

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 33-378

2.6 Correlazioni dirette ed indirette

Con particolare riferimento alle prove in situ si è fatto largo uso di correlazioni che numerosi autori hanno stabilito fra i valori misurati dalle prove e i parametri geotecnici di resistenza e deformabilità dei terreni interessati dalle prove.

2.6.1 prove SPT

Queste prove sono particolarmente adatte per la determinazione della densità relativa D_r e dell'angolo di attrito ϕ nei suoli incoerenti.

Con l'interpretazione delle prove SPT si sono potuti valutare :

- Il modulo edometrico E_{ed} , attraverso la correlazione grafica di Menzebach, Malcev;

	Menzebach e Malcev	
	E_{ed} (MPa)	E_{ed} (MPa)
Formule applicate <i>(per ogni valore di N):</i>	$E_{ed}=1,184N+3,8$	$E_{ed}=1,046N+3,8$
Campo di applicazione:	Sabbia ghiaiosa	Sabbia+ghiaia

Tabella 2.1: correlazioni fra i valori di N_{spt} e il modulo edometrico

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 34-378

- Modulo edometrico, attraverso la correlazione di Begemann.

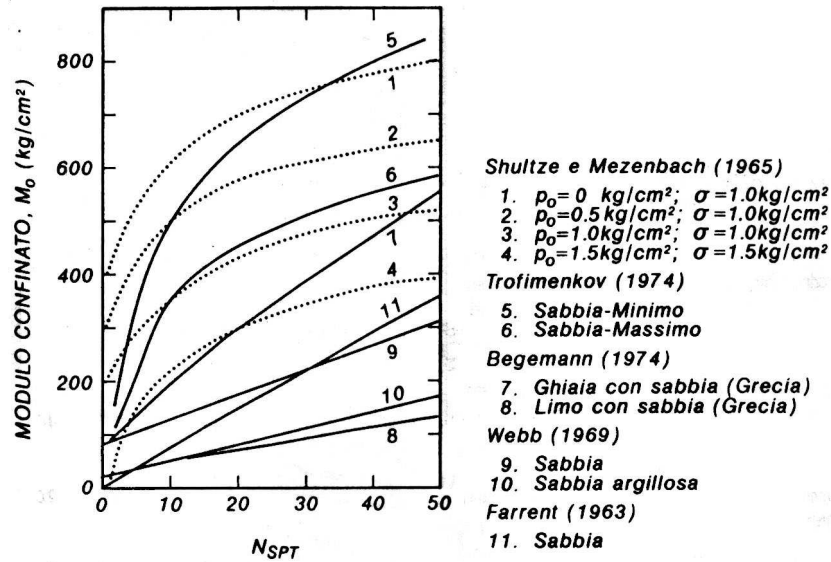


Figura 2.1: relazione fra modulo edometrico ed N_{spt} per differenti tipi di sabbie

- Modulo di Young, attraverso le correlazioni di D'Appolonia (1970), Terzaghi e Jamiolkowski (1988). Attraverso quest'ultimo autore si stima il modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%.

	Jamiolkowski	D'Appolonia	Terzaghi
	E'_{25} (MPa)	E' (MPa)	E' (MPa)
Formule applicate (per ogni valore di N):	$E_{25}' = (10,5 - 3,5 * D_r) * N_{SPT}$	$E' = 0,771N + 19,1$	$E' = 7 \sqrt{N_{SPT}}$
Campo di applicazione:	Terreni NC	Sabbia+ghiaia	Sabbia+ghiaia

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 35-378

- Il grado di addensamento D_R funzione di N_{SPT} e della tensione verticale efficace σ'_{v0} , espressa in Kg/cm², basato sui risultati di Gibbs e Holtz (1957).

Nspt (colpi/30 cm)	D_R Terzaghi-Peck	D_R Gibbs-Holtz
0 – 4	Molto sciolta	0 – 15 %
4 – 10	Sciolta	15 – 35 %
10 – 30	Media	35 – 65 %
30 – 50	Densa	65 – 85 %
> 50	Molto densa	85 – 100 %

$$Dr(\%) = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma' + 0.7}}$$

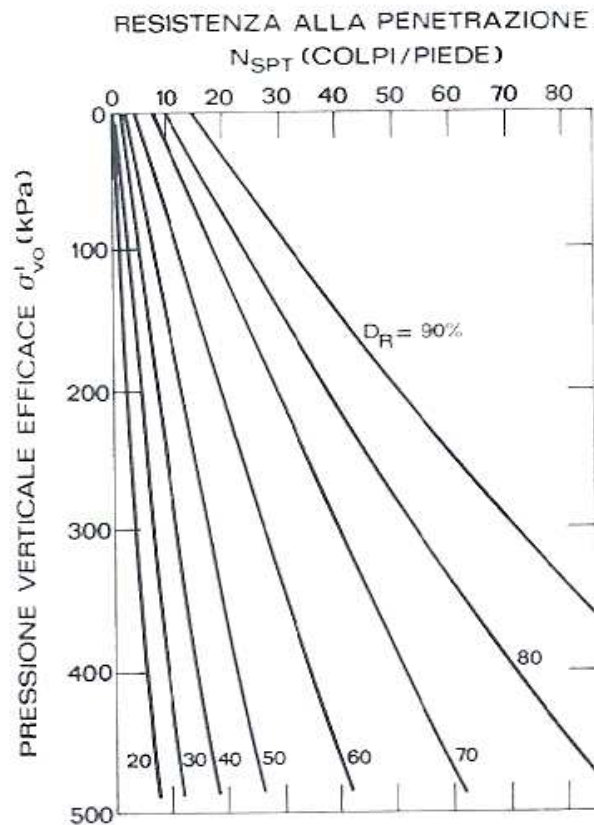


Figura 2.2 – Grafico di Gibbs e Holtz (1957)

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 36-378

e di Skempton (1998) che è valida solo per terreni NC:

$$Dr(\%) = 100 \left\{ \frac{N_{SPT} \left(\frac{98}{\sigma} \right)^{1/2}}{0.288\sigma + 32} \right\}^{1/2}$$

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 37-378

- L'angolo d'attrito interno funzione della densità relativa D_R e della granulometria secondo il grafico di Schmertmann (1977) per sabbia grossa $\phi' = 34.5 + 0.1 \cdot D_R$, alternativamente lo si può determinare in funzione di N_{SPT} e della tensione verticale efficace σ'_v dalla correlazione grafica di De Mello (1971) ed in quella di Shioi e Fukui (1982) funzione solo di N_{spt} .

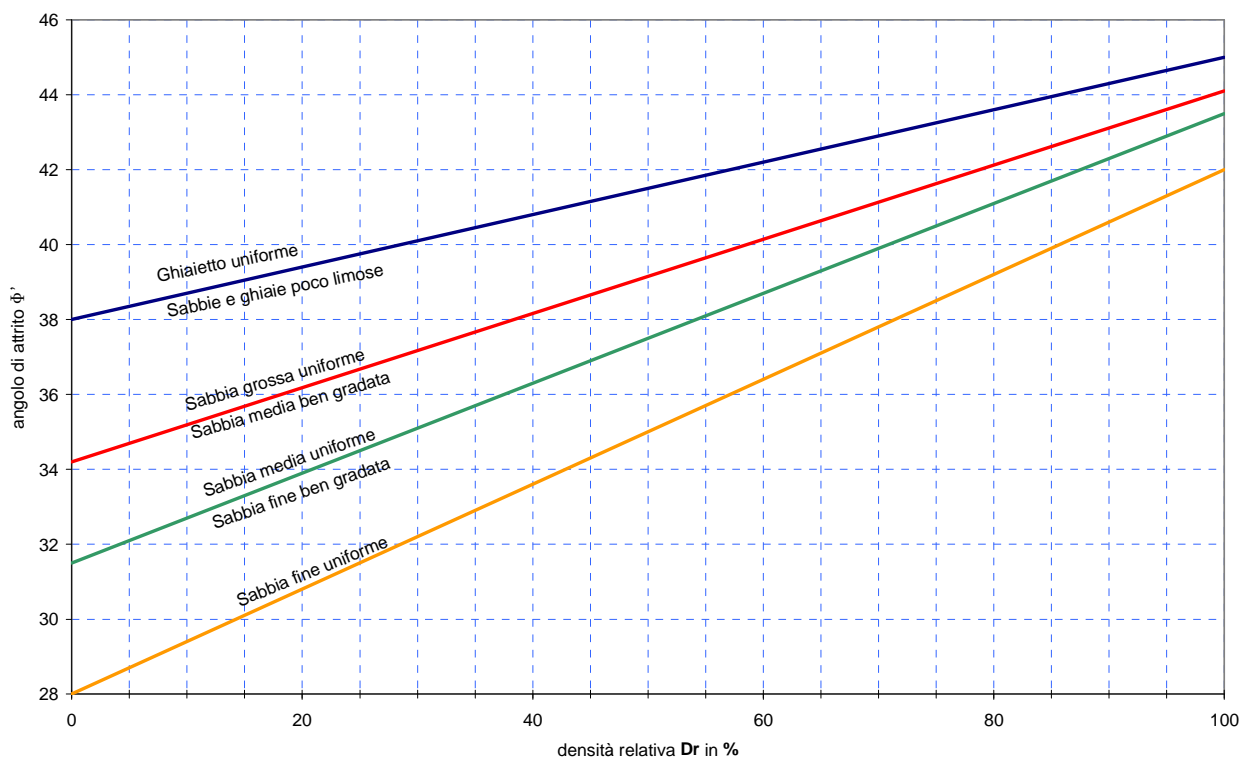


Figura 2.3: relazione fra angolo di attrito e densità relativa per differenti granulometrie
(Schmertmann, 1977)

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 38-378

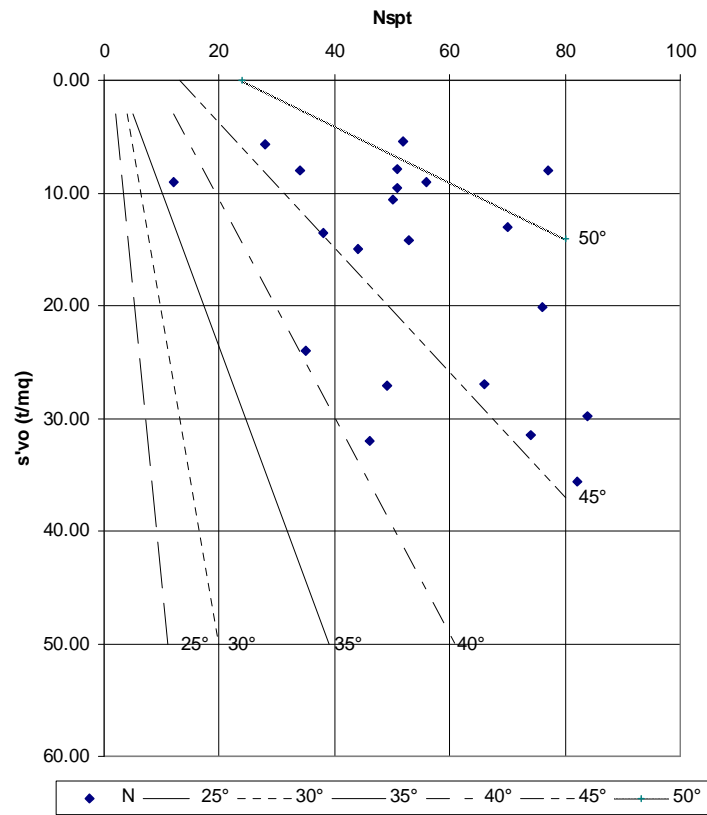


Figura 2.4: relazione fra angolo di attrito e valori di N_{spt} (De Mello, 1971)

	De Mello (1971)	Shioi e Fukui (1982)
Formule applicate (Per ogni valore di N):	$\phi = 19 - 0,38\sigma + 8,73\text{Log}(N_{SPT})$	$\phi' = \sqrt{15 N_{SPT}} + 15$
Campo di applicazione:	Sabbie in genere	Sabbie fini

Tabella 2.2: correlazioni dirette dalle prove N_{spt}

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 39-378

- V_s , velocità delle onde di taglio ricavata dall'equazione di (Otha e Goto, 1978):

$$v_s = C \cdot (N_{60})^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

Essendo:

$$C = 67.3$$

z = profondità dal piano campagna in metri

f_A = coefficiente dipendente dall'età geologica del deposito

f_G = coefficiente dipendente dalla composizione granulometrica

f_A	Olocene		Pleistocene		
	1.0		1.3		
f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1.45	1.15	1.14	1.09	1.07

- G_0 , modulo di taglio ricavata dall'equazione di (Otha e Goto, 1978):

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (v_s)^2$$

Essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

v_s = velocità delle onde di taglio in m/sec.

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 40-378

Le prove SPT vengono anche utilizzate per stimare i parametri a lungo termine dei terreni coesivi, ma tali valori forniscono un'indicazione più o meno corretta e come tale vanno necessariamente confrontati con altre prove (laboratorio, CPT, ecc...).

Nella interpretazione delle prove SPT per i litotipi [sabbia- limo-argillosi] si sono valutati:

- Il modulo di Young attraverso le correlazioni di Webb (1970) per la sabbia argillosa e del Bowles (1982) per la sabbia limosa che forniscono un valore indicativo che è stato poi confrontato con i valori dedotti con altre tipologie di prove vista la contemporanea presenza sia di limo che di argilla.

	Bowles	Webb (1970)
	E' (MPa)	E' (MPa)
Formule applicate:	$E_s = 0,3(N+6)$	$E_s = 0,316N + 0,16$
Campo di applicazione:	Sabbia limosa	Sabbia argillosa

Tabella 2.3 - moduli elastici calcolati dai valori di N_{spt}

- Valutazione del modulo edometrico E_{ed} , per le singole opere, in funzione della tensione verticale efficace σ'_v attraverso la correlazione grafica di Begemann (1974) Limo con Sabbia;

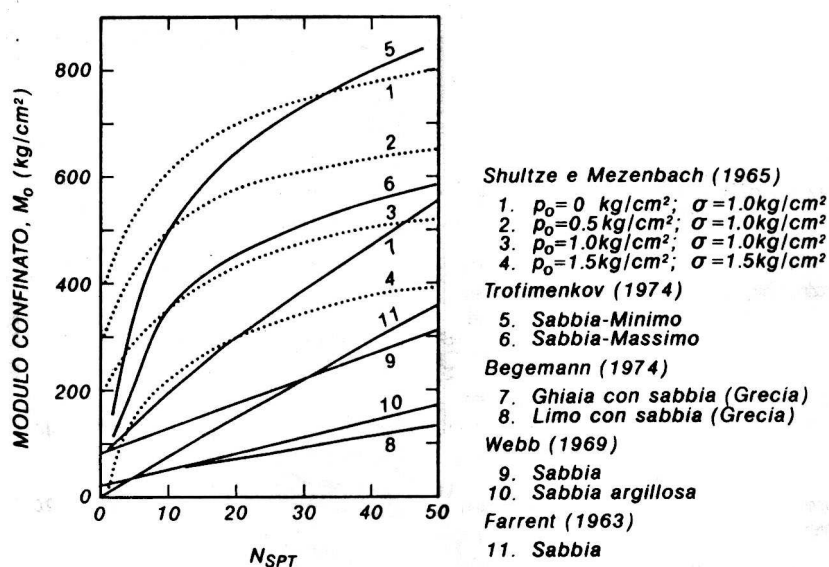


Figura 2.5: relazione fra modulo edometrico ed N_{spt} per differenti tipi di sabbie

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 41-378

- L'angolo d'attrito interno funzione della densità relativa di N_{SPT} e della granulometria Malcev (1964) e Meyerhof (1965).

	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)
Formule applicate:	$\phi = 20 - 5\text{Log}(\sigma) + 3,73\text{Log}(N_{SPT})$	$\phi = 23,7 + 0,57N_{SPT} - 0,006N_{SPT}^2$
Campo di applicazione:	Sabbie in genere	Sabbia con limo > 5%

Tabella 2.4: correlazioni dirette dalle prove N_{spt}

- V_s , velocità delle onde di taglio ricavata dall'equazione di (Otha e Goto, 1978):

$$v_s = C \cdot (N_{60})^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

Essendo:

$$C = 67.3$$

z = profondità dal piano campagna in metri

f_A = coefficiente dipendente dall'età geologica del deposito

f_G = coefficiente dipendente dalla composizione granulometrica

f_A	Olocene	Pleistocene
	1.0	1.3

$f_G = 1$ per terreni coesivi

- G_0 , modulo di taglio ricavata dall'equazione di (Otha e Goto, 1978):

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (v_s)^2$$

Essendo:

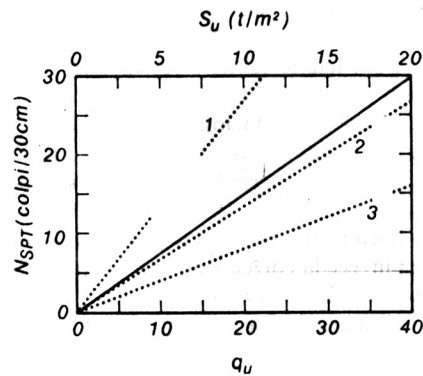
γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

v_s = velocità delle onde di taglio in m/sec .

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 42-378

Benchè esistano numerose correlazioni anche con i parametri non drenati dei suoli coesivi, tuttavia sono da assumere solo se riscontrati con gli analoghi ricavati da prove CPT , PPT, VANE test e prove di laboratorio. Nei paragrafi successivi saranno usate queste correlazioni per stimare il valore della coesione non drenata dalle prove SPT:

- Terzaghi – Peck (1948):



- Terzaghi e Peck (1948)*
1. Argille di bassa plasticita' e limi argillosi
 2. Argille di media plasticita'
 3. Argille di alta plasticita'
- } Sowers

Figura 2.6: stima della c_u delle argille in base ai valori di N_{spt} (Da Nav-Fac Design Manual, 1982)

- Stroud (1974):

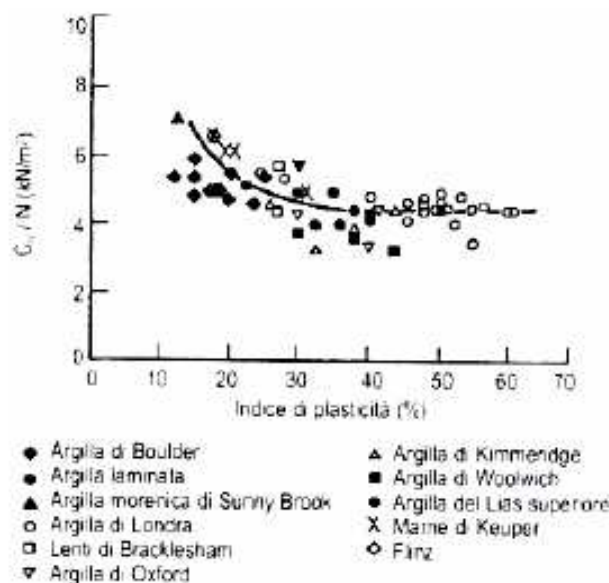


Figura 2.7 - Correlazione tra N_{spt} e C_u (Stroud, 1974)

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 43-378

2.6.2 Prove CPT e correlazioni con parametri geotecnici

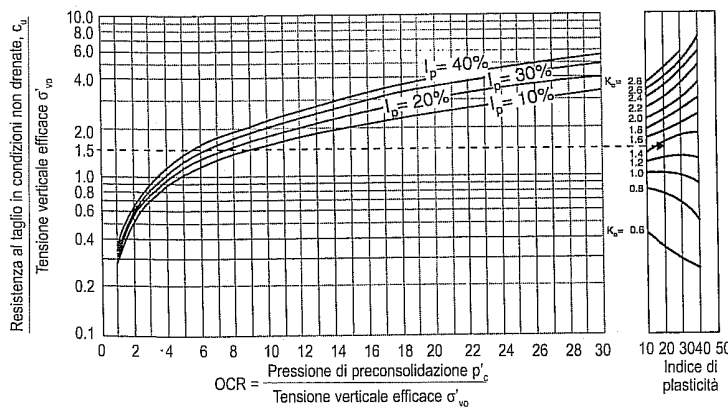
Queste prove sono particolarmente adatte alla determinazione dei parametri non drenati dei suoli coesivi, in particolare c_u (coesione non drenata) ed E_u (modulo di elasticità non drenato), nonché del valore del modulo edometrico E_{ed} ; di seguito si forniscono le espressioni delle formule di correlazione, autore per autore, usate per i litotipi individuati.

- valutazione della coesione non drenata c_u per suoli coesivi

$$c_u = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{N_k}$$

con N_k variabile da 15 ÷ 20

- determinazione del valore di OCR mediante la correlazione di Andresen et al. (1979):



- valutazione del modulo di elasticità non drenato attraverso le correlazioni riportate da Viggiani (Tabella 2.5), da Duncan e Buchigani (1976) (Figura 2.8) e da Bowels (Tabella 2.6):

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 44-378

OCR	Viggiani	$I_p < 0,3$	$0,3 < I_p < 0,5$	$I_p > 0,5$
<3	$E_u/c_u =$	800	400	200
3 ÷ 5	$E_u/c_u =$	500	300	150
>5	$E_u/c_u =$	300	200	100

Tabella 2.5 - valore del rapporto di E_u/c_u in funzione di OCR e di I_p

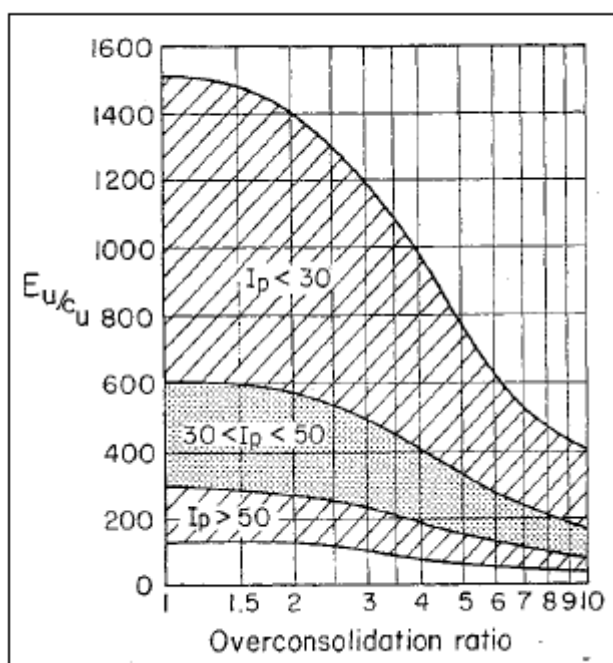


Figura 2.8 - valore empirico del modulo di young (Duncan e Buchigani (1976))

Duncan e Buchigani (1976)	Bowles	
$0,3 < I_p < 0,5$	$I_p < 0,3$	$I_p > 0,3$
$E_u/c_u = 200 \div 450$	$E_u = 500 \div 1500 c_u$	$E_u = 100 \div 500 c_u$
OCR = 3.43	$E_{(OCR)} = E_{nc} (OCR)^{1/2}$	

Tabella 2.6 - valore del rapporto di E_u/c_u in funzione di OCR e di I_p

- valutazione del **modulo di elasticità confinato (edometrico)** E_{ed} , nei suoli coesivi

$$E_{ed} = \alpha \cdot q_c$$

**SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT
ROMA - LATINA**

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice Commessa N. Progr. unità N. Progressivo N.FOGLI
LO403B_D_0801 T01_GE00 GET RE 00_C 45-378

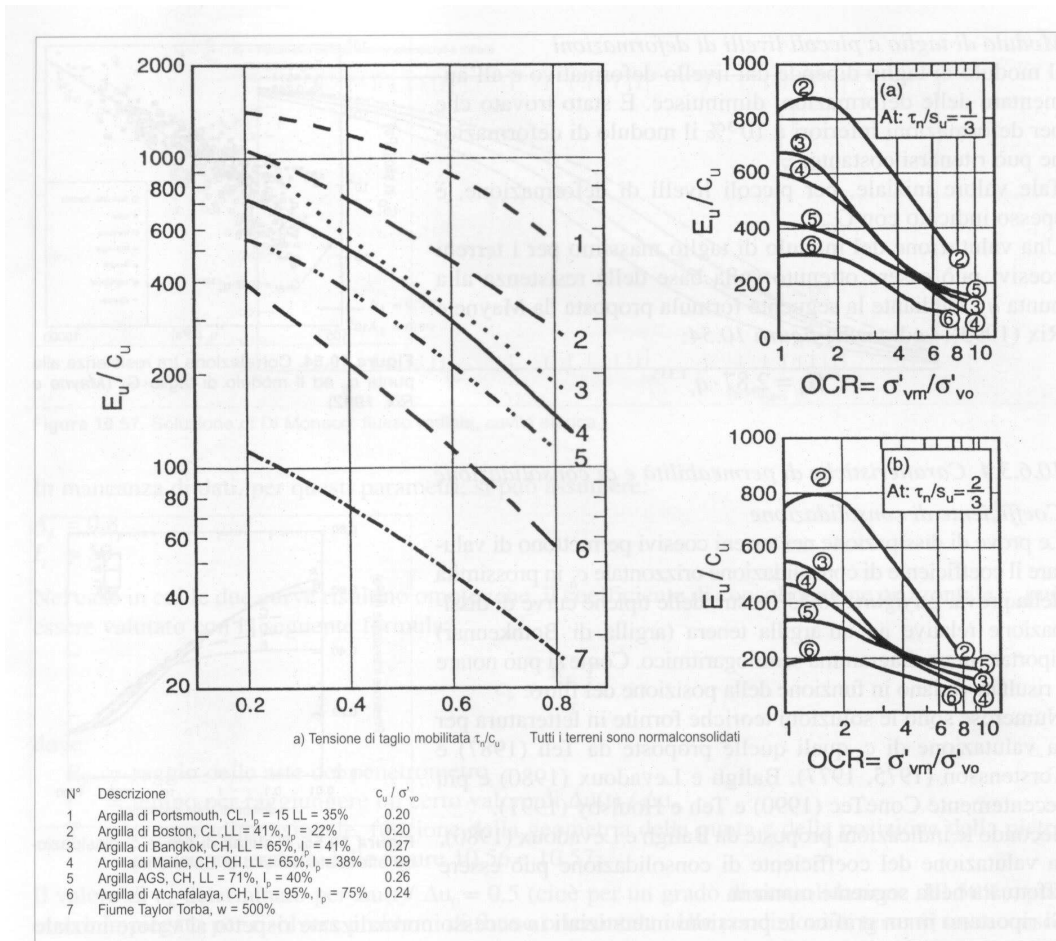


Figura 10.52. Rapporto E_u/c_u in funzione dell'indice di plasticità I_p (adattato da Ladd et al., 1977)

Figura 2.9 - Rapporto E_u/C_u in funzione dell'indice di plasticità I_p

- **per i suoli intermedi** (argille drenate, limi, limi sabbiosi, limi argillosi in condizioni drenate) si sono valutate le grandezze c' e ϕ così come ricavate dall' Istituto Norvegese di Geotecnica (1994) dal valore di q_c

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 46-378

Table 5.15 Typical values of attraction (a) and friction ($\tan \phi'$)

Soil	Expected range of q_t , MPa	Effective stress shear strength parameters		
		a , kPa	$\tan \phi'$	ϕ'°
Silt, soft	0.5–2.0	0–5	0.50–0.60	27–31
Silt, medium	2.0–5.0	5–15	0.55–0.65	29–33
Silt, stiff	5.0–7.0	15–30	0.60–0.70	31–35

Si sono valutati anche attraverso le seguenti correlazioni:

$$\text{CAQUOT} \rightarrow \phi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

$$\text{KOPPEJAN} \rightarrow \phi = 5.8 + 5.21 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

$$\text{DE BEER} \rightarrow \phi = 5.9 + 4.76 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

- per i suoli incoerenti caratterizzati come sabbie (S) si ricava la densità relativa dalle relazioni stabilite dal Baldi (1986) per le sabbie del Ticino (normalmente consolidate e sovraconsolidate) mediante l' equazione :

$$D_R = \frac{1}{C_2} \cdot \ln\left(\frac{q_c}{C_0 \cdot (\sigma'_{v0})^{C_1}}\right)$$

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 47-378

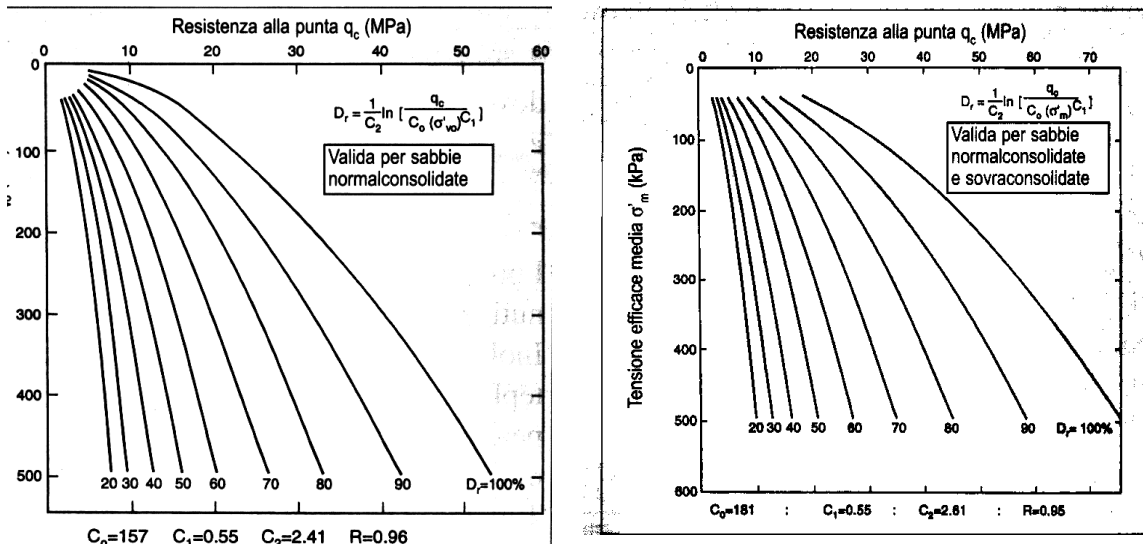


Figura 2.10 - Correlazione di Baldi

Una volta determinata la densità relativa D_R si può determinare l'angolo di attrito del terreno tramite le correlazioni già prima viste fra D_R determinata con le prove SPT e " ϕ " [grafici di Shmertmann (1977) e de Mello (1971)]. Sempre in funzione di q_c possono essere ricavati i valori del modulo d' elasticità drenato e del modulo confinato (edometrico) tramite le correlazioni espresse nei grafici qui sotto :

**SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT
ROMA - LATINA**

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice Commessa
LO403B_D_0801

N. Progr.
T01_GE00

unità
GET

N. Progressivo
RE 00_C

N.FOGLI
48-378

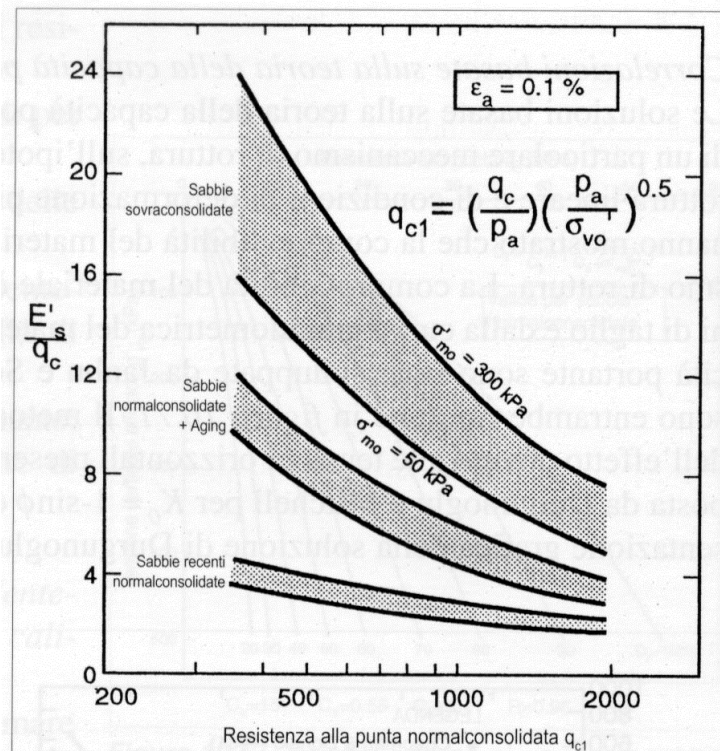


Figura 2.11 - Correlazione per modulo di elasticità drenato (Bellotti ed altri 1989)

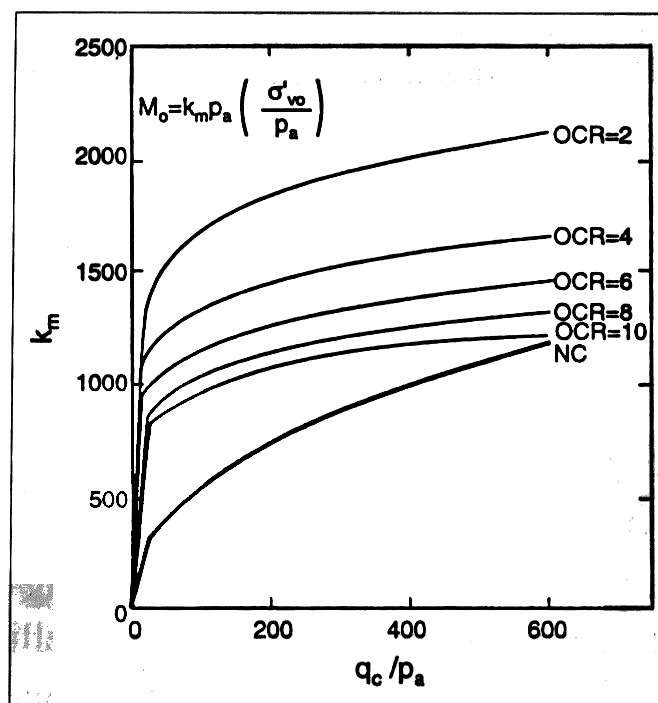
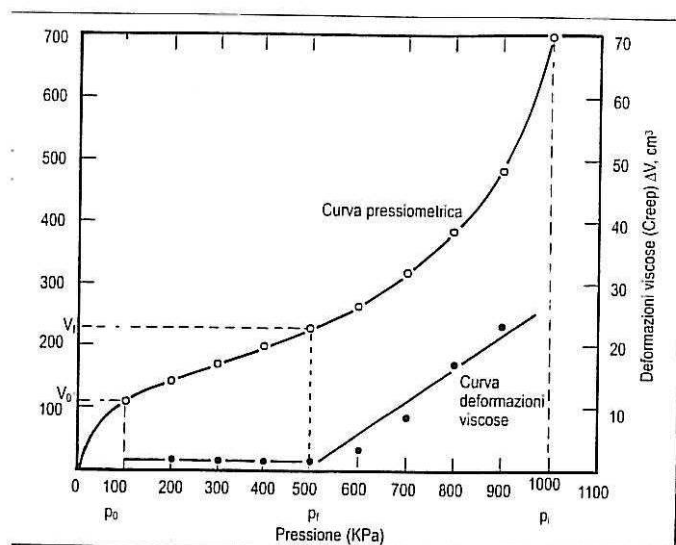


Figura 2.12 - Correlazione per modulo confinato (Eslaamizad e Robertson, 1996)

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 49-378

2.6.3 Prove pressiometriche

Dalla prova pressiometrica si può misurare l'espansione di una cavità cilindrica



da essa può ricavarsi la legge di espansione di una cavità cilindrica in un mezzo elastico

$$G = V \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad \text{con } G = \text{modulo di taglio}$$

Il modulo di taglio G_M adottato per l'interpretazione della prova pressiometrica di Ménard viene calcolato assumendo per V sulla curva volumi pressioni un punto intermedio

$$G_M = \frac{(V_c + V_m)}{p/v}$$

Con V_c = volume iniziale della sonda prima dell'espansione

$V_m = (V_o + V_f)/2$ dove V_f è il volume in corrispondenza del quale le deformazioni viscosi non sono più né costanti né piccole; analogamente è per la pressione " p_f "

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 50-378

Il termine p/v rappresenta la pendenza della curva nel campo pseudo elastico .

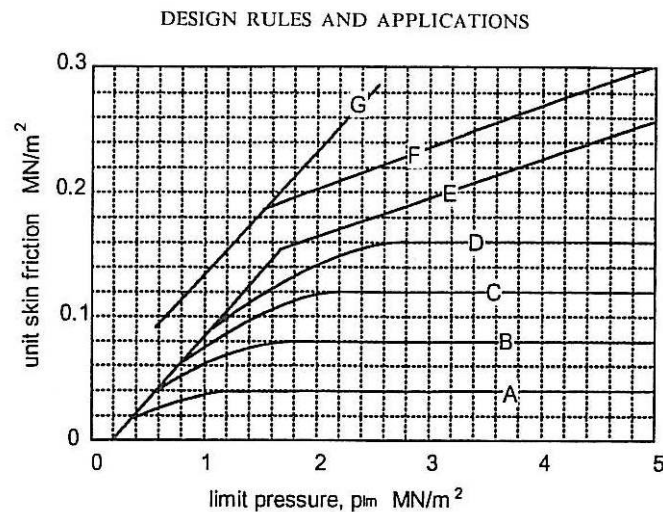
Dalla prova viene anche definito un modulo pressiometrico E_M che si ricava ponendo

$$\mu = 0.33; E_M = 2 \cdot G_M \cdot (1 + 0.33) = 2.66G_M \quad \text{oppure} \quad E_M = 2.66(V_c + V_m) \cdot \left(\frac{p}{v}\right)$$

Un altro parametro importante misurato dalla prova è la pressione laterale limite p_L

definita come quella pressione per la quale il corrispondente volume è pari al doppio del volume iniziale della cavità ; quindi $2 \cdot (V_o + V_c)$.

La p_L può essere correlata con l'adesione laterale limite dei pali di fondazione ; ad esempio è molto usata nel calcolo dei micropali.



	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 51-378

Table 7.6 The selection of design curves for unit skin friction (after LCPC SETRA, 1985)

Soil type	p_{lm} (MN/m ²)	Bored concrete	Bored and lined		Driven		Grouted	
			Concrete	Steel	Concrete	Steel	Low pressure	High pressure
Soft clay	0-0.7	A	A	A	A	A	B	
Stiff clay	1.2-2	A, (B)	A, (B)	A	A, (B)	A	B	E*
Very stiff clay	>2	A, (B)	A, (B)	A	A, (B)	A, B	E*	
Loose sand	0-0.7	A	A	A	A	A	B	
Medium dense sand	1-2	B, (C)	A, (B)	A	B, (C)	B	C	E
Very dense sand	>2.5	C, (D)	B, (C)	B	C, (D)	C	D	E
Completely weathered chalk	0-0.7	A	A	A	A	A	B	
Partially weathered chalk	>1	C, (D)	B, (C)	B	C, (D)	C	E	E
Marl	1.5-4	D, (F)	C, (D)	C	F	F	F	G
Stiff marl	>4.5	F					G	G
Weathered rock	2.5-4	G	G		G	G	G	G
Fractured rock	>4.5	G					G	G

Curves in parentheses only apply for well-constructed piles

* If $p_{lm} < 1.5 \text{ MN/m}^2$

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 52-378

2.6.4 PPT (Pocket penetrometer test) e VANE Test

Queste prove, che essenzialmente misurano la coesione non drenata c_u , servono come dato di confronto con i valori ricavati dalle prove SPT, CPT e dalle prove di laboratorio.

Dalla prova VT possiamo ricavare direttamente la misura un valore moltovicino al valore di " c_u " ricavato da prove di laboratorio.

Dalla prova PPT, che restituisce un valore " q_u " non troppo lontano dalla prova di laboratorio ELL,

possiamo facilmente ricavare il valore della coesione non drenata $c_u = \frac{q_u}{2}$;

2.6.5 Prove "down hole"

Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità.

Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa foro, e la registrazione avviene in foro grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità via via crescenti. Tale geofono registra gli spostamenti (tradotti sotto forma di impulsi elettrici) lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z)..

La prova down-hole è finalizzata alla determinazione dei profili delle onde sismiche di compressione, P, e di taglio, S, con la profondità.

	SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT ROMA - LATINA				
RELAZIONE GEOTECNICA	Codice Commessa LO403B_D_0801	N. Progr. T01_GE00	unità GET	N. Progressivo RE 00_C	N.FOGLI 53-378

2.6.6 Prove di carico su piastra

La prova consiste nel caricare con incrementi successivi e regolari una piastra rigida (generalmente circolare) appoggiata sul terreno di prova, misurando il cedimento corrispondente ad ogni gradino di carico, con possibilità di effettuare cicli di carico e scarico. Il test viene eseguito in superficie, in pozzetto o a fondo foro; i risultati delle prove sono restituiti sotto forma di un grafico carichi-cedimenti



**SISTEMA INTERMODALE INTEGRATO PONTINO RM-LT
ROMA - LATINA**

RELAZIONE GEOTECNICA

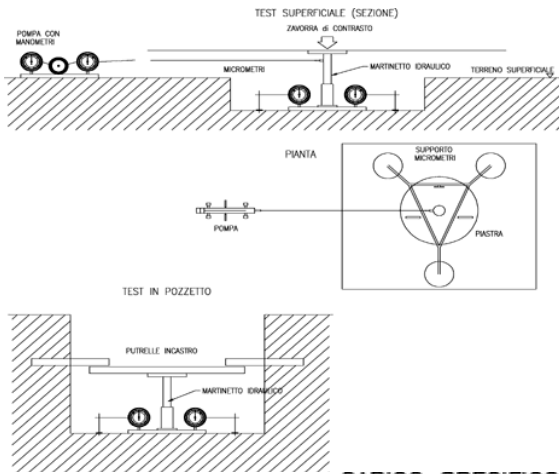
Codice Commessa
LO403B_D_0801

N. Progr.
T01_GE00

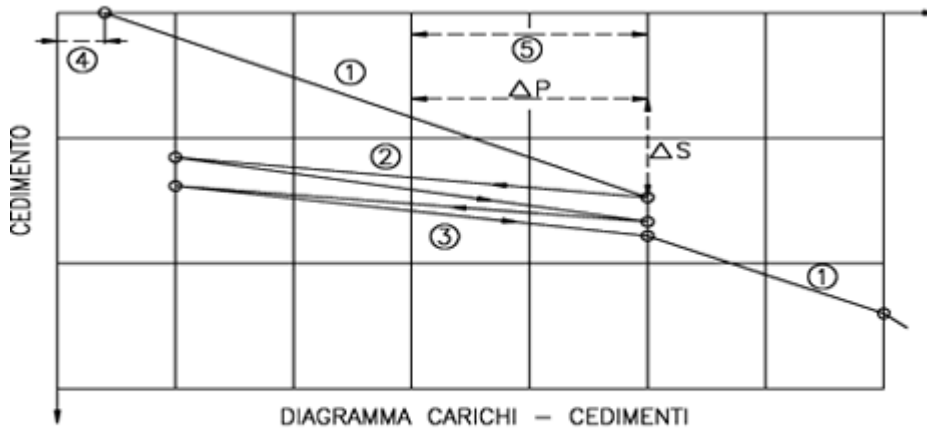
unità
GET

N. Progressivo
RE 00_C

N.FOGLI
54-378



CARICO SPECIFICO P



- ① - primo carico
- ② - scarico
- ③ - secondo carico
- ④ - carico di assestamento della piastra
- ⑤ - gradini di carico

Attraverso questa prova si possono determinare il modulo "E" del terreno e la costante di Winkler "k_s" nonché la capacità portante alla profondità della prova .