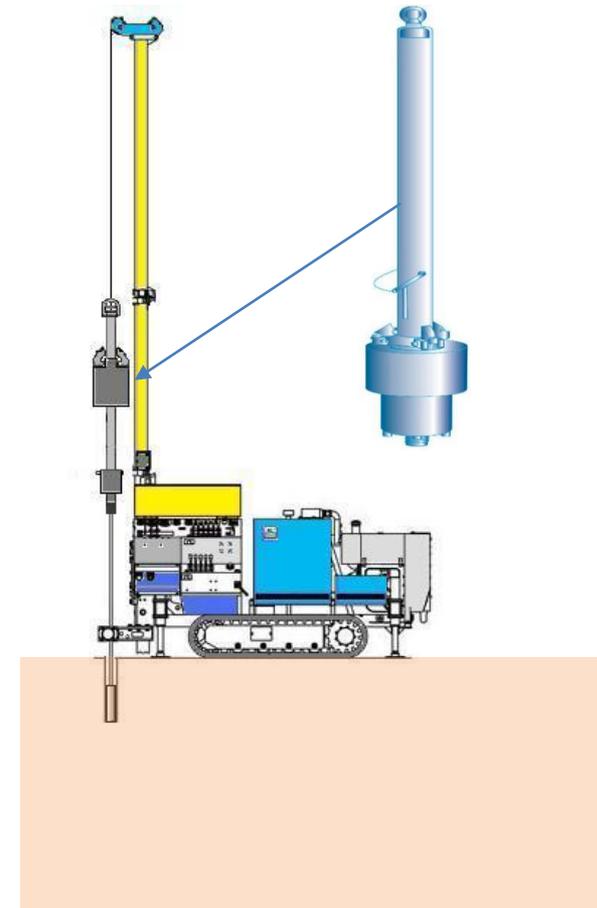
Infissione da fondo foro, con ritmo da 10 a 25 colpi/min



1. Aggancio e sollevamento del maglio



2. Sgancio e caduta del maglio sulla cuffia



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)



<https://www.facebook.com/laboratoriotecnologicolombardo/videos/1106152003117738/>



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche:	Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche» Fioravante V. (2020) Corso di Geotecnica UNIFE
Norme di riferimento:	UNI EN ISO 22476-3:2012 ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988) ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Esecuzione della prova: aspetti principali

- Il fondo del foro deve essere pulito affinché la prova sia eseguita in terreno relativamente indisturbato (ved. norma AGI - R-AGI)
- Quando necessario può essere utilizzato il rivestimento con camicia metallica fino alla quota di inizio della prova o fanghi.
- Secondo le norme ASTM il diametro interno del rivestimento del foro di sondaggio deve essere $162\text{mm} > D_i > 56\text{mm}$; secondo le Raccomandazioni AGI: $200\text{mm} > D_i > 60\text{mm}$
- Attrezzatura deve essere a norma: Campionatore; Aste che collegano la testa di battuta del maglio con il campionatore; Dispositivo di battuta.
- Modalità esecutive: Preparazione del foro di sondaggio – vedi normativa;
- Esecuzione della prova e criteri di acquisizione dei risultati: Lettura di N1; N2; N3 (numero di colpi per ciascuna volata di 15cm)

$$N_{spt} = N2 + N3$$

Rifiuto:

$$N_{spt} = R \ 50/8\text{cm}$$

$$N_{spt} = R \ 100/18\text{cm}$$

Secondo Raccomandazioni AGI: la prova si dichiara conclusa quando per l'infissione preliminare sono necessari più di 50colpi
Se si supera la prima volata e per le volate successive si superano 100colpi
La prova è dichiarata conclusa e si indicano i cm raggiunti con i 100 colpi.



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche: Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»

Norme di riferimento: UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Esecuzione della prova: aspetti principali

- Estrazione del campione dalla fustella Raymond, sigillatura ed etichettatura (alto/basso; n.prova, profondità, n.sondaggio, data, lavoro, lunghezza del campione)
- Documentazione della prova: caratteristiche delle prove, comprese le caratteristiche delle attrezzature utilizzate e delle norme di riferimento, descrizione della prova in termini di fasi e di eventuali anomalie.
- **Taratura del sistema**: inserimento di una cella di carico fra la testa di battuta e la batteria delle aste per misurare l'energia di impatto fra testa di battuta e aste
- .

Nota: La resistenza alla penetrazione del campionatore non dipende solo dalla massa battente del maglio o dalle caratteristiche del terreno indagato, ma anche dai dispositivi che influenzano la libera caduta del maglio. (*Importante da funzionalità e la pulizia dell'attrezzatura*).

La prova SPT è standardizzata unicamente per quanto riguarda la **massa del maglio**, **l'altezza di caduta** ed il **campionatore**: per il resto esistono molti aspetti che incidono sui risultati, compresa l'energia che viene dissipata **nel trasferimento dalla battuta alle aste del campionatore**. **Esiste su questo una ampia analisi nei testi che sono indicati e che possono essere approfonditi per valutare i fattori di correzione per tenere conto dell'onda di compressione e fattori di correlazione..**

PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche:

Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna

AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»

Norme di riferimento:

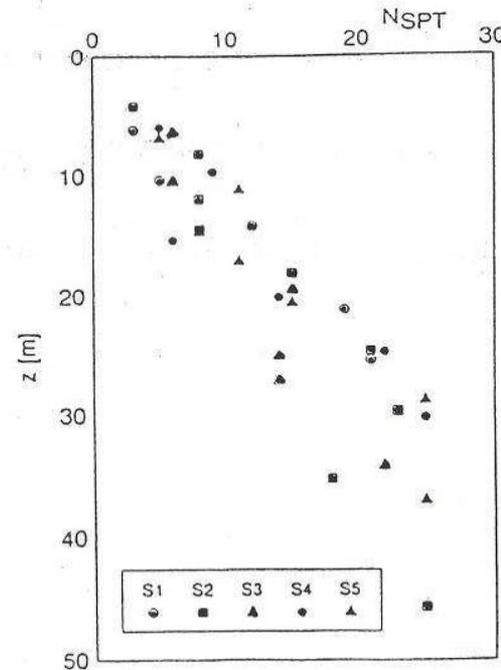
UNI EN ISO 22476-3:2012

ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)

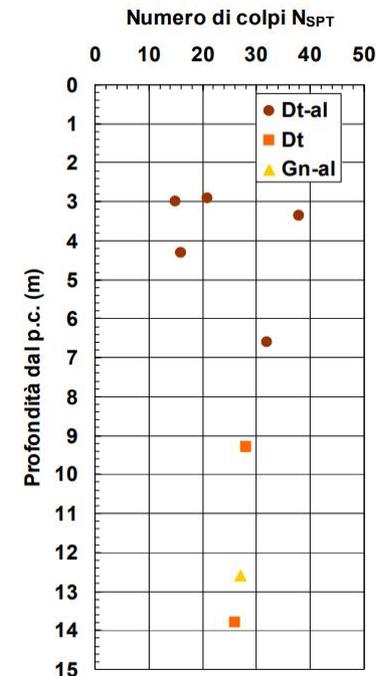
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils

UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Modalità di rappresentazione delle prove Spt



terreno omogeneo



sottosuolo eterogeneo



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

- Fonti bibliografiche:** Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»
- Norme di riferimento:** UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Esecuzione della prova: aspetti principali

ER_i: Rendimento (Efficienza) del sistema di infissione del sistema

La prova può essere condotta con un cabestano o con sganciamento automatico del maglio.
Con il sistema a maglio con sgancio automatico ER_i è prossimo o leggermente superiore al 60%.



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche: Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»

Norme di riferimento: UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Utilizzo dei risultati delle prove SPT

Le prove SPT sono prove in situ durante le quali il terreno segue dei percorsi degli sforzi efficaci diversi e i risultati delle prove possono essere correlati solo **empiricamente** con le specifiche proprietà del terreno in sito (*Jamiolkowski e al. 1988*)

Consapevolezza sulle limitazioni delle correlazioni a causa di molti fattori che influiscono sul comportamento non lineare e plastico dei terreni:

- *Composizione mineralogica*
- *Sforzi agenti in situ*
- *Storia dello stato tensionale e deformativo*
- *Sensività*
- *Aging*
- *Struttura*
- *Resistenza dei grani*

PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

- Fonti bibliografiche:** Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»
- Norme di riferimento:** UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Normalizzazione del valore N_{spt} rispetto a σ'_{vo}

$$N1 = C_N \cdot N$$

N: numero dei colpi misurati con prova standard

N1: valore di N riferito ad un valore unitario di σ'_{vo}

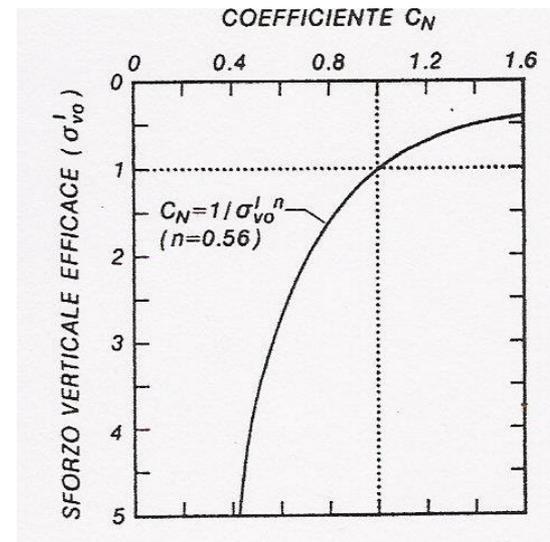
C_N = Coefficiente di correzione dipendente da σ'_{vo}

$$C_N = 1/\sigma'_{vo}{}^n$$

Essendo $n = 0,56$ (Jamiolkowski 1985)

Oppure

$N = 0,5$ (Liao e Whitman, 1985)



Tokimatsu, (1988)



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

- Fonti bibliografiche:** Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»
- Norme di riferimento:** UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Normalizzazione del valore N_{spt} rispetto al dispositivo di battitura

$$N_{60} = (E_{r_M}/60) \cdot N$$

N_{60} : numero dei colpi corretto per riferirlo al rendimento 60%

E_{r_M} : rendimento medio misurato, espresso in percentuale

N : numero dei colpi misurato = N_{spt}



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

- Fonti bibliografiche:** Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»
- Norme di riferimento:** UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Normalizzazione del valore N_{spt} rispetto al dispositivo di battitura

$$N_{60} = (E_{r_M}/60) \cdot N$$

N_{60} : numero dei colpi corretto per riferirlo al rendimento 60%

E_{r_M} : rendimento medio misurato, espresso in percentuale

N : numero dei colpi misurato = N_{spt}



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

- Fonti bibliografiche:** Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»
- Norme di riferimento:** UNI EN ISO 22476-3:2012
ISSMFE (Associazione Geotecnica Internazionale) : (ISOPT-1-1988)
ASTM D 1586-84 (1992) - Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils
UNI ENV 1977-3:2002 Eurocodice EC7 , Parte 3 cap.5

Normalizzazione del valore N_{spt} per pressione del terreno e per sistema di infissione

$$(N1)_{60} = CN (E_{r_{iM}}/60) \cdot N \cong (ER_{iM} \cdot N) / 60 \sqrt{\sigma'_{vo}}$$

Adottando il valore $(N1)_{60}$ si può ritenere che le variazioni registrate nel numero dei colpi dipenderà solo dalle caratteristiche del terreno in prova



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche: Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna
AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»

Classifica orientativa della compattezza dei terreni in base alla prova SPT (Terzaghi e Peck, 1948; Skempton, 1986 per sabbie)

SABBIE(*)

Stato di addensamento	$N(\sigma'_{v0} = 0.75)$	N_1	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60}/D^2_R$
Molto sciolta (Very loose)	4	4.4	3.	—
Sciolta (Loose)				
Media (Medium)	10	11	8	65
	(18)	20	15	60
Addensata (Dense)	30	33	25	59
	50	55	42	58
Molto addensata (Very dense)	(70)	77	58	58
(*) $C_N = 1.1$; $ER_{i60} = 0.75$				

ARGILLE

Stato di consistenza	N
Molle (Very soft)	2
Tenero (Soft)	
Medio (Medium)	4
Compatto (Stiff)	8
	15
Molto compatto (Very stiff)	30
Duro (Hard)	

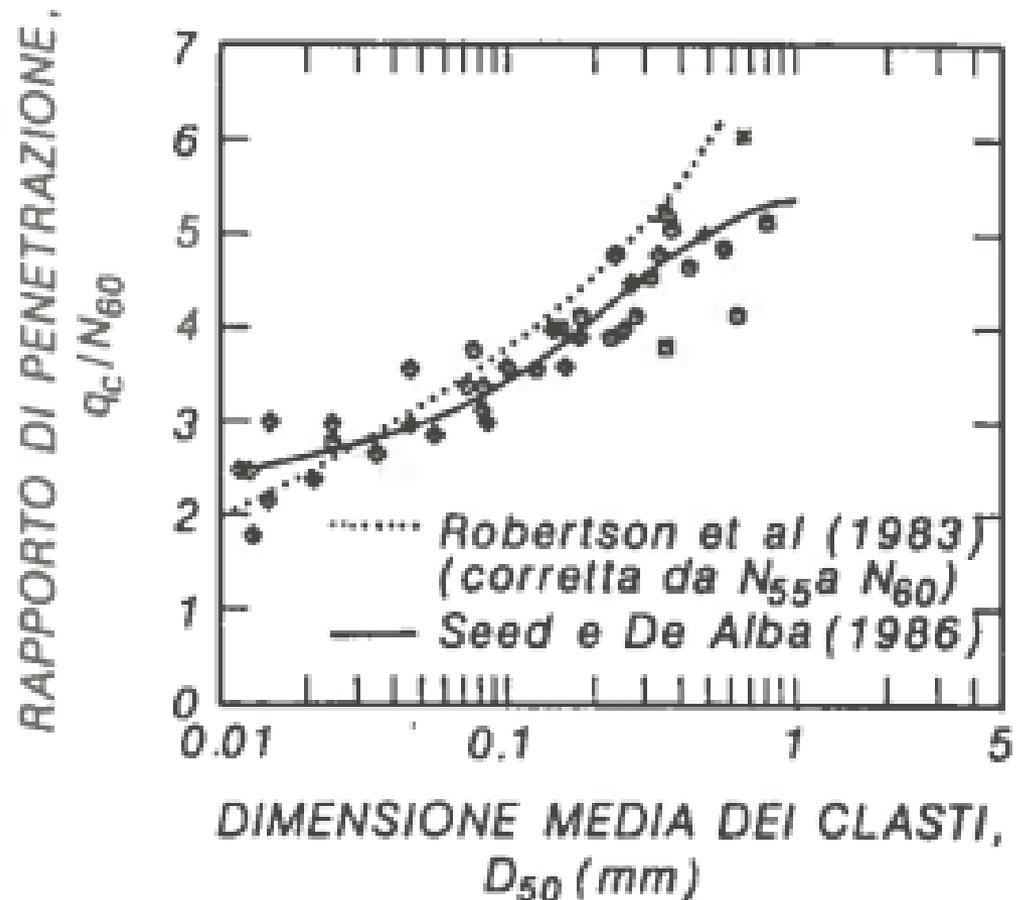
PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Fonti bibliografiche:

Cestari F. (2012) «In situ geotechnical tests» Ed. Patron editore, Bologna

AGI (1977) «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»

- Jamiolkowski et al (1985)
- ◆ Muromachi e Kobayashi (1982)
- ▲ Ishihara e Koga (1981)
- + Robertson (1982)
- × Mitchell (1985)
- Harden et al (1984)





PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie

Stima dei seguenti parametri: correlazioni

N.B. Importante conoscere come sono state generate le correlazioni e per quali terreni e relative condizioni

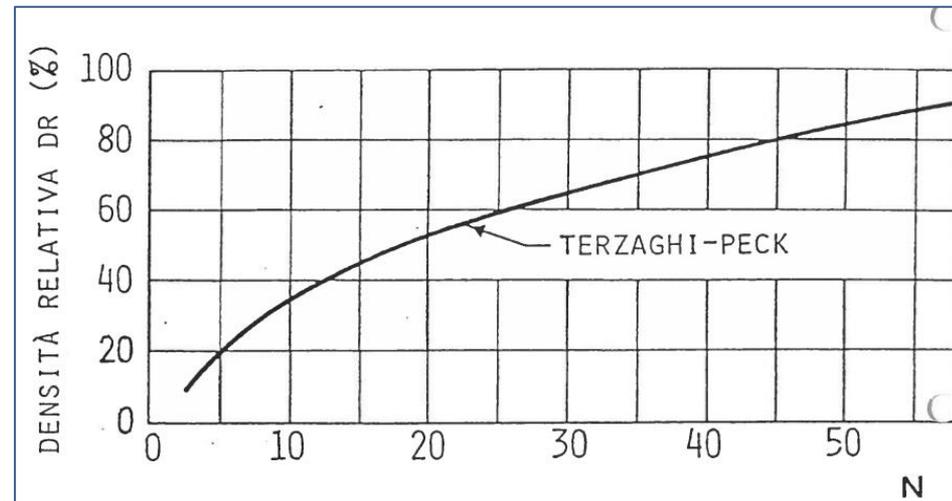
- Densità Relativa ($D_R\%$)
- Angolo di resistenza a taglio efficace ϕ'
- Deformabilità: (modulo confinato) (Nspt vs CPT)
- Modulo di Young, E_{25}
- Modulo di taglio dinamico (G_0)
- Velocità delle onde di taglio V_s
- Cedimenti
- Stima della resistenza alla liquefazione

PROVE IN SITU: SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie

- Densità Relativa ($D_R\%$)

Nspt	Density	Relative Density ($D_r\%$)
0÷4	Very loose	0÷15
4÷10	Loose	15÷35
10÷30	Medium dense	35÷65
30÷50	Dense	65÷85
>50	Very dense	85÷100



Validità. Terreni sabbiosi

Tabella: Terzaghi Peck, 1967

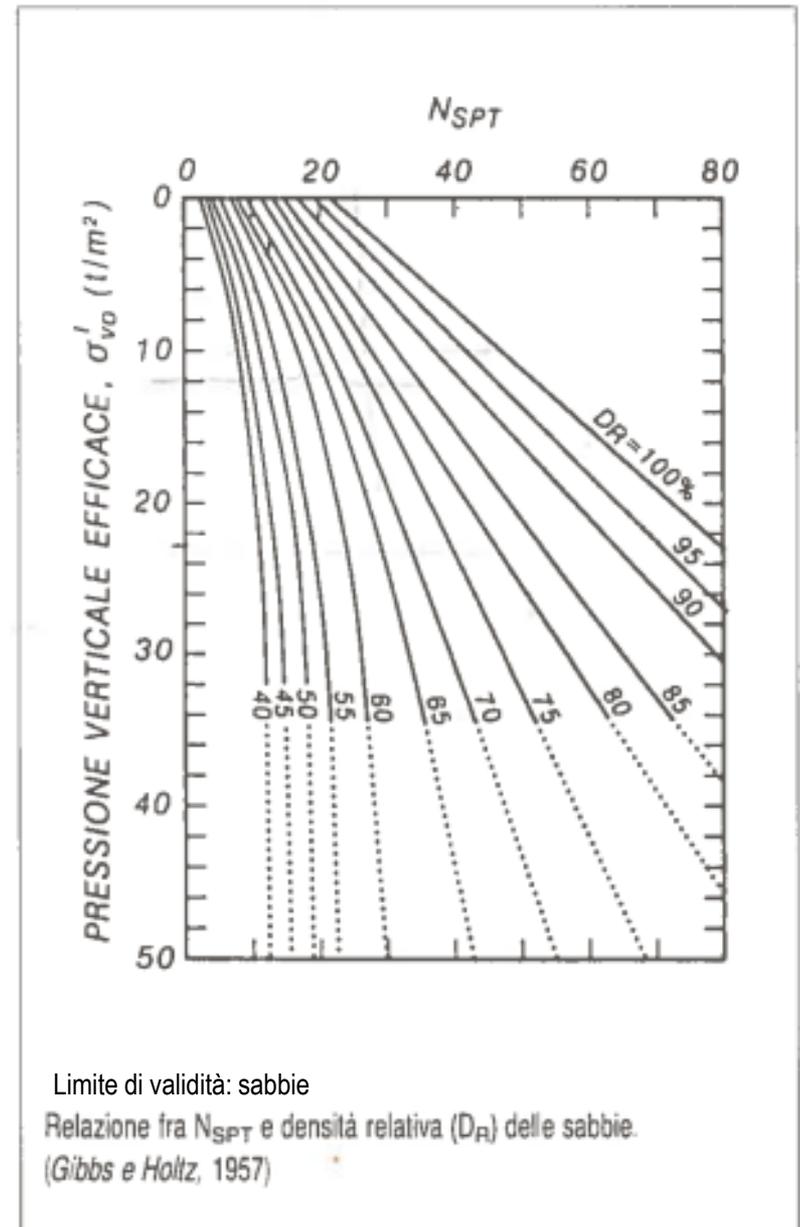
PROVE IN SITU: SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie

- Densità Relativa ($D_R\%$)

$(N1)_{60}$	Classification	Relative Density ($D_r\%$)
0÷3	Very loose	0÷15
3÷8	Loose	15÷35
8÷25	Medium dense	35÷65
25÷42	Dense	65÷85
42÷58	Very dense	85÷100

Tabella: Clayton, 1995



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

N_{spt} - Sabbie

- Angolo di resistenza a taglio efficace ϕ'

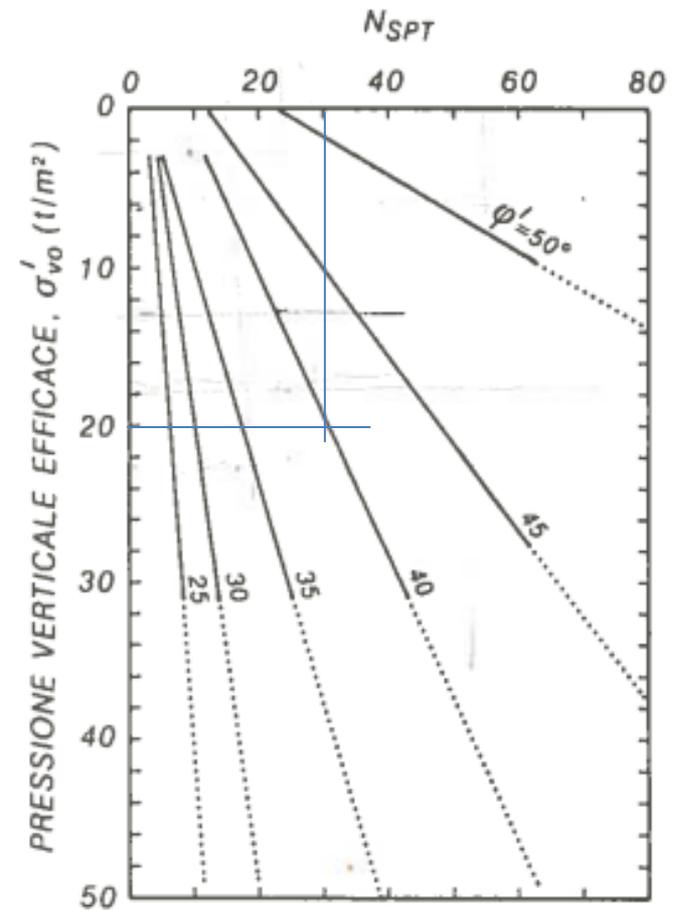
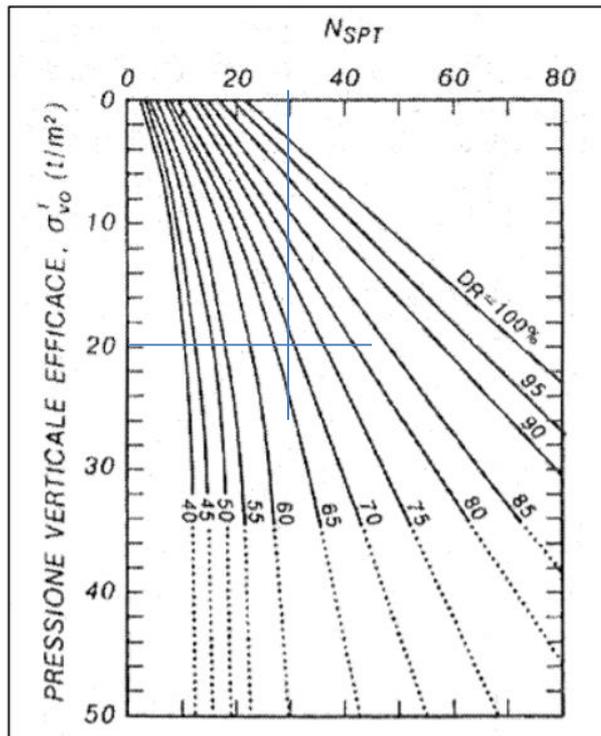


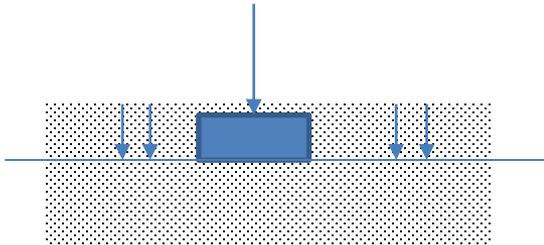
Figura 5.20

Relazione fra angolo di attrito (ϕ') delle sabbie e valori di N_{SPT} , tenendo conto dell'influenza del peso del terreno sovrastante (σ'_{vo}) (De Mello, 1971)

PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

N_{spt} - Sabbie

- MITCHELL (1978): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo si ricava entrando in un grafico (Figura 1.5) col valore di N_{spt} e σ_{vo} [kPa].



Equazione di Terzaghi per la determinazione
Della pressione limite sul terreno

$$q_{lim} = 0,5 \gamma' B N_y + c' N_c + q' \cdot N_q$$

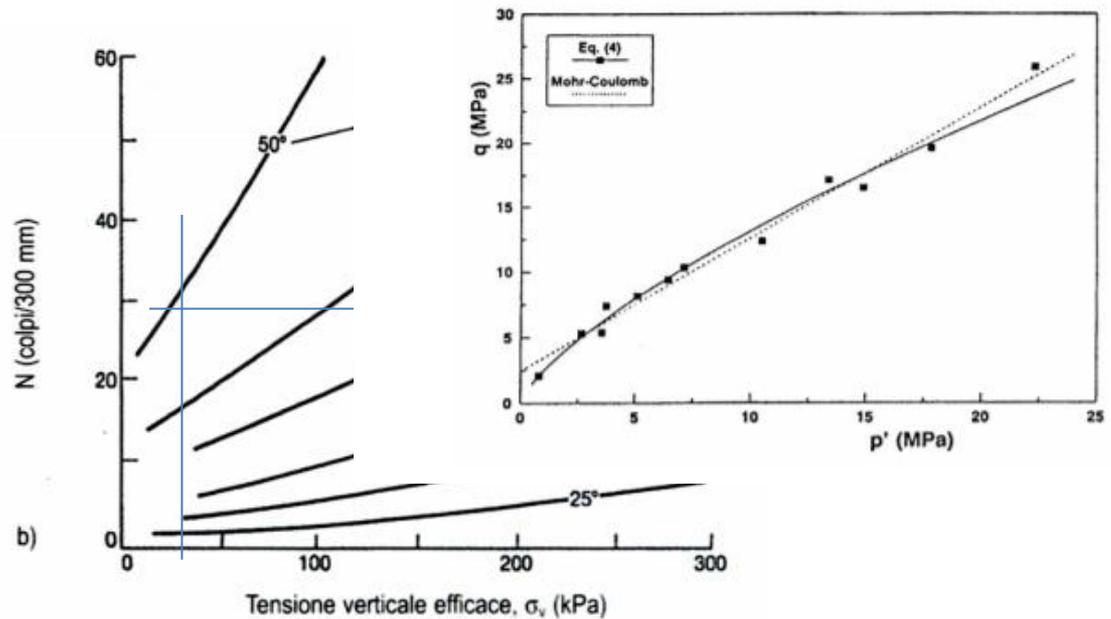
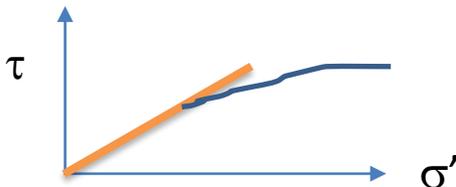
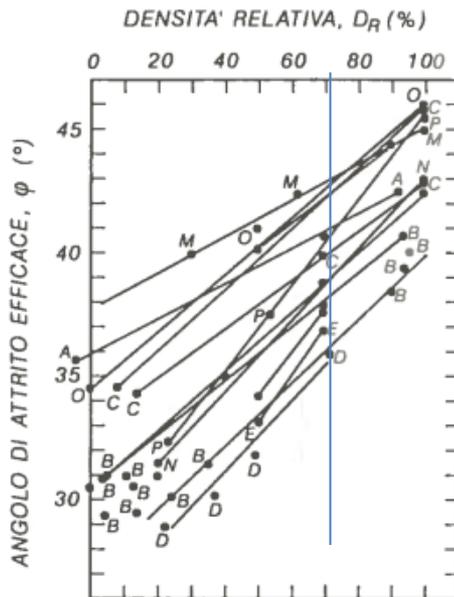


Figura 1.5 Correlazione di Mitchell [3]

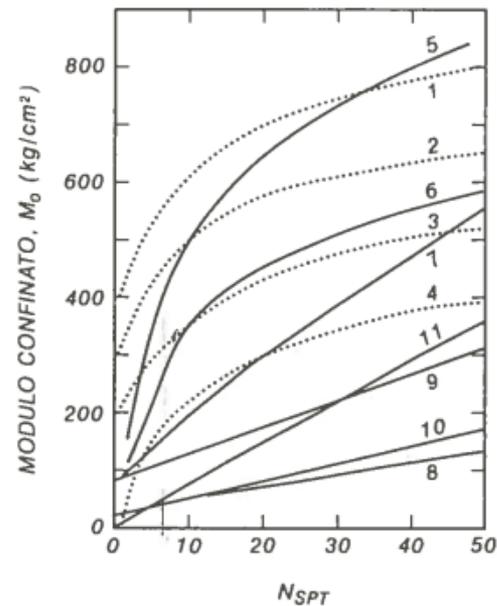
PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie

- Angolo di resistenza
- Deformabilità: (mod)
- Modulo di Young, I



- A. Sabbia fine, uniforme, molto angolata (Castro, 1969)
 B. Sabbia fine, uniforme, da sub-arrotondata a sub angolata (Castro, 1969)
 C. Sabbia fine, uniforme, angolata (Castro, 1969)
 D. Sabbia media, uniforme, (Bureau of reclamation, 1949)
 E. Sabbia grossa (Earth manual, 1960)
 M. Sabbia da grossa a fine con poca ghiaia (Burmister, 1948)
 N. Sabbia da grossa a fine, gradata (Burmister, 1948)
 O. Sabbia da grossa a fine, gradata (Burmister, 1948)
 P. Sabbia da grossa a fine, gradata



Shultze e Mezenbach (1965)

1. $p_o = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
2. $p_o = 0.5 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
3. $p_o = 1.0 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
4. $p_o = 1.5 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

Trofimenkov (1974)

5. Sabbia-Minimo
6. Sabbia-Massimo

Begemann (1974)

7. Ghiaia con sabbia (Grecia)
8. Limo con sabbia (Grecia)

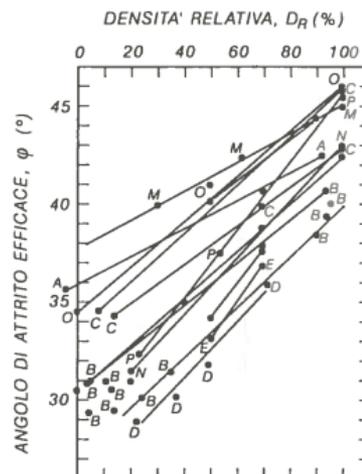
Webb (1969)

9. Sabbia
10. Sabbia argillosa

PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie

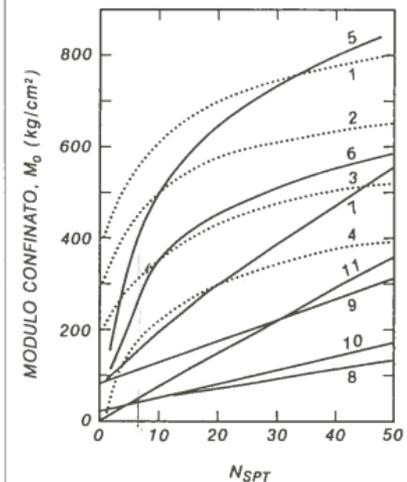
- Angolo di resistenza a taglio efficace ϕ'



- A. Sabbia fine, uniforme, molto angolata (Castro, 1969)
 B. Sabbia fine, uniforme, da sub-arrotondata a sub angolata (Castro, 1969)
 C. Sabbia fine, uniforme, angolata (Castro, 1969)
 D. Sabbia media, uniforme, (Bureau of reclamation, 1949)
 E. Sabbia grossa (Earth manual, 1960)
 M. Sabbia da grossa a fine con poca ghiaia (Burmister, 1948)
 N. Sabbia da grossa a fine, gradata (Burmister, 1948)
 O. Sabbia da grossa a fine, gradata (Burmister, 1948)
 P. Sabbia da grossa a fine, gradata (Burmister, 1948)

Figura 5.21b

Relazione fra angolo di attrito efficace (ϕ') e densità relativa (D_R) per differenti terreni (Winterkorn e Fang, 1975)



Shultze e Mezenbach (1965)

1. $p_0 = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
2. $p_0 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
3. $p_0 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
4. $p_0 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$; $\sigma = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

Trofimenkov (1974)

5. Sabbia-Minimo
6. Sabbia-Massimo

Begemann (1974)

7. Ghiaia con sabbia (Grecia)
8. Limo con sabbia (Grecia)

Webb (1969)

9. Sabbia
10. Sabbia argillosa

Farrent (1963)

11. Sabbia

Figura 5.22

Relazioni fra modulo confinato (M_0) ed N_{SPT} per differenti tipi di sabbie e diversi valori della pressione verticale (Mitchell e Gardner, 1975)

PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

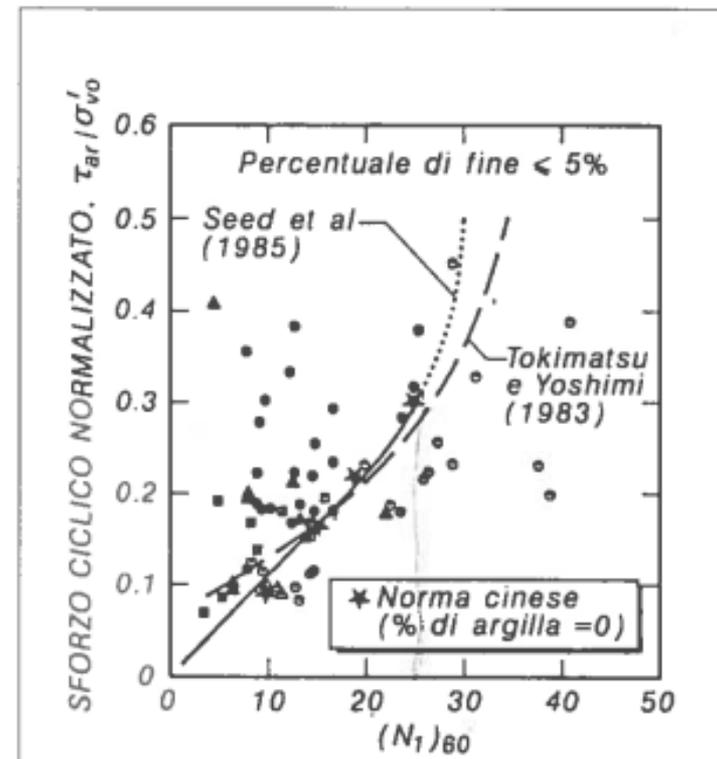
Nspt - Sabbie

- Stima della resistenza alla liquefazione

	Liquefazione		
	si	marginale	no
Dati inter- americani	■	◩	◪
Dati giapponesi	●	◉	◐
Dati cinesi	▲	◀	◁

Figura 5.26

Stima della potenzialità alla liquefazione di sabbie in base al valore di N_{SPT} normalizzato $[(N_1)_{60}]$ (Seed e al., 1985; Tokimatsu e Yoshimi, 1983)



PROVE IN SITU: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT (Standars Penetration Test)

Nspt - Sabbie



prof. ing. Claudia Madiai
Corso di Ingegneria Geotecnica Sismica



Stima indiretta di G_0 per terreni a grana grossa

STIMA DI G_0 A PARTIRE DAI RISULTATI DI PROVE IN SITO

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

$$V_S = a \cdot N^b$$

$$V_S = a + b \cdot N$$

$$V_S = a \cdot N^b \cdot z^c$$

$$V_S = a \cdot N^b \cdot (\sigma_v')^c$$

$$V_S = a \cdot K_2 \cdot (\sigma_v')^c \quad \text{dove} \quad K_2 = f(N, \sigma_v')$$

• da prove SPT
($N = N_{SPT}$)

$$V_S = a \cdot q_c^b$$

$$V_S = a + b \cdot q_c$$

$$V_S = a \cdot q_c^b \cdot z^c$$

$$V_S = a \cdot q_c^b \cdot (\sigma_v')^c$$

$$V_S = a \cdot q_c^b \cdot f_s^c$$

$$V_{S1} = a \cdot q_{c1N}^b \quad \text{dove} \quad V_{S1} = V_S \cdot (p_a / \sigma_{v0}')^{0.25} \quad q_{c1N} = (q_c / p_a)^{0.25} (p_a / \sigma_{v0}')^{0.5}$$

• da prove CPT

q_c : resistenza di punta

f_s : resistenza di attrito laterale