Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Pisa

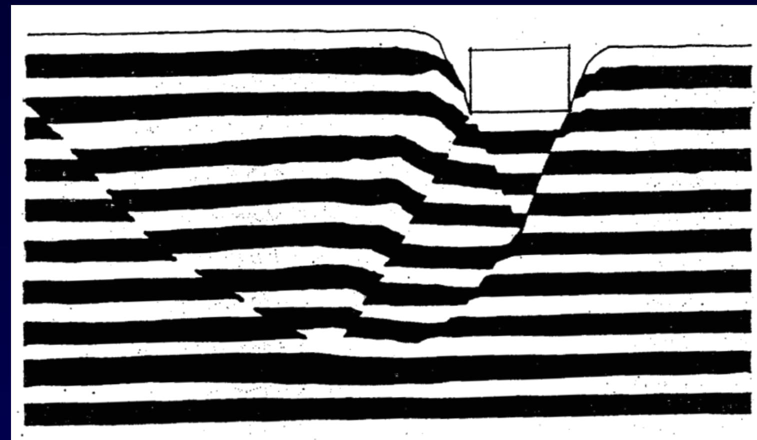
Anno accademico 2005 / 2006

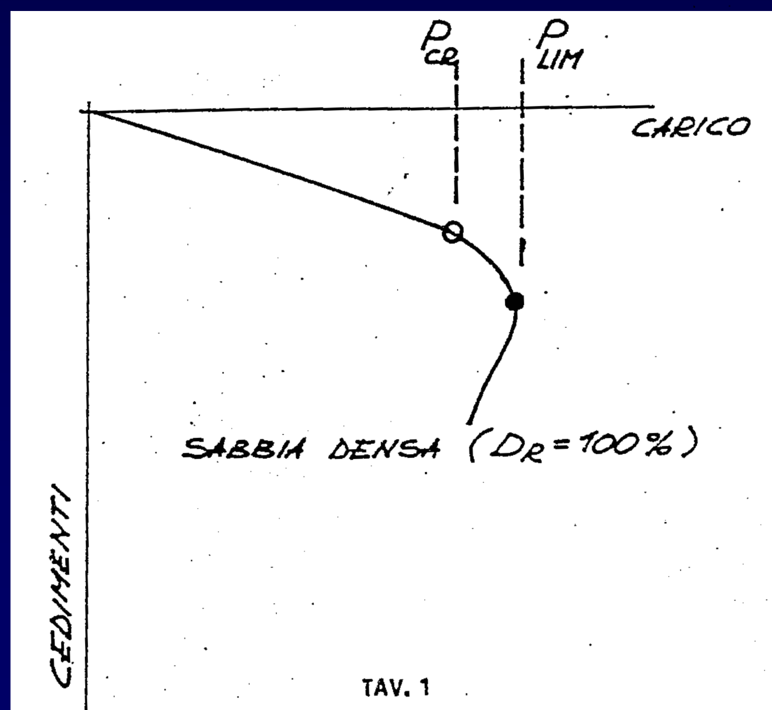
GEOTECNICA

Capacità portante delle fondazioni superficiali

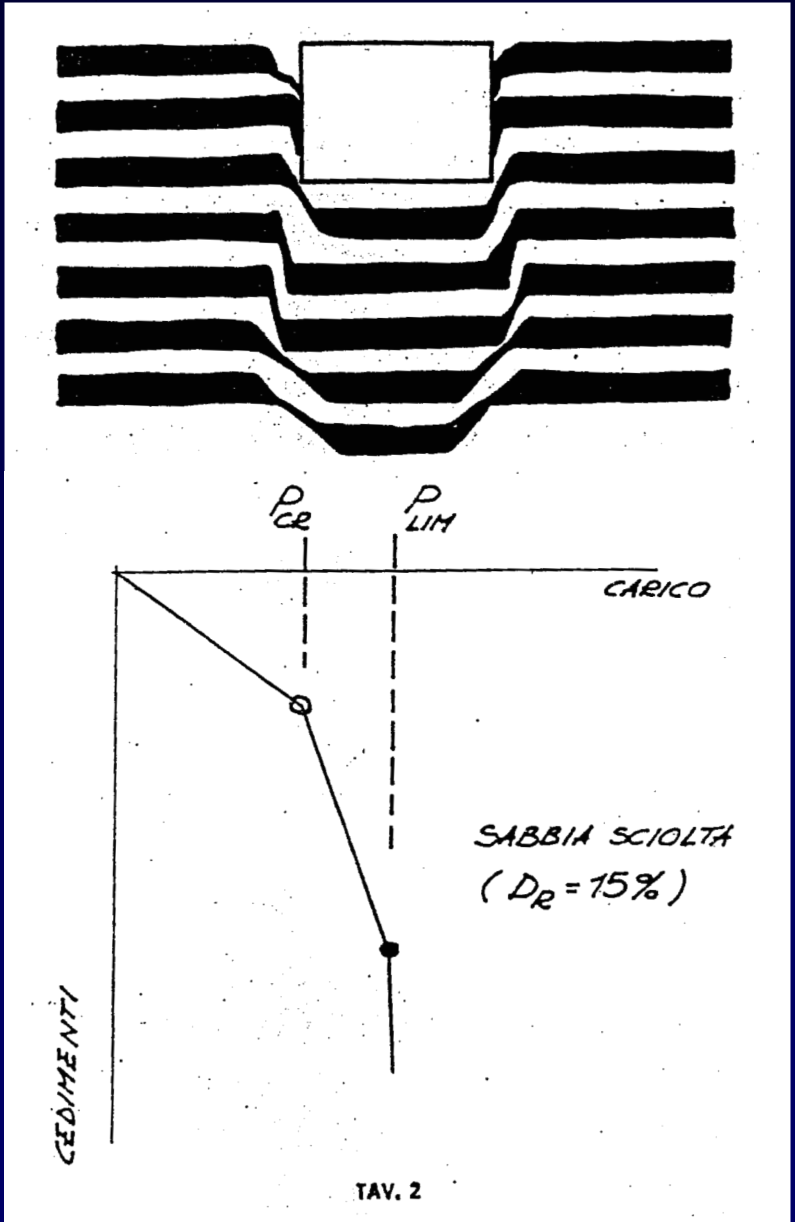
Prof. Lo Presti

ROTTURA DI TIPO "GENERALE"

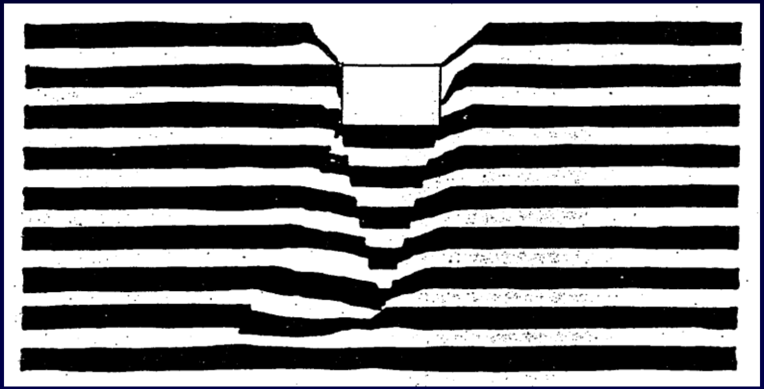


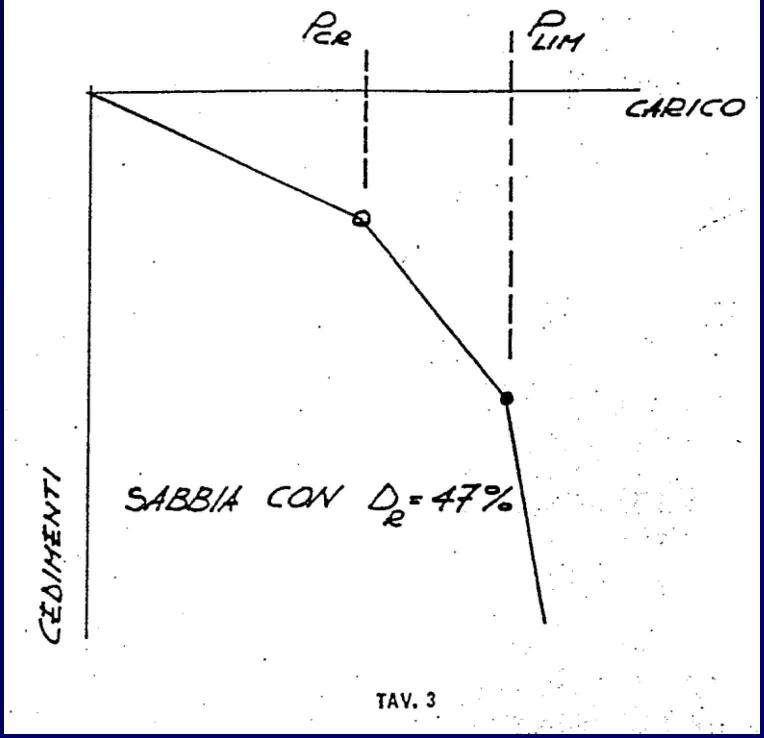


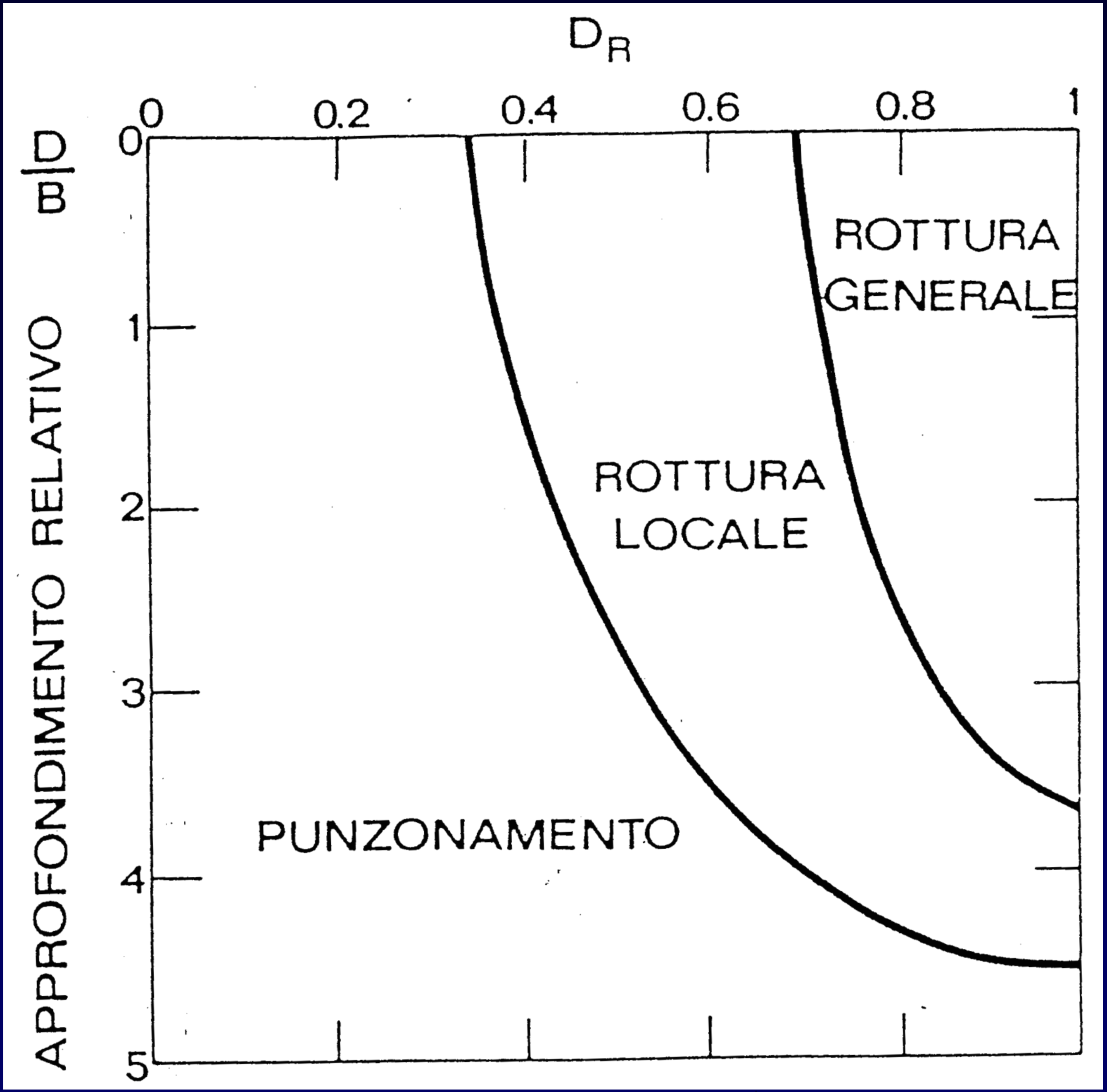
ROTTURA PER "PUNZONAMENTO"



ROTTURA DI TIPO "LOCALE"







D_R
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
1
2
3
4
5
$\frac{D}{B}$
APPROFONDIMENTO RELATIVO
ROTTURA GENERALE
ROTTURA LOCALE
PUNZONAMENTO

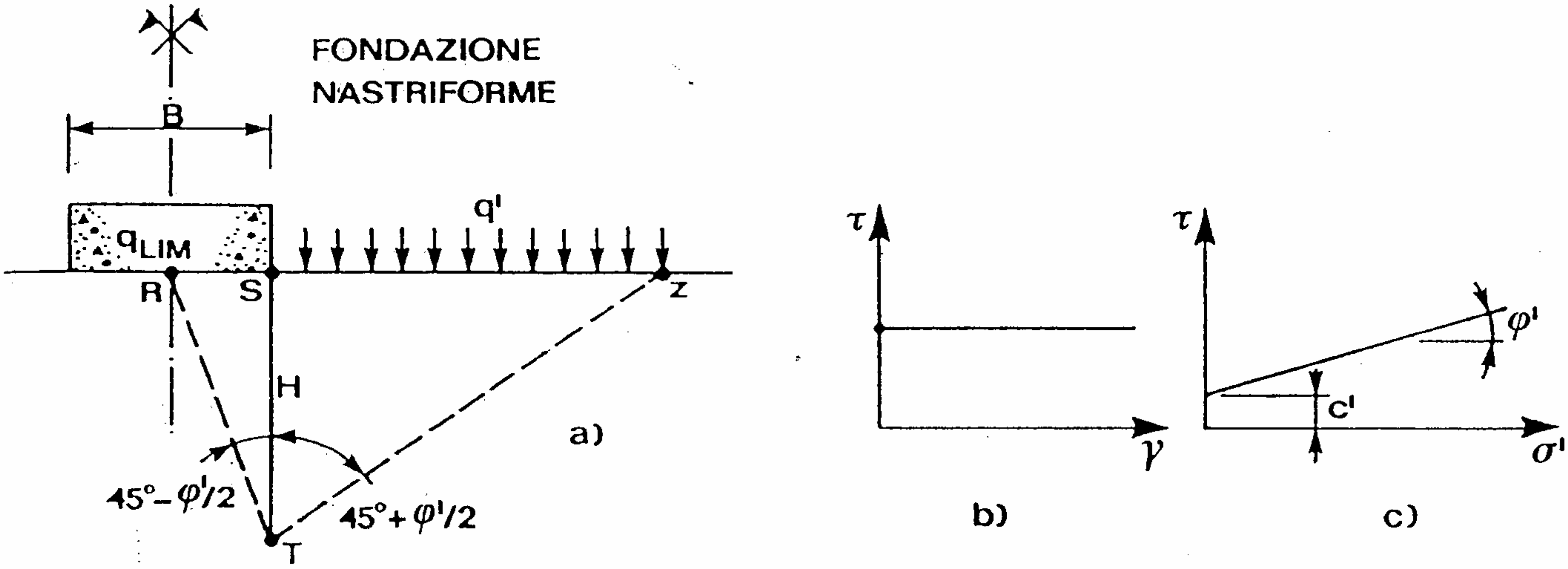
ANALISI LIMITE: (TEOREMA STATICO O DEL LIMITE INFERIORE)

Se esiste un sistema di carichi esterni in equilibrio con una distribuzione di sforzi interni che non viola in nessun punto il criterio di rottura, IL COLLASSO NON SI VERIFICA ED IL SISTEMA DI CARICHI ESTERNI RISULTA NON MAGGIORE DEL VERO CARICO DI COLLASSO

CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI DRENATE

IL VALORE DI q_{lim} SI RICAVA DALL'EQUILIBRIO

$$P_a (\text{CUNEO RST}) = P_p (\text{CUNEO STZ})$$



CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI DRENATE

$$P_a(RST) = \frac{1}{2}\gamma' H^2 K_a + H \cdot q_{lim} K_a - 2c' H\sqrt{K_a}$$

$$P_p(STZ) = \frac{1}{2}\gamma' H^2 K_p + H \cdot q' K_p + 2c' H\sqrt{K_p}$$

$$q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma' H\left(\frac{K_p}{K_a} - 1\right) + 2c'\frac{\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}}{K_a} + q'\frac{K_p}{K_a}; \text{ Poichè: } H = \frac{B}{2}\frac{1}{\sqrt{K_a}}$$

$$q_{lim} = 0.5\gamma' B N_\gamma + c' N_c + q' N_q$$

$$N_\gamma = f_1(K_a, K_p) = F_1(\varphi')$$

$$N_c = f_2(K_a, K_p) = F_2(\varphi')$$

$$N_q = f_3(K_a, K_p) = F_3(\varphi')$$

FATTORI ADIMENSIONALI

DISCONTINUITA’ STATICHE

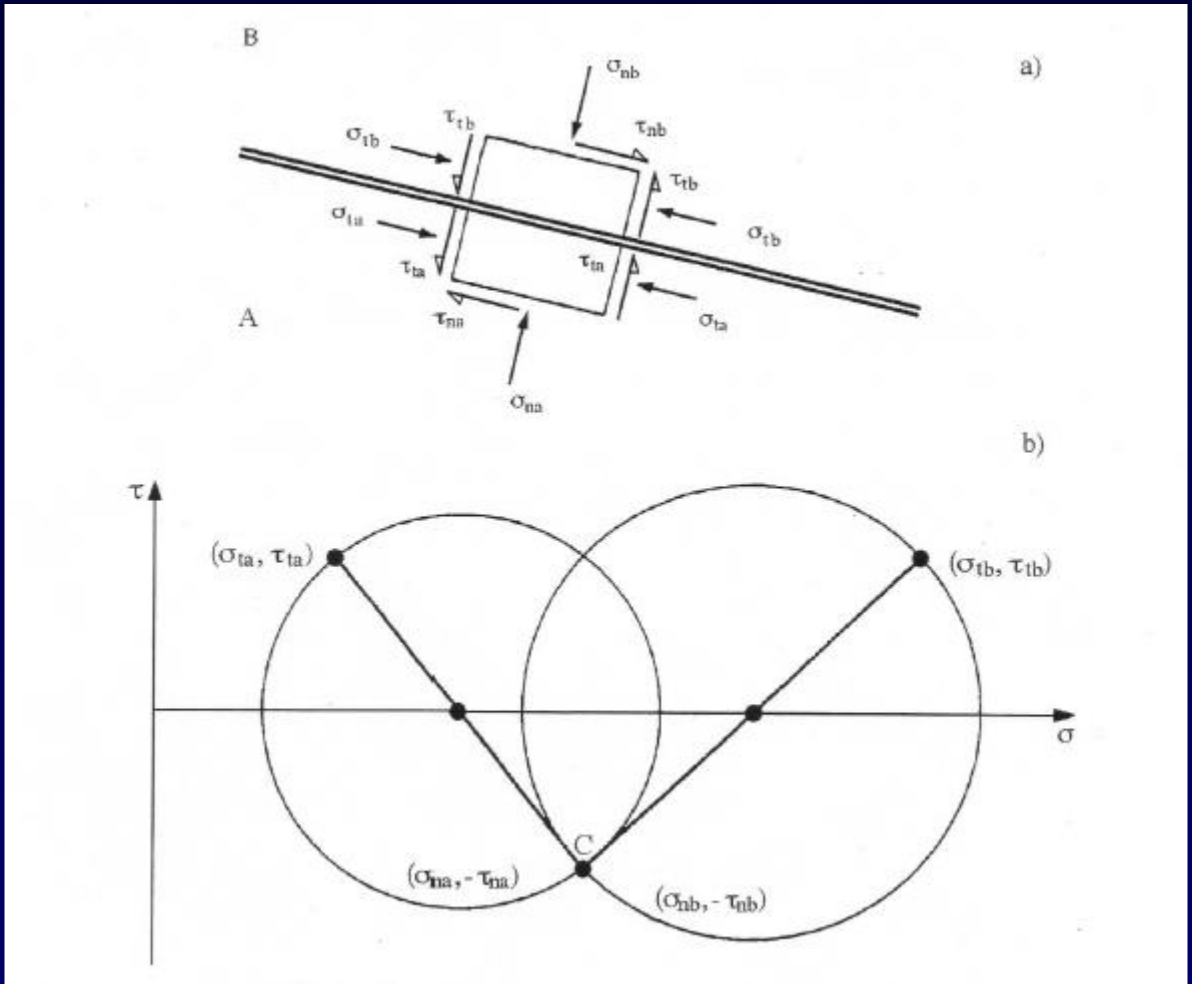


Fig. 2.12. Stato di sforzo su di una discontinuità tensionale

DISCONTINUITA' STATICHE

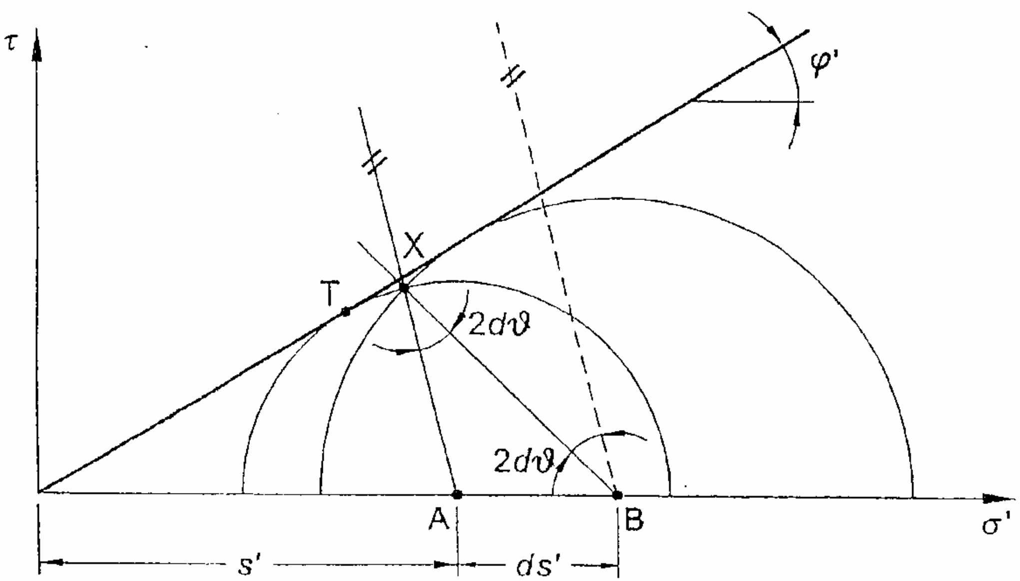
IPOTESI:

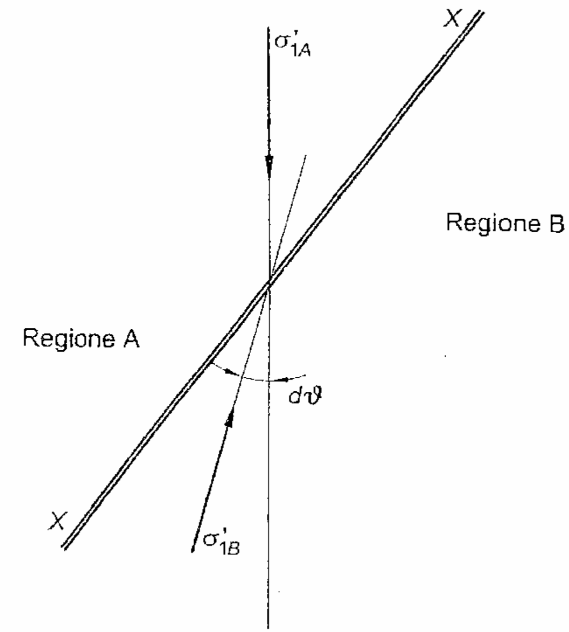
Se $ds \rightarrow 0$: $2d\vartheta \cong \mathrm{sen}(2d\vartheta)$; $X \rightarrow T$; $BX \cong AX \cong s' \cdot \mathrm{sen}(\varphi')$

Applicazione teorema dei seni (ABX):

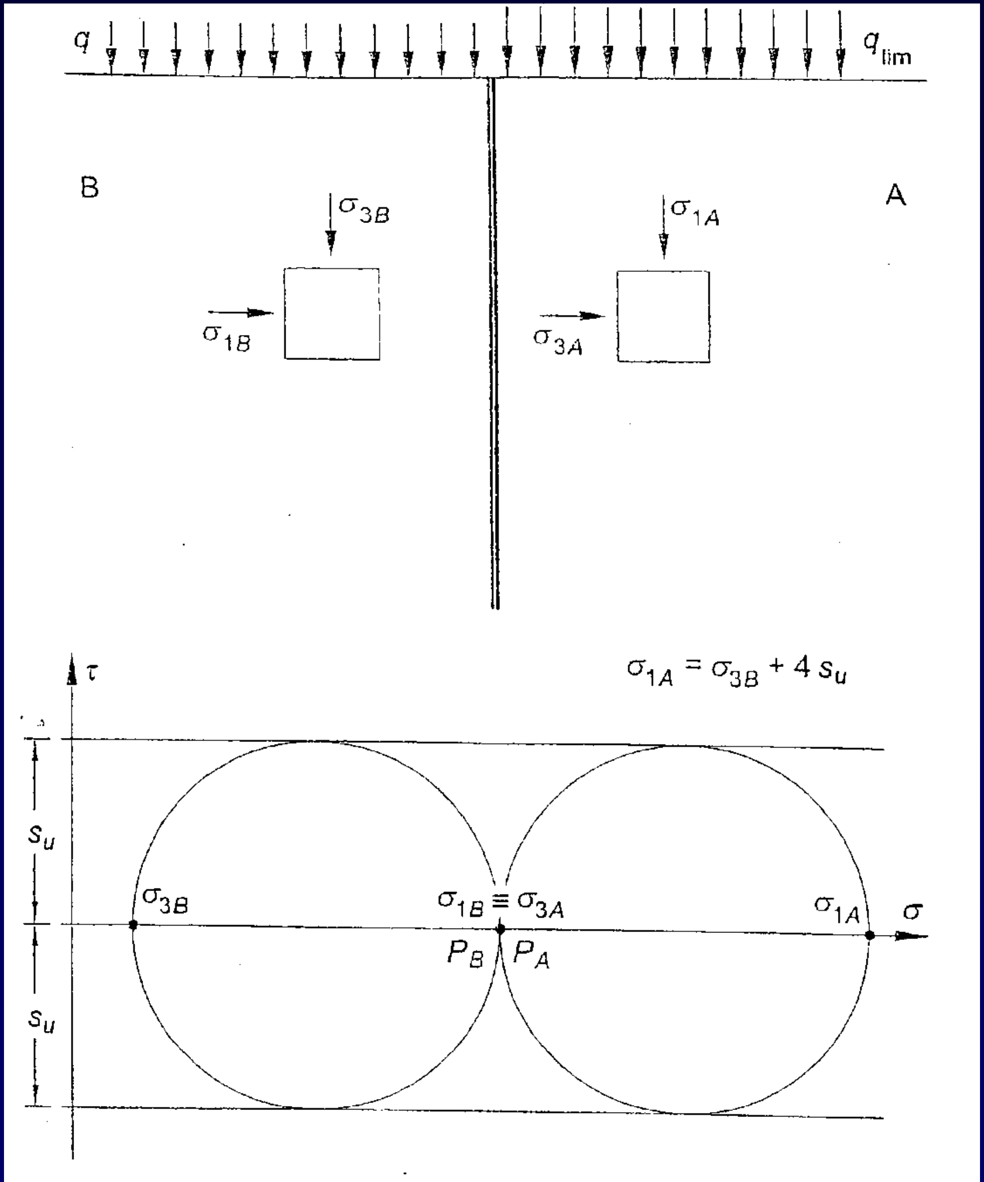
$$\frac{\overline{BX}}{\mathrm{sen}(90+\varphi')} = \frac{ds'}{\mathrm{sen}(2d\vartheta)}; \quad \frac{s'\,\mathrm{sen}(\varphi')}{\cos(\varphi')} = \frac{ds'}{2d\vartheta}; \quad 2d\vartheta \cdot \tan(\varphi') = \frac{ds'}{s'}$$

Integrando: $e^{2\vartheta \cdot \tan(\varphi')} = \dfrac{s'_1}{s'_2}$





ANALISI LIMITE (STATICO – U)

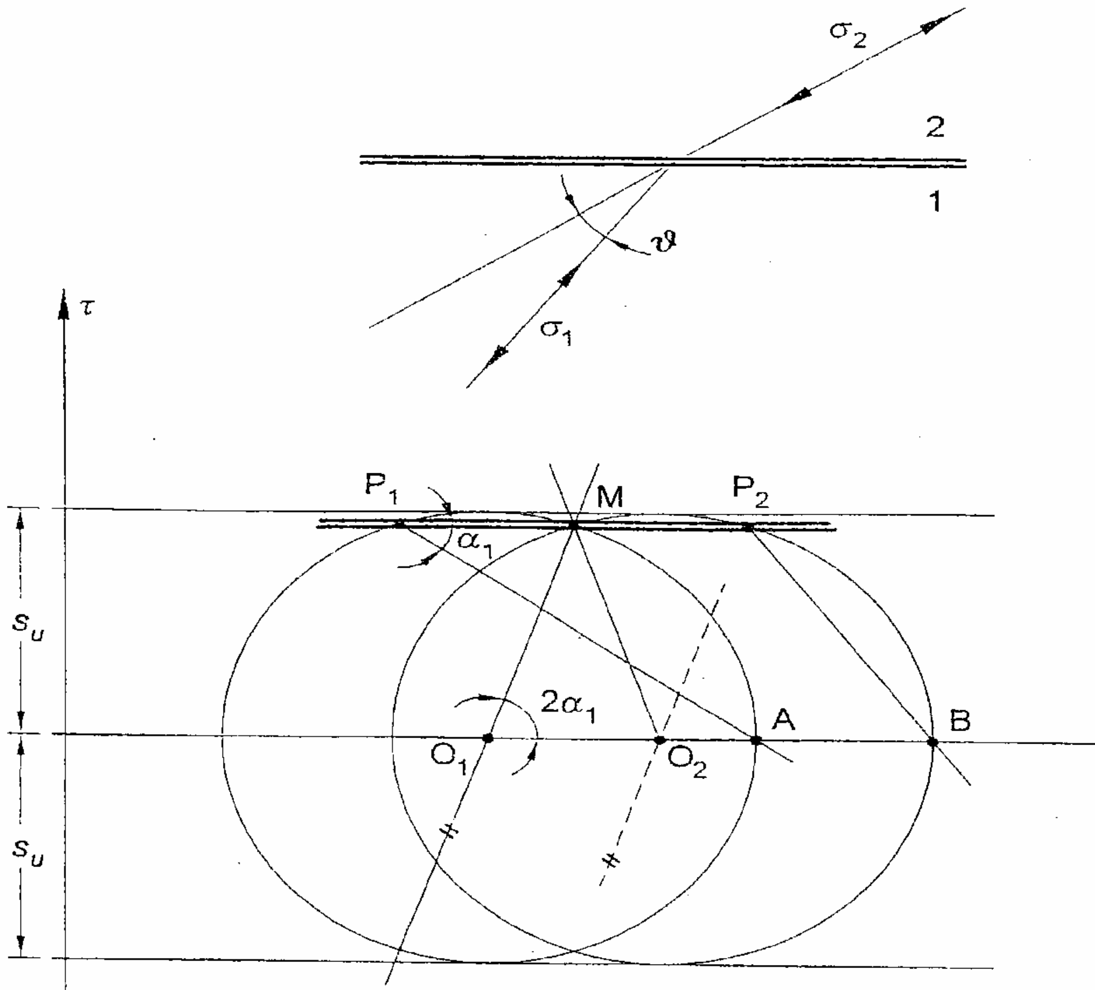


$$q_{lim} = q + 4 \cdot S_u$$

CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI NON DRENATE (2)

$$q_{lim} = q + 2 \cdot S_u + \Delta s; \quad \Delta s = 2 \cdot S_u \cdot sen\vartheta; \quad \Delta s = 2 \cdot S_u \cdot \pi / 2$$

$$q_{lim} = q + N_c \cdot S_u; \qquad N_c = 2 + \pi$$



$M\widehat{O_1}A = 2\alpha_1$

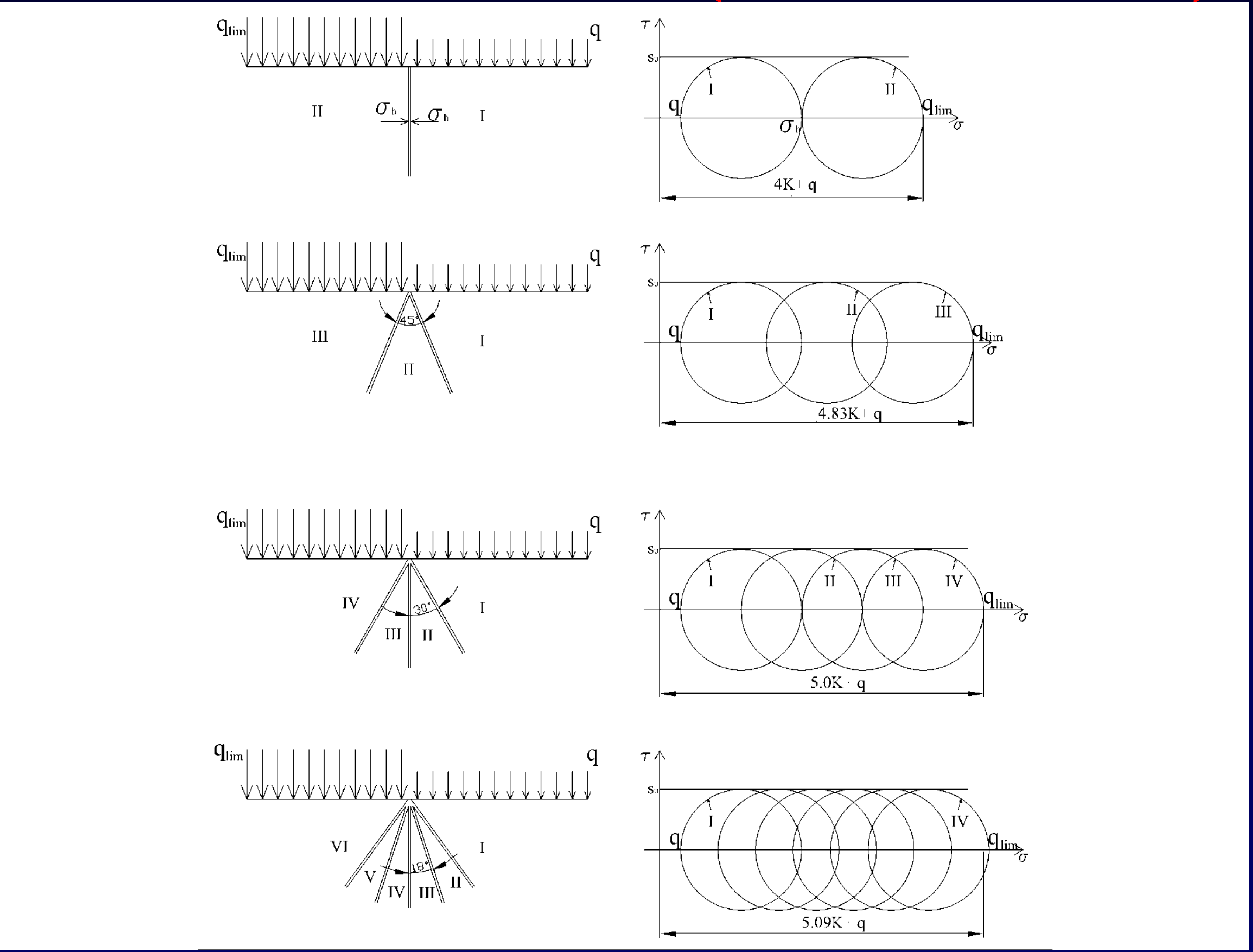
$M\widehat{O_2}B = 2\alpha_2$

$2\vartheta = 2\alpha_2 - 2\alpha_1$

$O_1\widehat{M}O_2 = 2\vartheta$

$\overline{O_1O_2} = 2r\, sen\vartheta \qquad \Delta s = 2 s_u\, sen\vartheta$

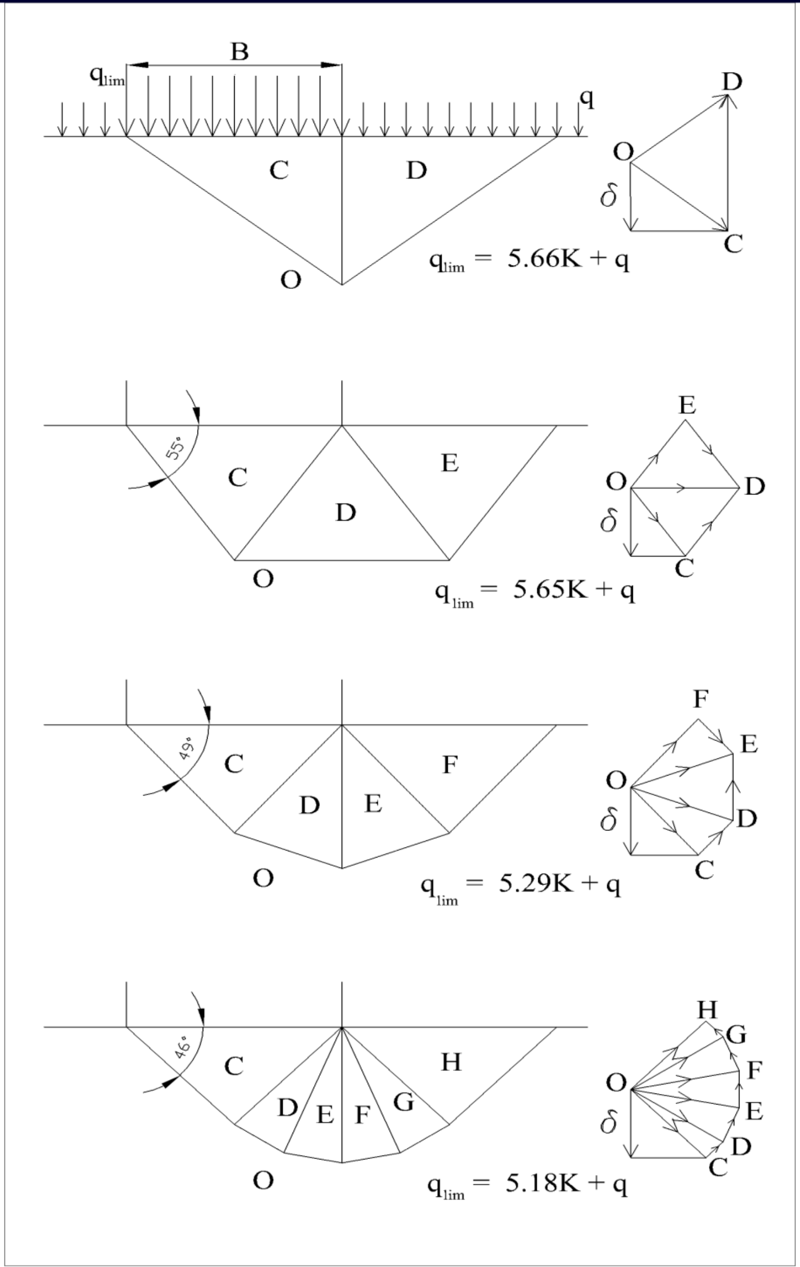
ANALISI LIMITE (STATICO – U)



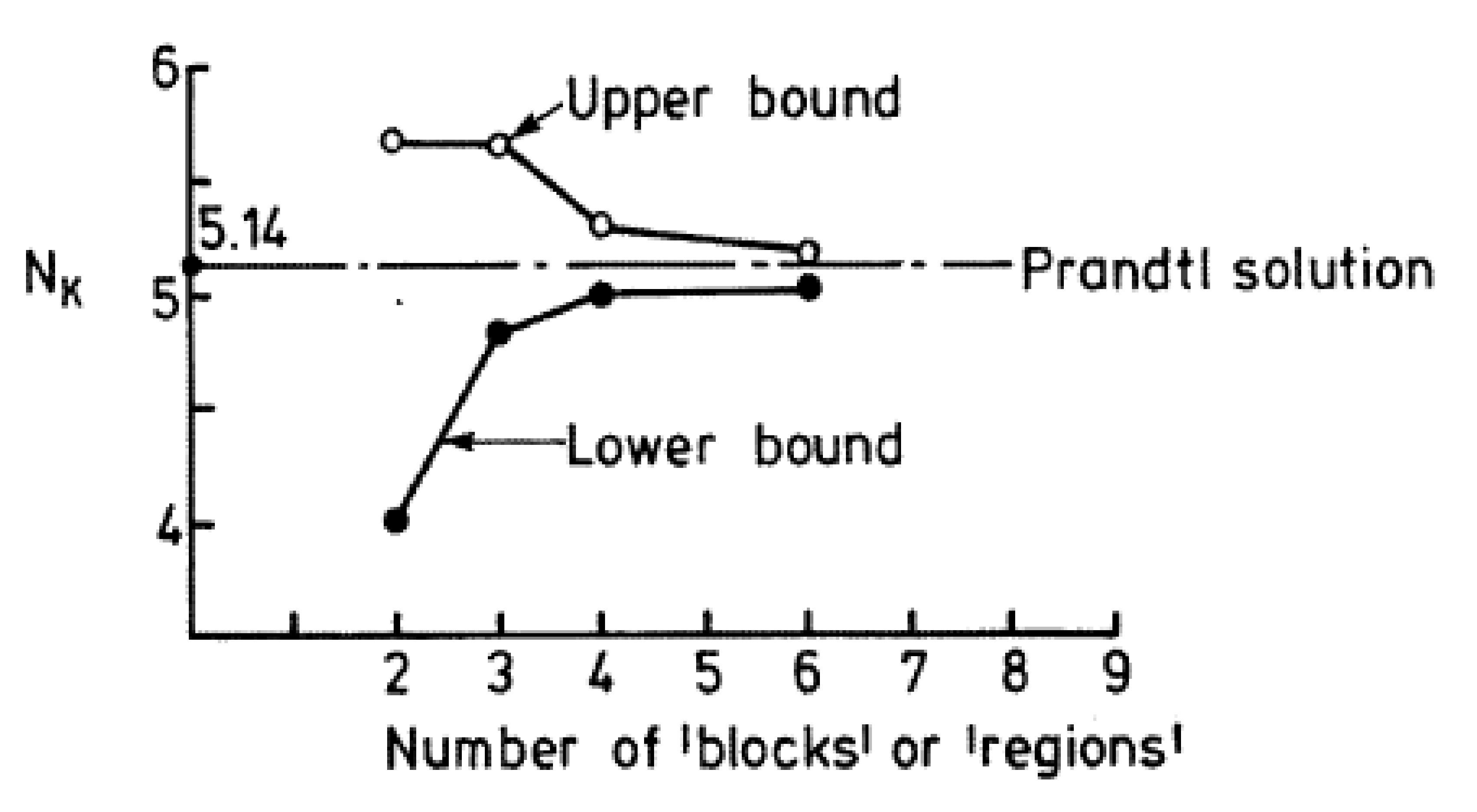
ANALISI LIMITE: (TEOREMA CINEMATICO O DEL LIMITE SUPERIORE)

Se esistono un sistema di carichi esterni e un meccanismo di collasso plastico tali che il lavoro dei carichi esterni per un incremento di spostamento sia uguale al lavoro degli sforzi interni, IL COLLASSO SI VERIFICA ED IL SISTEMA DI CARICHI RISULTA NON MINORE DEL VERO CARICO DI COLLASSO

ANALISI LIMITE: (CINEMATICO - U)



CINEMATICO - STATICO



FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_q

IPOTESI:

$\gamma' = 0; \qquad c' = 0$

Ricordando che: $\frac{s'_1}{s'_2} = e^{2\vartheta \cdot \tan(\varphi')}$

Osservando che: $q = s'_2 (1 - \text{sen}\varphi'); \qquad q_{lim} = s'_1 (1 + \text{sen}\varphi'); \quad \vartheta = \pi / 2$

$q_{lim} = q' \cdot N_q; \qquad N_q = \frac{1 + \text{sen}\varphi'}{1 - \text{sen}\varphi'} e^{\pi \tan\varphi'}$

FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_c

IPOTESI: $\gamma' = 0$

Teoremi degli stati corrispondenti (Caquot 1934);

$$q_{lim} + c'/\tan\varphi' = N_q (q' + c'/\tan\varphi')$$

$$q_{lim} = q' N_q + c' N_c; \qquad N_c = (N_q - 1)/\tan\varphi'$$

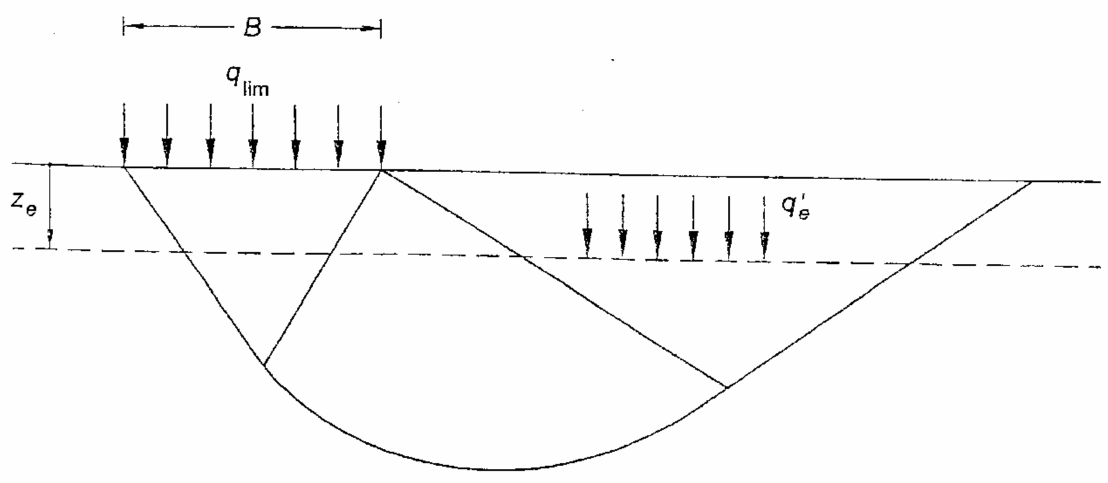
FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_γ

IPOTESI:

$q' = 0; \qquad c' = 0$

(AZIZI 2000): $z_e = B \tan\varphi'; \qquad q'_e = \gamma' B \tan\varphi'$

$q_{lim} + q'_e = N_q q'_e; \qquad q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma' B N_\gamma; \qquad N_\gamma = 2(N_q - 1)\cdot\tan\varphi'$



$q'_e = \gamma' z_e$

$z_e = B/2$ (Bolton, 1979)

$z_e = B \cdot \mathrm{tg}\,\varphi'$ (Azizi, 2000)

SOLUZIONE APPROSSIMATA DI TERZAGHI (1943)

IPOTESI:

- Fondazione nastriforme
- Attrito fondazione terreno
- carico baricentrico e verticale
- piani di posa e campagna orizzontali
- tratto BC = spirale logaritmica ($R = R_o e^{\theta \tan\varphi'}$). Polo in A se $\gamma' = 0$.

Se $\gamma' \neq 0$, ricerca per tentativi.

Equilibrio limite globale, sovrapposizione effetti: $c', \gamma', q', \varphi'$

FORMULA GENERALE DI BRINCH-HANSEN (1970)

$$q_{lim} = 0.5\gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma +$$

$$+ q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q +$$

$$+ c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c$$

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right)\exp(\pi \tan\varphi')$$

$$N_\gamma = 2\left(N_q + 1\right)\tan\varphi'$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right)\cot\varphi'$$

FORMULA GENERALE DELLA CAPACITA' PORTANTE

N_γ, N_q, N_c = fattori di capacità portante = $f(\varphi')$

s_γ, s_q, s_c = fattori di forma = $f(\varphi', L/B)$

d_γ, d_q, d_c = fattori di profondità = $f(\varphi', z_{min}/B)$

i_γ, i_q, i_c = fattori di inclinazione della risultante di carico = $f(\varphi', H/N)$

b_γ, b_q, b_c = fattori di inclinazione della base della fondazione = $f(\varphi', \alpha)$

g_γ, g_q, g_c = fattori di inclinazione della superficie del terreno = $f(\varphi', \omega)$

CONCETTO DELL'AREA EFFICACE

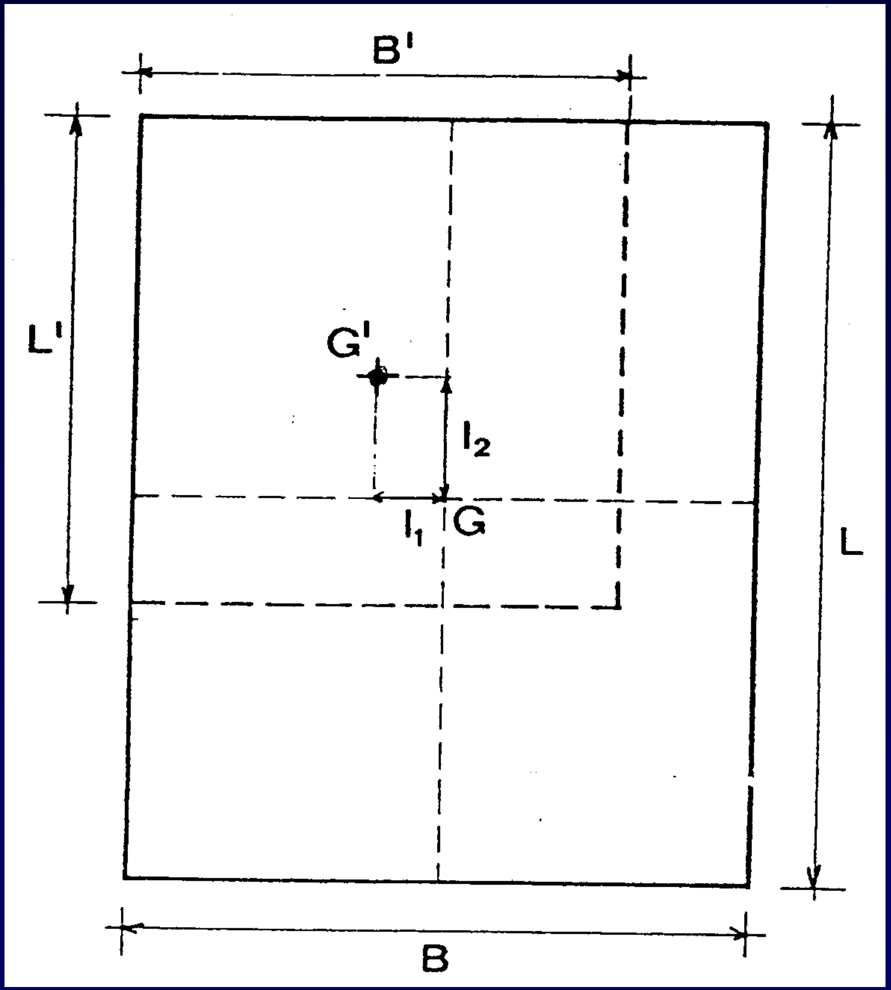
B' L' = area efficace

B L = area della fondazione

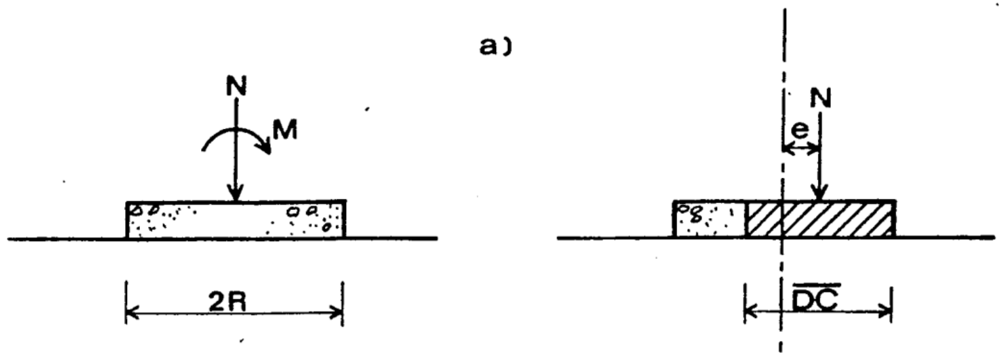
$B' = B - 2\, l_1$

$L' = L - 2\, l_2$

Meyerhof, 1953



FONDAZIONE EFFETTIVA EQUIVALENTE



$$e = \frac{M}{N}$$

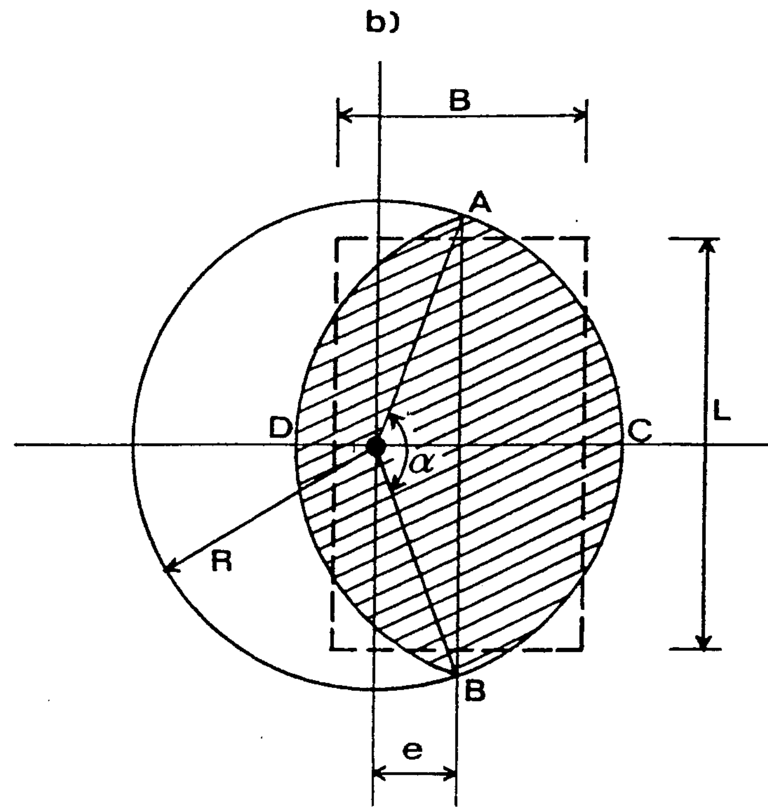
$$\overline{DC} = 2R - 2e$$

$$\overline{AB} = 2\sqrt{R^2 - e^2}$$

$$\frac{B}{L} = \frac{DC}{AB}$$

$$AREA\,(B \cdot L) = 2 \cdot \left[R^2 \cdot \cos^{-1}\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)(2R \cdot h - h^2)^{0.5} \right]$$

$$h = R - e$$



FATTORE DI FORMA

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1+\sin\varphi'}{1-\sin\varphi'}$$

$$s_q = s_\gamma$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1+\sin\varphi'}{1-\sin\varphi'}$$

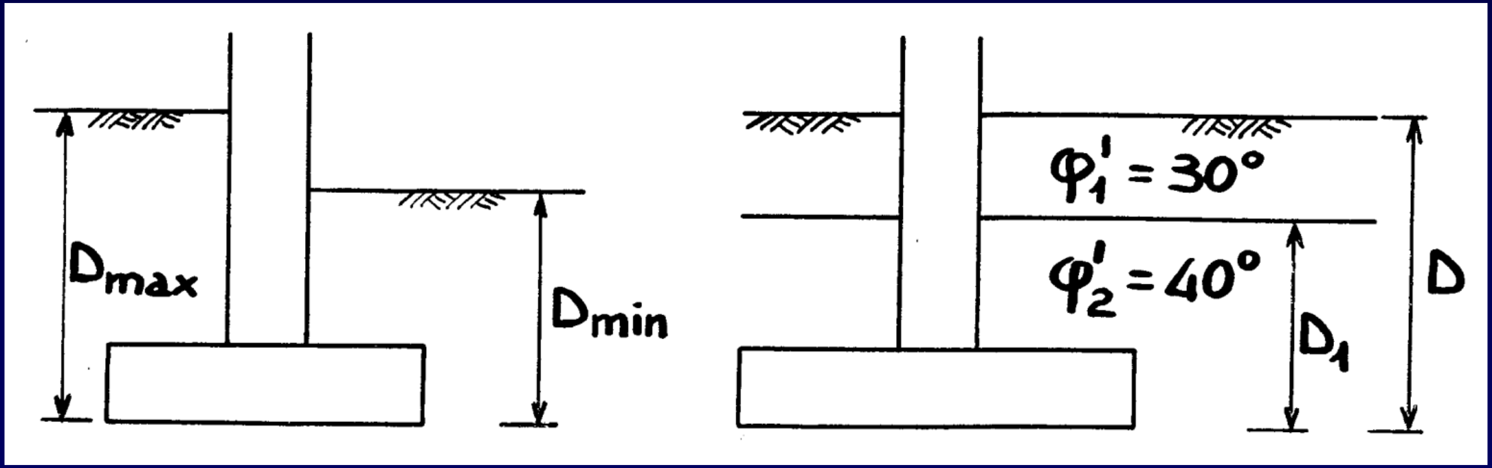
FATTORE DI PROFONDITA'

$$B \geq D: \quad d_q = 1 + 2\frac{D}{B}\tan\varphi'(1-\sin\varphi')^2$$

$$B \geq D: \quad d_q = 1 + 2\tan\varphi'(1-\sin\varphi')^2\tan^{-1}\left(\frac{D}{B}\right)$$

$$d_c = d_q - \frac{1-d_q}{N_c\tan\varphi'}$$

$$d\gamma = 1$$



UTILIZZARE: D_{min} per calcolare q' e d_q

D per calcolare q'

D_1 per calcolare d_q

FATTORE DI INCLINAZIONE

H=risultante delle forze orizzontali

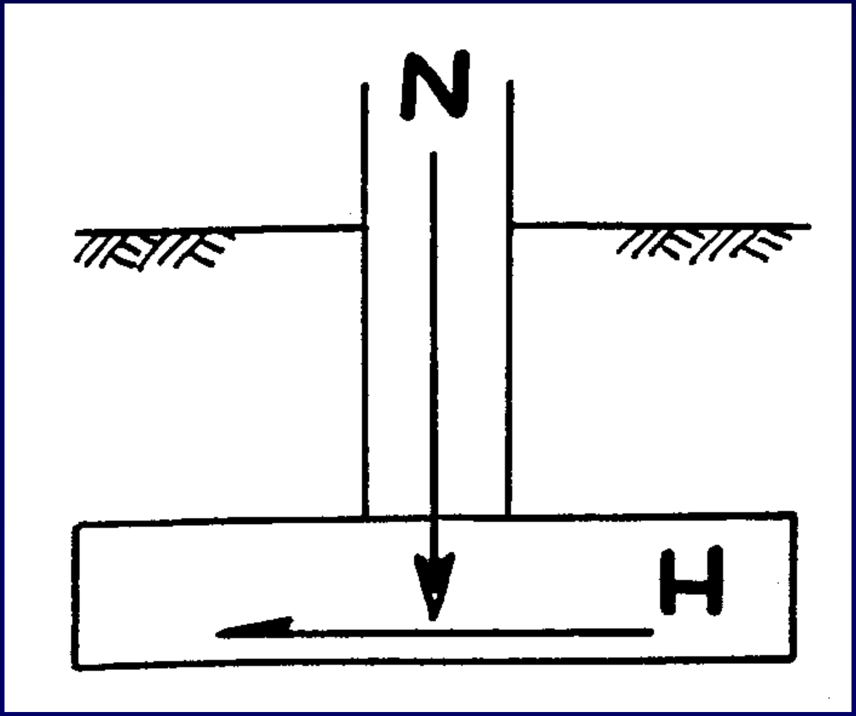
N=risultante delle forze verticali

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{N + BLc'\cot\varphi'}\right]^{(m+1)}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{N + BLc'\cot\varphi}\right]^{m}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan\varphi'}$$

$$m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$



FATTORE DI INCLINAZIONE DELLA BASE DELLA FONDAZIONE

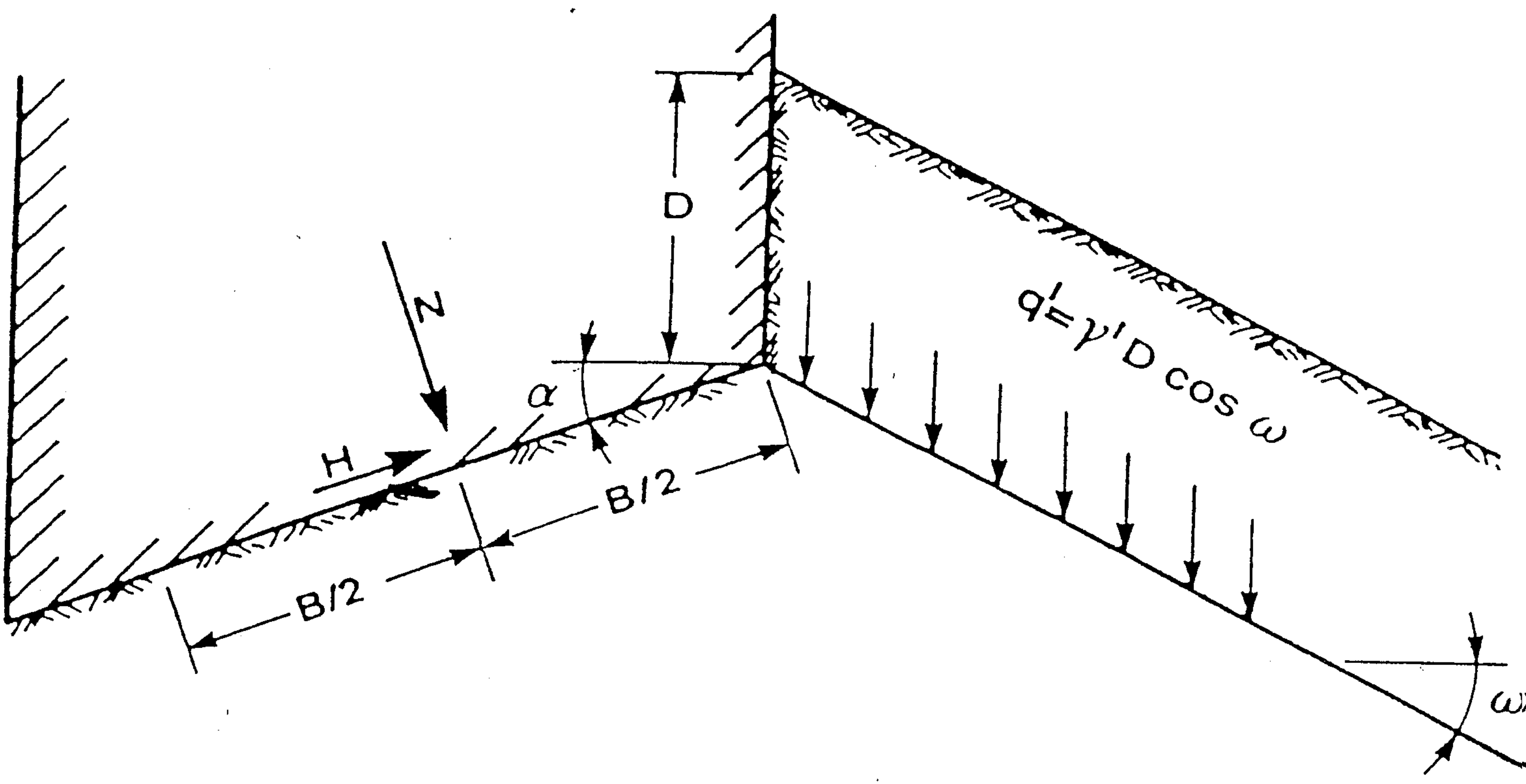
$$b_q = (1 - \alpha \tan \varphi')^2 \cong b_\gamma$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \tan \varphi'}$$

FATTORE DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI CAMPAGNA

$$g_q = \left(1 - \tan \varpi\right)^2 \cong g_\gamma$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \tan \varphi'}$$


D
N
H
α
B/2
B/2
q' = γ'D cos ω
ω

FORMULA DI BRINCH – HANSEN
TERRENI COESIVI SATURI

φu = 0°

$$q_{lim} = c_u^* \cdot N_c^o \cdot s_c^o \cdot d_c^o \cdot i_c^o \cdot b_c^o \cdot g_c^o + \sigma_{vo}$$

$$N_c^o = \pi + 2 = 5.14$$

$$s_c^o = 1 + 0.2\frac{B}{L}$$

$$d_c^o = 1 + 0.4\frac{D}{B} \quad \text{per} \quad B \geq D$$

$$d_c^o = 1 + 0.4\tan^{-1}\frac{D}{B} \quad \text{per} \quad B < D$$

$$i_c^o = 1 - \frac{mH}{BLc_uN_c} \quad ; \quad m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

$$b_c^o = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} \quad ; \quad g_c^o = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2}$$

(*) Valore medio mobilitato lungo la superficie di rottura

PRESSIONE AMMISSIBILE

TERRENI GRANULARI, CONDIZIONI DRENATE:

$$q_{amm} = \frac{q_{\lim}}{F_s} \qquad 2.5 \leq F_s \leq 4$$

TERRENI COESIVI, CONDIZIONI NON DRENATE:

$$q_{amm} = \frac{N_c c_u}{F_s} + \sigma_{v0} \qquad 2.5 \leq F_s \leq 4$$

* Equivale applicare F_s alla c_u

PRESSIONE LIMITE
NEL CASO DI TERRENI GRANULARI:
ASPETTI PECULIARI

- Curvatura di inviluppo di rottura
- Rottura progressiva
- Dipendenza dell’angolo di resistenza al taglio dal livello di deformazione (picco – residuo)

CURVATURA DELL'INVILUPPO DI ROTTURA

1. Si assume una legge che descriva l'inviluppo;
2. Si assumono valori dei parametri che definiscono l'inviluppo considerato;
3. Si calcola un valore di primo tentativo di q_{lim};
4. Si stima il valore medio di σ_{ff}\` lungo la superficie di scorrimento mediante la seguente formula empirica (De Beer 1965):

$$\sigma'_{ff} = \frac{1}{4}\left(q_{\lim} + 3\sigma_{v0}\right)\left(1 - sin\varphi'_s\right)$$

5. Si calcola un nuovo valore di φ_s\`= f (parametri, $\sigma_{ff}$\`)
6. Si calcola un nuovo valore q_{lim} con il valore di φ_s\` ottenuto al punto precedente.

Si ripetono i passi 4 – 6 sino a convergenza.