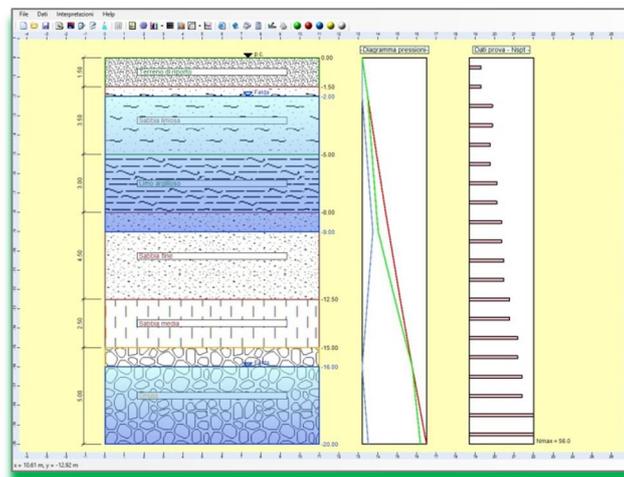




CDM DOLMEN srl
SOFTWARE STRUTTURALE E GEOTECNICO - RESISTENZA AL FUOCO

IS GeoStrati



MANUALE UTENTE

Indice

1	TEORIA.....	2
1.1	PROVA S.P.T.	2
1.1.1	<i>Valutazione dei parametri geotecnici</i>	4
	Densità relativa D_r	4
	Angolo di resistenza al taglio ϕ	6
	Modulo elastico E	10
	Modulo elastico non drenato E_u	11
	Modulo di taglio G	11
	Coesione non drenata C_u	12
	Modulo di deformazione edometrico.....	13
	Potenziale di liquefazione.....	13
	Velocità onde di taglio.....	15
	Categorie del suolo di fondazione	16
1.2	PROVA C.P.T.	18
1.2.1	<i>Classificazione del terreno</i>	20
1.2.2	<i>Valutazione dei parametri geotecnici</i>	24
	Densità relativa D_r	24
	Angolo di resistenza al taglio ϕ	26
	Modulo elastico E	28
	Modulo di taglio G	28
	Resistenza non drenata S_u	29
	Modulo confinato M	29
	Grado di sovraconsolidazione OCR.....	30
	Coefficiente spinta a riposo k_0	31
1.3	PROVA D.P.	32
1.3.1	<i>Valutazione dei parametri geotecnici</i>	34
	Penetrometri DPL e DPH.....	34
	Penetrometri DPSH e AGI - Meardi	34
	Penetrometro medio – leggero 30 – 20.....	35
1.4	BIBLIOGRAFIA.....	35
2	UTILIZZO DEL PROGRAMMA	36
2.1	DATI GENERALI SONDAGGIO	37
2.2	STRATIGRAFIA	38
2.3	FALDA	41
2.4	SCelta PROVA.....	41
2.4.1	<i>Prova S.P.T.</i>	42
2.4.1.1	Dati prova S.P.T.	42
2.4.1.2	Scelta parametri S.P.T.....	43
2.4.2	<i>Prova C.P.T.</i>	44
2.4.2.1	Dati prova C.P.T.....	44
2.4.2.2	Classificazione litologie con la prova C.P.T.....	45
2.4.2.3	Scelta parametri C.P.T.	45
2.4.3	<i>Prova D.P.</i>	46
2.4.3.1	Dati prova D.P.	47
2.4.3.2	Scelta parametri D.P.....	47
2.5	ELABORA.....	48
2.6	GRAFICA	48
2.7	SCelta CORRELAZIONI STRATO PER STRATO	50
2.8	RELAZIONE	51
2.9	OPZIONI DISEGNO	51
2.10	STAMPA	52
2.11	PROPRIETÀ STRATO	52

IS GeoStrati è il software per l'interpretazione numerica e la rappresentazione grafica dei risultati delle prove S.P.T., D.P. e C.P.T. eseguite in sito. A partire dal numero di colpi per fare avanzare il penetrometro dinamico ed il penetrometro dinamico continuo, dai valori della resistenza alla punta e della resistenza laterale del penetrometro statico permette di ottenere la caratterizzazione geotecnica del sito di interesse, utilizzando correlazioni ricavate dalla letteratura tecnica.

1 Teoria

La letteratura tecnica presenta tre tipi di prove penetrometriche:

- S.P.T. (Standard Penetration Test): prova penetrometriche dinamiche
- C.P.T. (Cone Penetration Test): prova penetrometrica statica
- D.P. (Dynamic Probing): prova penetrometrica dinamica continua

1.1 Prova S.P.T.

La prova penetrometrica dinamica è stata ideata negli Stati Uniti nel 1927, diffusa a livello internazionale dal professor Terzaghi nel dopoguerra ed introdotta in Italia negli anni 60.

È una delle prove in sito più diffuse per la semplicità di esecuzione, per il costo relativamente basso, per il fatto che sia ampiamente documentata in tutto il mondo e che siano presenti numerose correlazioni tra i dati ricavati ed i parametri geotecnici del terreno. Il campo di applicazione ideale è rappresentato dalle sabbie, ma è valida anche per valutare la consistenza delle argille non tenere e delle rocce tenere.

La prova S.P.T. consiste nell'infiggere a percussione nel terreno un campionatore di dimensioni e forma normalizzate, facendolo cadere da un'altezza prestabilita. Si conta il numero di colpi (N1, N2 e N3) necessario per fare penetrare il maglio lungo tre tratti successivi. Il primo valore N1 è considerato di avviamento e se è pari a 50 e l'avanzamento è minore di 15 cm indica che bisogna considerare la prova conclusa. In caso contrario si prosegue con l'infissione per un tratto pari a 30 cm, contando separatamente il numero per avanzare nei primi 15 cm (N2) e nei secondi 15 cm (N3), purché insieme non siano superiori a 100. Se N2 + N3 è pari a 100 e non si raggiunge l'avanzamento richiesto, l'infissione è sospesa e la prova è considerata conclusa. La somma di N2 e N3, chiamata N_{spt} , è il parametro che serve per valutare la resistenza del terreno. N1, invece, non è considerato perché si riferisce ad un tratto in cui il terreno potrebbe essere rimaneggiato e non più rappresentativo delle reali condizioni del sito.

Il ritmo della percussione del maglio sul terreno nel corso della prova è compreso tra 10 e 25 colpi al minuto. Per le caratteristiche dell'attrezzatura standardizzata (Figura 1.1) ci si riferisce alle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana ("Raccomandazioni per le indagini geotecniche", 1977),

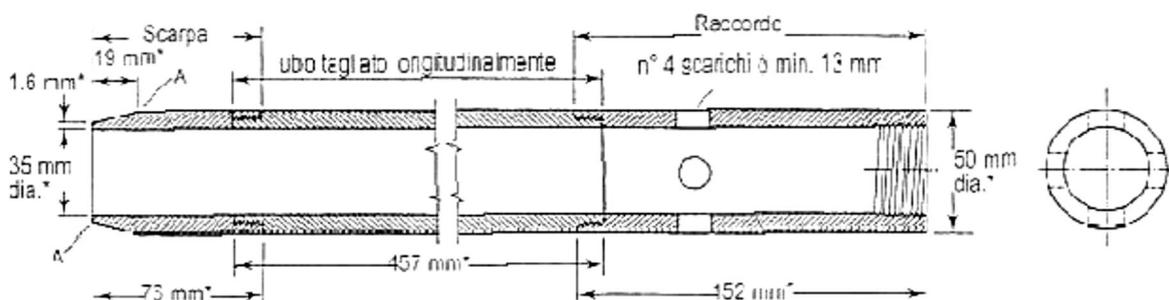


Figura 1. 1 Campionatore per la prova S.P.T. [3]

le cui esatte misure sono:

- peso maglio: 63,5 kg;
- diametro cono: 5,1;
- penetrazione 30 cm;
- altezza di caduta: 760 mm;
- diametro aste di infissione: 50 mm;
- peso aste di infissione: 7,0 kg;
- rapporto di energia delle aste: 60%.

Le stesse Raccomandazioni AGI prevedono di avere un diametro del foro compreso tra 60 mm e 200 mm e di controllare la pulizia del fondo foro, eseguendo misure specifiche con uno scandaglio oppure con la batteria di aste. Nel caso in cui si rilevi la presenza di detriti di spessore maggiore di 70 mm occorre eseguire una manovra di pulizia.

Esistono diversi dispositivi di battitura che comprendono il maglio, la testa di battuta, la guida del maglio ed il dispositivo di sganciamento. Il dispositivo più diffuso in Italia è quello Nenzi e ha un rendimento prossimo al 60%. La differenza tra il diametro interno del tubo di rivestimento ed il diametro esterno delle aste non deve superare i 60mm, altrimenti si dispongono lungo le aste, ad intervalli costanti di 3 m, dei centratori di dimensioni adeguate all'interno del rivestimento.

Il risultato della prova S.P.T. è influenzato dalla tecnica di perforazione, dall'attrezzatura utilizzata e dalla metodologia di esecuzione della prova. Particolarmente importante è il ruolo dell'operatore poiché le modalità esecutive causano le maggiori differenze nella valutazione della resistenza alla penetrazione. Un altro fattore da valutare è l'influenza del diametro di perforazione. Sondaggi eseguiti in siti situati al Cairo hanno rivelato che per un diametro pari a 150 mm la resistenza alla penetrazione è maggiore del 30% rispetto a quella valutata con un diametro di 200 mm. Skempton ha perciò suggerito dei fattori di perforazione che variano in base al diametro di perforazione per cui il numero di colpi corretto è pari a:

$$N' = N_{spt} \cdot C_d$$

In cui:

$$C_d = 1,00 \text{ se } d = 65 \div 115$$

$$C_d = 1,05 \text{ se } d = 150$$

$$C_d = 1,15 \text{ se } d = 200$$

Se il campionatore utilizzato è diverso da quello standard, per il quale sono state elaborate le correlazioni, viene apportata una correzione al valore di N_{spt} in modo da ottenere il valore che si avrebbe in condizioni normalizzate:

$$N' = N_{spt} \frac{A_p \cdot M \cdot H \cdot Z}{A_p^S \cdot M^S \cdot H^S \cdot Z^S}$$

In cui:

A_p : area della punta del penetrometro

M : massa del maglio battente

H : altezza di caduta del maglio

Z : penetrazione del maglio

L'apice "s" indica i parametri standard.

Schmertmann e Palacios (1979) hanno mostrato sperimentalmente che fino ad un valore di colpi pari a 50 la resistenza alla penetrazione varia inversamente all'energia E trasmessa dal campionatore mediante le aste. Il fattore di correzione è pari a:

$$N' = N_{spt} \frac{E}{E^S}$$

Per tenere conto delle sovrappressioni interstiziali viene, inoltre, apportata la correzione suggerita da Terzaghi e Peck (1948) per le sabbie limose sotto falda quando $N_{spt} > 15$, secondo la seguente espressione:

$$N' = 15 + 0,5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

In base alla lunghezza delle aste vi è un ulteriore fattore di correzione:

Lunghezza aste	Coefficiente C
Da 3 m a 4 m	0.75
Da 4 m a 6 m	0.85
Da 6 m a 10 m	0.95
Da 10 m a 30 m	1.00
Maggiore 30 m	>1.0

$$N' = N_{spt} \cdot C$$

Infine, in base al tipo di campionatore si ha un ulteriore coefficiente moltiplicatore:

- Campionatore standard: C = 1,0
- Campionatore senza astuccio: C = 1,2

$$N' = N_{spt} \cdot C$$

1.1.1 Valutazione dei parametri geotecnici

La valutazione dei parametri geotecnici del terreno in seguito all'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica avviene attraverso correlazioni affidabili ricavate da letteratura tecnica la cui validità è confermata a livello internazionale.

Di seguito sono riportate le correlazioni utilizzate da **IS GeoStrati**.

Densità relativa D_r

- SKEMPTON (1986): questa correlazione è valida solo per le sabbie e prevede di calcolare il numero di colpi $(N_1)_{60}$ normalizzati ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{spt}$$

In cui:

$$\text{per sabbie fini} \Rightarrow C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_v}{100}}$$

$$\text{per sabbie grosse} \Rightarrow C_N = \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_v}{100}}$$

$$\text{La densità relativa è pari a: } D_r = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{spt}}{60}}$$

- GIBBS E HOLTS (1957): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di calcolare un parametro F

$$F = 0,0065 \cdot \sigma_{v0}^2 + 1,68 \cdot \sigma_{v0} + 14$$

In cui:

σ_{v0} : tensione verticale totale, espressa in t/m²

$$\text{La densità relativa è pari a: } D_r = \left\{ \left[1,5 \left(\frac{N}{F} \right)^{0,222} \right] - 0,6 \right\}$$

- MEYERHOF (1957): ha elaborato una correlazione valida per tutti i tipi di suolo per cui la densità relativa è pari a

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N_{spt}}{\sigma'_v + 0,7}}$$

In cui

σ'_v : tensione verticale efficace, espressa in kg/cm²

- BAZARAA (1967): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo, l'espressione per esprimere la densità relativa varia a seconda del valore della tensione verticale efficace σ'_v espressa in kg/cm²

$$\text{Per } \sigma'_v \leq 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (1 + 4,1 \cdot \sigma'_{v0})}$$

$$\text{Per } \sigma'_v > 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (3,24 + 1,024 \cdot \sigma'_{v0})}$$

- CUBRINOWSKI E ISCHIARA (1988): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di calcolare un parametro N_{78}

$$N_{78} = \frac{60}{78} \cdot N_{spt} \cdot C_{sg}$$

In cui:

C_{sg} : coefficiente diagrammato in funzione del diametro corrispondente al 50% di passante (Figura 1.2)

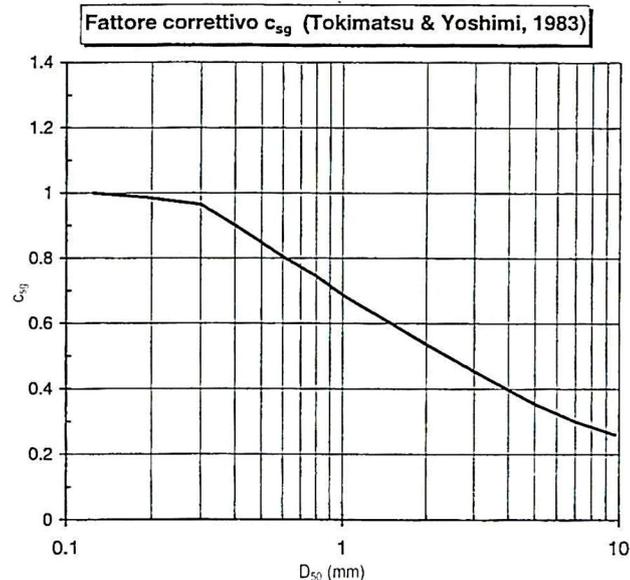


Figura 1. 2 Fattore correttivo C_{sg} [3]

La densità relativa è pari a:

$$\left[\frac{(N_{78}) \left(0,23 + \frac{0,06}{D_{50}} \right)}{9} \left(\frac{98}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5} \right]^{0,5}$$

In cui:

D_{50} : è espresso in mm

σ'_v : tensione verticale efficace espressa in kPa

- SCHULTZE & MEZEMBACH (1961): questa correlazione è valida per le sabbie da fini a ghiaiose, per qualunque valore di tensione verticale efficace, in depositi normalmente consolidati. La densità relativa è valutata in funzione del numero di colpi e della pressione verticale efficace. Il valore ottenuto è sovrastimato nel caso di depositi ghiaiosi, sottostimato nel caso di depositi limosi.

$$\ln DR = 0,478 \cdot \ln N_{SPT} - 0,262 \cdot \ln \sigma'_v + 2,84$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace espressa in kg/cm^2

Angolo di resistenza al taglio ϕ

- SHIOI & FUKUNI Road Bridge Specification (1982): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo è pari a

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{spt}} + 15$$

- SHIOI & FUKUNI Japanese National Railway (1982): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo è pari a

$$\phi = 0,3 \cdot N_{spt} + 27$$

- DE MELLO (1971): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo si ricava da un grafico (Figura 1.3) in funzione di N_{spt} e $\bar{\sigma}_{vo}$ [kg/cm²].

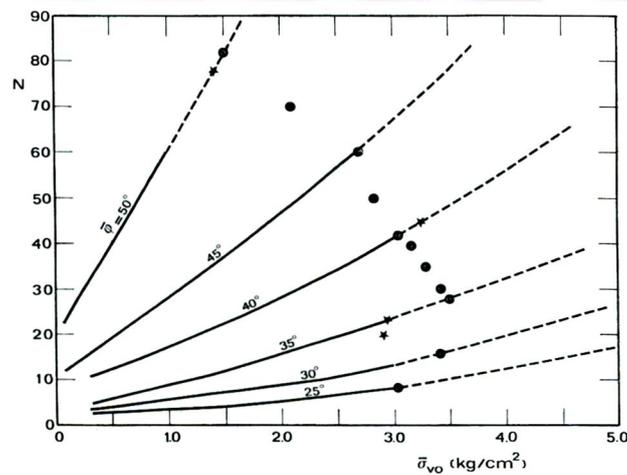


Figura 1. 3 Correlazione di De Mello [3]

- PECK, HANSON & THORBURN (1974): hanno fornito un abaco (Figura 1.4) molto utilizzato nei paesi anglosassoni per misurare l'angolo di resistenza al taglio. La correlazione è valida per tutti i tipi di suolo. Si ricava l'angolo entrando in un grafico col valore di N_{spt} .

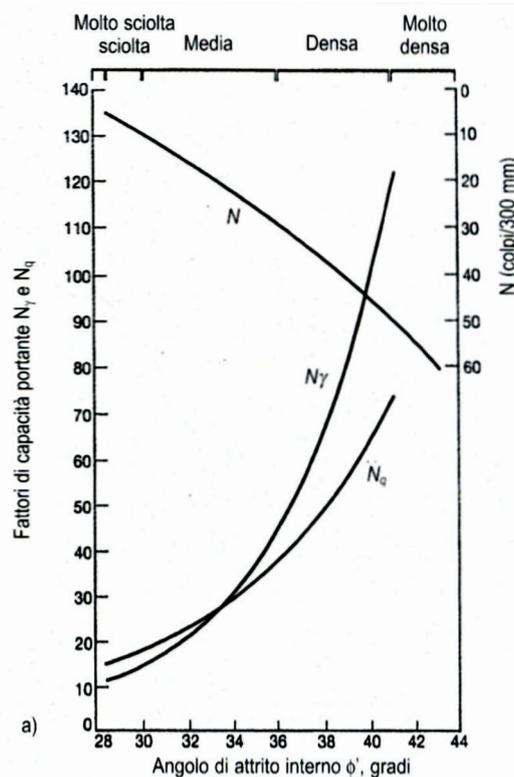


Figura 1. 4 Correlazione di Peck, Hansen e Thorburn [3]

- 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].

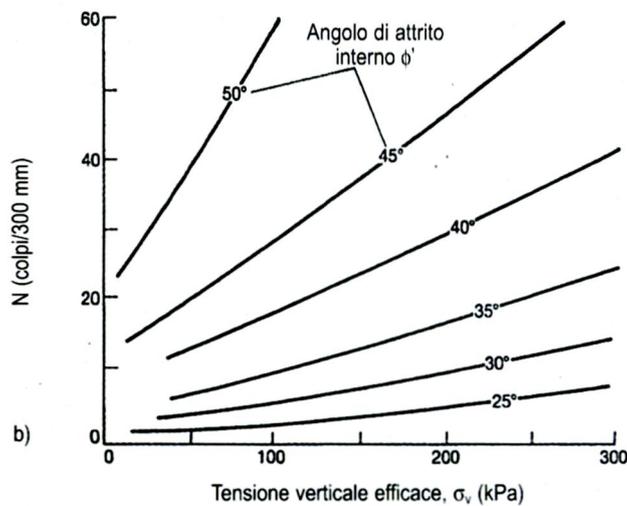


Figura 1. 5 Correlazione di Mitchell [3]

- HATANAKA & UCHIDA (1996): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e si deve calcolare il valore di N_{sp} riferito ad un rapporto di energia delle aste pari al 78%

$$N_1 = \frac{N_{spt}}{\left(\frac{\sigma'_{vo}}{98,1}\right)^{0,5}}$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace espressa in kPa

L'angolo di attrito è pari a: $\phi = (\alpha \cdot N_1)^{0,5} + \beta$

In cui:

$\alpha = 20$

$\beta = 20^\circ \pm 3^\circ$

- SCHMERTMANN (1975): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo è calcolato in funzione della tensione verticale efficace σ'_{vo} e della pressione atmosferica p_a

$$\phi = \text{tg}^{-1} \left[\frac{N_{spt}}{\left(12,2 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_{vo}}{p_a}\right)} \right]^{0,34}$$

- SCHMERTMANN (1978): questa correlazione è valida solo per le sabbie e le ghiaie e l'angolo è calcolato in funzione della densità relativa (Figura 1.6)

Sabbia fine uniforme $\Rightarrow \phi = 28 + 0,14D_r$

Sabbia media uniforme o fine ben gradata $\Rightarrow \phi = 31,5 + 0,10D_r$

Sabbia grossa uniforme o media ben gradata $\Rightarrow \phi = 34,5 + 0,10D_r$

Ghiaietto uniforme o sabbie e ghiaie poco limose $\Rightarrow \phi = 38 + 0,08D_r$

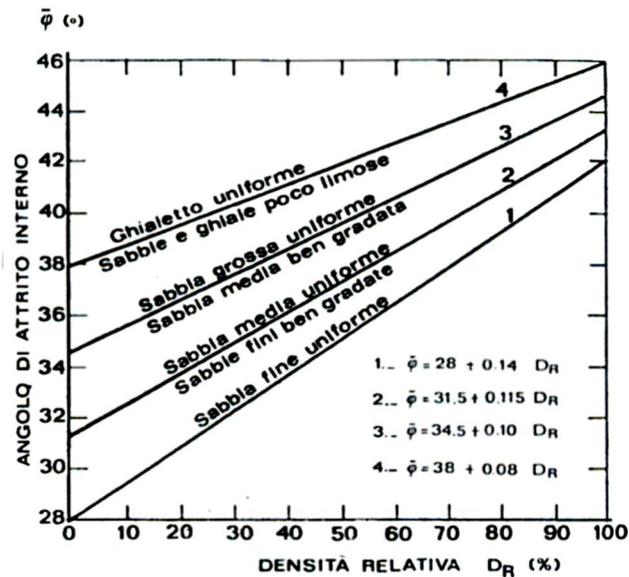


Figura 1. 6 Correlazione di Schmertmann [3]

- OWASAKI & IWASAKI: questa correlazione è valida per sabbie da medie a ghiaiose e trova le condizioni ottimali a profondità superiori a circa 8 m, nel caso di strati sopra falda, e superiori a 15 m, nel caso di terreni in falda. L'angolo è calcolato in funzione del numero di colpi secondo la seguente espressione:

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{spt}} + 15$$

- SOWERS (1961): questa correlazione è valida solo per i terreni sabbiosi e trova le condizioni ottimali a profondità inferiori a circa 4 m, nel caso di strati sopra falda, ed inferiori a 7 m, nel caso di terreni in falda. L'angolo è calcolato in funzione del numero di colpi secondo la seguente relazione:

$$\phi = 28 + 0,28 \cdot N_{spt}$$

- MALCEV (1964): questa correlazione è valida per i terreni sabbiosi e per qualsiasi profondità, tranne che per i primi 2 m sotto il piano campagna. L'angolo è funzione del numero di colpi e della pressione litostatica efficace, valutata in kg/cm^2 .

$$\phi = 20 - 5 \cdot \log(\sigma_v') + 3,73 \cdot \log(N_{spt})$$

- MEYERHOF (1965) - <5% limo: questa correlazione è valida solo per i terreni sabbiosi e trova le condizioni ottimali a profondità inferiori a circa 5 m, nel caso di strati sopra falda, ed inferiori a 8 m, nel caso di terreni in falda. L'angolo è calcolato in funzione del numero di colpi.

$$\phi = 29,47 + 0,46 \cdot N_{spt} - 0,004 \cdot N_{spt}^2$$

- MEYERHOF (1965) - <5% limo: questa correlazione è valida solo per i terreni sabbiosi e trova le condizioni ottimali a profondità inferiori a circa 3 m, nel caso di strati sopra falda, ed inferiori a 5 m, nel caso di terreni in falda. L'angolo è funzione del numero di colpi.

$$\phi = 23,7 + 0,57 \cdot N_{spt} - 0,006 \cdot N_{spt}^2$$

Modulo elastico E

- STROUD (1989): questa correlazione è valida solo per le sabbie, le ghiaie e le argille. Il modulo elastico è calcolato in funzione di N_{spt}

Per le sabbie NC $\Rightarrow E = 2 \cdot N_{spt}$

Per le sabbie OC e le ghiaie $\Rightarrow E = (2 \div 16) \cdot N_{spt}$

Per le sabbie NC $\Rightarrow E = 0,9 \cdot N_{spt}$

- BURLAND & BURBIDGE (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione di N_{spt}

Per $N_{spt} = 4 \Rightarrow E = (1,6 \div 2,4) \cdot N_{spt}$

Per $N_{spt} = 10 \Rightarrow E = (2,2 \div 3,4) \cdot N_{spt}$

Per $N_{spt} = 30 \Rightarrow E = (3,7 \div 5,6) \cdot N_{spt}$

Per $N_{spt} = 60 \Rightarrow E = (4,6 \div 7,0) \cdot N_{spt}$

- JAMIOLKOSKI (1988): questa correlazione calcola il modulo di Young corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura in funzione della densità relativa D_r e di N_{spt}

Per terreni NC $\Rightarrow E_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{spt}$

Per terreni OC $\Rightarrow E_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{spt}$

- TORNAGHI ET AL.: questa correlazione è valida per le sabbie pulite e per le sabbie con ghiaia. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

$$E = B \cdot \sqrt{N_{spt}}$$

In cui:

B = costante pari a 7 MPa

- SCHMERTMANN (1978): questa correlazione è valida per le sabbie in generale. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

$$E = 2B \cdot N_{spt}$$

In cui:

B = costante variabile in funzione della litologia (B = 4 nel caso di sabbia fine, B = 6 nel caso di sabbia media e B = 10 nel caso di sabbia grossolana).

- D'APOLLONIA ET AL.: questa correlazione è valida per le sabbie con ghiaia e per le sabbie sovraconsolidate. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

Per ghiaia + sabbia $\Rightarrow E = 7,71 \cdot N_{spt} + 191$

Per sabbia SC $\Rightarrow E = 10,63 \cdot N_{spt} + 375$

- SCHULTZE & MENZEBACH: questa correlazione è valida solo per le sabbie sotto falda. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

$$E = 5,27 \cdot N_{spt} + 76$$

- WEBB: questa correlazione è valida solo per le sabbie sotto falda e per le sabbie con fine plastico. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

Per sabbia satura $\Rightarrow E = 4,87 \cdot N_{spt} + 73$

Per sabbia con fine plastico $\Rightarrow E = 3,22 \cdot N_{spt} + 16$

Modulo elastico non drenato E_u

- STROUD (1989): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo non drenato si ricava in funzione di N_{spt}

$$E_u = (6,3 \div 10,4) \cdot N_{spt}$$

Modulo di taglio G

- OTHA & GOTO (1978): questa correlazione è valida solo per le ghiaie e le sabbie. Si deve calcolare un parametro v_s

$$v_s = 67,3 \cdot (N_{spt})^{0,171} \cdot z^{0,199} \cdot f_a \cdot f_G$$

In cui:

z : profondità dal piano campagna espressa in m

f_a : parametro funzione dell'età geologica

f_s : parametro che cambia in funzione della litologia

Per le ghiaie $\Rightarrow f_s = 1,45$

Per le sabbie ghiaiose $\Rightarrow f_s = 1,15$

Per le sabbie grosse $\Rightarrow f_s = 1,14$

Per le sabbie medie $\Rightarrow f_s = 1,09$

Per le sabbie fini $\Rightarrow f_s = 1,07$

- OHSAKI & IWASAKI: questa correlazione è valida solo per sabbie pulite e per le sabbie con fine plastico (limo o argilla). Il modulo di deformazione di taglio è calcolato in funzione del numero di colpi N_{SPT} e di due costanti variabili con la litologia. Il risultato è espresso in t/m^2 .

$$G = a \cdot N_{SPT}^b$$

In cui:

$a = 650$ e $b = 0.94$ nel caso di sabbie pulite

$a = 1182$ e $b = 0.76$ nel caso di sabbie con fine plastico

- CREPELLANI & VANNUCCHI: questa correlazione è valida per sabbie in generale. Il modulo di deformazione di taglio è calcolato in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espresso in t/m^2 .

$$G = 794 \cdot N_{SPT}^{0,611}$$

Coazione non drenata C_u

- TERZAGHI & PECK: questa correlazione è valida solo per le argille di media plasticità. La coazione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

$$c_u = 0.067 \cdot N_{SPT}$$

- DESIGN MANUAL FOR SOIL MECHANICS: questa correlazione è valida per le argille a bassa, media ed alta plasticità. La coazione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

Per le argille a bassa plasticità $\Rightarrow c_u = 0.038 \cdot N_{SPT}$

Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.074 \cdot N_{SPT}$

Per le argille ad alta plasticità $\Rightarrow c_u = 0.125 \cdot N_{SPT}$

- SANGLERAT: questa correlazione è valida solo per le argille di bassa e media plasticità. La coazione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.125 \cdot N_{SPT}$

Per le argille limose $\Rightarrow c_u = 0.100 \cdot N_{SPT}$

Per le argille limo-sabbiose $\Rightarrow c_u = 0.067 \cdot N_{SPT}$

- SHIOI & FUKUI: questa correlazione è valida solo per le argille di media ed alta plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.025 \cdot N_{SPT}$

Per le argille ad alta plasticità $\Rightarrow c_u = 0.050 \cdot N_{SPT}$

Modulo di deformazione edometrico

- FARRENT: questa correlazione è valida per le sabbie in genere. La correlazione calcola la coesione non drenata senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di M con la profondità. La coesione non drenata è valutata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

$$M = 7,1 \cdot N_{SPT}$$

- MEZEMBACH & MALCEV: questa correlazione è valida per le sabbie in genere. La correlazione calcola la coesione non drenata senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di M con la profondità. La coesione non drenata è valutata in funzione del numero di colpi N_{SPT} ed è espressa in kg/cm^2 .

Per le sabbie fini $\Rightarrow M = 3,54 \cdot N_{SPT} + 38$

Per le sabbie medie $\Rightarrow M = 4,46 \cdot N_{SPT} + 38$

Per le sabbie + ghiaie $\Rightarrow M = 10,46 \cdot N_{SPT} + 38$

Per le sabbie ghiaiose $\Rightarrow M = 11,84 \cdot N_{SPT} + 38$

Potenziale di liquefazione

Il calcolo del potenziale di liquefazione viene svolto con metodi semplificati a partire dal numero di colpi della prova S.P.T. Occorre indicare i dati di un sisma di progetto, ossia un'accelerazione massima in superficie ed il valore della magnitudo, in modo da calcolare lo sforzo tagliante indotto dal sisma.

Di seguito riportiamo i valori dell'accelerazione massima $a(g)$ previsti dal D.M. 16 Gennaio 1996 e dall'Ordinanza 3274.

Grado di sismicità S	$a(g)$ D.M. 16/01/1996
6	0,15
9	0,25
12	0,35

Zona sismica	$a(g)$ Ordinanza 3274
--------------	-----------------------

Zona 1	0,35
Zona 2	0,25
Zona 3	0,15
Zona 4	0,05

Vengono poi suggeriti i valori di riferimento per la magnitudo:

MAGNITUDO	EFFETTI DEL SISMA
M<3,5	Non risentito, ma registrato
3,5<M<5,4	Sentito, ma raramente causa danni
5,4<M<6,0	Leggeri danni
6,0<M<7,0	Possano essere distruttivi
7,0<M<8,0	Danni enormi su vaste aree
M>8,0	Seri danni in ampie aree

La forza di taglio indotta dal sisma è data dalla seguente espressione:

$$T = 0,65 \cdot a(g) \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF}$$

In cui:

σ_{v0} : Tensione verticale totale.

σ'_{v0} : Tensione verticale efficace.

r_d : coefficiente funzione della profondità.

MSF : coefficiente funzione della magnitudo.

Facendo il rapporto tra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato, espressione differente a seconda dell'autore, e la forza di taglio indotta dal sisma si ottiene il potenziale di liquefazione nelle sabbie sature. Se il valore ottenuto è minore di 1 il terreno sarà suscettibile di liquefazione.

- SEED & IDRIS (1982): la resistenza al taglio mobilitabile viene valutata con la seguente espressione.

$$R = \left(N_{spt} \left(\frac{1,7}{0,7 + \sigma'_{v0}} \right) + N1 \right) \frac{1}{90}$$

In cui:

$N1 = 0$ se $d_{50} > 0,25$ mm, $N1 = 7,5$ se $d_{50} < 0,25$ mm

σ'_{v0} : Tensione verticale efficace espressa in kg/cm^2

- IWASAKI & AL. (1984): la resistenza al taglio mobilitabile è valutata a seconda del valore del diametro corrispondente al 50% di passante al setaccio (d_{50}) secondo le seguenti espressioni.

$$R = 0,0882 \cdot N_{SPT} \sqrt{\sigma'_{v0} + 0,7} + 0,225 \text{Log}_{10} \left(\frac{0,35}{d_{50}} \right)$$

Nel caso in cui d_{50} sia minore di 0,6 mm.

$$R = 0,0882 \cdot N_{SPT} \sqrt{\sigma'_{v0} + 0,7} - 0,05$$

Nel caso in cui d_{50} sia maggiore di 0,6 mm.

- SEED & AL. (1985): la resistenza al taglio mobilabile è valutata seconda la seguente espressione.

$$R = \frac{0,048 - 0,004721 \cdot N_{CS} + 0,0006136 \cdot N_{CS}^2 - 0,00001673 \cdot N_{CS}^3}{1 - 0,1248 \cdot N_{CS} + 0,009578 \cdot N_{CS}^2 - 0,0003285 \cdot N_{CS}^3 + 0,000003714 \cdot N_{CS}^4}$$

In cui:

$$N_{CS} = a + b \cdot N_{SPT}$$

a e b sono due coefficienti che variano in funzione della percentuale di fine FC.

- TOKIMATSU & YOSHIMI (1983): valutano la resistenza al taglio mobilitata con la seguente espressione.

$$R = 0,26 \left[0,16 \sqrt{N_{SPT} \left(\frac{1,7}{\sigma'_{v0} + 0,7} \right) + N1} + \left(0,21 \sqrt{N_{SPT} \left(\frac{1,7}{\sigma'_{v0} + 0,7} \right) + N1} \right)^{14} \right]$$

In cui:

$N1 = 0$ se $FC < 5\%$, $N1 = 10FC + 4$ se $FC > 5\%$

σ'_{v0} : Tensione verticale efficace espressa in kg/cm^2

Velocità onde di taglio

La normativa tecnica per la classificazione dei terreni di fondazione richiede la valutazione del valore delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità. A partire dal valore di N_{SPT} ci sono correlazioni empiriche, derivate da letteratura, che consentono di stimare V_s .

- OHTA & GOTO (1978): il valore di V_s è valutato in funzione del numero di colpi, della profondità dal piano campagna, di un coefficiente f_a funzione dell'età geologica del deposito e di un coefficiente f_g funzione della granulometria.

f_a	Olocene (attuale)	Pleistocene (circa 1,8 Ma)
	1,0	1,303

f_g	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini	Argille
	1,45	1,15	1,14	1,09	1,07	1,00

$$V_s = 54,33 \cdot (N_{SPT})^{0,173} \cdot \left(\frac{z}{0,303} \right)^{0,199} \cdot f_a \cdot f_g$$

- YOSHIDA & MOTONORI (1988): il valore di V_s è valutato in funzione del numero di colpi, della tensione verticale efficace e di un fattore geologico β funzione della litologia del terreno.

β	Qualunque terreno	Sabbia fine
	55	49

$$V_s = \beta \cdot (N_{SPT})^{0,25} \cdot \sigma_{vo}^{0,14}$$

Categorie del suolo di fondazione

- Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi:** caratterizzati da valori V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
 - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti** con spessore di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT} > 50$, o $c_u > 250$ kPa).
 - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza**, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$, oppure $70 < c_u < 250$ kPa).
 - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$ oppure $c_u < 70$ kPa).
 - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali**, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.
- Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza**, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa).
 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.**

In cui:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}}$$

h_i = spessori i-esimi

V_{si} = velocità i-esime

1.2 Prova C.P.T.

La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica di dimensioni normalizzate, misurando in continuo o ad intervalli regolari la resistenza alla penetrazione.

Il metodo di spingere una punta nel terreno per poter individuare la quota superiore di uno strato competente è stato introdotto verso il 1917 dalla Ferrovie Svedesi, ma la vera prova C.P.T. con "punta meccanica" è stata sviluppata in Olanda solo a partire dal 1934 da Baretzen. Inizialmente si misurava il carico sulla punta rispetto ad una batteria esterna di tubi facendo avanzare il cono agendo su una batteria di aste interne. Lo sforzo totale era poi misurato infiggendo la batteria di tubi esterni.

Verso la metà del secolo scorso venne realizzato un nuovo cono con il manicotto posizionato sopra la punta; questo dispositivo era in grado di misurare la resistenza alla punta e quella per attrito laterale.

La "punta elettrica", ossia la strumentazione in cui sono inseriti dei sensori per misurare la resistenza, è stata sviluppata alla fine degli anni '40, ma diffusa solo a partire dagli anni '60.

L'introduzione della "punta piezometrica" con setto poroso e relativo sensore di rilevamento della pressione risale agli anni '70, mentre il "piezocono" è stato creato successivamente da parte di Wissa, Torstensson, Fugro e Janbu.

L'utilizzo della prima punta meccanica in Italia risale ai primi anni '60 ed è ancora largamente diffusa per il basso costo, la semplicità d'uso ed il basso costo. Gli strumenti attualmente disponibili sono il penetrometro meccanico, il penetrometro elettrico ed il piezocono, hanno geometria e dimensioni standardizzate (Figura 1.7) secondo le indicazioni internazionali dell'ISSMFE (1989):

- area cono 10 cm²;
- diametro cono 35,6 mm;
- altezza cono 30,9 mm;
- conicità 60°;
- superficie laterale manicotto 150 cm²;
- altezza manicotto 133,7 mm.

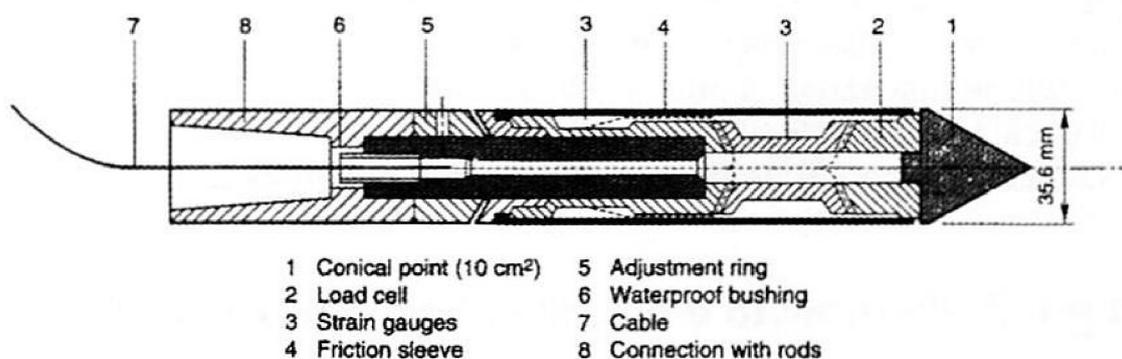


Figura 1. 7 Punta strumentata [4]

L'Eurocodice prevede che il dispositivo debba essere in grado di spingere le aste nel terreno con velocità di penetrazione costante e pari a 20 ± 5 mm/s e che debba essere stabile durante la fase di spinta. La forza verticale che agisce sulla batteria di aste deve essere compresa tra 2 e 30 t. Prima di eseguire la prova bisogna verificare la rettilineità delle aste in modo che la massima deviazione dalla verticale non sia

maggiore di 1 mm su 1 m di lunghezza lungo le aste inferiori e di 2mm per le altre aste. La tolleranza sull'accuratezza delle misure non deve superare il 5% del valore misurato e la frequenza con cui si effettuano non deve superare i 100 mm (la tecnologia attuale consente misure ad intervalli di 10-20 mm). Per la corretta esecuzione delle prove occorre eseguire una taratura di controllo dello strumento ogni 3000 m di prova e, comunque, almeno una volta ogni 6 mesi.

La strumentazione deve essere in grado di misurare la forza assiale agente sul cono Q_c e la forza di attrito F_s . Dividendo la Q_c per l'area della proiezione inferiore del cono A_c , si ottiene la resistenza alla punta q_c . Dividendo, invece, la F_s che agisce sul manicotto per la superficie del manicotto A_s si ricava la resistenza per attrito laterale f_s .

Nel piezocono deve anche essere rilevata la pressione nei pori dovuta alla penetrazione, tramite degli elementi porosi chiamati filtri, situati in tre o più possibili posizioni (vedi Figura 1.8):

- sul vertice della punta conica (misura la pressione interstiziale u_1);
- alla base della punta conica (misura la pressione interstiziale u_2);
- dietro al manicotto (misura la pressione interstiziale u_3).

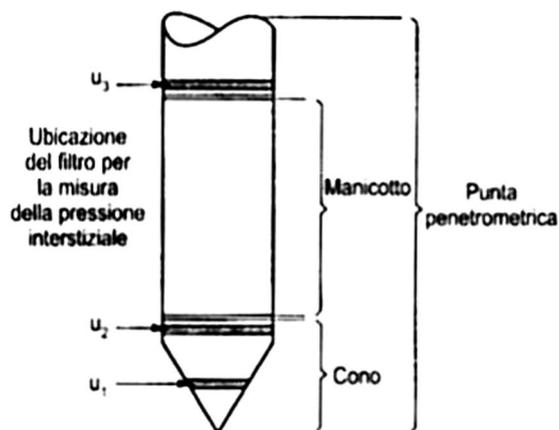


Figura 1. 8 Terminologia della punta conica [3]

La maggiore differenza tra i penetrometri classici (meccanici ed elettrici) ed il piezocono consiste nella necessità di adottare, nel secondo caso, un sistema di misura della pressione nei pori "rigido" e di saturare bene il setto poroso e lo spazio tra il setto poroso ed il sensore di pressione all'interno della punta.

Il campo di applicazione è molto vasto e va dalle sabbie dense alle argille tenere ed ai limi; praticamente impossibile è la penetrazione in terreni ghiaiosi, specie se di spessore elevato e granulometria medio – grossa.

La prova penetrometrica consente di individuare la stratigrafia del terreno, identificando la tipologia degli strati attraversati e fornendo una stima dei parametri geotecnici. Questa prova è molto efficace per i numerosi ed affidabili risultati che si possono ottenere, per la strumentazione di piccole dimensioni e con caratteristiche di risposta piuttosto rapide e per il costo relativamente basso. La C.P.T. permette, inoltre, di individuare aree critiche su cui può essere necessario eseguire indagini più approfondite. Il piezocono fornisce anche informazioni circa il livello idrostatico della falda nel terreno e circa le caratteristiche di consolidazione e di permeabilità dei terreni coesivi saturi.

1.2.1 Classificazione del terreno

La classificazione del tipo di terreno avviene anche sulla base di alcuni grafici.

Per la punta meccanica si hanno:

- la carta di classificazione di H. Begemann (1965);
- la carta di classificazione di Schmertmann (1978).

Per la punta elettrica si ha:

- la carta di classificazione di Douglas e Holsen (1981).

Per il piezocono si hanno:

- la carta di classificazione di Robertson (1986);
- la carta di classificazione di Robertson (1990).

Per un riconoscimento di massima dei profili stratigrafici ci si basa sul rapporto F tra la resistenza alla punta e la resistenza di attrito laterale. I valori riportati nella seguente tabella danno delle indicazioni sul tipo di terreno. (Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche).

TERRENO	F
Torbe ed argille organiche	$F \leq 15$
Limi ed argille	$15 < F \leq 30$
Limi sabbiosi e sabbie limose	$30 < F \leq 60$
Sabbie e sabbie con ghiaia	$F > 60$

Tabella 1. 1 Riconoscimento di massima dei profili stratigrafici

A seconda del tipo di terreno di hanno diversi possibili andamenti della resistenza alla punta. In particolare si hanno questi intervalli:

- $q_c = 0 \div 2 \text{ Mpa} \rightarrow$ Argille
- $q_c = 2 \div 30 \text{ Mpa} \rightarrow$ Terreni sabbiosi

In sabbie normal consolidate i valori della resistenza alla punta tendono a crescere con la profondità, mentre in sabbie sovraconsolidate si può avere un andamento pressochè costante. Un andamento circa costante si può anche ottenere in caso di sabbie normalconsolidate in cui la densità diminuisce con la profondità.

Di seguito (vedi Figura 1.9) è riportata la carta di Begemann, che consente una valutazione del tipo di terreno sulla base dei valori della resistenza alla punta e della resistenza per attrito laterale.

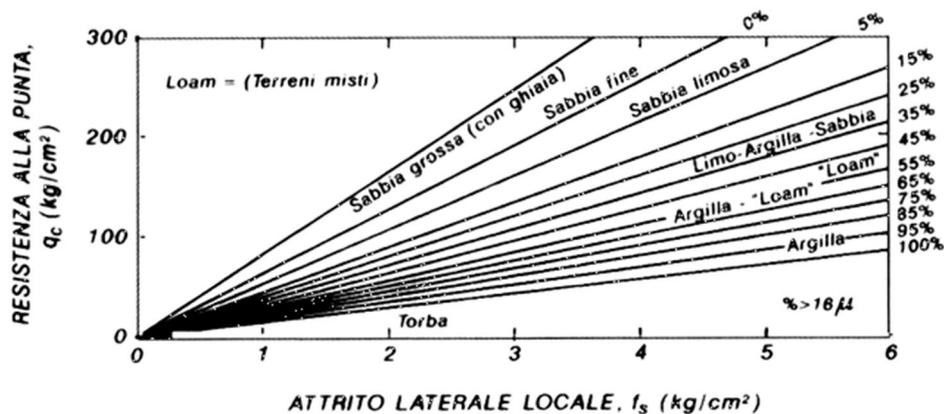


Figura 1. 9 Identificazione del terreno da prove eseguite con punta meccanica (H. Begemann, 1965) [4]

Nella ricerca del professor Schmertmann (1978) è riportata una carta (Figura 1.10) per la caratterizzazione del terreno dai valori della resistenza alla punta e della resistenza per attrito laterale ricavati da prove eseguite con punta meccanica.

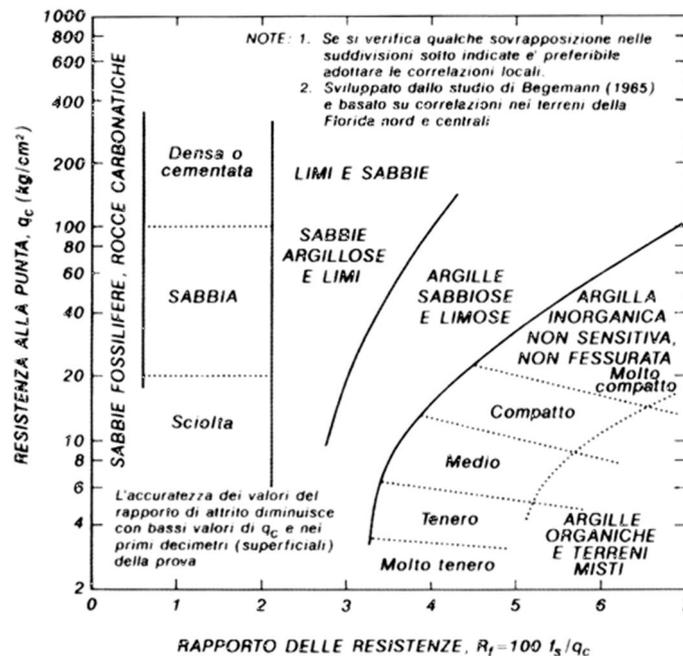


Figura 1. 10 Identificazione del tipo di terreno da prove eseguite con punta meccanica (J.H. Schmertmann, 1978) [4]

Si entra sull'asse delle ascisse del grafico con: $r_f = 100 \cdot \frac{f_s}{q_c}$

La carta elaborata da Douglas e Holsen (1981), illustrata sulla base di prove C.P.T. eseguite con punta elettrica in numerosi siti USA, costituisce un utile strumento per la valutazione del tipo di terreno, basata sui valori della q_c e della f_s (Figura 1.11).

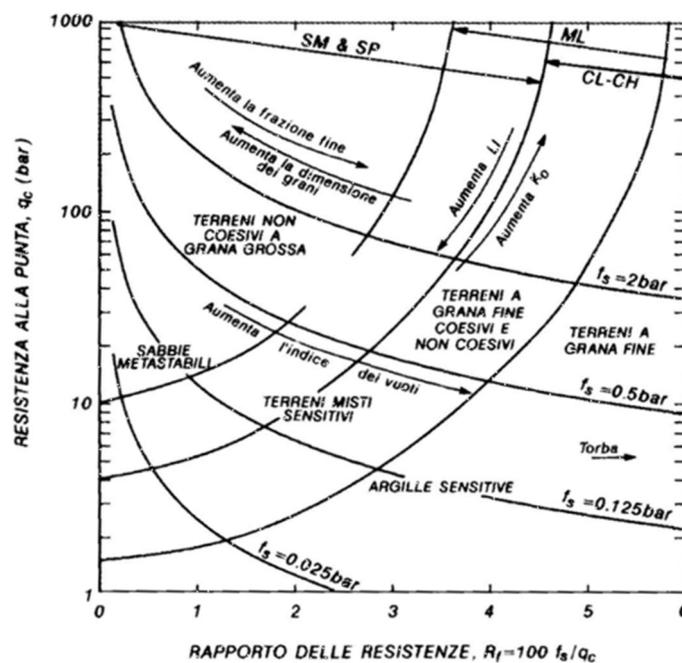


Figura 1. 11 Identificazione del terreno da prove eseguite con punta elettrica (Douglas e Holsen, 1981) [4]

La carta elaborata da Robertson (1986) (Figura 1.12), illustrata sulla base di prove C.P.T. eseguite con piezocono, costituisce un utile strumento per la valutazione del tipo di terreno.

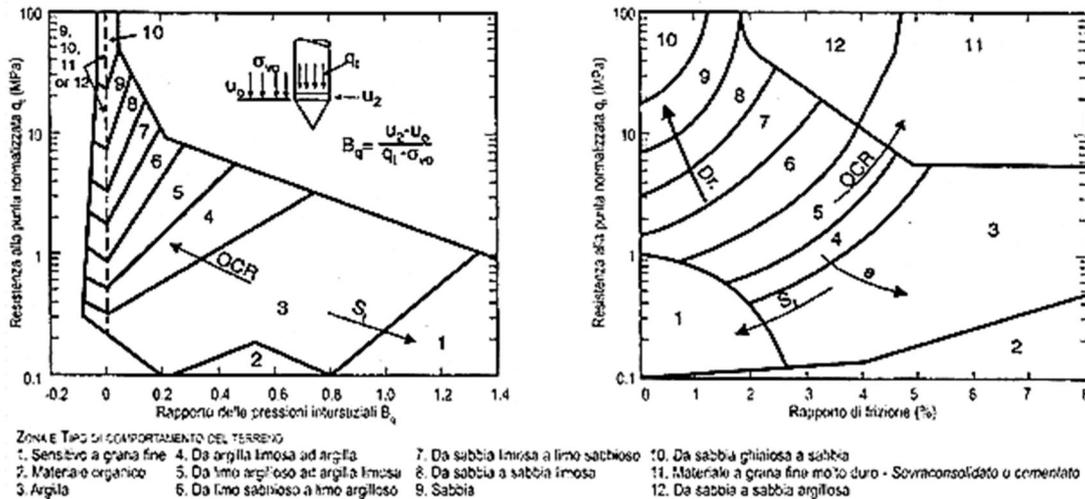


Figura 1. 12 Identificazione del terreno da prove eseguite col piezocono (P.K. Robertson, 1986) [3]

Si entra nel grafico con i seguenti parametri:

resistenza alla punta normalizzata $\Rightarrow q_t = q_c + u_2(1 - a)$ con $0,55 < a < 0,9$;

rapporto delle pressioni interstiziali $\Rightarrow B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$;

rapporto di frizione normalizzato $\Rightarrow r_f = 100 \cdot \frac{f_s}{q_c}$

Per tenere conto delle tensioni geostatiche verticali è stata realizzata da Robertson (1990) una carta di classificazione per la prove C.P.T. eseguite con piezocono (Figura 1.13).

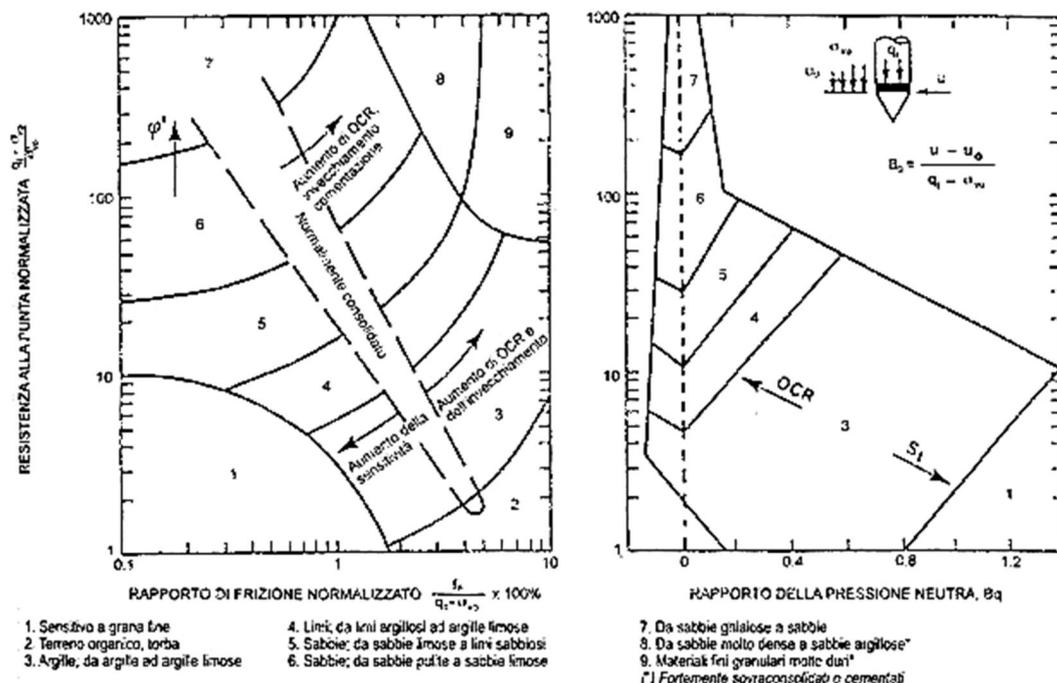


Figura 1. 13 Identificazione del terreno da prove eseguite col piezocono (P.K. Robertson, 1990) [3]

Si entra nel grafico con i seguenti parametri:

$$\text{rapporto di frizione normalizzato} \Rightarrow R_f = \frac{f_s \cdot 100}{q_t - \sigma_{vo}};$$

$$\text{resistenza alla punta normalizzata} \Rightarrow Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$$

1.2.2 Valutazione dei parametri geotecnici

La valutazione dei parametri geotecnici del terreno in seguito all'esecuzione di una prova penetrometrica statica avviene attraverso correlazioni affidabili ricavate da letteratura tecnica la cui validità è confermata a livello internazionale. Di seguito sono riportate le correlazioni utilizzate da **IS GeoStrati**.

Densità relativa D_r

- BALDI (1986): questa correlazione è valida solo per le sabbie e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta, espressa in MPa, e della tensione verticale efficace, espressa in kPa. Se il terreno è normalconsolidato si entra nel seguente grafico (Figura 1.14)

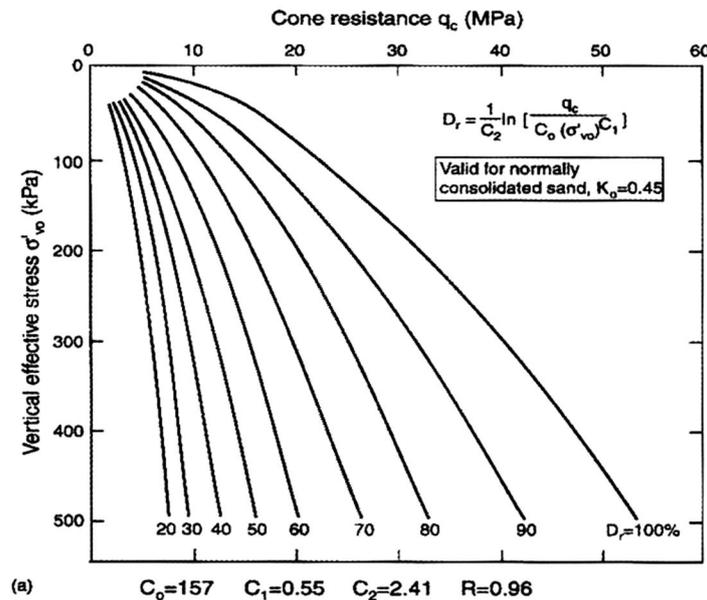


Figura 1. 14 Correlazione Baldi per sabbie NC [3]

Se invece è sovraconsolidato si entra nel successivo (Figura 1.15)

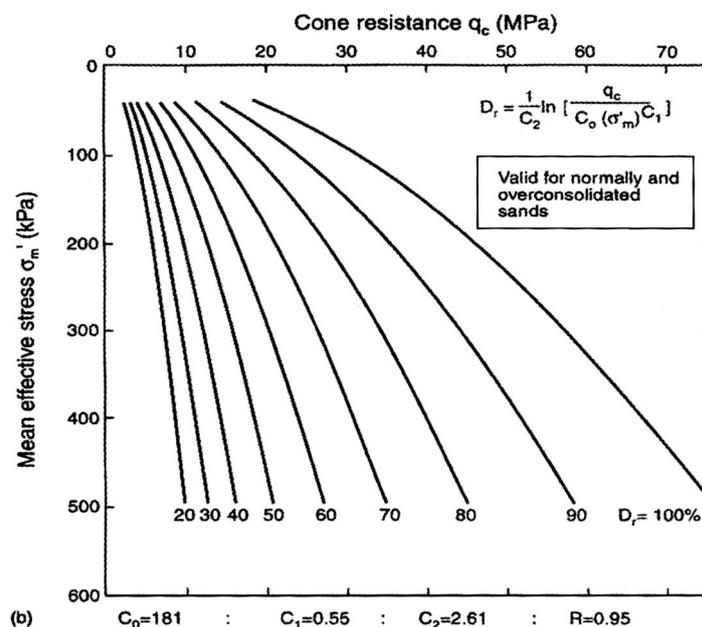


Figura 1. 15 Correlazione Baldi per sabbie OC [3]

- JAMIOLKOSKI (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in t/m^2

$$D_r = -98 + 66 \cdot \log_{10} \left[\frac{q_c}{(\sigma'_{vo})^{0,5}} \right]$$

- HARMAN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di sabbia e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m^2 .

$$D_r = 34,36 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{12,3 \cdot \sigma'_v{}^{0,7}} \right)$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace espressa in kg/cm^2

q_c : resistenza alla punta espressa in kg/cm^2

- SCHMERTMANN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m^2 .

$$D_r = -97,8 + 36,6 \cdot \ln q_c - 26,9 \cdot \ln \sigma'_v$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace espressa in kg/cm^2

q_c : resistenza alla punta espressa in kg/cm^2

- LANCELLOTTA (1983): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta, della tensione verticale efficace e della pressione atmosferica.

$$D_r = 68 \left[\log \left(\frac{q_c}{\sqrt{p_a \cdot \sigma'_v}} - 1 \right) \right]$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace

q_c : resistenza alla punta

p_a : pressione atmosferica

Angolo di resistenza al taglio ϕ

- SCHMERTMANN (1978): la seguente Figura 1.16 mostra un possibile modo di valutare l'angolo di resistenza al taglio di picco sulla base della conoscenza della densità relativa e della granulometria del terreno. Questa correlazione è valida solo per le sabbie e le ghiaie.

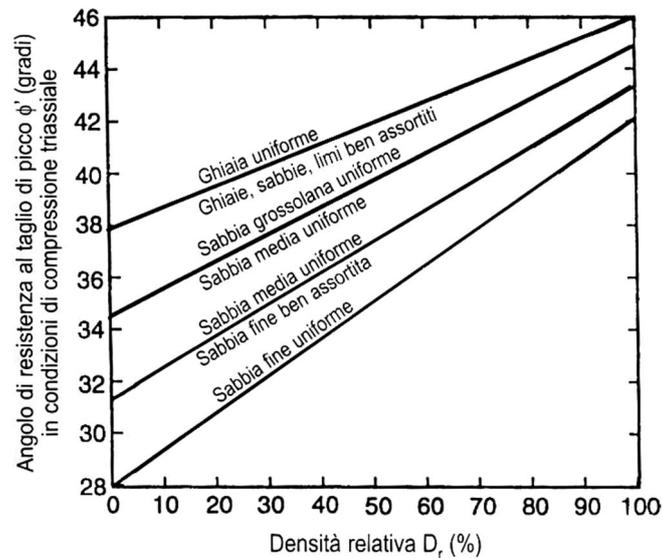


Figura 1. 16 Correlazione di Schmertmann [3]

- KLEVEN (1986): il grafico elaborato (Figura 1.17) consente di ricavare l'angolo di resistenza al taglio in funzione della densità relativa e della tensione verticale efficace. Questa correlazione è valida per ogni tipo di suolo.

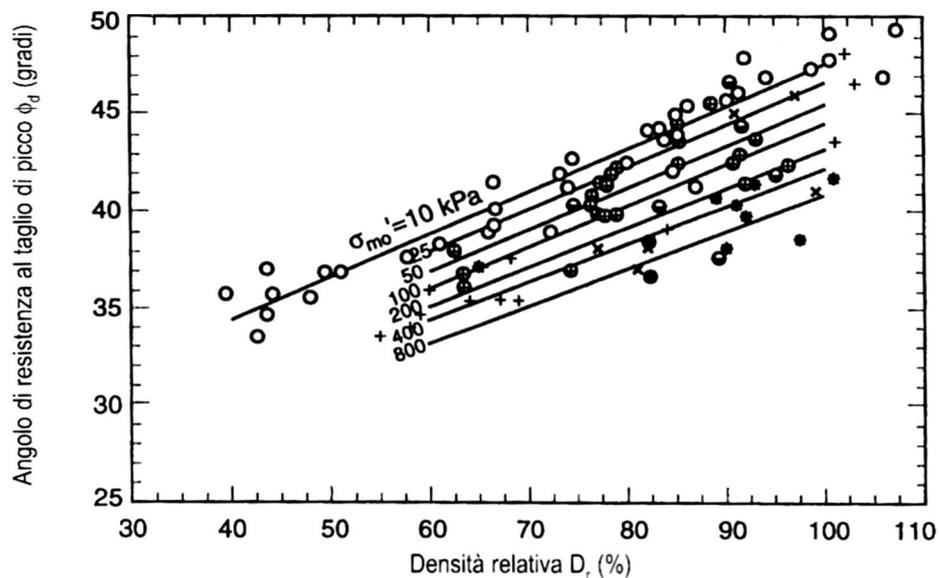


Figura 1. 17 Correlazione di Kleven [3]

- ROBERTSON & CAMPANELLA (1983): un'altra correlazione basata sul valore della densità relativa e dello sforzo verticale efficace è rappresentato in Figura 1.18

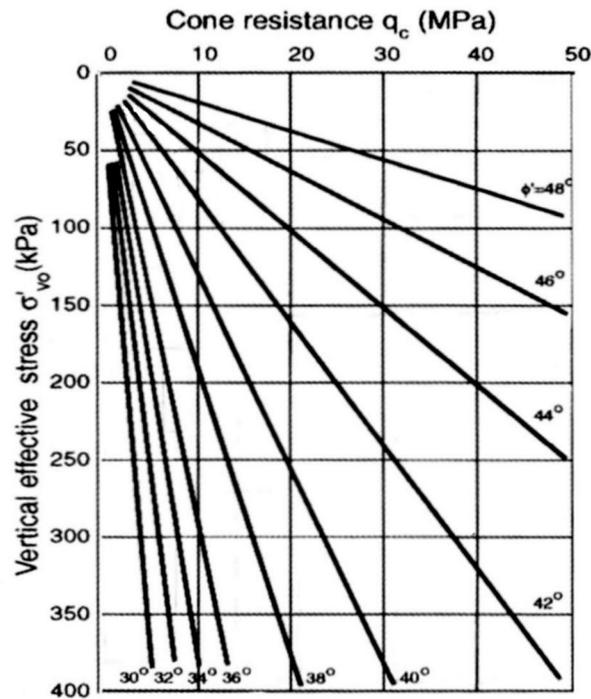


Figura 1. 18 Correlazione di Robertson e Campanella [4]

- DURGUNOGLU & MITCHELL (1973-1975): questa correlazione è valida solo per le sabbie normalmente consolidate. In caso di sabbie sovraconsolidate occorre aumentare il valore trovato di 1°-2°. L'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m².

$$\phi = 14,4 + 4,8 \cdot \ln q_c - 4,5\sigma'_v$$

- CAQUOT: questa correlazione è valida solo per le sabbie normalmente consolidate. In caso di sabbie sovraconsolidate occorre aumentare il valore trovato di 1°-2°. L'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m².

$$\phi = 9,8 + 4,96 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)$$

- KOPPEJAN: questa correlazione è valida solo per le sabbie normalmente consolidate. In caso di sabbie sovraconsolidate occorre aumentare il valore trovato di 1°-2°. L'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m².

$$\phi = 5,8 + 5,21 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)$$

- DE BEER (1965-1967): questa correlazione è valida solo per le sabbie normalmente consolidate. In caso di sabbie sovraconsolidate occorre aumentare il valore trovato di 1°-2°. L'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace espresse in kg/m².

$$\phi = 5,9 + 4,76 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

Modulo elastico E

- SCHMERTMANN (1970, 1978): il valore del modulo di Young è correlato direttamente con la resistenza alla punta q_c in base alla relazione

$$E = 2,5 \cdot q_c$$

- JAMIOLKOSKI (1987): il valore di E è correlato alla resistenza alla punta tramite un fattore α che varia a seconda che la sabbia sia normalconsolidata o sovraconsolidata

$$E = \alpha \cdot q_c$$

Per le sabbie NC $\Rightarrow 2,5 \leq \alpha \leq 4$

Per le sabbie NC aged $\Rightarrow 4 \leq \alpha \leq 6$

Per le sabbie OC $\Rightarrow 6 \leq \alpha \leq 10$

- DE BEER (1965): il valore del modulo di Young è correlato direttamente con la resistenza alla punta q_c tramite un coefficiente che, secondo Meyerhof e Fellenius, è funzione della natura del terreno.

$$E = \beta \cdot q_c$$

TIPI DI TERRENO	β
Sabbia limosa	1.5
Sabbia mediamente addensata	2.0
Sabbia densa	3.0
Sabbia e ghiaia	5.0

- BOWLES (): il valore di E è correlato alla resistenza alla punta tramite un fattore α che varia a seconda del tipo di litologia.

$$E = \alpha \cdot q_c$$

Per le sabbie NC $\Rightarrow 2 \leq \alpha \leq 4$

Per le sabbie OC $\Rightarrow 6 \leq \alpha \leq 30$

Per le sabbie argillose $\Rightarrow 3 \leq \alpha \leq 6$

Per le sabbie limose $\Rightarrow 1 \leq \alpha \leq 2$

Per le argille soffici $\Rightarrow 3 \leq \alpha \leq 8$

Modulo di taglio G

- MAYNE & RIX (1993): la correlazione è valida per ogni tipo di suolo e si basa sul valore della resistenza alla punta espressa in kg/cm^2

$$G = 2,87 \cdot (q_c)^{1,335}$$

- IMAI & TOMAICHI (1990): la correlazione è valida per ogni tipo di suolo e si basa sul valore della resistenza alla punta espressa in kg/cm²

$$G = 28 \cdot (q_c)^{0,611}$$

Resistenza non drenata S_u

- LEVADOUX & BALIGH (1980): correlazione valida solo per le argille basata sui valori della resistenza alla punta, della tensione totale verticale e di un coefficiente N_c che varia a seconda del tipo di suolo

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_c}$$

In cui:

Per argille tenere $\Rightarrow N_c = 14$

Per argille preconsolidate $\Rightarrow N_c = 17 \pm 5$

Per argille fessurate $\Rightarrow N_c = 10 \div 30$

- RACCOMANDAZIONI AGI (1977): correlazione valida solo per i terreni coesivi saturi, è basata sui valori della resistenza alla punta e di un coefficiente adimensionale N_{CP} compreso tra 15 e 25.

$$S_u = \frac{q_c}{N_{CP}}$$

Tale correlazione non è valida per argille con sensitività maggiore di 5, per le argille fessurate e per i limi di bassa plasticità.

- LUMNE E EIDE (1977): correlazione valida per le argille in generale, si basa sulla seguente relazione:

$$s_u = \frac{q_c - \sigma_v'}{20,7 - 0,18 \cdot IP}$$

In cui:

q_c : resistenza alla punta [kg/cm²]

IP : indice di plasticità medio dello strato

σ_v' : tensione verticale efficace [kg/cm²]

Modulo confinato M

- MITCHELL & GARDNER (1975): il modulo confinato M può essere correlato alla resistenza alla punta mediante la seguente equazione

$$M = \alpha_m \cdot q_c$$

In cui:

α_m : coefficiente tabellato da Sanglerat (1972) in funzione del tipo di terreno (Tabella 1.1)

$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$3 < \alpha_m < 8$	Argille poco plastiche
-------------------------	--------------------	------------------------

$0,7 < q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha_m < 5$	Limi poco plastici Limi molto plastici e argille Limi organici Torba e argille organiche
$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha_m < 2,5$	
$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$3 < \alpha_m < 6$	
$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha_m < 3$	
$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha_m < 6$	
$q_c < 1,2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha_m < 8$	
$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$1,5 < \alpha_m < 4$	

Tabella 1. 2 Valutazione di α_m per le argille [3]

- LUMNE & CHRISTOPHERSEN (1983): hanno raccomandato le seguenti correlazioni per stimare il valore di M per le sabbie normalconsolidate

$$M = 4 \cdot q_c \text{ per } q_c < 10 \text{ MPa}$$

$$M = 2 \cdot q_c + 20 \text{ MPa per } 10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa}$$

$$M = 120 \cdot q_c \text{ per } q_c > 50 \text{ MPa}$$

I medesimi autori hanno fornito anche le indicazioni per le sabbie sovraconsolidate

$$M = 5 \cdot q_c \text{ per } q_c < 50 \text{ MPa}$$

$$M = 250 \cdot q_c \text{ per } q_c > 50 \text{ MPa}$$

Grado di sovraconsolidazione OCR

- SULLY (1988): la correlazione è valida per ogni tipo di terreno, ma solo per il piezocono poiché prevede di calcolare un parametro PPD in funzione delle pressioni interstiziali misurate con i filtri posti sul cono

$$PPD = \frac{u_1 - u_2}{u_0}$$

In cui:

u_1 : pressione interstiziale misurata con il piezocono sul vertice della punta conica

u_2 : pressione interstiziale misurata con il piezocono alla base della punta conica

u_0 : pressione idrostatica nel terreno

Si ricava il valore del grado di sovraconsolidazione: $OCR = 0,66 + 1,43 \cdot PPD$

- MAYNE & HOLTS (1988): suggeriscono la seguente correlazione per determinare la tensione di preconsolidazione

$$\sigma'_p = 0,32(q_t - \sigma_{vo})$$

In cui:

q_t : resistenza alla punta normalizzata $\Rightarrow q_t = q_c + u_2(1 - a)$ con $0,55 < a < 0,9$

Questa correlazione è valida per ogni tipo di suolo, ma l'unica strumentazione a cui può essere applicata è il piezocono.

Si ricava il valore del grado di sovraconsolidazione (Over Consolidation Ratio) è dato dal rapporto tra la massima tensione verticale efficace subita dall'elemento di terreno nel corso della sua storia e la

tensione efficace geostatica: $OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}}$

Coefficiente spinta a riposo k_0

- KULHAWY & MAYNE (1990): hanno suggerito la seguente correlazione valida per ogni tipo di suolo per determinare il coefficiente di spinta a riposo, ossia il rapporto tra le tensioni efficaci geostatiche orizzontali e quelle verticali

$$k_0 = 0,1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right)$$

1.3 Prova D.P.

La prova penetrometrica dinamica continua consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta in acciaio e fatta infiggere nel terreno per battitura, per mezzo di un idoneo dispositivo a percussione. Si contano i colpi N_{DP} necessari per fare penetrare il maglio per ciascun tratto di lunghezza stabilita. Si ottengono informazioni di tipo continuo poiché si eseguono misurazioni durante tutto il corso dell'infissione.

La prova è, solitamente, condotta a partire dal piano campagna, ma può essere eseguita dal fondo foro se si adottano speciali accorgimenti. Il campo di applicazione è piuttosto vasto e va dai terreni coesivi (le argille) ai terreni granulari (le ghiaie). Qui di seguito è illustrato lo schema dell'attrezzatura usata per eseguire la prova (Figura 1.19).

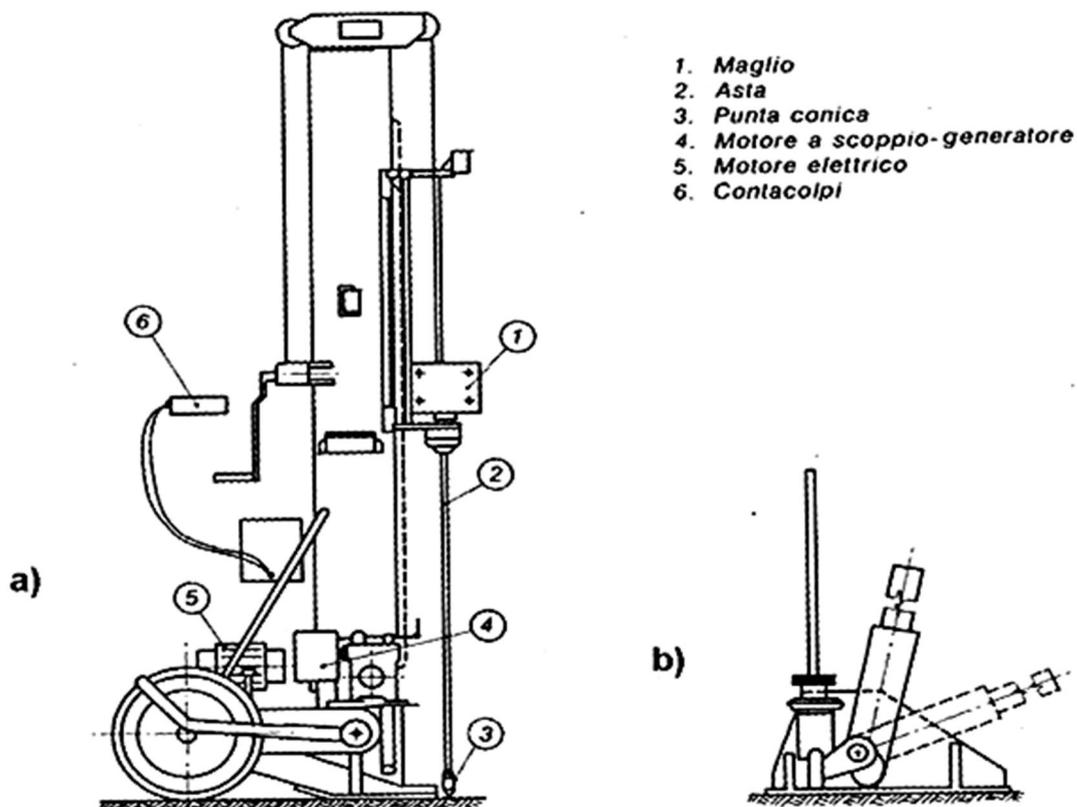


Figura 1. 19 a) Dispositivo di prova; b) Strumento per l'estrazione delle aste [4]

Il maglio deve essere guidato per assicurare la minima resistenza all'attrito durante la caduta, il meccanismo di sganciamento deve essere automatico ed assicurare una caduta libera costante e la testa di battuta deve essere fissata rigidamente alla sommità. Le aste devono essere in acciaio avente elevate caratteristiche meccaniche e devono essere non eccessivamente deformabili e logorabili. La punta conica deve avere angolo di apertura pari a 90° ed una parte cilindrica sopra la base del cono. La prova deve essere continua, bisogna mantenere una velocità di battitura di $15 \div 30$ colpi/min e le aste devono essere ruotate di 1,5 giri ogni metro di penetrazione. Tutte le sospensioni per un tempo superiore a 5 minuti devono essere annotate. È importante conoscere il valore dell'energia effettivamente trasmessa alle aste nei casi in cui i risultati ottenuti debbano essere utilizzati per valutazioni qualitative.

La prova D.P. è stata diffusa in Italia intorno agli anni '50 dal professor Meardi ed è poi stata inserita nelle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (Associazione Geotecnica Italiana, 1977). Essa è piuttosto utilizzata nella fase progettuale di fondazioni su pali prefabbricati battuti, poiché l'attrezzatura è facilmente trasportabile ed installabile nel terreno.

Allo stato attuale delle conoscenze i risultati dei penetrometri conici sono interpretabili solo sulla base di esperienze locali (AGI, 1977). A questo bisogna aggiungere che sul mercato esistono molte strumentazioni aventi caratteristiche diverse e se ne deriva che le correlazioni tra il numero di colpi e le caratteristiche geotecniche del terreno non possono essere considerate generalmente provate, diffuse ed accettate internazionalmente.

Tra i penetrometri più utilizzati in **IS GeoStrati** ne sono stati scelti alcuni per cui sono disponibili delle correlazioni per calcolare le caratteristiche geotecniche:

- DPL;
- DPH;
- DPSH;
- Superpesante AGI - Meardi;
- Medio leggero 30 – 20.

Le dimensioni e le tolleranze di queste strumentazioni sono riportate nella seguente Tabella 1.2

Attrezzatura	DPL	DPH	DPSH	AGI	30 – 20
Maglio					
Massa [kg]	10±0,1	50±0,5	63,5±0,5	73	30
Caduta [mm]	500±10	500±10	500÷750	750	200
Testa di battuta					
Massa [kg]	6	18	18÷30	/	/
Punta conica					
Area di base [cm ²]	10	15	16÷20	20,27	10
Diametro [mm]	35,7±0,3	43,7±0,3	45,0÷50,5	50,8	35,7
Lungh. Cilindro [mm]	35,7±1	43,7±1	51÷90	29,1	8
Altezza cono [mm]	17,9±1	21,9±0,1	22,5÷25,3	44,0	31
Aste					
Massa [kg/m]	3	6	6÷8	4,6±0,5	2,4
Diametro [mm]	22	32	32÷35	37	20

Tabella 1. 3 Tabella di confronto tra penetrometri [4]

Il numero di colpi N_{DP} deve essere misurato ogni tratto di penetrazione di 100 mm per i penetrometri DPL, DPH e 30 - 20, ogni 100 o 200 mm per il penetrometro DPSH ed ogni 300 mm per il maglio super pesante AGI - Meardi. Il campo di variazione di N_{DP} è compreso tra 3 e 50 per i penetrometri DPL, DPH e 30 – 20 e tra 50 e 100 per i penetrometri DPSH ed AGI. Nel caso di prove eseguite in rocce tenere o terreni duri

per cui la resistenza alla penetrazione è elevata, si può annotare la penetrazione per un certo numero di colpi alternativamente al normale valore N_{DP} .

1.3.1 Valutazione dei parametri geotecnici

La valutazione dei parametri geotecnici del terreno in seguito all'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica continua avviene attraverso correlazioni riportate sull'Eurocodice o ricavate da costruttori. Di seguito sono riportate le correlazioni utilizzate da **IS GeoStrati**.

Penetrometri DPL e DPH

L'appendice E1 dell'Eurocodice fornisce le seguenti indicazioni per calcolare la densità relativa avendo a disposizione i risultati di prove DP eseguite con penetrometri DPL e DPH. Tali correlazioni sono valide per un numero di colpi compreso tra 3 e 50 e sono in funzione del coefficiente di uniformità U_c .

- Sabbia poco gradata ($U_c \leq 3$) sopra falda:

$$D_r = 0,15 + 0,260 \cdot \log N_{10} \text{ per il penetrometro DPL}$$

$$D_r = 0,10 + 0,435 \cdot \log N_{10} \text{ per il penetrometro DPH}$$

- Sabbia poco gradata ($U_c \leq 3$) sotto falda:

$$D_r = 0,21 + 0,230 \cdot \log N_{10} \text{ per il penetrometro DPL}$$

$$D_r = 0,23 + 0,380 \cdot \log N_{10} \text{ per il penetrometro DPH}$$

- Sabbia poco gradata ($U_c \leq 3$) sopra falda:

$$D_r = 0,14 + 0,555 \cdot \log N_{10} \text{ per il penetrometro DPH}$$

Penetrometri DPSH e AGI - Meardi

Per il penetrometro DPSH del costruttore Pagani (Piacenza) sono state trovate delle relazioni tra il numero di colpi N_{SPT} normalizzati al 60% ed i dati N_{DP} normalizzati misurati alle medesime quote ed in fori adiacenti:

$$N_{SPT(60\%)} = C \cdot N_{DP(60\%)}$$

In cui:

$C \approx 1,5 \div 2,0$	Terreni con ghiaie
$C = 2,0 \div 2,8$	Terreni sabbiosi
$C = 2,8 \div 4,0$	Argille \pm limose

Nel caso del penetrometro AGI – Meardi con rendimento prossimo al 60% il valore del coefficiente di relazione C varia tra 1,5 e 2. Per utilizzare le correlazioni sopra esposte bisogna correggere il valore di C_{AGI} per tenere conto del peso e dell'intervallo di misura diversi rispetto al penetrometro DPSH; si ottiene:

$$C_{AGI} = 0,58 \cdot C$$

Penetrometro medio – leggero 30 – 20

Vannelli e Benassi (1983) hanno confrontato i risultati di prove DP eseguite con il penetrometro medio leggero con quelli di prove SPT eseguite nel medesimo deposito ed ai medesimi intervalli di profondità. Le relazioni ottenute sono le seguenti:

- Terreni prevalentemente coesivi:

$$N_{30-20} = (0,7 \div 0,8)N_{SPT} \text{ per } N_{30-20} = 8 \div 14$$

$$N_{30-20} = (0,8 \div 1,0)N_{SPT} \text{ per } N_{30-20} = 14 \div 18$$

- Terreni prevalentemente granulari:

$$N_{30-20} = (0,95 \div 1,0)N_{SPT} \text{ per } N_{30-20} = 8 \div 15$$

$$N_{30-20} = (1,0 \div 1,2)N_{SPT} \text{ per } N_{30-20} = 15 \div 30$$

Per le prove DP eseguite con i penetrometri DPSH, AGI-Meardi e 30-20 possono essere calcolati, utilizzando le correlazioni prima descritte a proposito della prova SPT, i seguenti parametri geotecnici:

- Densità relativa D_r ;
- Angolo di attrito ϕ ;
- Modulo elastico E ;
- Modulo elastico non drenato;
- Modulo di taglio.

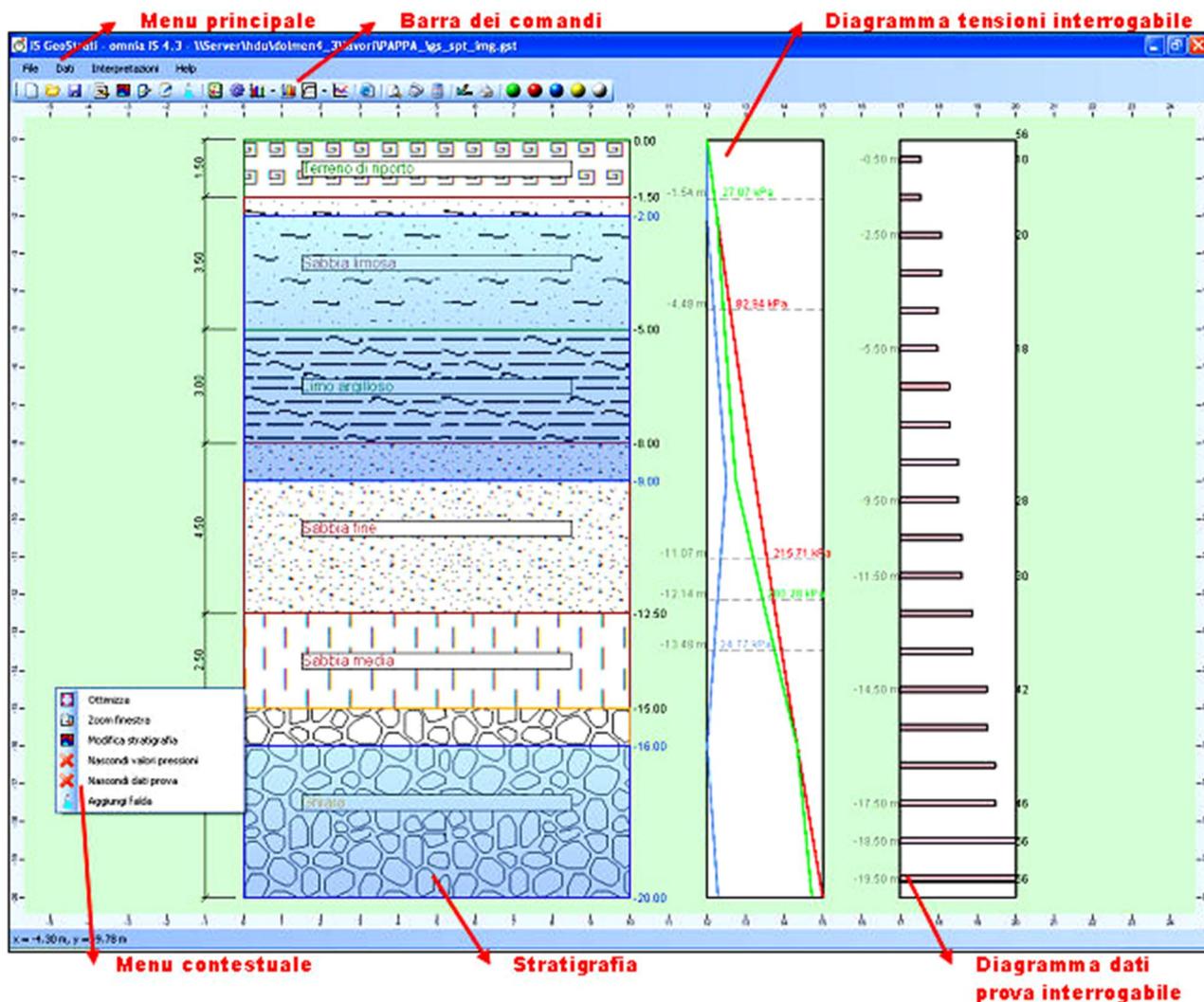
Si ricorda che non può considerarsi generalmente provata la validità delle correlazioni tra la prova DP e la prova SPT. I valori trovati devono essere considerati come indicativi.

1.4 Bibliografia

- [1] - “Raccomandazioni per le indagini geotecniche”, Associazione Geotecnica Italiana, 1977.
 [2] – Renato Lancellotta, José Calavera “Fondazioni”, McGraw-Hill, 1999.
 [3] – Maurizio Tanzani “L’indagine geotecnica”, Dario Flaccovio Editore, 2002.
 [4] – Ferruccio Cestari “Prove geotecniche in sito”, Edizioni Geo-Graph-Seagrate, 2005.

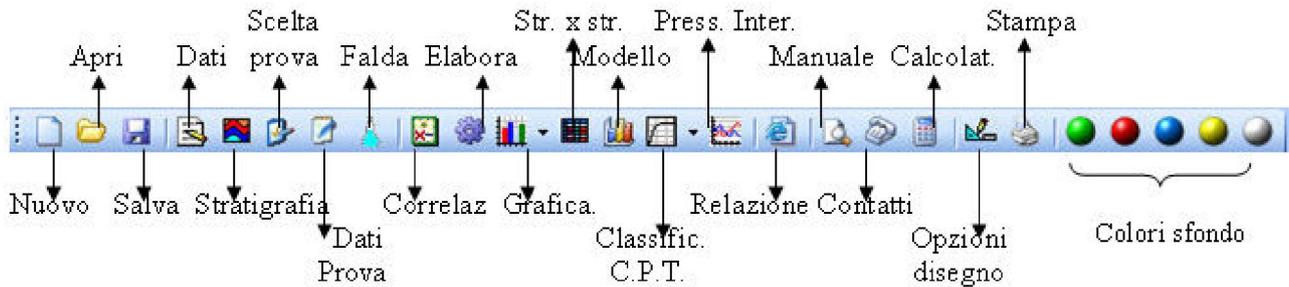
2 Utilizzo del programma

L'introduzione dei parametri rilevati in sito è semplice ed immediata, avviene, inoltre, in modo analogo per tutte e tre le prove disponibili. **IS GeoStrati** offre diverse strade per inserire i dati inerenti alla stratigrafia ed ai sondaggi, adattandosi alle esigenze dell'utente. L'ambiente di lavoro ha la tipica interfaccia dell'ambiente Windows[®] e, quando il programma viene avviato, appare una finestra come quella illustrata di seguito.



Il **Menu principale** o menu a tendina, in alto a sinistra, dà accesso a tutte le possibilità offerte dal programma così come la barra dei comandi, situata nella linea ad esso sottostante. Nel menu sono riportate diverse voci: *File, Dati, Interpretazioni, Relazione e Help*. Sotto la dicitura *File* si trovano i comandi relativi all'apertura e salvataggio del file ed alla creazione della relazione di calcolo: *Nuovo, Apri, Salva con nome, Salva, Crea relazione e Chiudi*. In corrispondenza della voce *Dati* si hanno gli accessi per inserire i dati inerenti al sondaggio eseguito ed alla stratigrafia del suolo: *Dati Sondaggio, Stratigrafia, Scelta prova, Dati prova e Falda*. Da *Interpretazioni* è possibile accedere alla fase di calcolo, ai risultati ottenuti ed alle rappresentazioni di tipo grafico: *Scelta Parametri, Elabora, Visualizza grafica, Classificazione C.P.T., Press. Interstiziale C.P.T.U e Correlaz. Strato per strato*. Infine da *Help* si accede alla guida in linea: *Manuale Utenti e Contatti*.

Avvicinandosi ad ogni pulsante della **barra dei comandi** (riportati in dettaglio qui di seguito) compare un testo contenente una veloce spiegazione della sua funzione. Cliccando questi tasti si può accedere a tutte le funzioni prima elencate per il menu principale.



Il programma ha al suo interno un Cad dedicato, il **MiniCad**, che può avere sfondo bianco o colorato e che è contornato da una scala graduata. Ad ogni movimento del mouse si possono vedere le sue coordinate nella barra di stato inferiore. Questo cad disegna la **stratigrafia** quotata del suolo e rappresenta la falda colorando di azzurro la zona corrispondente, ossia quella tra la sua quota iniziale e la sua quota finale (possono essere presenti più falde nel medesimo suolo).

IS GeoStrati si apre con una stratigrafia già definita, in modo da fornire un esempio all'utente. Per inserire i nuovi dati bisogna accedere al pannello "Stratigrafia" per quanto riguarda le caratteristiche degli strati ed al pannello "Falda" per quanto concerne la condizione idrologica del sito. Entrambi i pannelli verranno trattati di seguito.

Sulla destra della raffigurazione del suolo viene disegnato l'**andamento delle tensioni** verticali totali (colorate in rosso), efficaci (colorate in verde) e della pressione idrostatica (colorata in azzurro) secondo la teoria di Terzaghi per cui: $\sigma_{eff} = \sigma_{tot} - u$. Infine ancora più a destra è riportato l'**andamento dei dati della prova** ossia la resistenza alla punta per la prova C.P.T. ed il numero di colpi per quanto riguarda le prova S.P.T. e D.P. Entrambi i grafici sono interrogabili con il doppio click del mouse che farà comparire il valore e la quota del punto selezionato.

Il **Menu contestuale** è visualizzabile cliccando il tasto destro del mouse all'interno del MiniCad e, a seconda della zona in cui si è cliccato, consente di visualizzare alcuni comandi, tra i quali:

Ottimizza: allarga il disegno in modo che occupi l'intero schermo;

Zoom finestra: permette di selezionare un'area, che viene poi visualizzata ingrandita;

Proprietà strato: selezionando uno strato ne riassume le caratteristiche.

Il **tasto centrale del mouse** può essere utilizzato per muoversi agevolmente sull'area di disegno, in particolare il *doppio click* gestisce la funzione ottimizza e centra l'immagine all'interno della finestra, il *click trascinando il mouse* permette di spostare la parte dell'immagine su cui si trova il puntatore nella zona voluta della finestra e la *rotazione della rotella* consente di ingrandire e rimpicciolire il disegno a seconda della direzione della rotazione.

2.1 Dati generali sondaggio

In questo pannello si inseriscono notizie generali inerenti il sondaggio che verranno riportate nella legenda all'interno del pannello principale. Vi si può accedere tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Dati Sondaggio* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quarta icona a partire da sinistra "Inserimento dati".

I dati richiesti sono i seguenti:

- **Impresa esecutrice:** nome dell'impresa che ha eseguito il sondaggio.
- **Committente:** nome del committente del sondaggio.
- **Località:** luogo in cui è stato eseguito il sondaggio.
- **Data esecuzione:** data di esecuzione del sondaggio.
- **Strumento usato:** nome o tipo di strumento utilizzato per eseguire il sondaggio.
- **Operatore:** nome dell'operatore che ha eseguito il sondaggio in sito.
- **Prova:** tipo di prova o numero di identificazione della prova.
- **Quota inizio foro:** quota iniziale del foro rispetto al piano campagna.
- **Posizione:** posizione del punto in cui è stato eseguito il sondaggio, possono essere riportate le coordinate topografiche.
- **Logo:** si può inserire il logo dell'impresa cliccando sul pulsante "Cerca", sullo stesso tasto verrà scritto il nome del file contenente l'immagine.

Se vengono introdotti dati errati (ad esempio si scrivono delle lettere là dove andrebbero inseriti dei numeri) o non vengono inserite delle informazioni viene segnalato l'errore non appena si va col mouse su un'altra casella. A quel punto compare un punto esclamativo di colore rosso ed avvicinandogli il mouse si può leggere la tipologia di sbaglio.

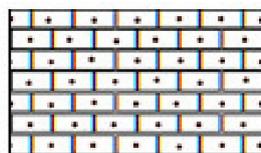
2.2 Stratigrafia

In questo pannello vengono inserite le informazioni inerenti la stratigrafia del sito. Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Stratigrafia* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la quinta icona a partire da sinistra "Stratigrafia". [Rif.1]

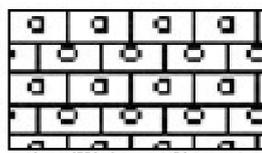
	z sup.	m	Descrizione litologica	Peso	daN/cm3	Nome Retino	Immag. Retino	OCR
1	0		Terreno di riporto	0.0018		Terra riporto 2		1.0
2	-1.50		Sabbia limosa	0.0019		Sabbia limosa		1.0
3	-5.00		Limo argilloso	0.0020		Limo argilloso		1.0
4	-8.00		Sabbia fine	0.0021		Sabbia fine 1		1.0
5	-12.50		Sabbia media	0.0022		Sabbia media 1		1.0
6	-15.00		Ghiaia	0.0023		Ghiaia 2		1.0

I dati richiesti sono i seguenti:

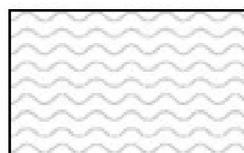
- z sup: quota superiore di ogni strato.
- Descrizione litologica: descrizione della litologia dello strato.
- Peso: peso per unità di volume.



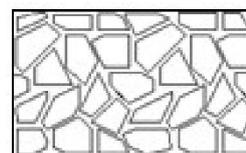
Arenarie



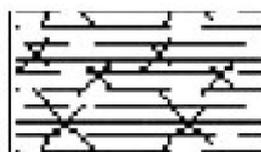
Argilliti scagliose



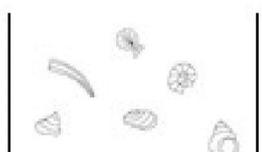
Limo



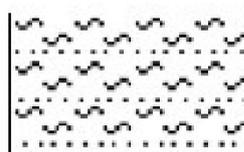
Roccia 2



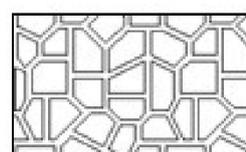
Argille alta plasticità



Fossili



Limo sabbioso 1



Roccia 3



Argille bassa plasticità



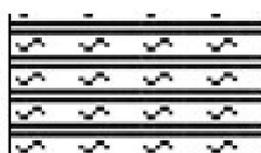
Ghiaia 1



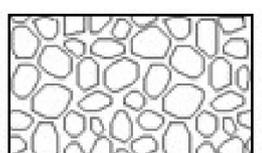
Limo sabbioso 2



Roccia 4



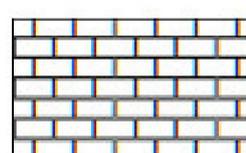
Argilla limosa



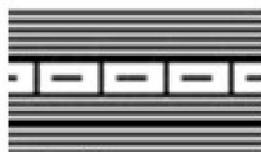
Ghiaia 2



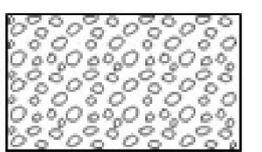
Limo argilloso



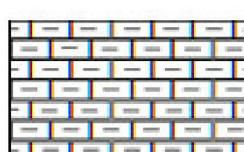
Roccia 5



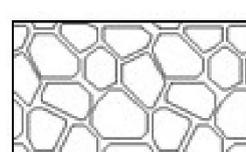
Argilla marnosa



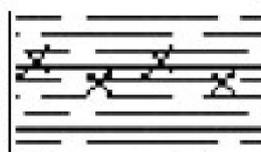
Ghiaia 3



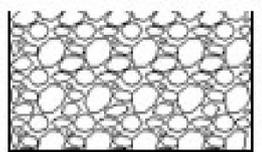
Marna



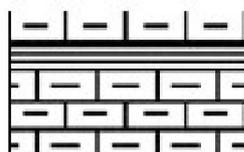
Roccia 6



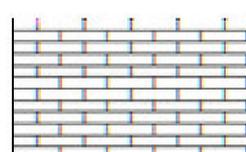
Argilla media plasticità



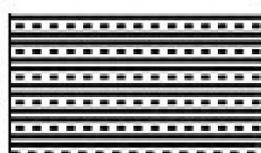
Ghiaia 4



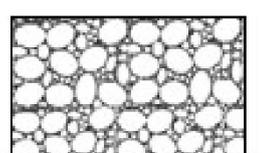
Marna argillosa



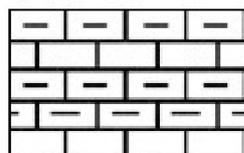
Roccia calcarea



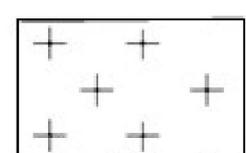
Argilla sabbiosa



Ghiaia eterometrica1



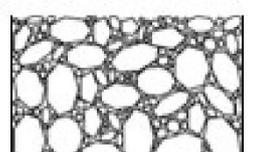
Marna calcarea



Roccia ignea 1



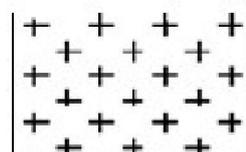
Argilliti



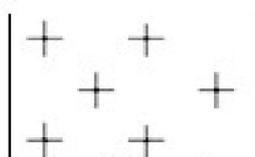
Ghiaia eterometrica2



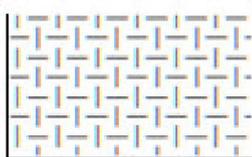
Roccia 1



Roccia ignea2



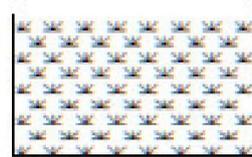
Roccia ignea 2



Sabbia grossa1



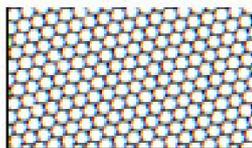
Terra 1



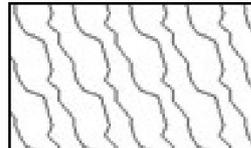
Terreno vegetale 1



Roccia scistosa 1



Sabbia grossa2



Terra 2



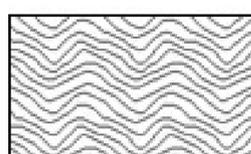
Terra vegetale 2



Roccia scistosa 2



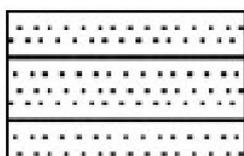
Sabbia grossa3



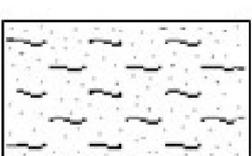
Terra 3



Terreno organico



Sabbia argillosa



Sabbia limosa



Terra 4



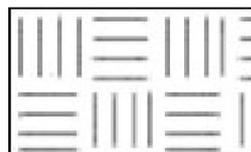
Torba 1



Sabbia e ghiaia



Sabbia media1



Terra 5



Torba 2



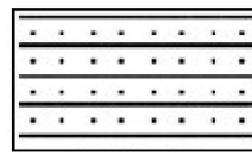
Sabbia fine1



Sabbia media2



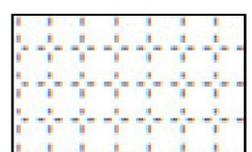
Terra piroclastica



Travertino



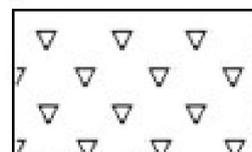
Sabbia fine2



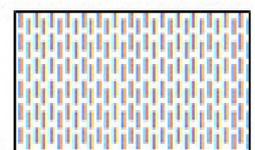
Sabbia media3



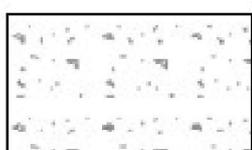
Terra riporto 1



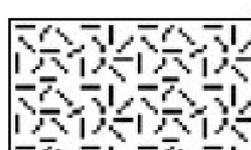
Tufo vulcanico 1



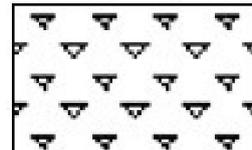
Sabbia fine3



Sabbia con fine plast



Terra riporto 2



Tufo vulcanico 2

- **Retino:** si sceglie il retino tra più di 40 disponibili (riportati qui di seguito), realizzati secondo gli esempi riportati su "Raccomandazioni per le indagini geotecniche", A.G.I. 1977. Sulla sinistra si visualizza il nome del riempimento e cliccando sulla freccia si può accedere a tutti gli altri. Sulla

destra compare l'anteprima del retino selezionato. La scelta serve anche per eseguire la classificazione litologica durante i calcoli successivi (per alcune correlazioni è consigliabile scegliere un retino che indichi se si tratta di materiale coesivo oppure di materiale non coesivo), per questo motivo è importante scegliere il riempimento corrispondente alla litologia giusta.

- OCR: grado di sovraconsolidazione di ogni strato.
- Spessore ultimo strato.

Sono presenti alcuni pulsanti che hanno diverse funzioni:

- Aggiungi: questo pulsante permette di aggiungere uno strato sul fondo dell'elenco, se non è selezionata nessuna riga della tabella, oppure uno strato precedente a quello selezionato.
- Elimina: questo pulsante permette di eliminare uno strato sul fondo dell'elenco, se non è selezionata nessuna riga della tabella, oppure lo strato selezionato.
- Elim. tutti: questo pulsante permette di eliminare tutti gli strati tranne il primo.

2.3 Falda

Da questo pannello si possono inserire la o le falde presenti nel terreno e gli eventuali piezometri installati. Si può aprire questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Falda* oppure dalla barra dei comandi, cliccando l'ottava icona a partire da sinistra "Falda".

I dati richiesti sono:

- Quota sup: è la quota superiore della falda.
- Quota inf: è la quota inferiore della falda.
- Z piez: è la quota a cui è installato il piezometro.
- H piez: è la quota dell'acqua nel piezometro misurata a partire dalla quota a cui è installato il piezometro.



Il funzionamento dei pulsanti posti nel pannello Falda è lo stesso descritto per i pulsanti del modello Stratigrafia.

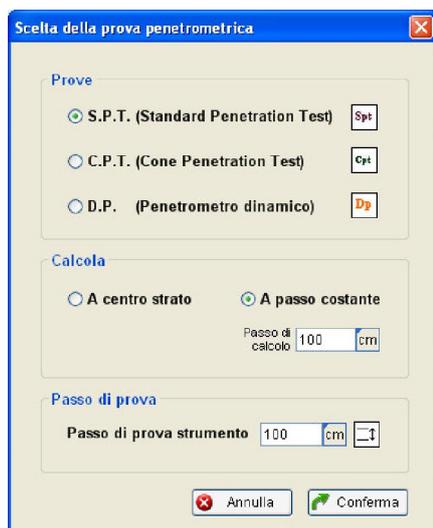
2.4 Scelta prova

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Scelta prova* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la sesta icona a partire da sinistra "Scelta prova".

Tramite questo pannello è possibile scegliere la tipologia di prova tra:

- S.P.T.: prova penetrometriche dinamiche
- C.P.T.: prova penetrometrica statica
- D.P.: prova dinamica continua

Si sceglie, inoltre, se effettuare il calcolo a centro strato o a passo costante; in questo secondo caso l'utente deve indicare il valore del passo, che deve essere compreso tra 10 cm ed un quinto dell'altezza totale della stratigrafia. Infine viene chiesto il passo di prova dello strumento.



Se si confermano le scelte effettuate si passa nelle parti specifiche di ciascuna prova per poi accedere alla vera e propria fase di calcolo.

2.4.1 Prova S.P.T.

Subito dopo avere scelto la prova penetrometrica dinamica si apre un pannello in cui sono richiesti alcuni dati generali inerenti le caratteristiche del maglio e dell'attrezzatura con cui sono stati eseguiti i sondaggi.

I dati richiesti sono i seguenti:

- **Diametro cono:** diametro del cono che si trova sulla punta del maglio.
- **Peso maglio:** peso del maglio utilizzato.
- **Altezza di caduta:** altezza da cui è lasciato cadere il maglio.
- **Penetrazione:** quantità di cui deve essere fatto penetrare il maglio per misurare il numero di colpi.
- **Rap. energia aste:** rapporto di energia delle aste espresso in percentuale.
- **Diametro di perforazione:** diametro di perforazione per eseguire il foro di sondaggio.
- **Lunghezza aste:** lunghezza delle aste di battitura.
- **Tipo di campionatore:** a scelta tra "Standard" e "Senza cappuccio".
- **Correzione:** se si sceglie di effettuare la correzione il valore di N_{SPT} viene modificato con la correzione di Terzaghi e Peck, con quella di Skempton, con quella relativa al maglio (nel caso in cui il maglio abbia caratteristiche diverse rispetto a quelle standard), con quella relativa al rapporto di energia (se diversa dal 60%), con quella basata sulla lunghezza delle aste ed in base al campionatore utilizzato.

2.4.1.1 Dati prova S.P.T.

In questo pannello vengono inseriti i risultati dei sondaggi S.P.T. eseguiti nel foro. Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Dati prova* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la settima icona a partire da sinistra "Dati prova".

I dati richiesti sono i seguenti:

- **Z:** profondità a cui è eseguito il sondaggio.
- **N_{spt}:** numero di colpi per far avanzare il maglio del secondo tratto e del terzo tratto, dato dalla somma di N2 e di N3, il primo valore N1, infatti, non è considerato rappresentativo perché riguarda un terreno che potrebbe essere rimaneggiato.
- **d50:** diametro dei grani corrispondente al 50% del passante.

A	E	Z	m	Nspt	d50	mm	FC
1		-0.50	10.0	0.400	0		
2		-1.50	10.0	0.400	0		
3		-2.50	20.0	0.400	0		
4		-3.50	20.0	0.400	0		
5		-4.50	18.0	0.400	0		
6		-5.50	18.0	0.400	0		
7		-6.50	24.0	0.400	0		
8		-7.50	24.0	0.400	0		
9		-8.50	28.0	0.400	0		
10		-9.50	28.0	0.400	0		
11		-10.50	30.0	0.400	0		
12		-11.50	30.0	0.400	0		
13		-12.50	35.0	0.400	0		

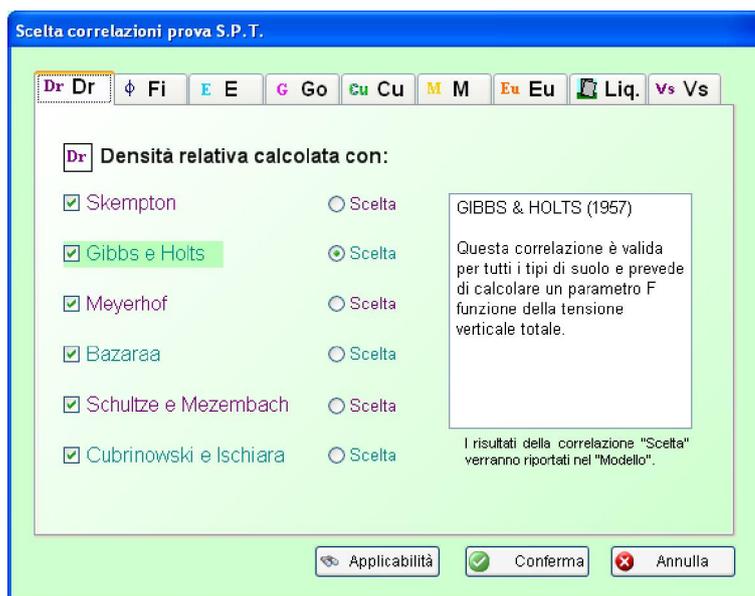
- **FC**: frazione di fine contenuta nella sabbia, espressa in percentuale.

Cliccando il tasto “A” si aggiunge un sondaggio sul fondo dell’elenco oppure nella posizione precedente alla riga selezionata, cliccando, invece, il tasto “E” si elimina l’ultimo sondaggio o quello selezionato. Si possono aggiungere quote sondaggio fino ad una quota stabilita cliccando sul tasto “OK” dopo aver definito la profondità voluta.

2.4.1.2 Scelta parametri S.P.T.

Da questo pannello è possibile scegliere le correlazioni per calcolare i seguenti parametri geotecnici del terreno:

- **Densità relativa**: sono disponibili le correlazioni di Skempton (1986), Gibbs & Holts (1957), Meyerhof (1957), di Cubrinowsky & Ischiara (1988) e di Schultze & Mezembach (1961).
- **Angolo di attrito**: sono disponibili le correlazioni di Shioi & Fukuni(1982), De Mello (1971), Peck Hansen & Thornburn (1974), Mitchell (1978), Hatanaka & Uccida (1996), Schmertmann (1975), Schmertmann (1978), Owasaki & Iwasaki, Sowers (1961), Malcev(1964) e Meyerhof (1965).
- **Modulo elastico**: si può scegliere tra le correlazioni di Stroud (1989), di Burland & Burbidge (1985), di Jamiolkoski (1988), di Tornagli, di Schmertmann, di D’Apollonia, di Schultze & Mezembach e di Webb.
- **Modulo elastico non drenato**: è presente solo la correlazione di Stroud (1989).
- **Modulo di taglio**: sono disponibili le correlazioni di Otha & Goto (1978), di Ohsaki & Iwasaki e di Crespellani & Vannucchi.
- **Coesione non drenata**: si può scegliere tra le correlazioni di Terzaghi & Peck (1948), DM-7, Sanglerat e Shioi & Fukui (1982).
- **Modulo di deformazione edometrica**: sono presenti le correlazioni di Farrent (1963) e di Menzebach & Malcev.
- **Potenziale di liquefazione**: sono disponibili le correlazioni di Seed e Idriss (1982), di Iwasaki e Al. (1984), di Seed e Al. (1985) e di Tokimatsu e Yoshimi (1983).
- **Velocità delle onde di taglio**: è presente il metodo di Otha e Goto (1978).



Si può scegliere di effettuare il calcolo dei vari parametri geotecnici con una o più correlazioni. La scelta viene effettuata selezionando le caselline che si trovano a sinistra dei nomi. La parte da selezionare accanto alla scritta “Scelta” permette di decidere le correlazioni che andranno riportate sul modello. Ogni volta che si seleziona una nuova correlazione si dovrà ripetere la fase di calcolo.

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Interpretazioni* → *Scelta parametri* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la nona icona a partire da sinistra “Scelta parametri”.

Il tasto “**Applicabilità**” consente di vedere, strato per strato in base alla litologia scelta, quali sono le correlazioni utilizzabili.

2.4.2 Prova C.P.T.

Subito dopo avere scelto la prova penetrometrica statica si apre un pannello in cui sono richiesti alcuni dati generali inerenti le caratteristiche del penetrometro ed il tipo di attrezzatura con cui sono stati eseguiti i sondaggi.

I dati richiesti sono i seguenti:

- Area punta A_p : area totale della base del cono.
- Area manicotto A_m : superficie laterale del manicotto.
- Apertura punta: apertura della punta del cono.
- Velocità penetrazione: velocità con cui è fatto penetrare il cono.
- Strumento utilizzato: si può scegliere lo strumento tra il penetrometro meccanico, il penetrometro elettrico ed il piezocono.
- Coefficiente di trasformazione c_t

Cliccando il tasto con il segno di spunta di colore verde si accede al pannello in cui, dati forza assiale Q_c e forza di attrito laterale Q_s , vengono ricavati la resistenza alla punta q_c e la resistenza laterale f_s .

[Rif.2]

Z	m	Qc	daN	Qs	daN
1	-0.20	0	0		
2	-0.40	1.961	0.265		
3	-0.60	12.749	0.195		
4	-0.80	14.710	0.716		
5	-1.00	9.807	1.049		
6	-1.20	5.865	0.912		
7	-1.40	8.826	0.392		
8	-1.60	8.826	0.392		
9	-1.80	7.845	0.598		
10	-2.00	9.807	0.392		
11	-2.20	11.768	0.195		
12	-2.40	8.826	0.520		
13	-2.60	11.768	0.195		
14	-2.80	13.729	0.392		
15	-3.00	10.787	0.598		
16	-3.20	7.845	0.195		

Questo è possibile solo per la punta meccanica e per quella elettrica. Dopo aver eseguito i calcoli dati eventualmente scritti in "Dati prova" vengono sovrascritti.

Le formule utilizzate sono:

$$1) q_c = \frac{Q_c}{A_p}; q_s = \frac{Q_s}{A_m}$$

$$2) q_c = \frac{Q_c \cdot c_t}{A_p}; q_s = \frac{(Q_s - Q_c) \cdot c_t}{A_m}$$

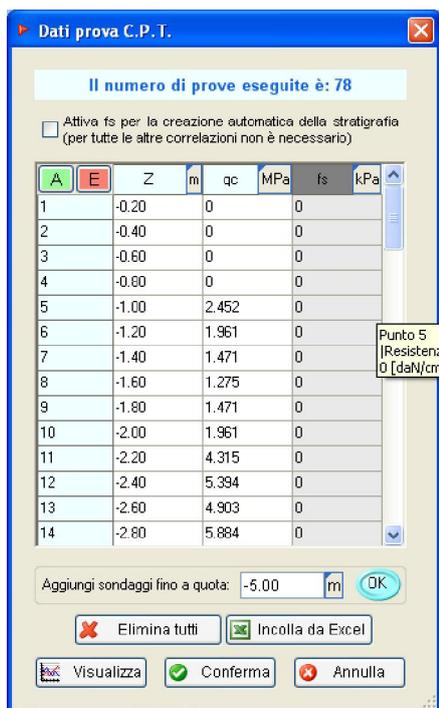
$$3) q_c = \frac{Q_c \cdot c_t}{A_p}; q_s = \frac{(Q_c - Q_s) \cdot c_t}{A_m}$$

2.4.2.1 Dati prova C.P.T.

In questo pannello vengono inseriti i risultati dei sondaggi C.P.T. eseguiti nel foro. Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Dati prova* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la settima icona a partire da sinistra "Dati prova".

I dati richiesti sono i seguenti:

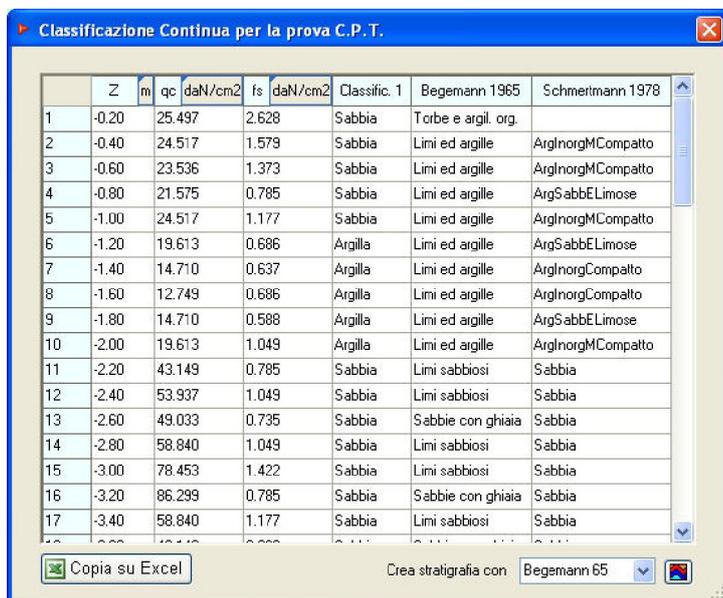
- Z : profondità a cui è eseguito il sondaggio.
- q_c : resistenza alla punta.
- f_s : resistenza all'attrito laterale.
- u_1 : pressione interstiziale misurata sul vertice della punta conica (solo nella finestra relativa al piezocono).



- u_2 : pressione interstiziale misurata alla base della punta conica (solo nella finestra relativa al piezocono).
- u_3 : pressione interstiziale misurata dietro al manicotto (solo nella finestra relativa al piezocono).

Queste ultime tre colonne sono attive solo nel caso in cui sia stato scelto il piezocono. I valori di profondità, resistenza alla punta e laterali, così come quelli delle pressioni interstiziali possono essere espressi nell'unità di misura preferita, è sufficiente sceglierla cliccando la parte alta della prima riga della tabella, in corrispondenza del triangolo blu. Si possono aggiungere quote sondaggio fino ad una quota stabilita cliccando sul tasto "OK" dopo aver definito la profondità voluta.

2.4.2.2 Classificazione litologie con la prova C.P.T.



La prova C.P.T. consente di classificare la litologia degli strati attraversati. Tramite apposite finestre è possibile vedere i grafici di Begemann, Schmertmann, Douglas e Holsen e di Robertson con la rappresentazione puntuale dei valori della resistenza alla punta e della resistenza laterale.

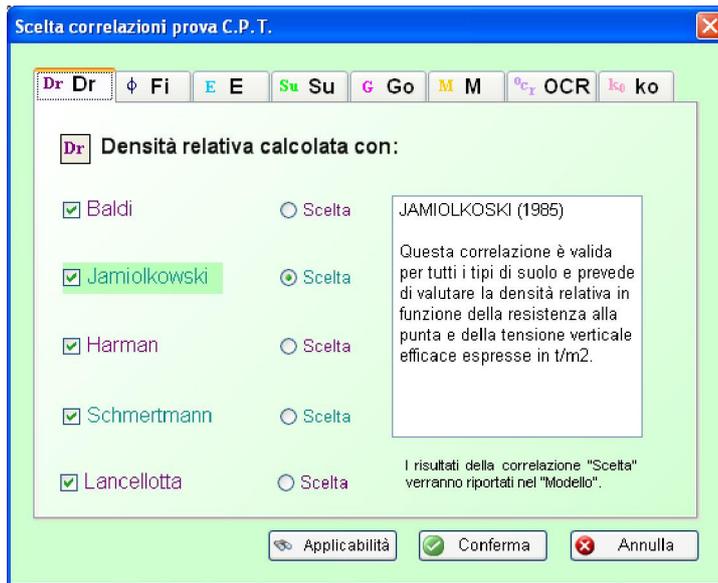
Un altro pannello riporta per ogni sondaggio la classificazione eseguita con Begemann 1965, Schmertmann 1978 (per la punta meccanica) e Douglas e Olsen 1981 (per la punta elettrica) e consente di ricavare la stratigrafia della zona. Selezionando la classificazione e cliccando il pulsante della rappresentazione stratigrafica si aprirà un

pannello in cui sono riportate tutte le quote di inizio strato, le descrizioni litologiche, i retini ed i pesi per unità di volume (valori medi ricavati dal libro "Geotecnica" di Renato Lancellotta). I risultati possono essere copiati ed incollati su Excel tramite l'apposito tasto.

Si può ottenere la rappresentazione stratigrafica anche in modo diretto dai grafici di Begemann, di Schmertmann e di Douglas e Olsen.

2.4.2.3 Scelta parametri C.P.T.

Da questo pannello è possibile scegliere le correlazioni per calcolare i seguenti parametri geotecnici del terreno:



Imai e Tomaichi (1990).

- **Resistenza non drenata:** sono disponibili la correlazione di Levadoux e Baligh (1980), quella prevista dalle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (1977) e quella di Lumne e Eide.
- **Modulo confinato:** si può scegliere tra la correlazione di Mitchell e Gardner (1975) e di Lumne e Christophersen (1983).
- **OCR:** si può calcolare il grado di sovraconsolidazione con le correlazioni elaborate da Sully (1988) e de Mayne e Holts (1988).
- **K₀:** è disponibile solo la correlazione di Kulhawy e Mayne (1990).

Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Interpretazioni* → *Scelta parametri* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la nona icona a partire da sinistra "Scelta parametri".

Il tasto "**Applicabilità**" consente di vedere, strato per strato in base alla litologia scelta, quali sono le correlazioni utilizzabili.

2.4.3 Prova D.P.

Subito dopo avere scelto la prova penetrometrica statica si apre un pannello in cui sono richiesti alcuni dati generali inerenti le caratteristiche del penetrometro ed il tipo di attrezzatura con cui sono stati eseguiti i sondaggi. [Rif.3]

Bisogna scegliere il penetrometro utilizzato tra:

- DPL;
- DPH;
- DPSH: per questo occorre indicare il rapporto di energia delle aste, espresso in %;
- AGI-Meardi: per questo occorre indicare il rapporto di energia delle aste, espresso in %;
- Medio-leggero 30-20.



Caratteristiche strumento

Nome strumento: Utente

Peso del maglio M: 63.50 kg

Altezza di caduta H: 75 cm

Massa testa battuta: 2.00 kg

Area base punta A: 20.43 cm²

Passo avanzam. E: 20.00 cm

Lunghezza cilindro: 6.00 cm

Altezza cono: 2.30 cm

Massa aste al metro: 7.00 kg/m

Diametro aste: 3.30 cm

Utilizza coeff. di trasformazione multipli

Coefficienti N_{spt}/N_{dp}

Terreni ghiaiosi: 1

Terreni sabbiosi: 1

Argille e limi: 1

Utilizza coeff. di trasformazione multipli

Coefficienti N_{spt}/N_{dp}: Tutti i tipi di terreno: 1

Utilizza rapporto di energia

Coefficienti N_{spt}/N_{dp}

$$c = \frac{Q_{DP}}{Q_{SPT}} = \frac{N_{SPT}}{N_{DP}}$$

$$Q_{DP} = \frac{M \cdot H}{A \cdot E}$$

Suggerimenti caratteristiche penetrometri da "Standard penetration test" di E. Pasqualini

Conferma Annulla

- Utente: tramite il tasto “Definisci” assegno la descrizione al penetrometro.

Il tasto “Informazioni” dà delle indicazioni sull’applicazione del penetrometro medio leggero, mentre il tasto “Definisci” consente di assegnare i dati relativi al penetrometro “Utente”.

Nel pannello “Caratteristiche penetrometro utente” si inseriscono i dati inerenti lo strumento ed i coefficienti per trasformare il numero di colpi N_{dp} nel corrispondente numero di colpi N_{spt} . Tale

trasformazione può essere espressa tramite tre coefficienti multipli, variabili col tipo di terreno, oppure tramite un coefficiente singolo, oppure mediante correlazioni con le caratteristiche del penetrometro.

2.4.3.1 Dati prova D.P.

Dati prova D.P.

Il numero di prove eseguite è: 42

A	E	Z	m	Ndp	Uc
1		0	0	2	
2		-0.50	10	2	
3		-1.00	12	3	
4		-1.50	11	2	
5		-2.00	10	2	
6		-2.50	12	3	
7		-3.00	13	2	
8		-3.50	9	2	
9		-4.00	12	3	
10		-4.50	9	2	
11		-5.00	9	2	
12		-5.50	10	3	
13		-6.00	10	2	
14		-6.50	15	1	
15		-7.00	16	2	

Aggiungi sondaggi fino a quota: -5.00 m OK

Incolla da Excel Elimina tutti Conferma Annulla

In questo pannello vengono inseriti i risultati dei sondaggi D.P. eseguiti nel foro. Si può accedere a questo pannello tramite il menu principale dalla voce *Dati* → *Dati prova* oppure dalla barra dei comandi, cliccando la settima icona a partire da sinistra “Dati prova”.

I dati richiesti sono i seguenti:

- Z: profondità a cui è eseguito il sondaggio.
- N_{dp}: numero di colpi.
- U_c: coefficiente di uniformità (questo coefficiente è chiesto solo nel caso in cui sia stato utilizzato il penetrometro DPL o il penetrometro DPH).

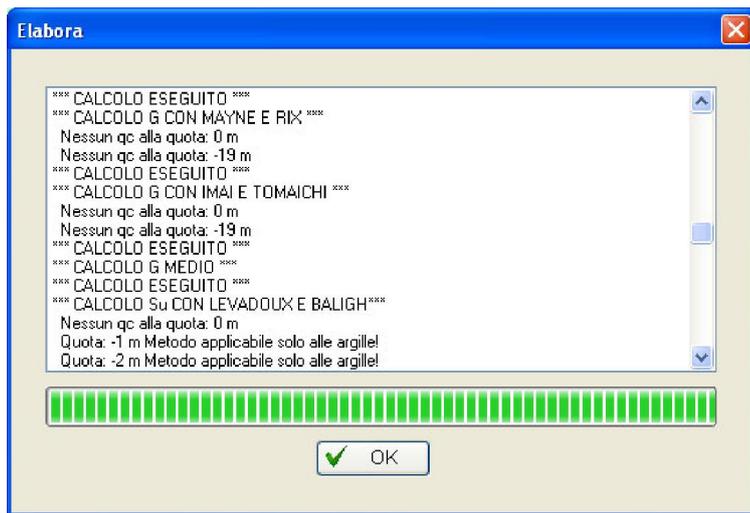
I dati possono essere copiati ed incollati da un foglio di calcolo Excel. Si possono aggiungere quote sondaggio fino ad una quota stabilita cliccando sul tasto “OK” dopo aver definito la profondità voluta.

2.4.3.2 Scelta parametri D.P.

Nel caso in cui il penetrometro utilizzato sia quello DPL o quello DPH non compare nessun pannello per la scelta dei parametri da calcolare poiché è disponibile una sola correlazione che effettua il calcolo della densità relativa.

Se, invece, è stato scelto un altro penetrometro, accedendo dal menu principale a *Interpretazioni* → *Scelta parametri*, oppure cliccando la nona icona a partire da sinistra “Scelta parametri”, si visualizza lo stesso pannello descritto per il paragrafo Scelta parametri S.P.T.; questo avviene perché, tramite correlazioni trovate in letteratura, si è trasformato il valore N_{dp} in N_{spt} .

2.5 Elabora

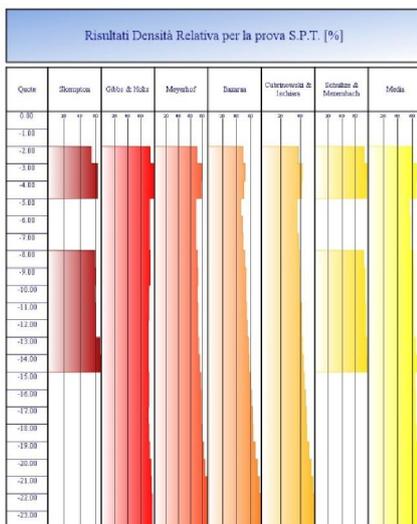


Questo pannello ha le medesime caratteristiche per tutte e tre le prove penetrometriche e permette l'avvio del calcolo dei parametri geotecnici secondo le correlazioni scelte. Vi si accede selezionando dal menu principale la voce *Interpretazioni* → *Elabora*, oppure cliccando la decima icona a partire da sinistra.

Su questa finestra vengono riportate tutte le informazioni relative al calcolo e tutti gli eventuali errori o casi in cui il parametro geotecnico non può essere

ricavato. Quando la barra si è riempita di rettangoli verdi significa che l'elaborazione è terminata e si può passare alla fase di visualizzazione dei risultati.

2.6 Grafica



Le visualizzazioni grafiche fornite dal programma sono alcune e tutte diverse tra di loro in modo da poter soddisfare diverse esigenze. In ogni caso sono tutte di facile comprensione e rese esteticamente interessanti dalla presenza di colori.

Una prima rappresentazione permette di visualizzare un parametro geotecnico per volta, ma tutte le correlazioni disponibili insieme ed affiancate in modo da poter confrontare i risultati ottenuti. I valori vengono disegnati tramite istogrammi in cui sull'asse delle ascisse vi è il parametro geotecnico e sull'asse delle ordinate le quote a cui sono stati effettuati i calcoli. Per alcuni parametri è anche disponibile il calcolo del valore medio tra tutti quelli ottenuti dalle correlazioni scelte.

Si può accedere a questi grafici selezionando sul menu principale *Visualizzazione grafica* → *Grafici* → *S.P.T.* (oppure *C.P.T.* oppure *D.P.*) → parametro geotecnico, oppure cliccando sulla linguetta che si trova accanto all'undicesima icona a partire da sinistra.

Una seconda rappresentazione riporta tutti i valori numerici ottenuti dal calcolo rappresentati sotto forma di tabella. Il pannello presenta un numero di linguette pari al numero di parametri geotecnici disponibili per la prova scelta e, su ognuno di

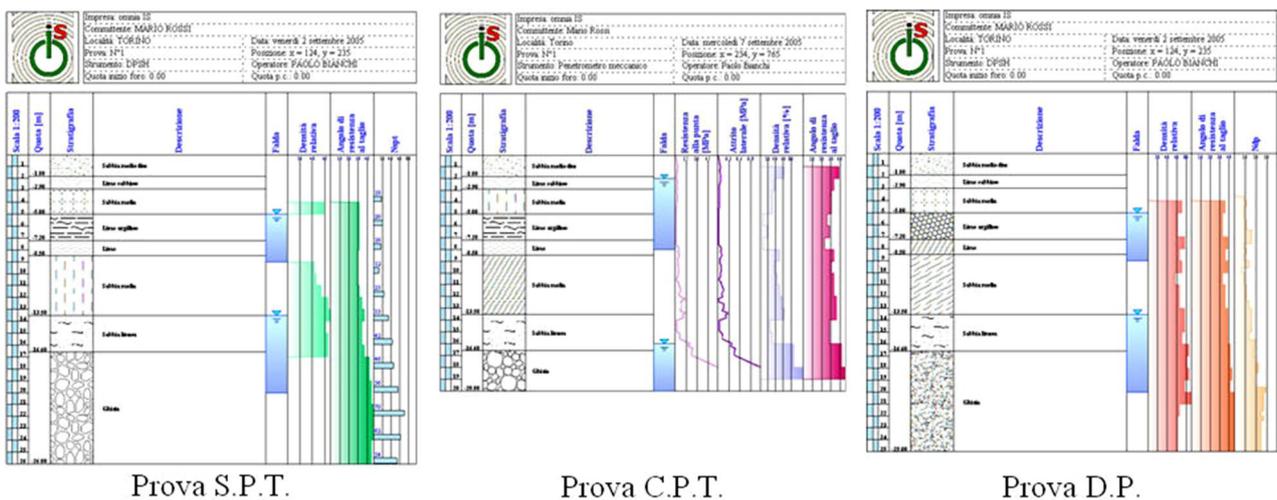
Quota	SPT	Giagonna	Gbto di Hilo	Meyerhof	Danara	Coesione di Schless	Scritto di Monobedi	Media	Media stras
0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.00	18.00	0	70	67	51	79	6	67	67
-2.00	15.00	73	77	75	53	81	76	73	
-3.00	26.00	77	81	83	56	88	84	78	74
-4.00	19.00	76	76	78	51	82	76	72	
-5.00	18.00	0	71	73	47	77	6	67	
-6.00	21.00	0	72	79	49	80	6	69	69
-7.00	24.00	0	75	79	51	83	6	72	
-8.00	26.00	57	65	71	47	75	76	64	
-9.00	28.00	55	64	78	47	74	76	63	
-10.00	29.00	56	70	75	53	81	75	65	65
-11.00	30.00	51	69	71	52	76	72	66	
-12.00	32.50	48	69	69	53	76	72	65	
-13.00	33.00	46	69	65	53	76	72	64	65
-14.00	38.50	45	70	65	54	79	72	65	65
-15.00	42.00	0	70	62	55	80	6	65	
-16.00	44.00	0	70	65	55	80	6	65	
-17.00	46.00	0	69	67	55	81	6	65	69
-18.00	51.00	0	70	69	58	84	6	76	
-19.00	56.00	0	71	71	60	88	6	72	

essi, si può vedere come questi variano a seconda della correlazione ed in funzione della profondità. È possibile, inoltre, avere il calcolo della media tra le correlazioni scelte ed il calcolo della media sulla strato.

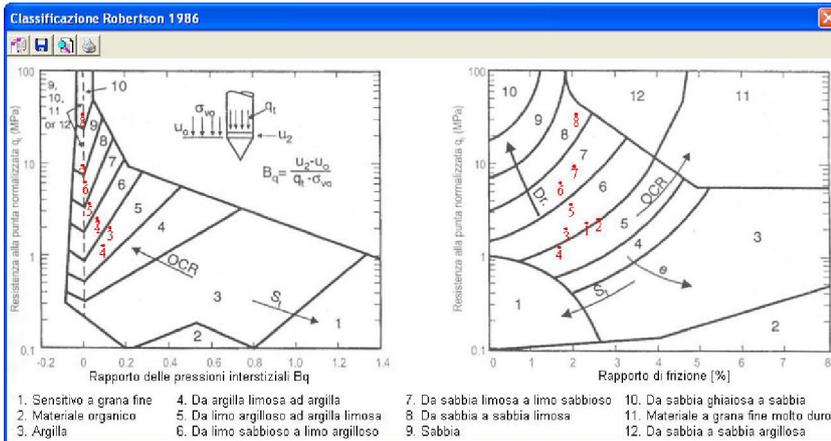
Si può accedere a questi grafici selezionando sul menu principale *Visualizzazione grafica* → *Grafici* → *S.P.T.* (oppure *C.P.T.* oppure *D.P.*) → *Riepilogo* oppure cliccando sulla linguetta che si trova accanto all'undicesima icona a partire da sinistra e selezionando "Riepilogo".

Un'altra uscita grafica, forse la più importante, è il modello, ossia la rappresentazione classica dei risultati ricavati dalle prove penetrometriche. Nella parte superiore sono riportati i dati generali del sondaggio, in base a quanto inserito nel pannello "Dati generali sondaggio" descritto al paragrafo 2.1. Al di sotto di questa intestazione vi è la tabella che riporta, nella parte di sinistra, la stratigrafia del sito con i riempimenti scelti e le descrizioni della litologia inserite nel pannello "Stratigrafia", illustrato nel paragrafo 2.2. In centro vi è la colonna dedicata alla falda, mentre a destra del modello sono rappresentati i dati ricavati dal sondaggio. Se è stata scelta la prova S.P.T. o la D.P. il dato visualizzato è il numero di colpi N_{SPT} o N_{DP} , se, invece, è stata scelta la C.P.T. vengono rappresentate la resistenza alla punta e la resistenza per attrito laterale. Vengono, infine, rappresentati tramite istogrammi i risultati del calcolo della densità relativa e dell'angolo di resistenza al taglio. Il modello può essere visualizzato in quattro scale: 1:20, 1:50, 1:100, 1:200.

Si può accedere a questi grafici (riportati qui di seguito) selezionando sul menu principale *Visualizzazione grafica* → *Modello* → *S.P.T.* (oppure *C.P.T.* oppure *D.P.*) oppure cliccando sulla tredicesima icona a partire da sinistra "Modello".



Gli altri grafici che il programma crea sono disponibili solo per la prova penetrometrica statica. Il primo tipo riguarda le classificazioni di Begemann (1965), Schmertmann (1978), Douglas e Olsen (1981) e Robertson (1986 e 1990) illustrate nel paragrafo 1.2.1 Classificazione del terreno. Per ogni strato vengono calcolati dei valori medi della resistenza alla punta, della resistenza per attrito laterale, del rapporto delle pressioni interstiziali e del rapporto di frizione normalizzato. Entrando sui grafici con questi valori si ottiene un punto che viene colorato di rosso per renderlo facilmente visibile, e che viene affiancato da un numero che identifica lo strato corrispondente.

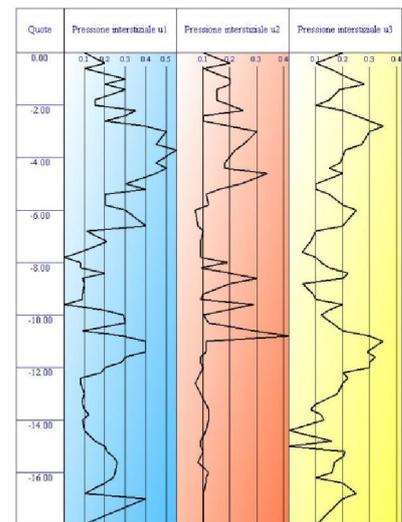


Si può accedere a questo grafico selezionando sul menu principale *Interpretazioni* → *Classificazione C.P.T.* → nome della classificazione oppure cliccando accanto alla quattordicesima icona a partire da sinistra “Classificazione C.P.T.” e selezionando la classificazione desiderata dalla linguetta che si apre.

Il secondo tipo vale solo per il piezocono e raffigura le pressioni interstiziali u_1 , u_2 e u_3 misurate dai filtri posti sul cono. La spezzata raffigura l’andamento di tali parametri in funzione della profondità.

Si può accedere a questo grafico selezionando sul menu principale *Interpretazioni* → *Press. Interstiz. C.P.T.U.* oppure cliccando la quindicesima icona a partire da sinistra “Press. Interstiz. C.P.T.U.”.

Tutte le uscite grafiche di **IS GeoStrati** possono essere copiate come immagine (ad eccezione del grafico “Riepilogo” che riporta i valori in formato tabella su Microsoft Excel), salvate e stampate direttamente dal pannello cliccando sulle icone in alto a sinistra dello stesso.



2.7 Scelta correlazioni strato per strato

Sceita correlazioni strato per strato - PROVA S.P.T. -

	Dr	Fi	E	G	Cu	M	Eu	Liq	Vs
Strato 1	GibbsHolts	ShifukRBS	Burbur	OhtaGoto	Nessuno	Farent	Stroud	Seedldr	YoshMot
Strato 2	Meyerhof	ShifukJNR	Schmer	OhtaGoto	Nessuno	MenzMal	Stroud	Seedldr	YoshMot
Strato 3	Bazaraa	Pechane	Burbur	Nessuno	Nessuno	MenzMal	Stroud	Iwasaki	YoshMot
Strato 4	Cubilsch	ShifukRBS	Schmer	OhtaGoto	Nessuno	Farent	Stroud	Seedldr	OhtGoto
Strato 5	GibbsHolts	ShifukRBS	Burbur	OhtaGoto	Nessuno	Farent	Stroud	Seedldr	OhtGoto
Strato 6	Meyerhof	ShifukRBS	Schmer	OhtaGoto	Nessuno	Farent	Stroud	Seedldr	OhtGoto

Selezionare strato per strato i risultati delle correlazioni da visualizzare per ciascun parametro geotecnico.

Risultati media str Visualizza i risultati Conferma e chiudi Annulla e chiudi

Tramite questa finestra è possibile, una volta svolto il calcolo, decidere di visualizzare strato per strato e parametro per parametro i risultati ottenuti con una correlazione.

[Rif.4]

Scelti tutti i metodi di calcolo si apre una tabella che riassume tutti i risultati ottenuti (a tutte le quote a cui sono stati eseguiti i calcoli oppure un valore medio strato per strato).

Ciò consente di avere un risultato finale con le relazioni ritenute più adatte per ciascuna litologia. In questo modo, anche in presenza di una stratigrafia eterogenea è possibile vedere insieme tutti i risultati ottenuti scegliendo i metodi più adeguati alle caratteristiche del sito in esame.

Risultati per la prova S.P.T.

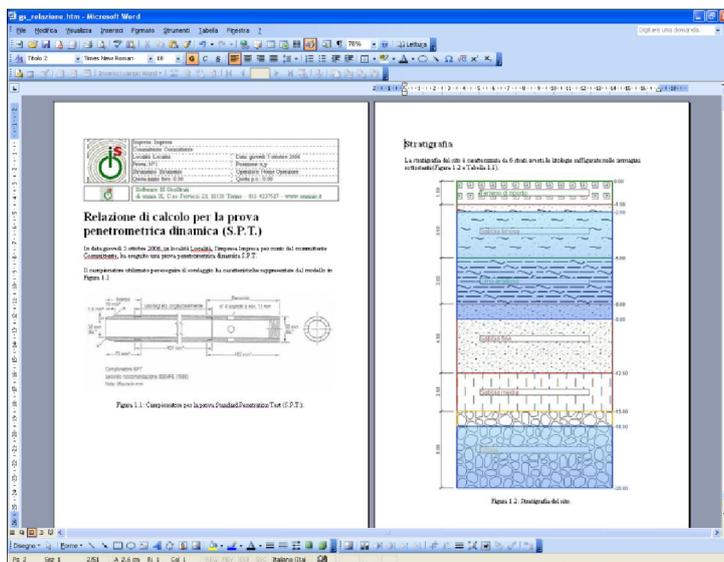
Quota	Numero strato	N _{sp}	Energia (J)	Angolo d'attrito (gradi)	Modulo elastico (MPa)	Modulo di taglio (MPa)	Coeficiente non drenato (kPa)	Modulo edometrico (kPa)	Potenziale di liquefazione (%)	Mod. elast. non dren. (MPa)
0.00	Strato 1	0.0	0	0	0.0	0	Non calcolato	0	0.00	0.0
-1.00		10.0	79	27	19.29	0	Non calcolato	0	0.00	0.0
-2.00	Strato 2	15.0	79	31	11	43158	Non calcolato	9397	0.56	28.28
-3.00		20.0	83	32	14	55268	Non calcolato	9975	0.24	36.34
-4.00		19.0	77	32	13	60773	Non calcolato	9420	0.39	34.34
-5.00	Strato 3	18.0	47	32	42.45	Non calcolato	Non calcolato	0	0.00	14.14
-6.00		21.0	49	33	55.83	Non calcolato	Non calcolato	0	0.00	17.17
-7.00		24.0	52	33	69.104	Non calcolato	Non calcolato	0	0.00	20.20
-8.00	Strato 4	20.0	76	32	15	91941	Non calcolato	13229	4.40	39.39
-9.00		20.0	73	32	15	90253	Non calcolato	13229	4.02	38.38
-10.00		29.0	81	35	20	111871	Non calcolato	10183	0.00	52.52
-11.00		35.0	77	35	21	117691	Non calcolato	10799	0.00	54.54
-12.00		32.5	77	36	23	124553	Non calcolato	20192	0.00	58.58
-13.00	Strato 5	35.0	69	37	120.182	144925	Non calcolato	22881	0.00	64.64
-14.00		38.5	78	38	135.204	153909	Non calcolato	24370	0.00	70.70
-15.00	Strato 6	42.0	66	39	0	301017	Non calcolato	0	0.00	76.65
-16.00		44.0	66	39	0	314315	Non calcolato	0	0.00	80.60
-17.00		44.0	67	40	0	327409	Non calcolato	0	0.00	84.62
-18.00		51.0	69	41	0	345527	Non calcolato	0	0.00	90.756
-19.00		56.0	71	43	0	365724	Non calcolato	0	0.00	102.816

Si può accedere a questo grafico selezionando sul menu principale *Interpretazioni* → *Correlaz. Strato per strato* oppure cliccando la dodicesima icona a partire da sinistra “Correlaz. Strato per strato”.

Risultati medi strato per strato per la prova S.P.T.

Numero strato	N _{sp}	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito (gradi)	Modulo elastico (MPa)	Modulo di taglio (kPa)	Coeficiente non drenato (kPa)	Modulo edometrico (kPa)	Potenziale di liquefazione (%)	Mod. elast. non dren. (MPa)	Veloc. onde taglio (m/s)
Strato 1	5	70	27	24	0	0	0	0	76	142.39
Strato 2	18	79	32	13	53 018	0	9 378	7.68	136	167.25
Strato 3	21	49	33	70	0	0	0	0	159	209.03
Strato 4	29	77	34	19	108 700	0	16 813	4.21	202	201.59
Strato 5	37	70	38	159	149 012	0	23 142	0	277	231.07
Strato 6	48	68	40	0	338 357	0	0	0	361	336.51

2.8 Relazione



IS GeoStrati crea una relazione di calcolo sintetica, ma estremamente completa, in formato HTML (.html). Nella relazione sono riportati i dati inerenti alla stratigrafia, ai sondaggi e alla falda, vengono indicate le correlazioni scelte e vengono rappresentati i risultati ottenuti.

Si può procedere alla creazione della relazione selezionando sul menu principale *File* → *Crea relazione* oppure cliccando la quindicesima icona a partire da sinistra “Crea relazione HTML”.

2.9 Opzioni disegno

Si può accedere a questo pannello cliccando la diciannovesima icona a partire da sinistra “Opzioni disegno”.

Tramite questa finestra è possibile scegliere se le scritte verranno messe in modo automatico, proporzionalmente allo spessore degli strati o se si preferisce averle tutte alte uguali. Viene chiesta l’altezza delle scritte (utilizzata per la descrizione litologica) e quella delle quote, lo spessore dei bordi e la scala del disegno (1:1000, 1:500, 1:100, ecc...).

Viene poi chiesto di selezionare il colore che caratterizzerà



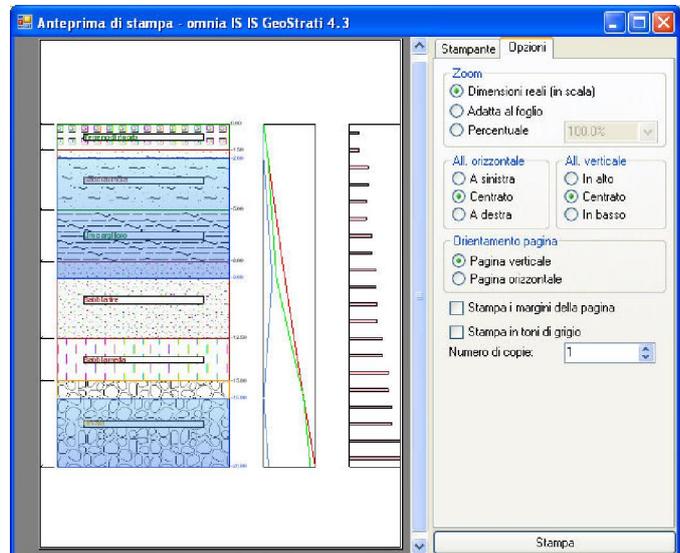
gli strati prevalentemente sabbiosi, quelli argillosi, quelli ghiaiosi e quelli rocciosi.

Si può decidere se visualizzare o no il diagramma delle pressioni ed il digramma con i dati della prova. Per ognuno di questi grafici occorre specificare le dimensioni dei testi, lo spessore dei tratti ed i colori con cui andranno rappresentati.

2.10 Stampa

Si può accedere a questo pannello cliccando la ventesima icona a partire da sinistra "Stampa". Questa funzione permette di stampare la stratigrafia nella scala prescelta con i grafici dell'andamento delle pressioni (verticale, efficace e neutra) e dei dati della prova, se questi ultimi sono stati selezionati come visibili all'interno della finestra "Opzioni di disegno".

La finestra di stampa consente di posizione verticalmente ed orizzontalmente l'immagine all'interno della pagina, di scegliere il formato della carta e l'orientamento della pagina. È possibile decidere di stampare in toni di grigio.



2.11 Proprietà strato

Con il tasto destro in corrispondenza della scritta della descrizione della litologia si può accedere, cliccando il tasto "Proprietà strato", ad un pannello in cui sono riassunte le caratteristiche dello strato scelto e, di qui, vedere quelle degli altri strati.

Sul disegno appare un'evidenziazione sul terreno di cui si visualizzano le caratteristiche, ossia una colorazione giallo chiaro.

