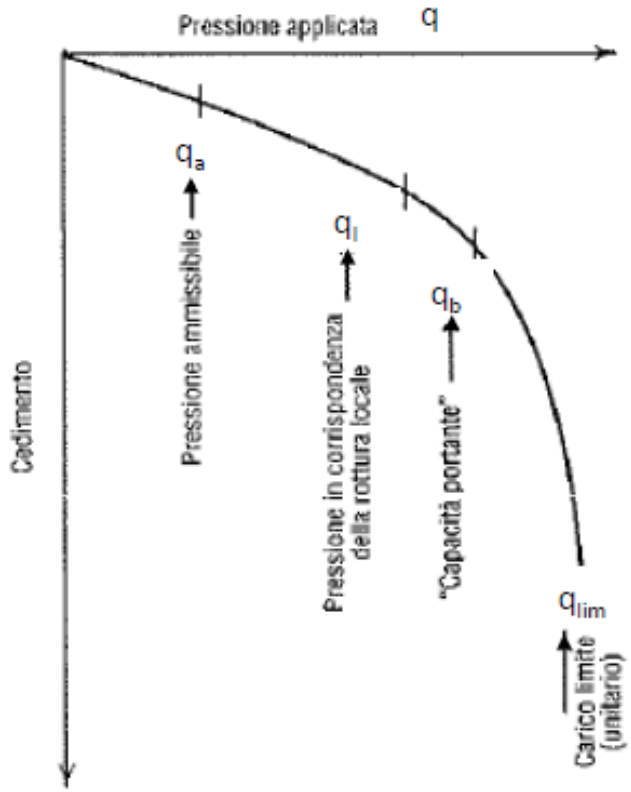
Verifica Geotecnica delle fondazioni

Corso progettazione strutturale 2 M

Camillo Nuti

AA 2014-15

DEFINIZIONI DEL CARICO APPLICATO



Definizione del carico limite unitario e di altri significativi valori della pressione applicata.

DEFINIZIONI

Carico limite q_{lim} o q_f : Carico che provoca cedimenti rapidamente crescenti e talvolta catastrofici per la fondazione.

Capacità portante q_b: Carico corrispondente al ginocchio.

Carico legato alla rottura locale q_l: Carico corrispondente all' insorgere di fenomeni di rottura locale. Per questo carico la curva comincia a discostarsi dal tratto rettilineo.

$$q_l \leq q_b < q_{\lim}$$

!

Carico ammissibile: Carico in sicurezza, nel tratto rettilineo. Può essere determinato dal valore della capacità portante o dal valore del carico limite.

Carico di esercizio q o q_{es}: Carico effettivamente applicato al terreno sul piano di fondazione.

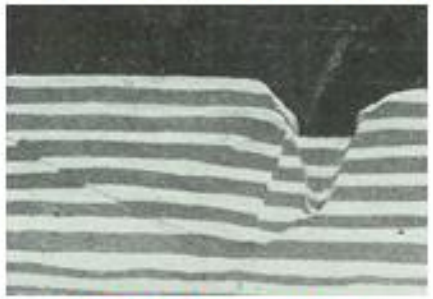
Per ogni fondazione esiste un valore del carico applicato, denominato **capacità portante**, per il quale i cedimenti cominciano a diventare importanti e prevedibili con difficoltà.

Il carico di esercizio deve essere minore della capacità portante con un margine di sicurezza adeguato che salvaguardi dalle incertezze. In generale si assume come capacità portante il carico al ginocchio della curva tensioni deformazioni, corrispondente alla rottura locale. Il **carico limite** costituisce l' estremo superiore per la capacità portante.

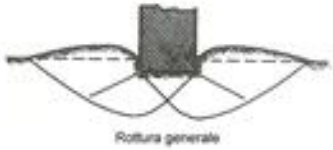
q_{lim} o q_f

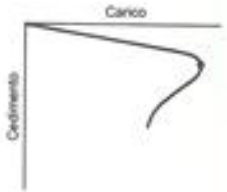
Meccanismi di collasso delle fondazioni superficiali

Sabbia densa (D_r = 100 %)

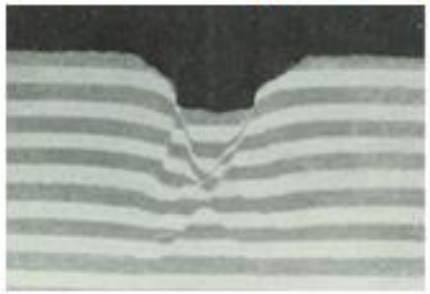


Rottura generale

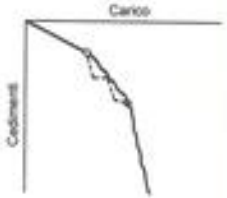




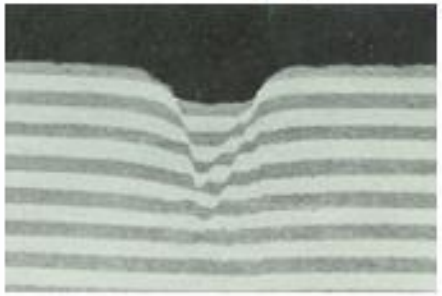
Sabbia media (D_r = 47 %)



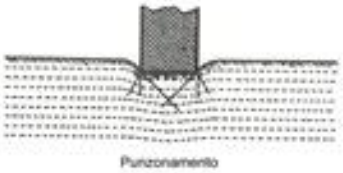
Rottura locale

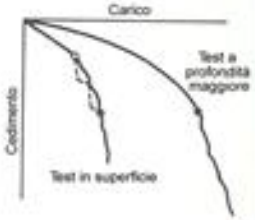


Sabbia sciolta (D_r = 15 %)



Punzonamento





MECCANISMI DI ROTTURA

SLU

ROTTURA GENERALE

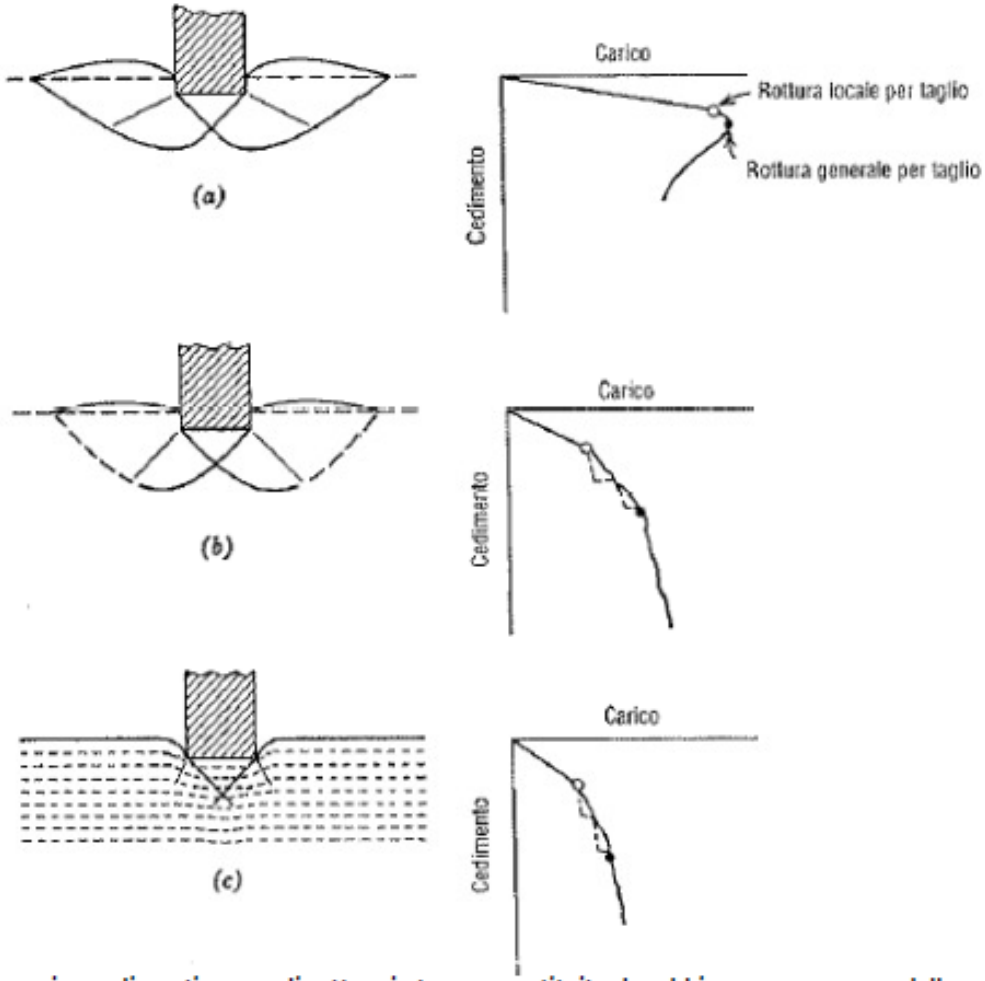
Superfici di scorrimento bene definite fino al piano campagna. Collasso di tipo fragile. Senza vincoli particolari comporta un' evidente rotazione della fondazione.

ROTTURA LOCALE

Meccanismo di tipo intermedio. In presenza di materiale poco consistente, sotto determinate condizioni, si verifica la formazione di superfici di scorrimento che terminano all'interno della massa di terreno.

PUNZONAMENTO

Governata dalla compressibilità del terreno sottostante la fondazione. Formazione di piani di taglio verticali lungo il perimetro. Comportamento incrudente senza ben definito punto di collasso.



Curve carico-cedimenti e zone di rottura in terreno costituito da sabbia con prove su modello fisico. (a) Sabbia densa. (b) Sabbia mediamente densa. (c) Sabbia con grado di addensamento molto basso. (da Vesic, 1963).

Il tipo di rottura che si può sviluppare dipende da molti fattori; in linea di massima sembra che dipenda dalla compressibilità relativa del terreno in relazione alle condizioni geometriche e di carico.

I meccanismi di rottura possono verificarsi anche per le argille.

TERZAGHI (1943)

SLU

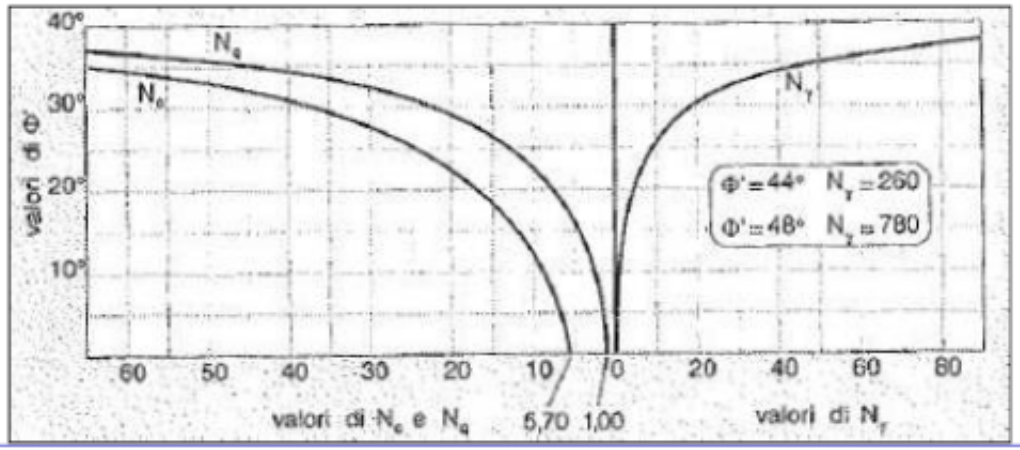
Sono stati considerati separatamente i contributi dovuti al peso proprio del terreno (γ'), alla coesione (c') e al sovraccarico q'.

$$q'_{\lim} = \frac{1}{2}\gamma' B N_\gamma + c' N_c + q' N_q \qquad (*)$$

dove **Nγ, Nc e Nq** dipendono da ϕ'e dalla forma della superficie di rottura considerata; sono determinabili secondo la tabella e i grafici della soluzione di Terzaghi. Tale soluzione (*) è da considerarsi **approssimata** anche perché le tre componenti sono stata calcolate separatamente e con riferimento a superfici di scorrimento diverse fra loro, è perché **non è lecito sovrapporre gli effetti**. Tuttavia, non avendo a disposizione una soluzione esatta che consideri correttamente la presenza contemporanea di tutti i fattori, e dato che la suddetta sovrapposizione porta a **risultati cautelativi**, tale soluzione viene impiegata correntemente.

ϕ' (°)	N_q (-)	N_γ (-)	N_C (-)
0	1	0	5.7
5	1.6	0.5	7.3
10	2.7	1.2	9.6
15	4.4	2.5	13
20	7.5	5.0	18
25	13	10	25
30	22	20	37
35	41	42	53
40	81	100	95

Tabella 8.13 Valori di N_γ' N_c e N_q secondo Terzaghi (1943).



NB. CND = Si osservi che se si pone $\phi = \phi_u = 0$ **(CND)** dal diagramma risulta:

Nγ =0, Nq =1 e Nc =5,7 ovvero il qlim diventa: $q_{\lim} = 5,70\, C_u + \gamma D$

FATTORI DI CARICO LIMITE Nc, Nq, Nγ

SLU

Nγ, Nc e Nq sono quantità adimensionali, detti **coefficienti di carico limite** (o di capacità portante). Per i fattori Nc e Nq esistono equazioni teoriche, mentre per il fattore Nγ, che tiene conto dell'influenza del peso del terreno, la determinazione richiede un procedimento numerico per successivi tentativi da cui derivano solo formule empiriche che approssimano la soluzione.

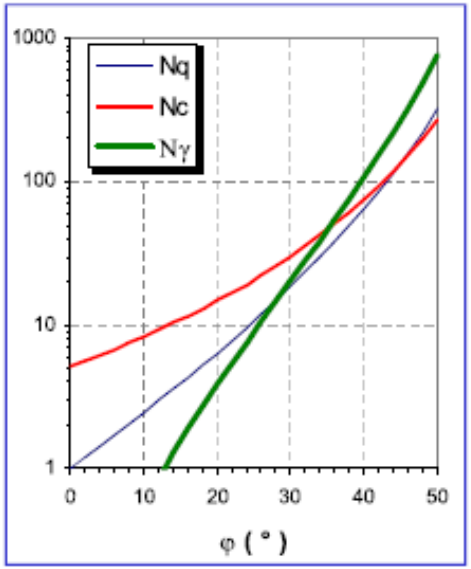
Per i fattori di **Nc e Nq**, si registra **un accordo** sostanziale fra le soluzioni proposte fra i vari **autori**. In genere si fa riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl (1921) e Reissner (1924):

$$N_q = tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right)e^{\pi\, tg\phi'}$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right) cotg\,\phi'$$

Per il fattore **Nγ** si ha una certa dispersione di valori fra le proposte dei vari autori. Si fa spesso riferimento alla soluzione di Caquot e Kerisel (1953) approssimabile con un'espressione del tipo (Vesic, 1973):

$$N_\gamma = 2\left(N_q + 1\right) tg\,\phi'$$



Nγ, Nc e Nq crescono rapidamente con l'angolo di attrito.

ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00
1	5.38	1.09	0.07
2	5.63	1.20	0.15
3	5.90	1.31	0.24
4	6.19	1.43	0.34
5	6.49	1.57	0.45
6	6.81	1.72	0.57
7	7.16	1.88	0.71
8	7.53	2.06	0.86
9	7.92	2.25	1.03
10	8.35	2.47	1.22
11	8.80	2.71	1.44
12	9.28	2.97	1.69
13	9.81	3.26	1.97
14	10.37	3.59	2.29
15	10.98	3.94	2.65
16	11.63	4.34	3.06
17	12.34	4.77	3.53
18	13.10	5.26	4.07
19	13.93	5.80	4.68
20	14.83	6.40	5.39
21	15.82	7.07	6.20
22	16.88	7.82	7.13
23	18.05	8.66	8.20
24	19.32	9.60	9.44
25	20.72	10.66	10.88
26	22.25	11.85	12.54
27	23.94	13.20	14.47
28	25.80	14.72	16.72
29	27.86	16.44	19.34
30	30.14	18.40	22.40
31	32.67	20.63	25.99
32	35.49	23.18	30.22
33	38.64	26.09	35.19
34	42.16	29.44	41.06
35	46.12	33.30	48.03
36	50.59	37.75	56.31
37	55.63	42.92	66.19
38	61.35	48.93	78.03
39	67.87	55.96	92.25
40	75.31	64.20	109.41
41	83.86	73.90	130.22
42	93.71	85.38	155.55
43	105.11	99.02	186.54
44	118.37	115.31	224.64
45	133.88	134.88	271.76
46	152.10	158.51	330.35
47	173.64	187.21	403.67
48	199.26	222.31	496.01
49	229.23	265.51	613.16
50	266.00	319.07	762.89

Tabella 8.14 Fattori di capacità portante (Vesic, 1975).

CARICO LIMITE: SOLUZIONE BRINCH-HANSEN (1970)

SLU

HP →

1) Piano di fondazione e piano campagna inclinati, ad una certa profondità, terreno con peso $\gamma' \neq 0$ con $c' \neq 0$, e $\phi' \neq 0$
2) presenza di sovraccarico laterale $q = \gamma' \times D \neq 0$
3) fondazione non nastriforme.
4) carico inclinato

Determinata per sovrapposizione. →

$$q'_{lim} = \frac{1}{2}\gamma' B N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

s_c, s_q, s_γ = fattori di **forma** della fondazione

i_c, i_q, i_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'**inclinazione del carico**

b_c, b_q, b_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'**inclinazione della base** della fondazione

g_c, g_q, g_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'**inclinazione del piano campagna**

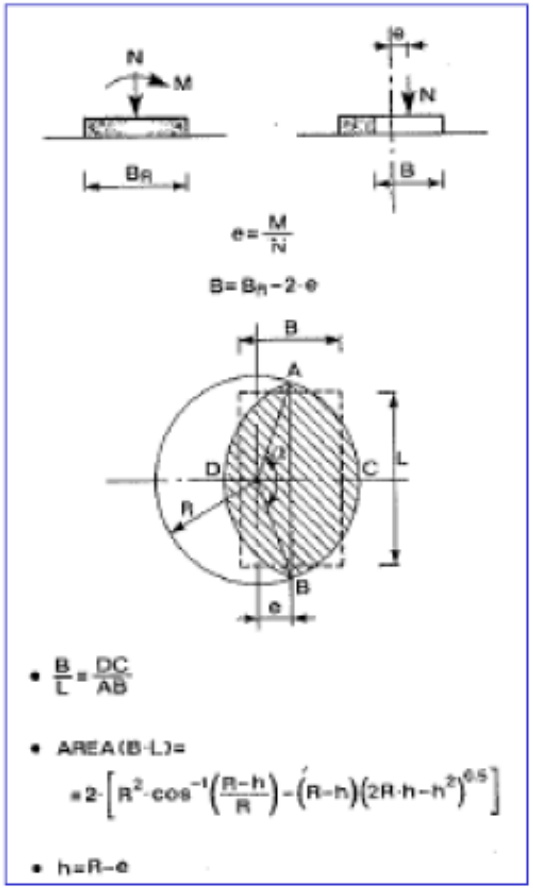
d_c, d_q, $(d_\gamma=1)$ = fattori correttivi che tengono conto della **profondità** del piano di posa

CARICO LIMITE: SOLUZIONE BRINCH-HANSEN (1970)

SLU

Eccentricità → Eccentricità della risultante dei carichi → parzializzazione dell'area di base. La parte di fondazione più lontana dal carico non contribuisce al carico limite. La larghezza B da inserire nell'equazione è B' (Meyerhof, 1953): $B' = B - 2e$

Fondazione circolare

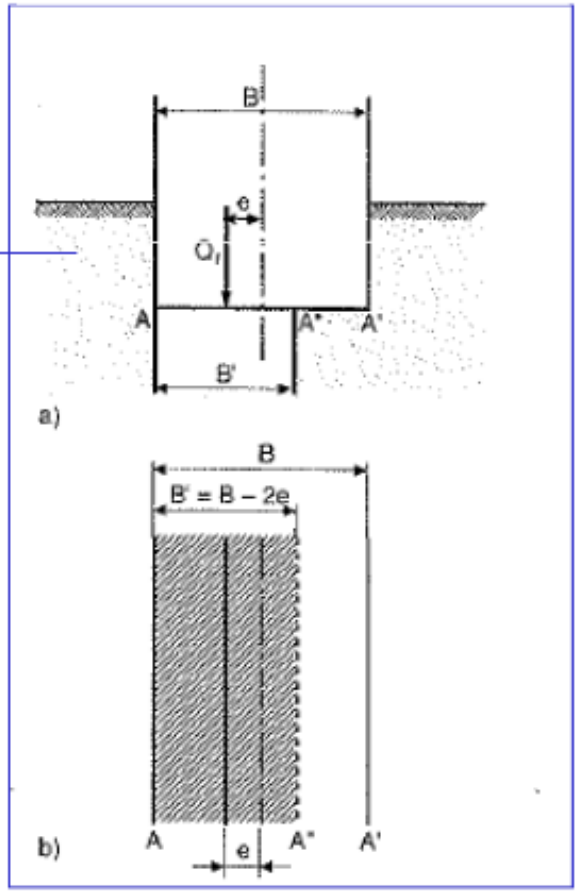


Se in una fondazione rettangolare vi è una doppia eccentricità si riduce sia B che L.

$$B' = B - 2e_B$$

$$L' = L - 2e_L$$

Fondazione nastriformi



CARICO LIMITE: SOLUZIONE BRINCH-HANSEN (1970)

SLU

Forma → Le fondazioni reali non sono nastriformi e hanno dimensioni in pianta confrontabili, il carico limite è quindi influenzato da questi effetti di bordo. Si introducono quindi i coefficienti correttivi sc, sq e sg che possono essere valutati secondo le espressioni proposte da Vesic (1975).

RETTANGOLARE

$$s_c = 1 + \frac{B'}{L'}\frac{N_q}{N_c}$$

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

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$$

I **fattori s_c e s_q,** rispettivamente associati alla coesione e sovraccarico laterale q, sono maggiori di 1 poiché anche il terreno alle estremità longitudinali della fondazione contribuisce al carico limite.

Il **fattore s_q,** associato peso proprio del terreno di fondazione, è minore di 1 a causa del minore confinamento del terreno alle estremità.

CIRCOLARE O QUADRATA

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}$$

$$s_q = 1 + \tan\phi$$

$$s_\gamma = 0,6$$

Nelle espressioni proposte, in assenza di eccentricità, B'= B e L' =L.