



---

## ***CONDIZIONI GENERALI DI UTILIZZO DELL'APPLICAZIONE***

La presente applicazione è stata realizzata implementando formule e modelli matematici propri della geotecnica, della scienza e della tecnica delle fondazioni.

Con l'acquisto e l'impiego dell'applicazione, l'utilizzatore dichiara di essere a conoscenza della teoria e delle limitazioni d'impiego dei modelli di calcolo su cui si basa il programma, descritti nel presente manuale.

### ***BIBLIOGRAFIA:***

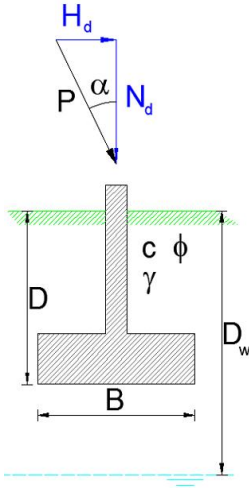
Joseph. E. Bowles	Fondazioni	Ed. Mc Graw Hill
Renato Lancellotta	Geotecnica	Ed. Zanichelli

Commenti, suggerimenti, richieste e segnalazioni di bug a:  
***[info@studio-tecnicolegale.it](mailto:info@studio-tecnicolegale.it)***



## La formula di HANSEN per il calcolo della CAPACITA' PORTANTE

### CENNI TEORICI



L'applicazione esegue il calcolo della capacità portante di fondazioni superficiali su terreni dotati di attrito e coesione, sia in condizioni drenate che in condizioni non drenate.

Il metodo adottato è quello di Hansen (1970), la cui formula generale è la seguente:

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c + \bar{q}N_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad \text{caso generale}$$

$$q_{ult} = 5.14 s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c) + \bar{q} \quad \phi=0^\circ$$

Il calcolo viene eseguito per carico baricentrico perfettamente centrato sulla fondazione, sarà pertanto cura dell'utilizzatore, nel caso in cui il carico non fosse baricentrico, correggere la dimensione della fondazione tenendo conto delle eccentricità.

La formula prende in considerazione tre fattori correttivi della capacità portante:

- i fattori di forma 's'
- i fattori di profondità 'd'
- i fattori di inclinazione del carico 'i'

### Coefficienti di portata che compaiono nella formula di Hansen

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45 + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

### Fattori di forma, profondità inclinazione del carico, che compaiono nella formula di Hansen per il calcolo della capacità portante

#### *Fattori di forma*

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L} \quad \text{QUALSIASI } \phi$$

$$s'_c = 0.2 \frac{B}{L} \quad \phi=0^\circ$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$



Nel caso in cui la dimensione della fondazione non fosse nota a priori, e l'utilizzatore decidesse di trascurare la lunghezza 'L', i fattori di forma vengono trascurati dal programma ed il calcolo viene condotto come se si trattasse di una fondazione nastriforme di lunghezza infinita e larghezza 'B'.

#### ***Fattori di profondità***

$$\begin{array}{lll}
 d'_c = 0.4k & \phi=0^\circ & \text{se } \frac{D}{B} \leq 1 \quad k = \frac{D}{B} \\
 d_c = 1 + 0.4k & \text{QUALSIASI } \phi & \text{se } \frac{D}{B} > 1 \quad k = \tan^{-1} \frac{D}{B} \\
 d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k & & \\
 d_\gamma = 1 & \text{QUALSIASI } \phi & 
 \end{array}$$

#### ***Fattori di inclinazione del carico***

$$\begin{array}{ll}
 i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}} & \text{vale anche per } \phi=0^\circ \\
 i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} & \text{qualsiasi } \phi \\
 i_q = \left( 1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5 & \\
 i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5 & 
 \end{array}$$

dove:

- $A_f$  è l'area efficace (cioè ridotta per tenere conto di eventuali eccentricità) della fondazione  
 $A_f = B \times L$
- $c_a$  è l'aderenza alla base, pari alla coesione o a una sua frazione propria
- $D$  è la profondità della fondazione nel terreno
- $H$  è la componente orizzontale del carico trasmesso dalla fondazione, con  
 $H \leq V \tan \delta + c_a A_f$
- $V$  è il carico verticale totale sulla fondazione



## **DATI DI INPUT**

Il programma richiede l'inserimento dei seguenti dati:

### **Parametri geotecnici**

- 'c' coesione
- ' $\Phi$ ' angolo d'attrito
- ' $\gamma$ ' peso specifico del terreno asciutto (c.d. ' $\gamma_{dry}$ ' )

### **Geometria della fondazione**

- 'D' profondità del piano di imposta rispetto al piano campagna
- 'B' larghezza della fondazione
- 'L' lunghezza della fondazione (campo non obbligatorio)

Si noti che in generale la dimensione della fondazione non è nota a priori. Occorre effettuare ipotesi preliminari sulla larghezza 'B' e, non necessariamente, ipotizzare la lunghezza della fondazione (che teoricamente può essere calcolata come striscia indefinita qualora sia  $L \gg B$ ).

Come già accennato, nel caso in cui il carico non fosse baricentrico, sarà cura dell'utente correggere la dimensione della fondazione per tenere conto delle eccentricità.

### **Influenza della falda freatica**

Selezionando il campo 'trascura' il programma non considererà la presenza della falda. Diversamente è richiesta la definizione del livello piezometrico ' $D_w$ ' rispetto al piano campagna.

Il programma valuta l'influenza della falda come di seguito descritto.

Il peso specifico del terreno compare nella formula di Hansen:

- nel secondo addendo, nel termine di sovraccarico  $\bar{q}N_q$
- nel terzo addendo, nel termine dovuto al peso proprio  $0.5\gamma B N_\gamma$

Nella sezione di input il programma richiede la definizione del peso specifico del terreno asciutto  $\gamma_{dry}$ .

Assunti i valori delle seguenti grandezze

- $w = 10\%$  indice dei vuoti
- $G_s = \gamma_s / \gamma_w = 2.68$  peso specifico dei grani
- $\gamma_w = 1 \text{ ton/m}^3$  peso specifico dell'acqua

il programma stima il peso del terreno umido  $\gamma_{wet}$  e del terreno saturo  $\gamma_{sat}$  per mezzo delle seguenti relazioni:

peso specifico del terreno umido

$$\gamma_{wet} = \gamma_{dry} (1+w)$$

volume della componente solida

$$V_s = \gamma_{dry} / (G_s * \gamma_w)$$

volume dei vuoti



$$V_v = 1 - V_s$$

peso specifico del terreno saturo

$$\gamma_{sat} = \gamma_{dry} + V_v * \gamma_w$$

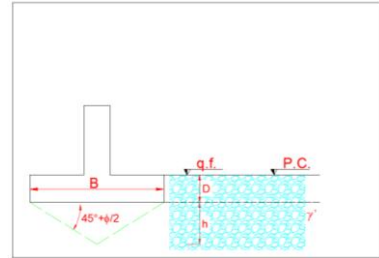
Si distinguono i seguenti casi in funzione del livello piezometrico.

$D_w = 0$  (livello di falda coincidente con il piano campagna)

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

secondo addendo:  $\bar{q}N_q = \gamma' DN_q$

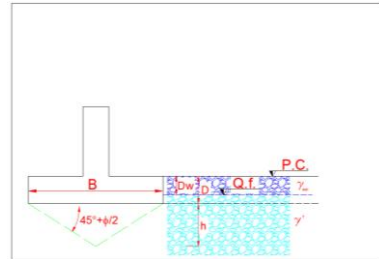
terzo addendo:  $0.5\gamma' BN_\gamma$



$0 < D_w \leq D$  (livello di falda tra piano campagna e piano di posa della fondazione)

secondo addendo:  $\bar{q}N_q = (D_w \gamma_{wet} + (D - D_w) \gamma') N_q$

terzo addendo:  $0.5\gamma' BN_\gamma$



*NOTA: Quando  $D_w \sim D$  si verifica quanto di seguito. Se il livello di falda è poco più alto del piano di posa della fondazione il termine di sovraccarico (secondo addendo) è sensibilmente più alto ( $\sim D \gamma_{wet} N_q$ ) rispetto al caso in cui il livello di falda scende appena al di sotto del piano d'impasto ( $\sim D \gamma_{dry} N_q$ ). Ciò per via del fatto che la formula "salta" considerando nel primo caso  $\gamma_{wet}$  e nel secondo caso  $\gamma_{dry}$  e, come è noto, il peso specifico del terreno umido è superiore a quello del terreno asciutto ( $\gamma_{wet} = (1+w) \gamma_{dry}$ ).*

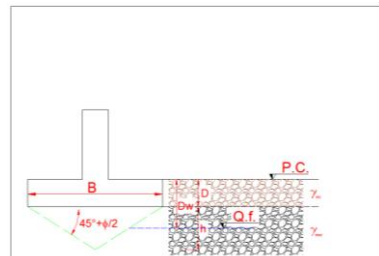
$D < D_w \leq D+h$  (livello di falda compreso tra piano campagna e cuneo di rottura)

altezza del cuneo di rottura:  $h = 0.5 B \tan(45 + \phi/2)$

secondo addendo:  $\bar{q}N_q = \gamma_{dry} DN_q$

terzo addendo:  $0.5\gamma_{med} BN_\gamma$

$$\gamma_{med} = (2h - D_w) \frac{D_w}{h^2} \gamma_{wet} + \frac{\gamma'}{h^2} (h - D_w)^2$$

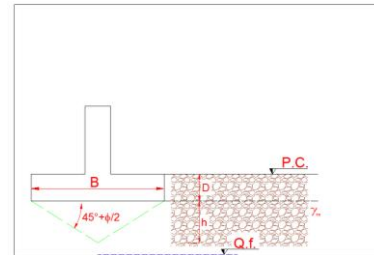


$D_w > D+h$  (livello di falda più profondo rispetto al cuneo di rottura - la falda di fatto non ha più influenza)



secondo addendo:  $\bar{q}N_q = \gamma_{dry}DN_q$

terzo addendo:  $0.5\gamma_{dry}BN_\gamma$



### Azioni agenti

Il programma richiede l'inserimento delle azioni agenti:

carico agente

'P'

angolo di inclinazione

'α'

espresso in gradi, rispetto alla verticale.

La componente verticale del carico agente 'N<sub>d</sub>' viene ottenuta moltiplicando la componente verticale 'Pcos(α)' per il coefficiente parziale di sicurezza γ<sub>f</sub> (tabella 6.2.I):

$$N_d = P \cos(\alpha) \gamma_f$$

Qualora il calcolo sia condotto in accordo al DM88, si pone γ<sub>f</sub> = 1.00. Qualora il calcolo sia condotto in accordo alle NTC08, il coefficiente γ<sub>f</sub> deve essere valutato ponderando i coefficienti parziali di sicurezza previsti per carichi permanenti e variabili. Il programma propone, in via semplificata ma a favore di sicurezza, γ<sub>f</sub> = 1.30 nell'approccio 1, γ<sub>f</sub> = 1.50 nell'approccio 2.

La definizione delle azioni agenti è necessaria se si vogliono considerare nel calcolo della capacità portante ultima Q<sub>ult</sub> i fattori di inclinazione 'i'.

Tali dati sono altresì necessari al fine di una valutazione della sicurezza, ottenuta confrontando la pressione agente 'Q<sub>d</sub> = N<sub>d</sub> / (B x L)' con la capacità limite del terreno; il programma restituirà infatti una valutazione della sicurezza tramite un coefficiente di sicurezza pari a Q<sub>lim</sub> / Q<sub>d</sub>.



## **VERIFICHE DI SICUREZZA**

Il programma esegue le verifiche di sicurezza sia in accordo al metodo tradizionalmente conosciuto (DM.11/03/1988) sia in ottemperanza alle nuove disposizioni del DM 14/01/2008 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni) permettendo all'utilizzatore di effettuare un rapido raffronto tra i risultati ottenuti.

Il programma non esegue verifiche allo scorrimento orizzontale della fondazione.

### **Verifiche secondo il DM 11/03/88**

La capacità portante ultima ' $Q_{ult}$ ' viene calcolata con la formula di Hansen come descritto nella sezione precedente. Il valore ammissibile della capacità portante ' $Q_{lim}$ ' si ottiene dividendo ' $Q_{ult}$ ' per il fattore di sicurezza 'F', posto per default pari a 3 ma comunque modificabile dall'utente.

Il programma calcola la pressione agente sul piano di fondazione, derivante dai carichi applicati alla struttura. La componente verticale del carico agente ' $N_d$ ' viene ottenuta moltiplicando la componente verticale ' $P_{cos}(\alpha)$ ' per il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_f$ :

$$N_d = P_{cos}(\alpha) \gamma_f$$

Eseguendo le verifiche in accordo al DM 11/03/88, il coefficiente  $\gamma_f$  è posto pari a 1.00.

Il programma restituisce una valutazione della sicurezza tramite un fattore di sicurezza calcolato come:

$$\text{Fattore di sicurezza} = Q_{lim} / Q_d.$$

### **Verifiche secondo le NTC 2008**

Il programma esegue le verifiche di sicurezza, in ottemperanza alle NTC 2008 secondo i due approcci:

Approccio 1: A2+M2+R2

Approccio 2: A1+M1+R3

La capacità portante ultima ' $Q_{ult}$ ' viene calcolata con la formula di Hansen come descritto nella sezione precedente. I parametri geotecnici vengono però corretti a seconda dell'approccio scelto applicando i coefficienti parziali definiti nella tabella seguente:

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{eu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0



Come già accennato, il programma richiede l'inserimento del valore del carico agente sulla fondazione 'P' e l'angolo di inclinazione rispetto alla verticale ' $\alpha$ '.

La componente verticale 'N' viene moltiplicata per il coefficiente parziale di sicurezza ' $\gamma_f$ ' (tabella 6.2.I) ottenendo il valore di calcolo  $N_d = N \cdot \gamma_f$ .

**Tabella 6.2.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

La pressione agente sul terreno è calcolata come ' $Q_d = N_d / (B \cdot L)$ '

Si comprende quindi che, se non vengono inseriti i valori del carico agente o se non viene definita completamente la geometria della fondazione, non è possibile completare le verifiche di sicurezza.

In mancanza di una analisi dei carichi dettagliata (che distingua tra carichi permanenti e variabili), il programma propone, in via semplificata ma a favore di sicurezza,  $\gamma_f = 1.30$  nell'approccio 1,  $\gamma_f = 1.50$  nell'approccio 2. La casella di Input consente di modificare il coefficiente secondo l'esperienza e le necessità dell'utilizzatore.

Il programma calcola quindi la pressione ' $Q_d$ ' scaricata dalla fondazione sul terreno semplicemente come rapporto tra il carico agente ' $N_d$ ' e la superficie della fondazione.

Il valore della capacità portante limite si ottiene dividendo la capacità portante ultima per un fattore di sicurezza come indicato dalla tabella seguente:

**Tabella 6.4.I** - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nell'approccio 1 (R2)  $\gamma_R = 1.80$ ; nell'approccio 2 (R3)  $\gamma_R = 2.30$ .

$$Q_{lim} = Q_{ult} / \gamma_R.$$





---

Il valore della capacità portante limite  $Q_{lim}$  viene confrontato con la pressione scaricata al suolo dalla struttura  $Q_d$ , conseguente alla geometria scelta per la fondazione.

Il programma restituisce una valutazione della sicurezza tramite il fattore di sicurezza definito come:

$$\text{Fattore di sicurezza} = Q_{lim} / Q_d.$$