



**Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Pisa**

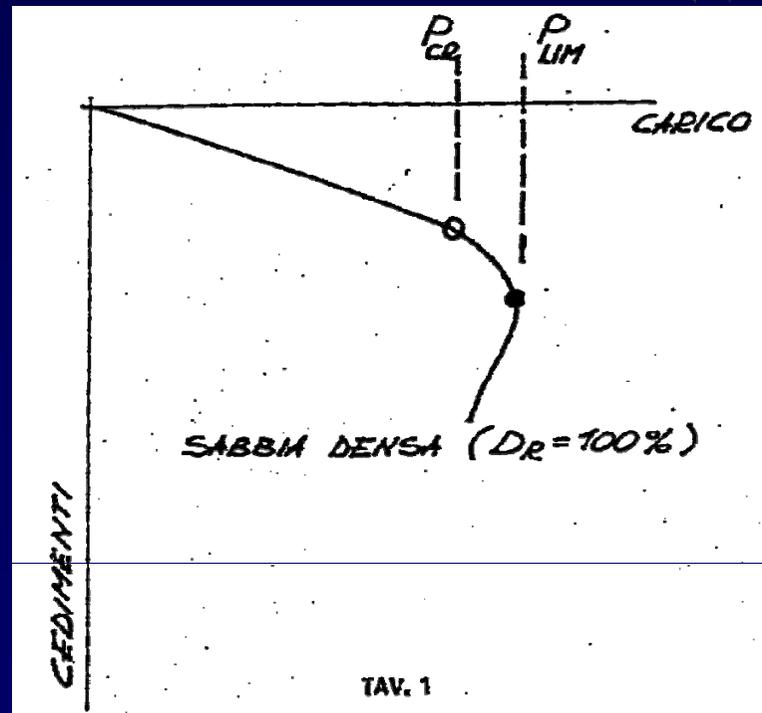
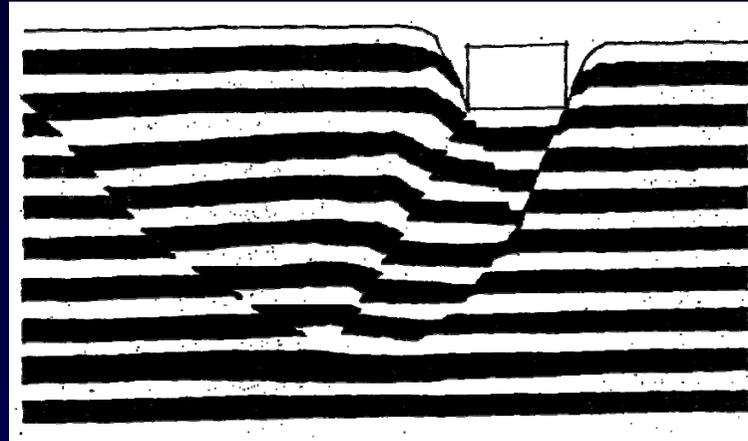
Anno accademico 2005 / 2006

GEOTECNICA

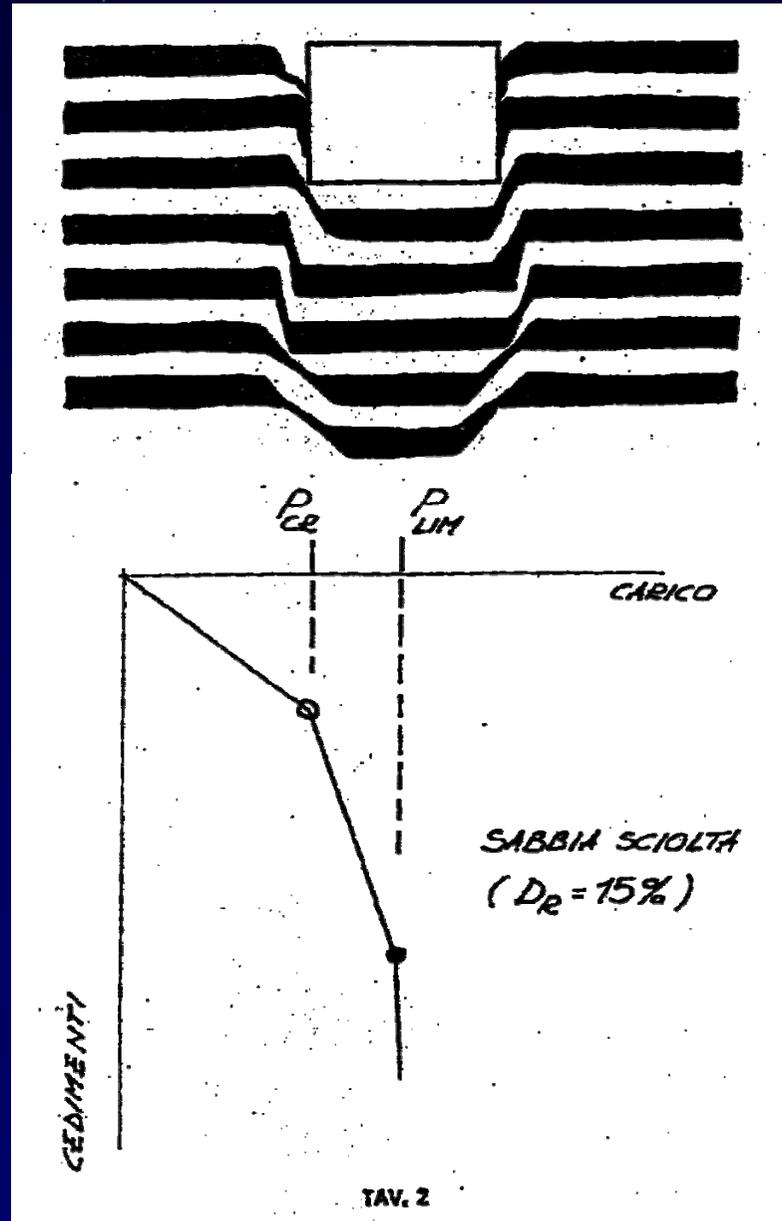
**Capacità portante delle
fondazioni superficiali**

Prof. Lo Presti

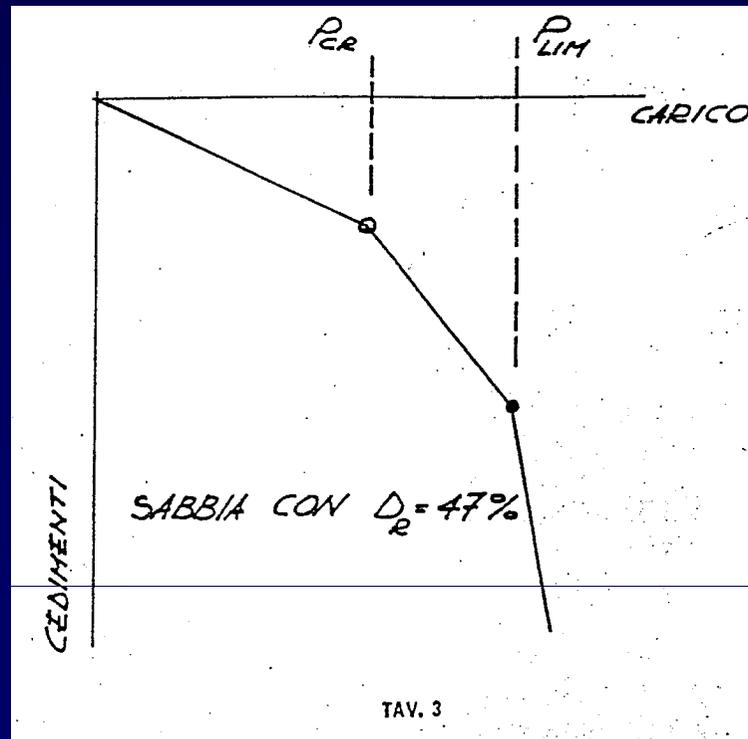
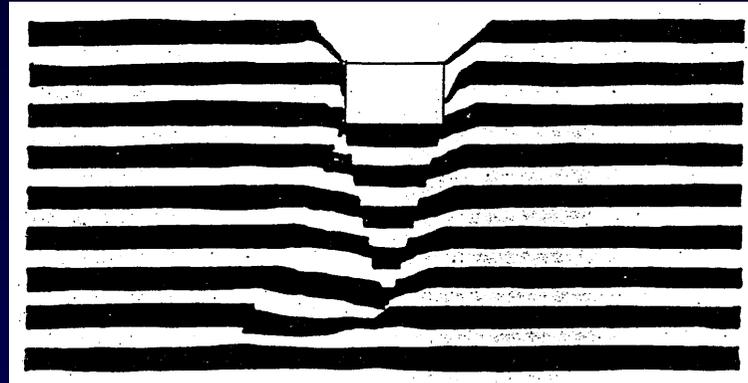
ROTTURA DI TIPO “GENERALE”

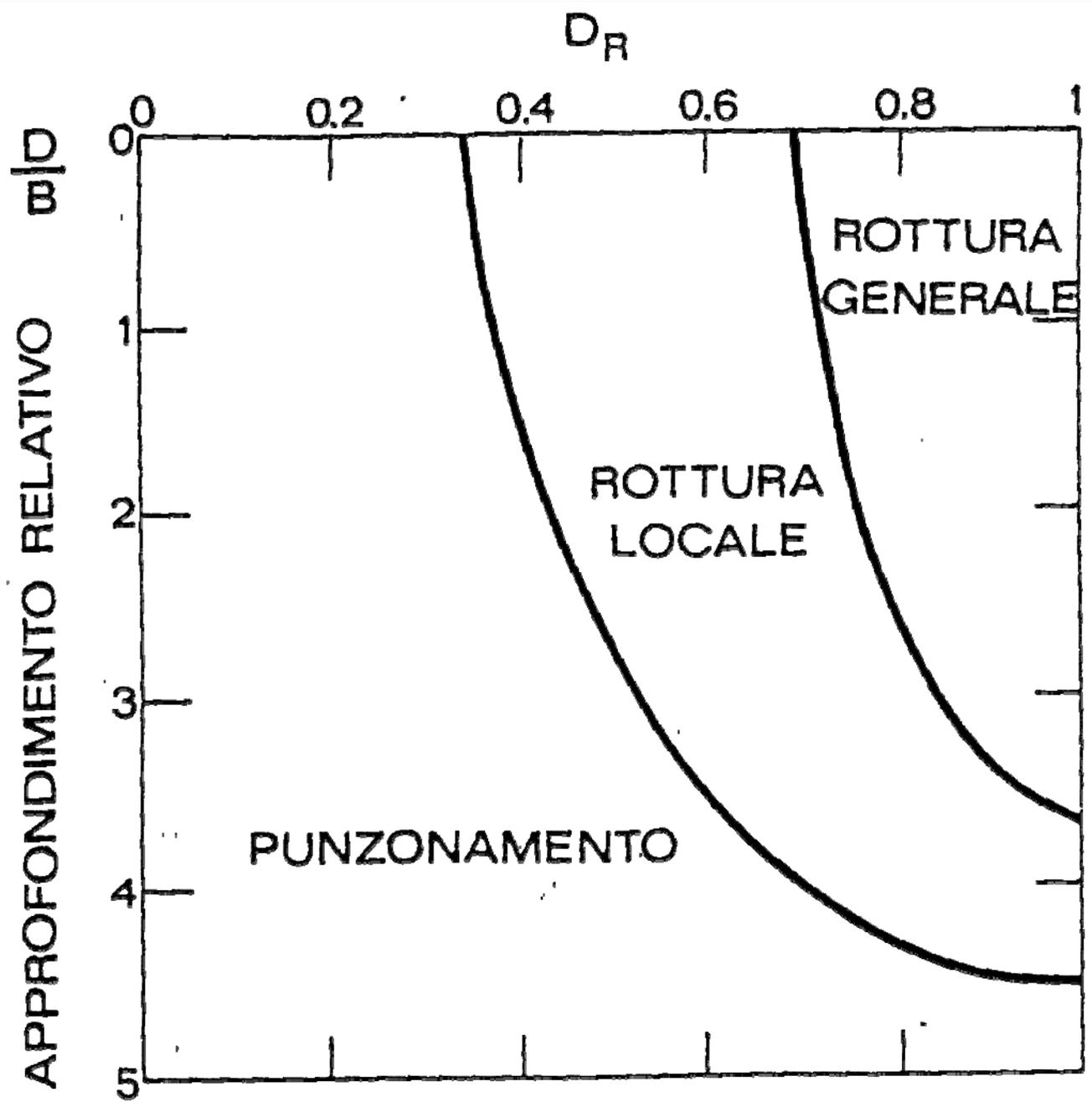


ROTTURA PER “PUNZONAMENTO”

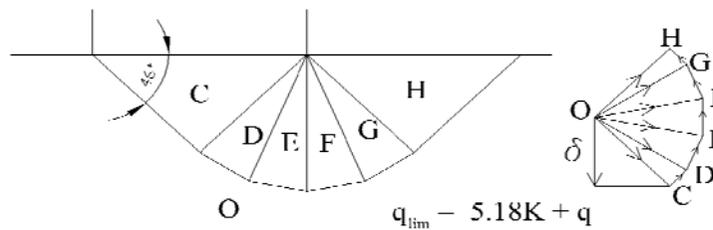
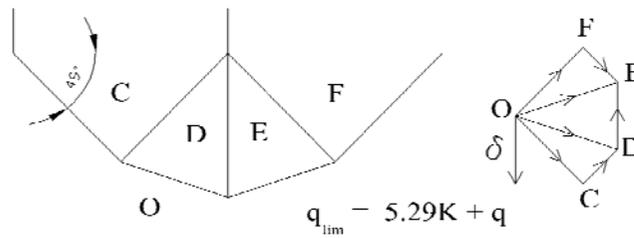
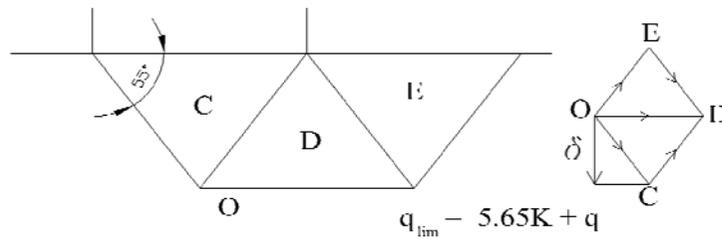
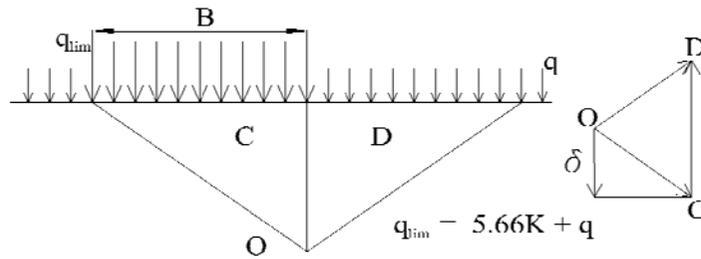


ROTTURA DI TIPO “LOCALE”

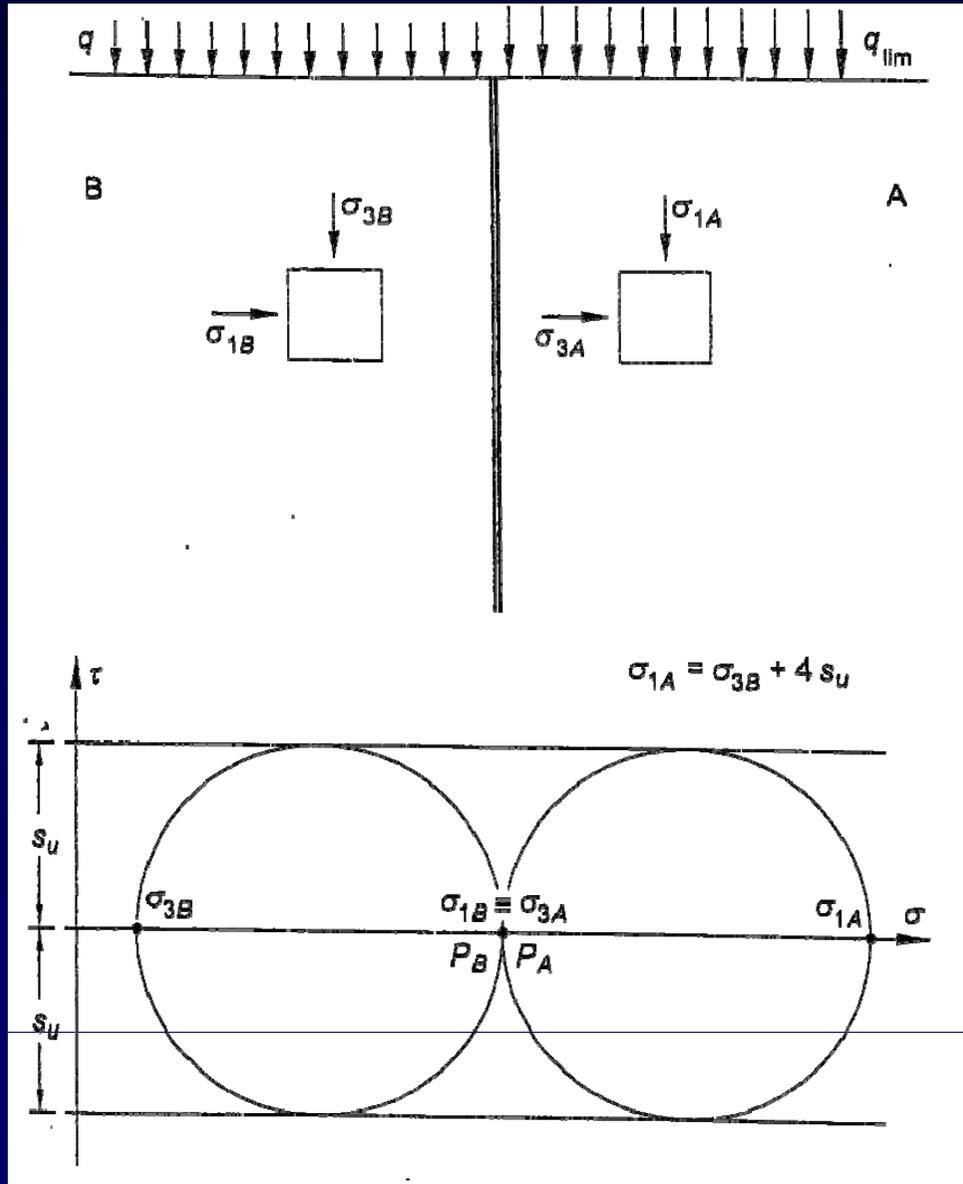




ANALISI LIMITE: (CINEMATICO - U)



ANALISI LIMITE (STATICO – U)



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

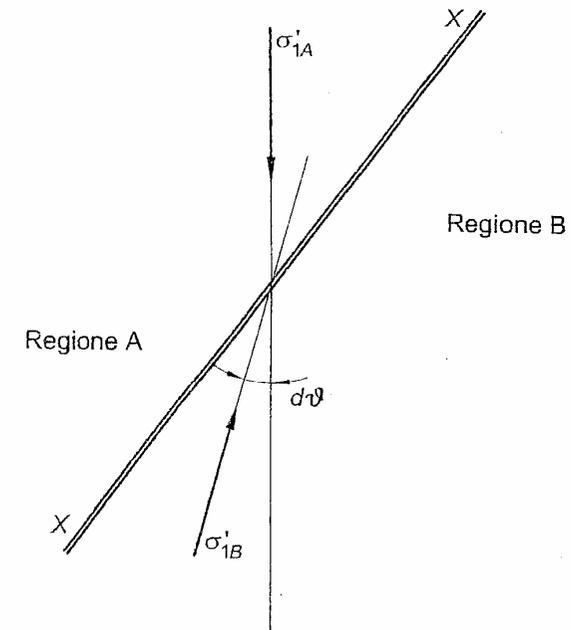
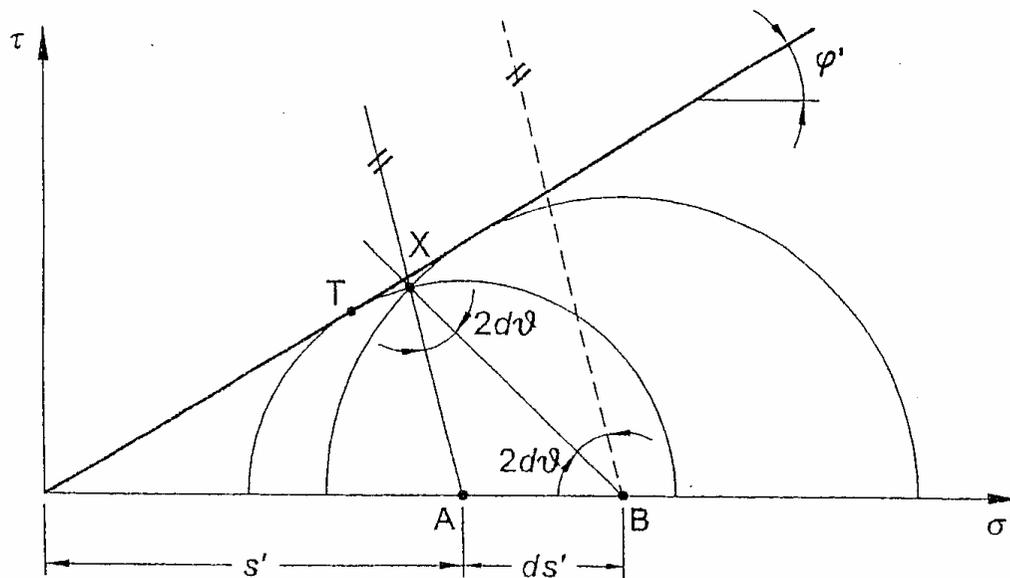
IPOTESI:

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

Applicazione teorema dei seni (ABX):

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

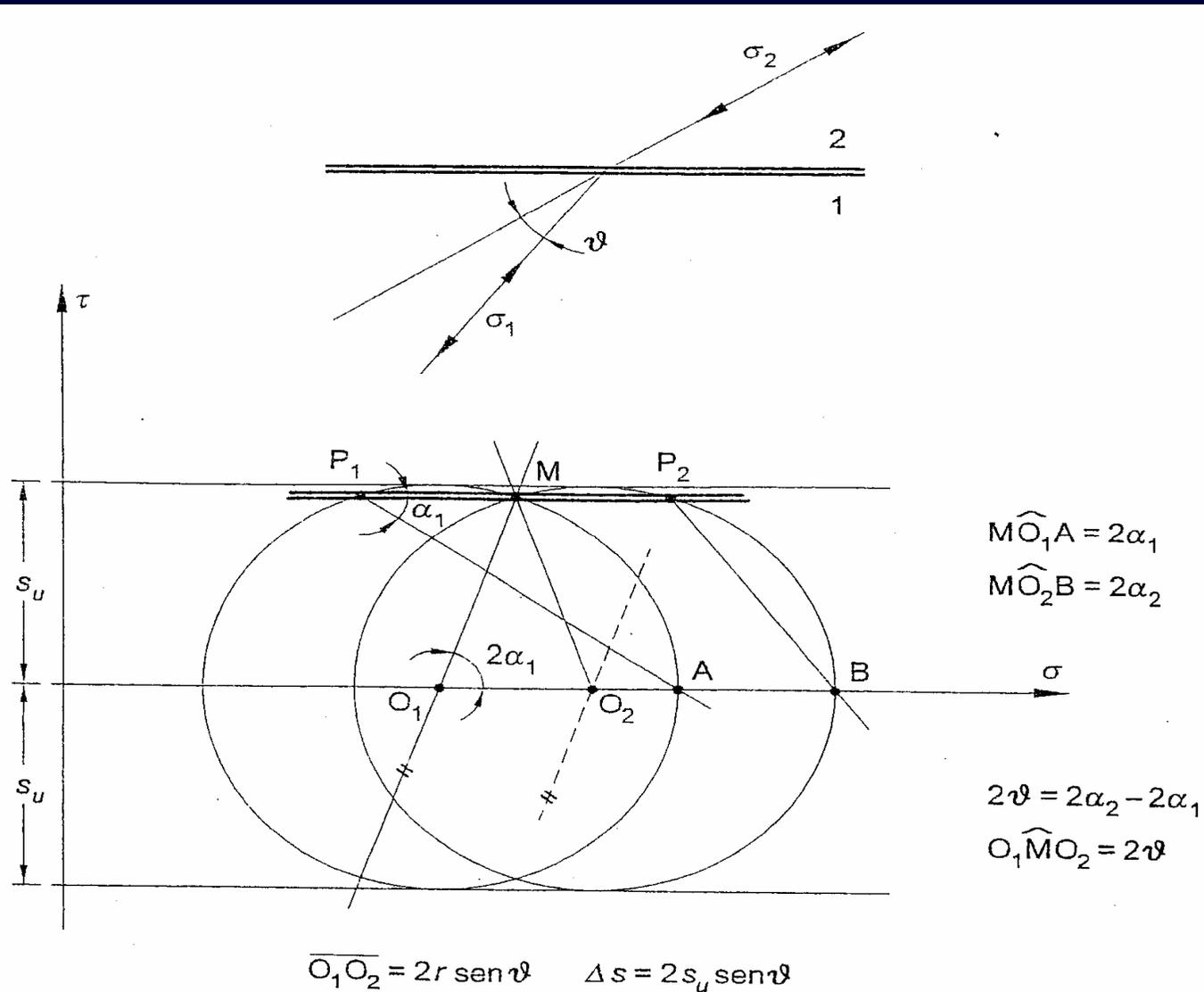
Integrando: $e^{2\vartheta \cdot \tan(\varphi')} = \frac{s'_1}{s'_2}$



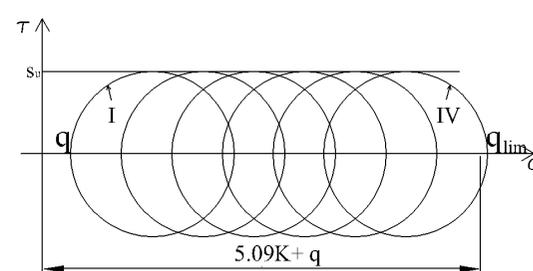
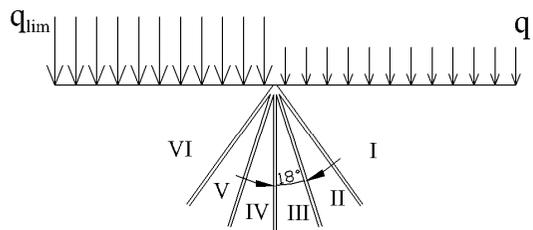
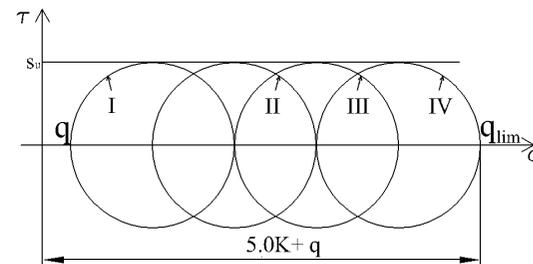
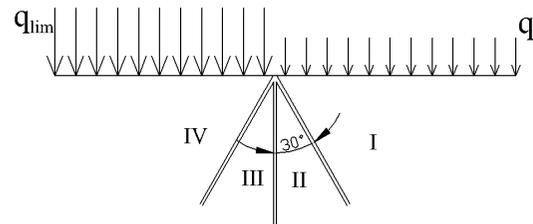
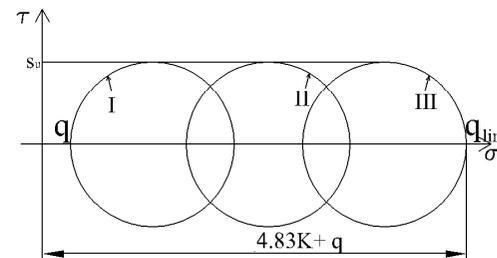
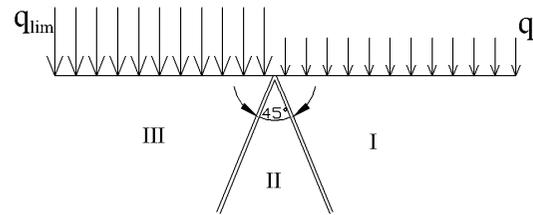
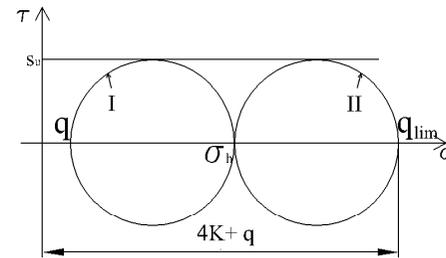
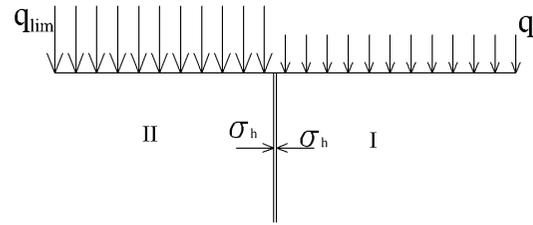
CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI NON DRENATE (2)

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

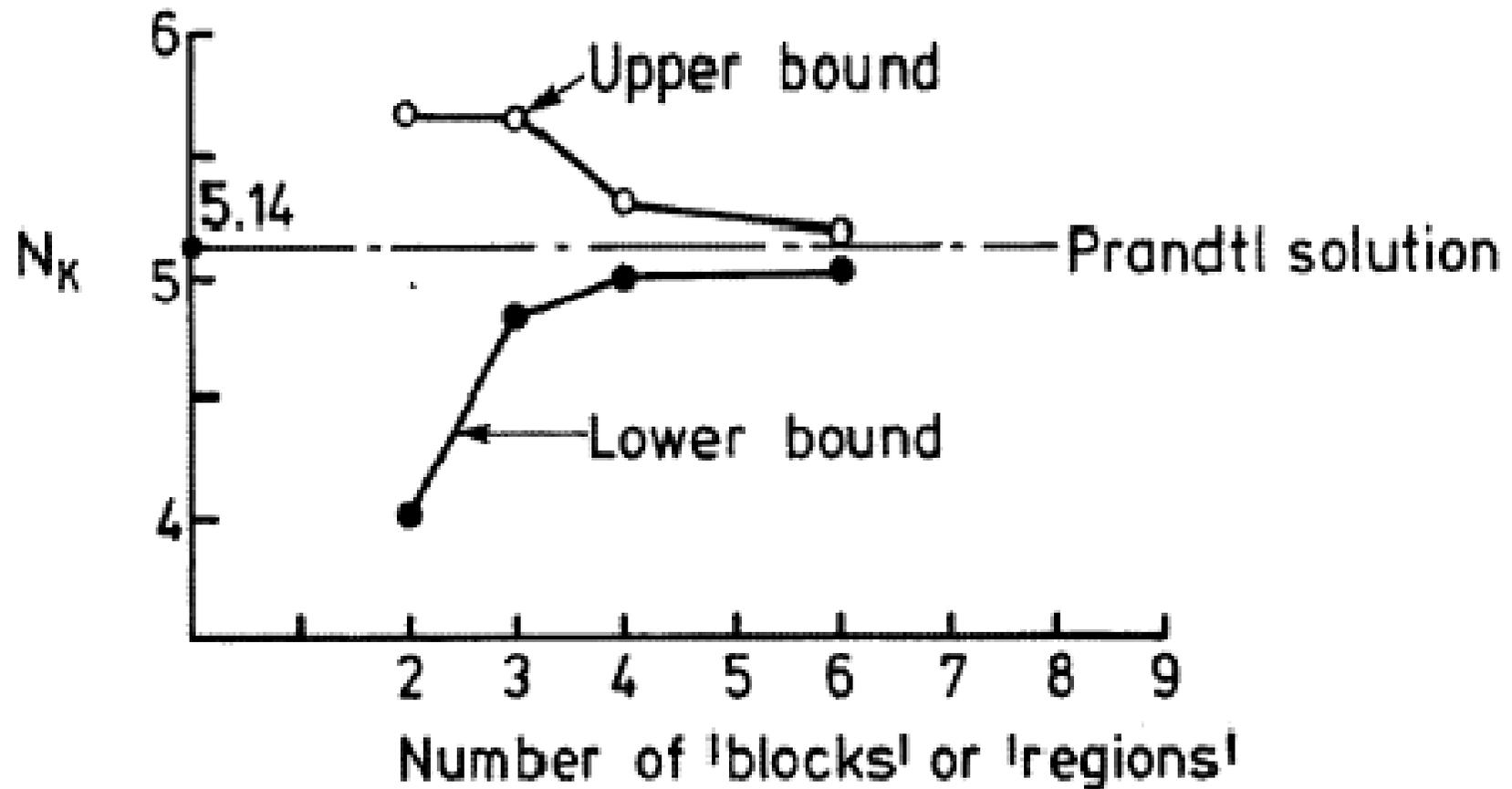
$$q_{lim} = q + N_c \cdot S_u; \quad N_c = 2 + \pi$$



ANALISI LIMITE (STATICO – U)



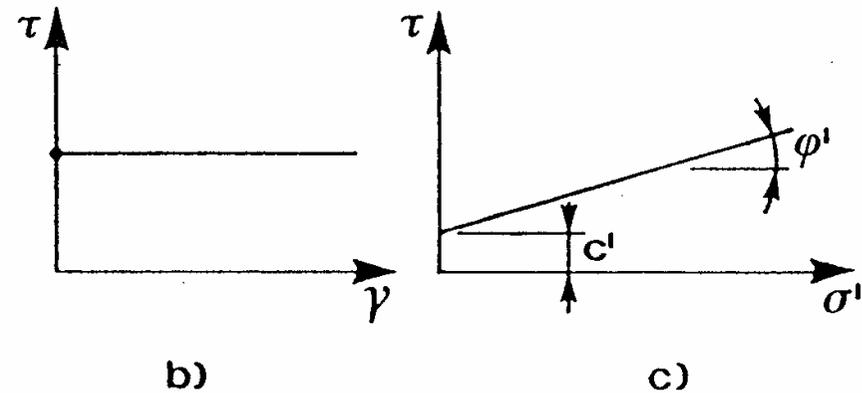
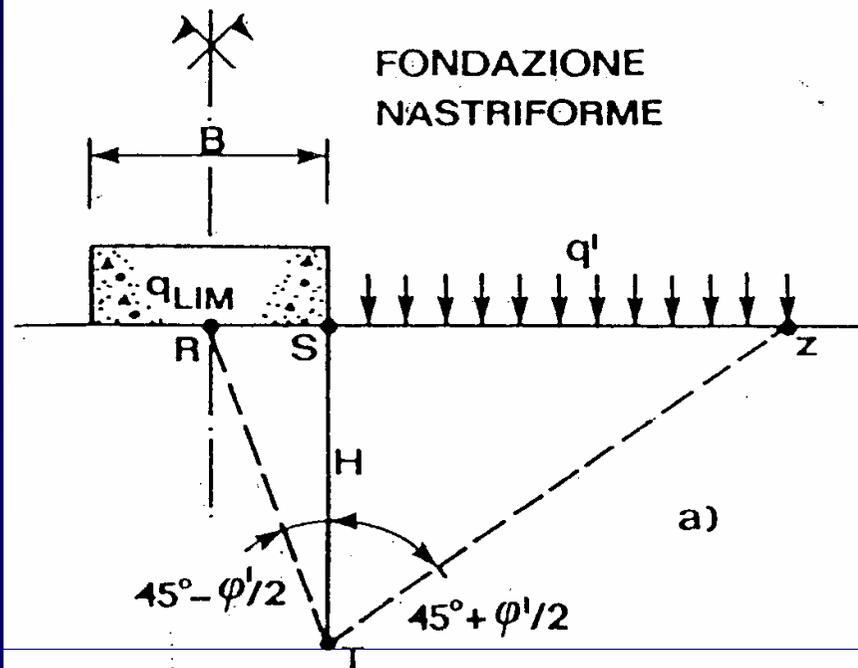
CINEMATICO - STATICO



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

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

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

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

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

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

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

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

FATTORI ADIMENSIONALI

FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_q

IPOTESI:

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

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

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

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

FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_c

IPOTESI: $\gamma' = 0$

Teoremi degli stati corrispondenti (Caquot 1934);

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

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

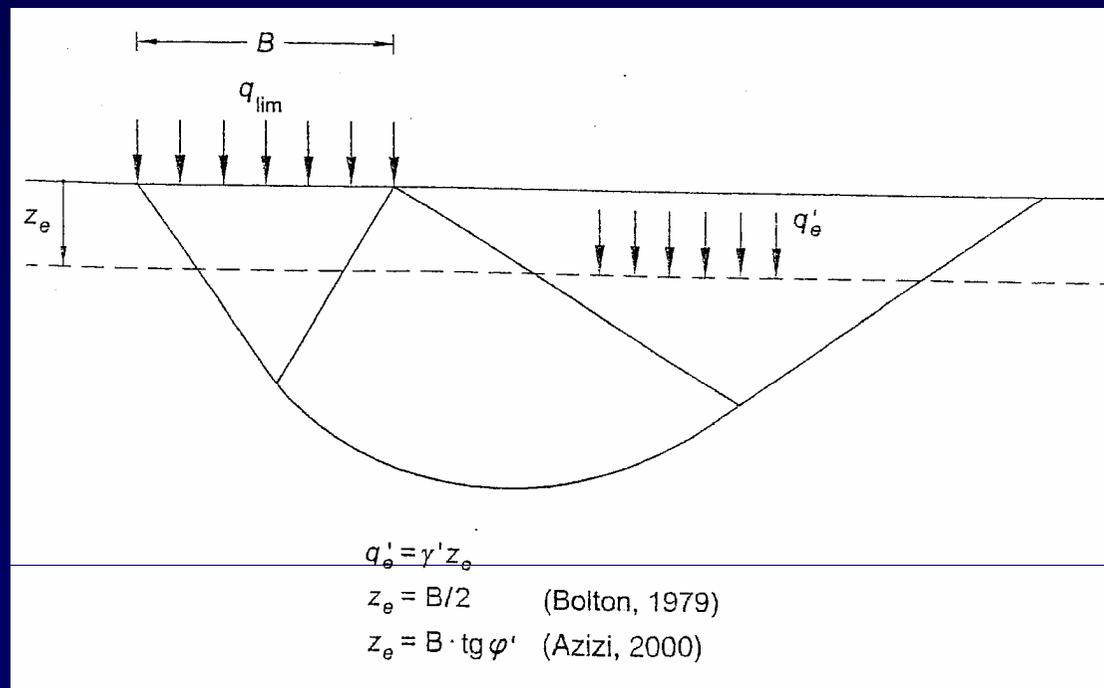
FATTORE DI CAPACITA' PORTANTE N_γ

IPOSTESI:

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

$$\text{(AZIZI 2000): } z_e = B \tan \varphi'; \quad q'_e = \gamma' B \tan \varphi'$$

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



SOLUZIONE APPROSSIMATA DI TERZAGHI (1943)

IPOSTESI:

- Fondazione nastriforme
 - Attrito fondazione terreno
 - carico baricentrico e verticale
 - piani di posa e campagna orizzontali
 - tratto BC = spirale logaritmica ($R = R_0 e^{\theta \tan \varphi'}$). Polo in A se $\gamma' = 0$.
- Se $\gamma' \neq 0$, ricerca per tentativi.

Equilibrio limite globale, sovrapposizione effetti: c' , γ' , q' , φ'

FORMULA GENERALE DI BRINCH-HANSEN (1970)

$$q_{lim} = 0.5\gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + \\ + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \\ + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c$$

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

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \tan \varphi'$$

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

FORMULA GENERALE DELLA CAPACITA' PORTANTE

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

$S_\gamma, S_q, S_c =$ fattori di forma = $f(\varphi', L/B)$

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

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

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

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

CONCETTO DELL'AREA EFFICACE

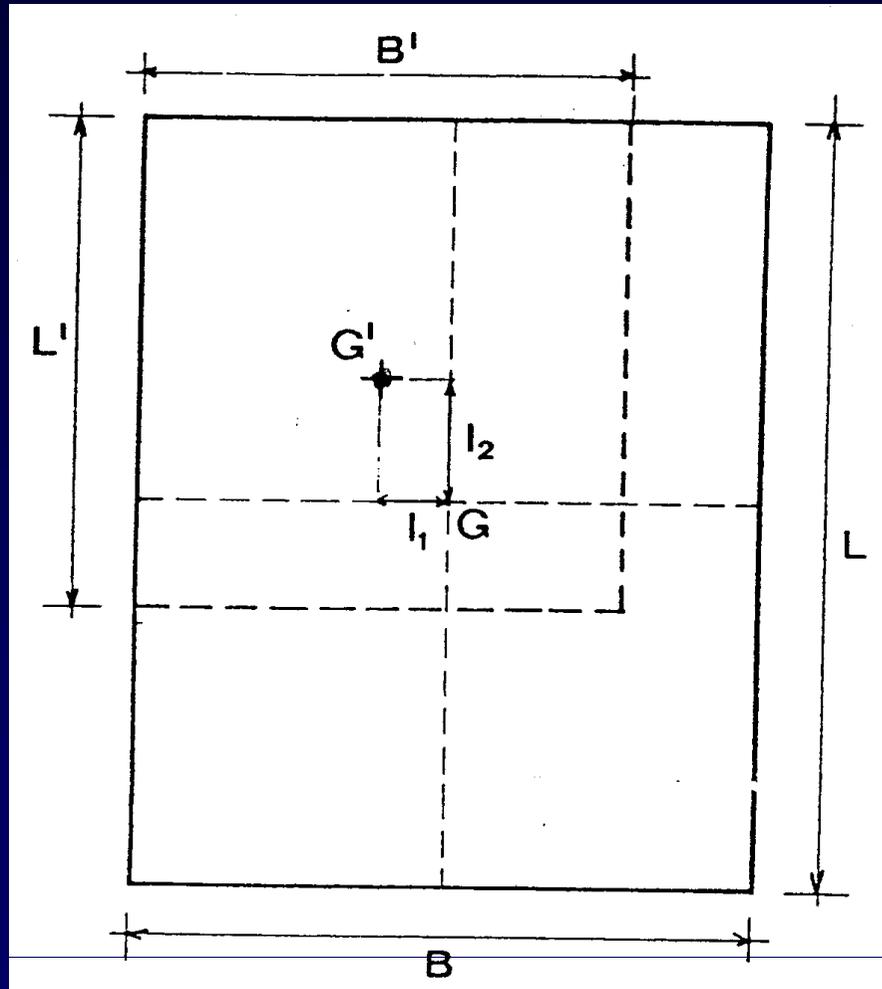
$B' L' = \text{area efficace}$

$B L = \text{area della fondazione}$

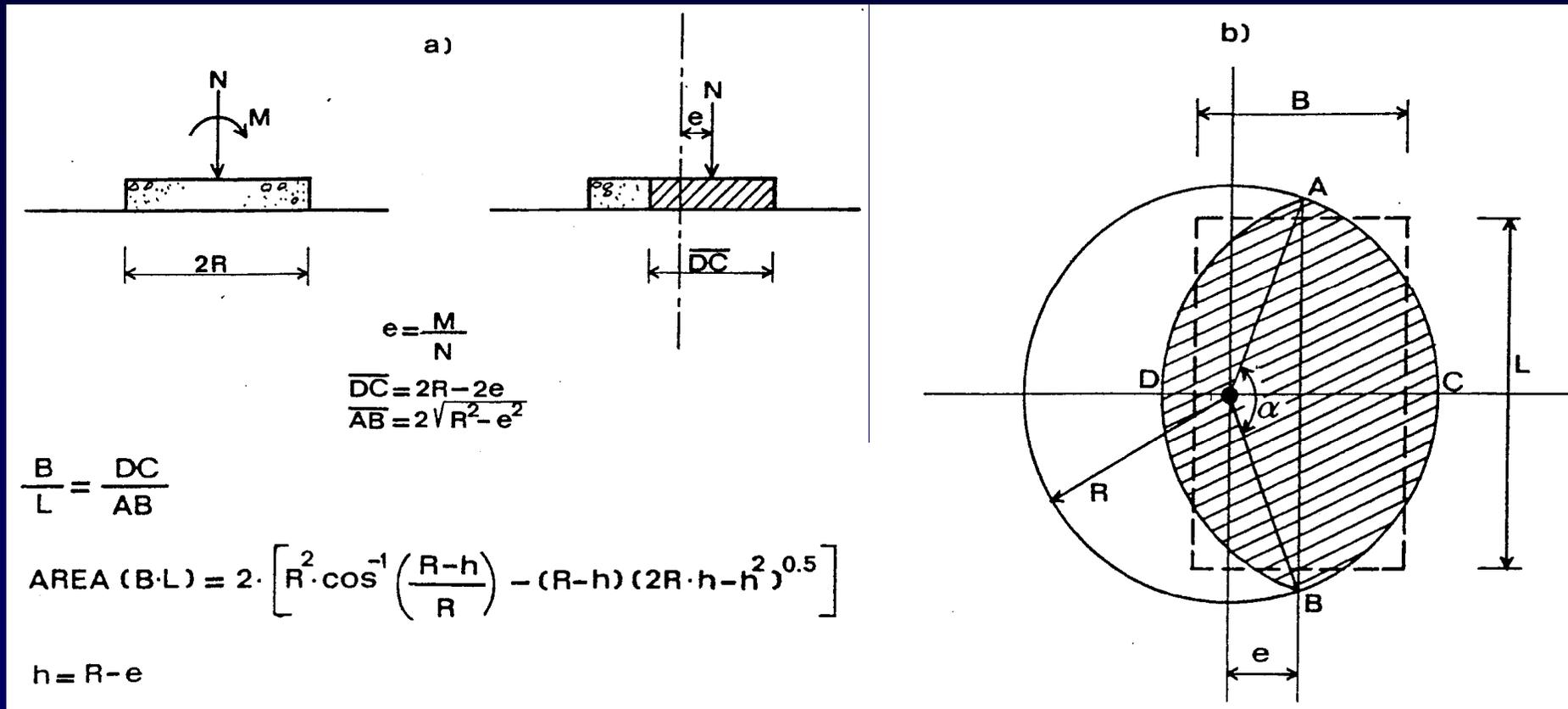
$$B' = B - 2 l_1$$

$$L' = L - 2 l_2$$

Meyerhof, 1953



FONDAZIONE EFFETTIVA EQUIVALENTE



FATTORE DI FORMA

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

$$s_q = s_y$$

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

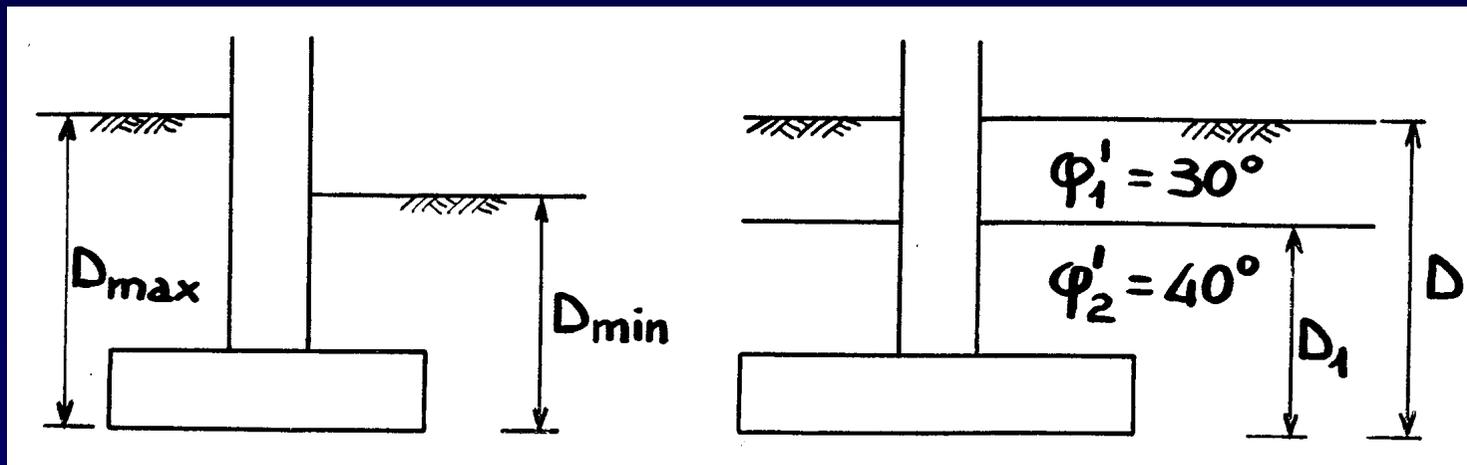
FATTORE DI PROFONDITA'

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$



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

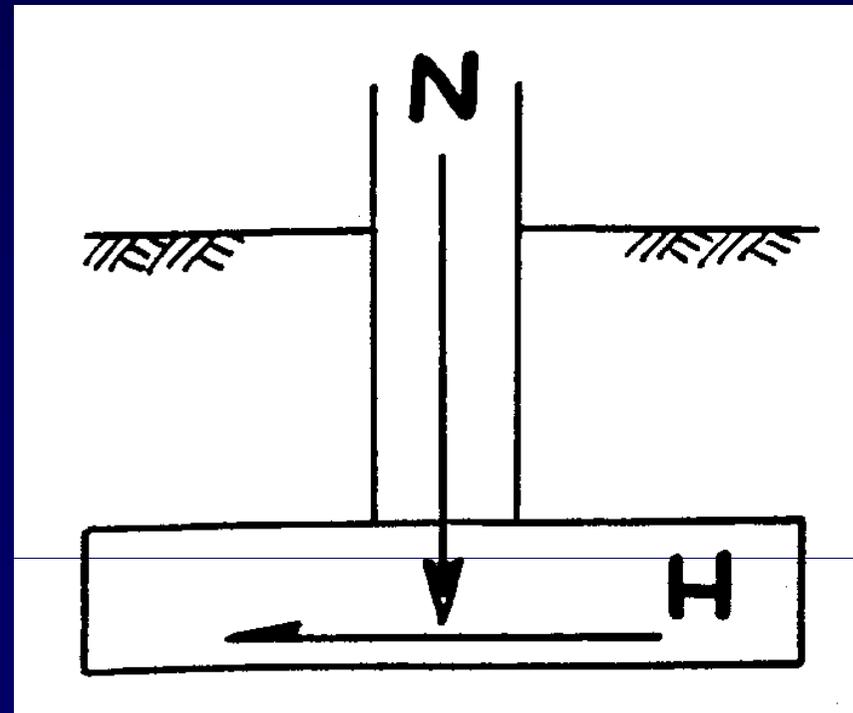
N=risultante delle forze verticali

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

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

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

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



FATTORE DI INCLINAZIONE DELLA BASE DELLA FONDAZIONE

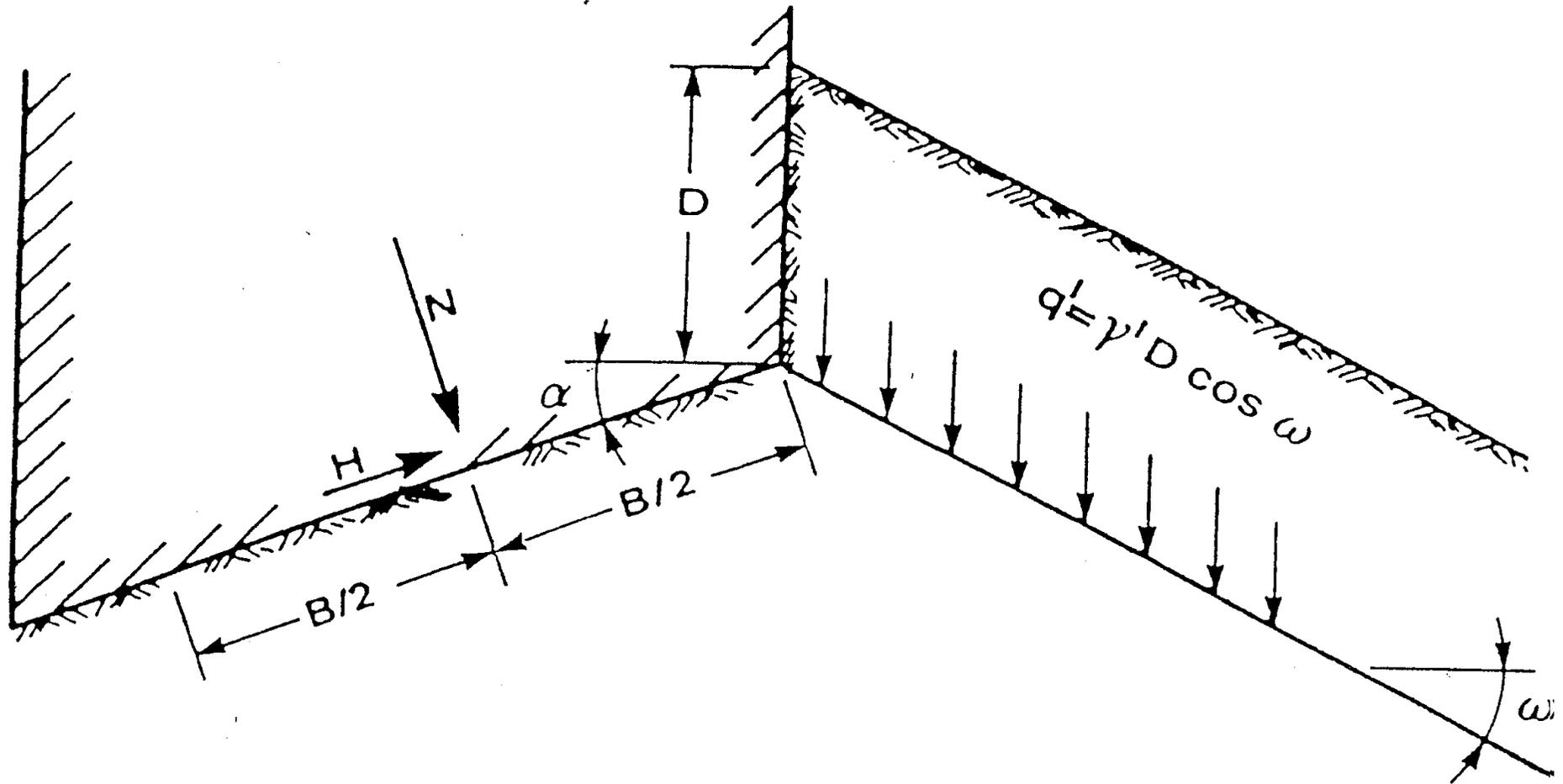
$$b_q = (1 - \alpha \tan \varphi')^2 \cong b_\gamma$$

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

FATTORE DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI CAMPAGNA

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

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



FORMULA DI BRINCH – HANSEN

TERRENI COESIVI SATURI

$$\varphi_u = 0^\circ$$

$$q_{lim} = c_u^* \cdot N_c^0 \cdot s_c^0 \cdot d_c^0 \cdot i_c^0 \cdot b_c^0 \cdot g_c^0 + \sigma_{vo}$$

$$N_c^0 = \pi + 2 = 5.14$$

$$s_c^0 = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$

$$d_c^0 = 1 + 0.4 \frac{D}{B} \quad \text{per } B \geq D$$

$$d_c^0 = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad \text{per } B < D$$

$$i_c^0 = 1 - \frac{mH}{BLc_u N_c} ; \quad m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

$$b_c^0 = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} ; \quad g_c^0 = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2}$$

(*) Valore medio mobilitato lungo la superficie di rottura

TERRENI GRANULARI, CONDIZIONI DRENATE:

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

TERRENI COESIVI, CONDIZIONI NON DRENATE:

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

* Equivale applicare F_s alla c_u

PRESSIONE LIMITE NEL CASO DI TERRENI GRANULARI: ASPETTI PECULIARI

- **Curvatura di involuppo 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):

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

5. Si calcola un nuovo valore di $\phi'_s = f(\text{parametri}, \sigma'_{ff})$
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.