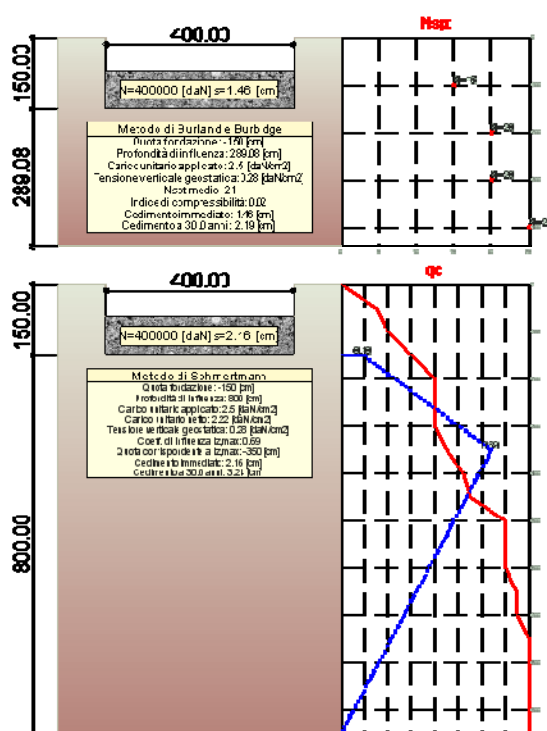


**IS ProGeo**

**CEDOGRAN**



# MANUALE UTENTE

## *Indice*

<b>1</b>	<b>IS CEDOGRAN</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Teoria</b>	<b>3</b>
1.2.1	Metodo di Burland e Burbidge (1985)	3
1.2.2	Metodo di Schmertmann (1970, 1978)	4
1.2.3	Metodo di Berardi e Lancellotta (1991)	6
<b>1.3</b>	<b>Utilizzo del programma</b>	<b>8</b>
1.3.1	Caratteristiche del terreno	9
1.3.2	Dati prove penetrometriche	9
1.3.3	Caratteristiche della fondazione e sollecitazioni	9
1.3.4	Scelta del metodo di calcolo	10
1.3.5	Risultati del calcolo	10

# 1 IS CedoGran

## 1.1 Introduzione

**IS CedoGran** è il modulo per il calcolo dei cedimenti di fondazioni superficiali su terreni sabbiosi usando le correlazioni di Burland e Burbidge, di Schmertmann e di Berardi e Lancellotta.

Poiché non è possibile prelevare campioni indisturbati di terreni granulari, su cui eseguire prove di laboratorio, si ricorre ai risultati di indagini eseguite in sito, in particolare di prove penetrometriche dinamiche S.P.T. o di prove penetrometriche statiche C.P.T.

## 1.2 Teoria

### 1.2.1 Metodo di Burland e Burbidge (1985)

Tale metodo è ritenuto uno dei più affidabili poiché si basa sullo studio statistico di oltre 200 casi che hanno permesso di correlare un indice di compressibilità  $I_c$  al numero di colpi  $N_{SPT}$  (ricavato da prove penetrometriche dinamiche). Il cedimento viene valutato moltiplicando il carico applicato per lo spessore della zona di influenza e per l'indice di compressibilità del terreno:

$$s = q' \cdot B^{0.7} \cdot I_c$$

$q'$  = carico uniformemente ripartito in superficie

$B^{0.7}$  = profondità di influenza dei cedimenti, con  $B$  = larghezza della fondazione

$I_c$  = indice di compressibilità

Secondo gli Autori, l'espressione da utilizzare per il calcolo dell'indice di compressibilità è la seguente:

$$I_c = \frac{1.7}{N_{SPT}^{1.4}}$$

L'espressione generale, da applicare nel caso di una fondazione quadrata, assume forme diverse secondo che il terreno sia normalconsolidato oppure sovraconsolidato. Assumendo che la compressibilità nel tratto di ricarico sia pari ad un terzo di quella vergine, si hanno i seguenti casi:

- Terreno virtualmente normalconsolidato, per cui  $q' \leq \sigma'_{v0}$  (solo tratto “verGINE”):

$$s = q' \cdot B^{0.7} \cdot I_c$$

- Terreno virtualmente normalconsolidato, per cui  $q' > \sigma'_{v0}$  (tratto “di ricarico” e “verGINE”):

$$s = \sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \frac{I_c}{3} + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c$$

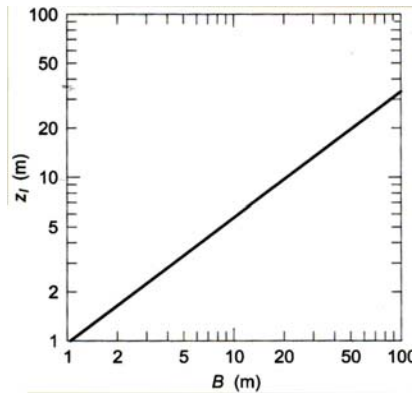
- Terreno sovraconsolidato per cui  $q' \leq \sigma'_{vp}$  (solo tratto “di ricarico”):

$$s = q' \cdot B^{0.7} \frac{I_c}{3}$$

- Terreno sovraconsolidato per cui  $q' > \sigma'_{vp}$  (tratto “di ricarico” e “verGINE”)

$$s = \sigma'_{vp} \cdot B^{0.7} \frac{I_c}{3} + (q' - \sigma'_{vp}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c$$

Il numero di colpi  $N_{SPT}$  che compare nell'espressione dell'indice di compressibilità, è la media aritmetica dei valori compresi in una profondità di influenza  $z_I$ , ricavabile in funzione della larghezza della base della fondazione, tramite il grafico riportato in Figura 2.1, se  $N_{SPT}$  è costante o aumenta con la profondità.



**Figura 2. 1** Profondità di influenza (Burland e Burbidge, 1985)

Nel caso in cui, invece, il valore di  $N_{SPT}$  diminuisca con la profondità si dovrà assumere  $z_I$  pari a  $2B$ . Nel caso di sabbie fini o limose sotto falda, è opportuno correggere il valore di  $N_{SPT}$  di calcolo secondo l'espressione  $N = 15 + \frac{N-15}{2}$ , se  $N > 15$  (Terzaghi e Peck, 1948).

Il valore del cedimento calcolato deve ancora essere corretto tramite tre fattori:

- $f_s$  : la formula generale vale per fondazioni quadrate, nel caso di fondazioni rettangolari si applica il seguente coefficiente (con  $L/B > 1$ ):

$$f_s = \left( \frac{\frac{1.25L}{B}}{\frac{L}{B} + 0.25} \right)^2 > 1$$

- $f_H$ : se lo spessore  $H$  dello stato comprimibile è inferiore alla profondità di influenza  $z_I$ , si applica il seguente coefficiente (con  $z_I/H > 1$ ):

$$f_H = \frac{H}{z_I} \left( 2 - \frac{H}{z_I} \right) < 1$$

- $f_t$ : tiene conto degli effetti differiti del tempo, gli autori suggeriscono di stimare il cedimento corrispondente ad un periodo  $t$  maggiore di 3 anni:

$$f_t = 1 + R_3 + R \log \left( \frac{t}{3} \right)$$

in cui i valori di  $R$  ed  $R_3$  dipendono dalla natura dei carichi applicati (statici o ciclici).

Lo studio statistico svolto dagli Autori presenta una certa dispersione, dovuta in parte al fatto che è impossibile descrivere la compressibilità delle sabbie col solo ausilio di una prova SPT, e soprattutto al fatto che i depositi sabbiosi sono caratterizzati da una certa variabilità spaziale. Per questo motivo, il risultato del calcolo può essere assunto come valore medio, mentre il cedimento massimo può essere assunto 1.5 volte maggiore.

### 1.2.2 Metodo di Schmertmann (1970, 1978)

Questo metodo necessita dei risultati delle prove penetrometriche statiche C.P.T. e si basa sull'assunzione, dimostrata da analisi teoriche non lineari e da misure di spostamenti effettuate a

diverse profondità, che l'andamento della deformazione lungo la verticale baricentrica sia simile a quella della teoria dell'elasticità. Si ha quindi:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta q}{E} I_z$$

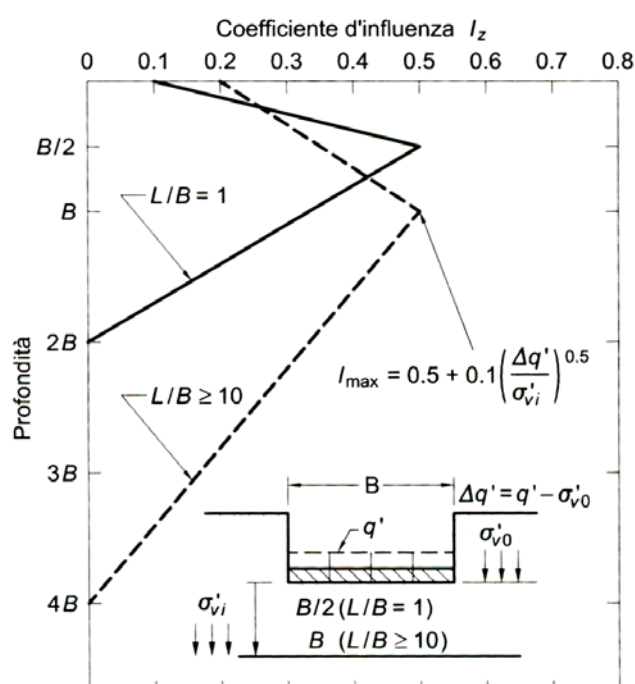
In cui:

$z$  : profondità generica

$E$  : modulo elastico del terreno, pari a 2.5 volte la resistenza alla punta  $q_c$  (ricavata dal penetrometro statico) nel caso assialsimmetrico (fondazione circolare) e 3.5 volte  $q_c$  in condizioni di deformazione piana (fondazione nastriforme).

$\Delta q$ : carico unitario netto, dato dalla differenza tra la pressione esercitata alla base della fondazione e la pressione verticale geostatica alla quota del piano di posa.

$I_z$  : coefficiente di influenza, ricavabile in base al grafico in Figura 2.2, e variabile con la quota.



**Figura 2. 2** Coefficiente di influenza per il calcolo dei cedimenti (Schmertmann, 1978)

All'interno della profondità di influenza, il terreno viene suddiviso in strati di modesto spessore, al centro dei quali vengono valutate la tensione verticale efficace, la resistenza alla punta e quindi il coefficiente di influenza. L'equazione per il calcolo del cedimento totale assume la forma di una sommatoria lungo questi "straterelli", secondo la seguente espressione:

$$s = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta q' \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_z}{E} \right)_i \Delta z_i$$

In cui:

$\Delta q'$ : carico unitario netto  $= q' - \sigma'_{v0}$

$\Delta z_i$ : spessore dell'i-esimo strato

$C_1$  e  $C_2$ : coefficienti correttivi che tengono conto della profondità del piano di posa della fondazione e delle deformazioni differite nel tempo:

$$C_1 = 1 - 0.5 \left( \frac{\sigma'_{v0}}{\Delta q} \right) \geq 0.5$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log \left( \frac{t}{0.1} \right)$$

Per i depositi di sabbie sovraconsolidate, il metodo illustrato da risultati molto conservativi, perché il modulo elastico del terreno può essere notevolmente superiore a quello suggerito dagli Autori. Per questo motivo, si può assumere un cedimento pari alla metà di quello calcolato, ottenendo peraltro un valore ancora conservativo.

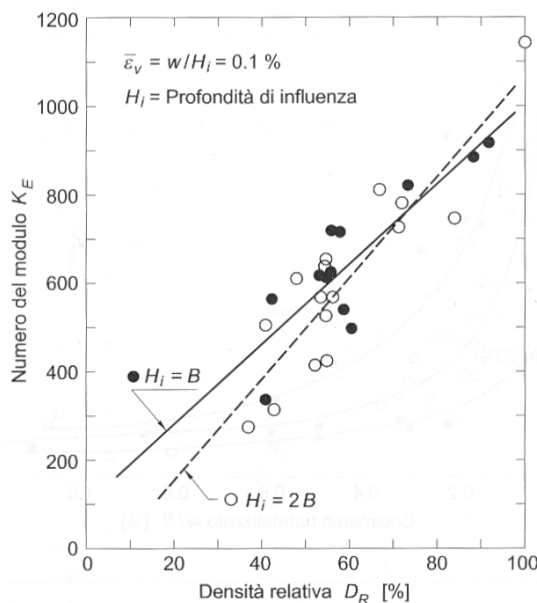
### 1.2.3 Metodo di Berardi e Lancellotta (1991)

Berardi e Lancellotta hanno osservato che il metodo di calcolo proposto da Burland e Burbidge (1985), assume che l'indice di compressibilità sia indipendente dallo stato di sforzo e deformativo del terreno. Nell'espressione  $s = q' \cdot B^{0.7} \cdot I_c$ , infatti,  $I_c$  dipende solo da  $N$ . Dopo aver riesaminato i casi raccolti da Burland e Burbidge, Berardi e Lancellotta hanno proposto di utilizzare la formula del cedimento fornita dalla teoria dell'elasticità, assegnando al modulo elastico un valore funzione dello stato tensionale:

$$s = \frac{q}{E'} \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I$$

$$E' = K_E \cdot p_a \cdot \sqrt{\frac{\sigma'_{v0} + 0.5 \cdot \Delta \sigma'_{v0}}{p_a}}$$

in cui  $B$  è la base della fondazione,  $\sigma'_{v0}$  e  $\Delta \sigma'_{v0}$  sono valutate a metà della zona attiva  $H_i$ , e  $K_E$  è detto numero del modulo. L'altezza della zona attiva  $H_i$  è assunta pari alla base  $B$  della fondazione. L'incremento di tensione verticale  $\Delta \sigma'_{v0}$  è calcolato con la formula dell'elasticità, in funzione del carico unitario netto applicato sul piano di posa, al centro della fondazione. Il numero del modulo  $K_E$ , corrispondente ad un rapporto  $s/B$  uguale a 0.1%, si può leggere dal seguente diagramma, in funzione della densità relativa del deposito sabbioso:



Da  $K_{E(0.1)}$  si può ricavare  $E_{(0.1)}$  con la relazione sopra riportata, ed infine ricavare il cedimento con la seguente espressione:

$$s = B \cdot \left[ \frac{125 \cdot q \cdot I \cdot (1 - \nu^2)}{E'_{(0.1)}} \right]^{\frac{10}{3}}$$

In cui  $q$  è il carico unitario netto applicato al piano di posa,  $\nu$  è posto pari a 0.15, ed il coefficiente di influenza  $I$  è ricavato dalle soluzioni ottenute da Egorov (1958), relative ai cedimenti prodotti da aree di carico rigide su mezzo elastico di spessore finito, pari all'altezza della zona attiva  $H_i$ . La densità relativa, necessaria per ricavare il numero del modulo  $K_E$ , si può ottenere dal valore medio dei risultati di prove penetrometriche all'interno della zona attiva  $H_i$ :

- Prove penetrometriche dinamiche (SPT)  
Si può utilizzare la correlazione di Skempton (1986):

$$D_R = \sqrt{\frac{N_1}{60}}$$

$$N_1 = C_N \cdot N_{SPT}$$

$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{100}} & \text{(sabbie fini)} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{100}} & \text{(sabbie grosse)} \end{cases}$$

- Prove penetrometriche statiche (CPT)  
Si può utilizzare la correlazione di Jamiolkowski (1985):

$$D_R = -98 + 66 \cdot \log_{10} \left( \frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_{v0}}} \right)$$

### 1.3 Utilizzo del programma

L'introduzione dei dati è semplice ed immediata, avviene, inoltre, in modo uguale per tutte le metodologie di calcolo disponibili. L'ambiente di lavoro ha la tipica interfaccia dell'ambiente Windows<sup>®</sup> e quando **IS CedoGran** viene avviato, appare una finestra come quella illustrata di seguito in Figura 2.3.

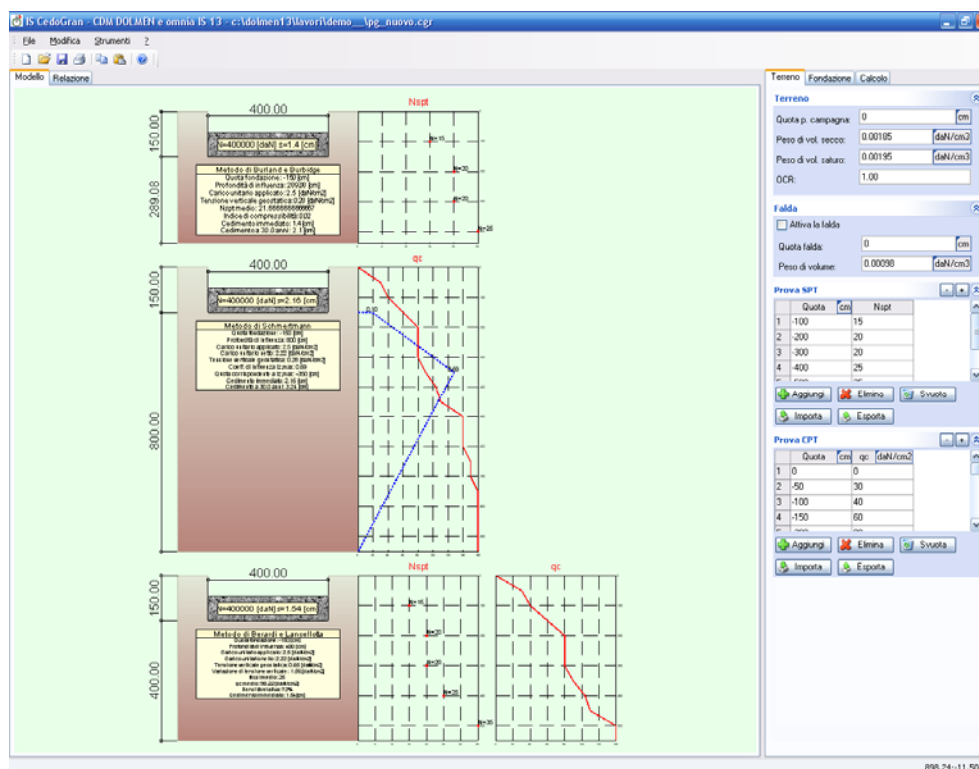


Figura 2. 3 Pagina di apertura di IS CedoGran

È possibile utilizzare i seguenti elementi e metodi dell'interfaccia:

- **menu a tendina (o menu principale):** è l'elemento classico dell'ambiente Windows, e dà accesso alle possibilità offerte dal programma. Sono riportate le voci: *File*, *Modifica* e *?*. Sotto la dicitura *File* si trovano i comandi relativi all'apertura e salvataggio del file (*Nuovo*, *Apri*, *Salva con nome*, *Salva* e *Esci*) ed alla creazione della relazione di calcolo (*Crea relazione*). In corrispondenza della voce *Modifica* si hanno i comandi per importare ed esportare le immagini (*Copia disegno*, *Copia modello* e *Incolla modello*). Infine da *?* si accede all'aiuto in linea: *Manuale utenti* e *Contatti*.
- **pannello laterale:** riassume le caratteristiche dei principali elementi del modello, e permette la modifica o l'introduzione diretta dei dati.
- **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.



### 1.3.1 Caratteristiche del terreno

Le caratteristiche del terreno devono essere introdotte nel pannello laterale al di sotto della linguetta “Terreno” e si tratta di:

**Quota p. campagna:** quota del piano campagna

**Peso di vol. secco:** peso di volume secco

**Peso di vol. saturo:** peso di volume saturo

**OCR:** grado di sovraconsolidazione

Se si seleziona la casella accanto ad “Attiva falda” bisogna inserire:

**Quota falda:** quota a cui si trova la falda

**Peso di volume:** peso di volume della falda stessa

### 1.3.2 Dati prove penetrometriche

I risultati delle prove penetrometriche statiche e dinamiche vengono inseriti come i dati precedenti nel pannello laterale al di sotto della linguetta “Terreno”. Per la prova penetrometrica dinamica S.P.T. sono richiesti le quote ed il numero di colpi  $N_{SPT}$  ad esse corrispondenti. Per la prova penetrometrica statica C.P.T., invece, occorre inserire le quote ed il valore della resistenza alla punta  $q_c$ .

Il programma si apre con alcuni valori di  $N_{SPT}$  e di  $q_c$  a titolo di esempio, questi posso essere modificati digitando i nuovi valori all'interno della tabella e si può aumentare o diminuire il numero di sondaggi eseguiti rispettivamente dai pulsanti “Aggiungi” ed “Elimina”.

NB. Nel caso il programma venga lanciato direttamente dal CAD 3D di Dolmen il programma leggerà la prova salvata come predefinita. In ogni istante è possibile esportare o importare dagli appositi programmi DB-SPT o DB-CPT qualsiasi prova e rivedere in tempo reale i nuovi risultati

Terreno

**Terreno**

Quota p. campagna: 0 cm

Peso di vol. secco: 0.00185 daN/cm<sup>3</sup>

Peso di vol. saturo: 0.00195 daN/cm<sup>3</sup>

OCR: 1.00

**Falda**

☐ Attiva la falda

Quota falda: 0 cm

Peso di volume: 0.00098 daN/cm<sup>3</sup>

**Prova SPT**

	Quota	cm	Nspt
1	-100	15	
2	-200	20	
3	-300	20	
4	-400	25	
5	-500	25	

+ Aggiungi    ✖ Elimina    🔄 Svuota

📁 Importa    📄 Esporta

**Prova CPT**

	Quota	cm	qc	daN/cm <sup>2</sup>
1	0	0		
2	-50	30		
3	-100	40		
4	-150	60		
5	-200	80		

+ Aggiungi    ✖ Elimina    🔄 Svuota

📁 Importa    📄 Esporta

### 1.3.3 Caratteristiche della fondazione e sollecitazioni

I dati inerenti le caratteristiche della fondazione devono essere inseriti nel pannello laterale sotto la linguetta caratterizzata dalla voce “Fondazione” e si tratta di:

**X centrale:** origine del sistema di riferimento

**Quota piano posa:** quota della base della fondazione

**Base:** larghezza della fondazione

**Lunghezza:** profondità della fondazione

Nel riquadro “Sollecitazioni” possono essere inserite diverse condizioni di carico.

Fondazione

**Fondazione**

X centrale: 0 cm

Quota piano posa: -150 cm

☒ Fondazione rettangolare

Base: 400 cm

Lunghezza: 400 cm

☐ Fondazione circolare

Diametro: 450 cm

**Sollecitazioni**

	Nome	N	daN
1	Cond. 1	400000	Me

+ Aggiungi    ✖ Elimina    🔄 Svuota

### 1.3.4 Scelta del metodo di calcolo

La scelta del metodo di calcolo si effettua dal pannello laterale al di sotto della linguetta "Opzioni". Si può scegliere di utilizzare uno o più metodi tra Burland e Burbridge, Schmertmann e Berardi e Lancellotta.

Per Burland e Burbridge bisogna scegliere se tenere in conto tutti e tre i coefficienti correttivi  $f_s$ ,  $f_H$  e  $f_t$  e, per quest'ultimo, indicare il periodo di tempo a cui deve essere riferito e se si hanno carichi ciclici.

Se si sceglie di effettuare il calcolo con Schmertmann occorre indicare nel pannello laterale se applicare il coefficiente  $C_2$  e il numero di anni per calcolo di  $C_2$ , il passo di calcolo ed il coefficiente riduttore del cedimento per sabbie sovraconsolidate.

Per il metodo di Berardi e Lancellotta, occorre scegliere se valutare la  $D_R$  da correlazioni con la prova SPT, CPT o da una media delle due.

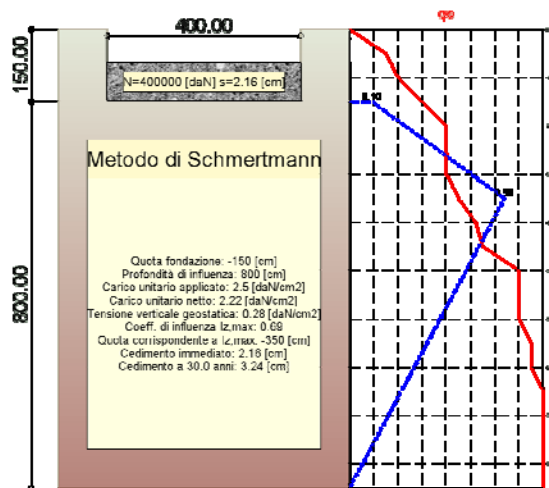


Figura 2. 4 Rappresentazione metodo di Schmertmann

Calcolo

**Opzioni di calcolo**

☐ Interpoli dati delle prove se mancanti

☐ Verifica ced. max immediato:  cm

☐ Verifica ced. max lungo termine:  cm

**Metodo di Burland e Burbridge (SPT)**

☒ Attiva questo metodo: Burland e Burbridge (SPT)

☒ Applica coefficiente  $F_s$

☐ Applica coefficiente  $F_H$   
 Spessore dello strato comprimibile per  $F_H$ :  cm

☒ Applica coefficiente  $F_t$   
 Numero di anni per il calcolo di  $F_t$ :  y

☐ Formula per carichi ciclici

☐ Applica correzione  $N_{spt}$  di Terzaghi e Peck per sabbie fini o limose

☐ Specifica prof. influenza  cm

**Metodo di Schmertmann (CPT)**

☒ Attiva questo metodo: Schmertmann (CPT)

Passo di calcolo:  cm

☒ Applica coefficiente  $C_2$   
 Numero di anni per il calcolo di  $C_2$ :  y

Coefficiente riduttore del cedimento per sabbie sovraconsolidate:

**Metodo di Berardi e Lancellotta (SPT e CPT)**

☒ Attiva questo metodo: Berardi e Lancellotta (SPT e CPT)

### 1.3.5 Risultati del calcolo

Una volta introdotti tutti i dati chiesti dal programma è possibile leggere i risultati ottenuti, che vengono scritti nell'immagine centrale, al di sotto del disegno della fondazione, insieme ad alcuni dati generali.

Si può, quindi, passare alla fase di creazione della relazione accedendo dal menu principale alle voci *File* e *Crea relazione*. **IS CedoGran** crea una relazione di calcolo sintetica, ma estremamente completa, in formato HTML (.html). Nella relazione sono riportati i dati inerenti il terreno e la fondazione, i sondaggi e alla falda, viene indicato il metodo scelto ed il cedimento immediato e nel tempo ottenuti.

