LE PRESSIONI APPLICATE ALLE PARETI DEI SILI

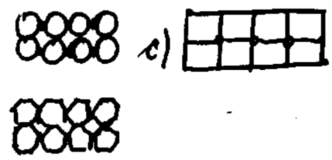
_ Pozzati (vol 1, cap IV, pp 136-162)

Spesso i materiali immagazzinati nei serbatoi non sono fluidi ma GRANULARI e/o PULVIRULENTI in tal caso le azioni che trasmettono alle pareti non sono solo costituite da una pressione ortogonale alle pareti ma hanno una importante azione tangenziale che tende ad aumentare le azioni membranali sulle pareti.

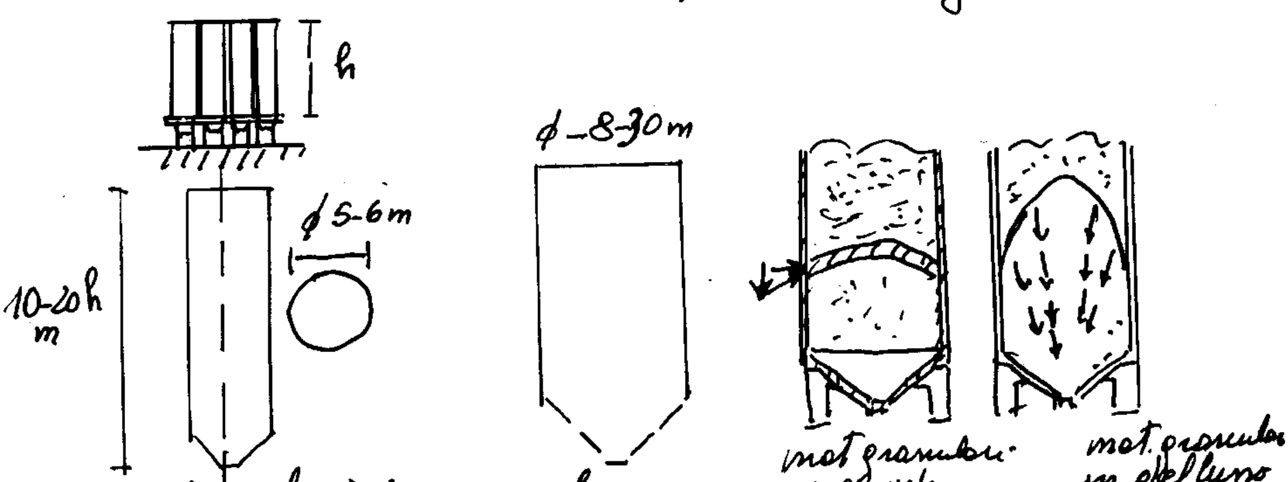
I sili sono in particolare magazzini attrezzati per ricevere e scaricare materiale, costituiti in genere da celle circolari o poligonali.

E' detta "tramoggia" la parte inferiore della cella forata e con l'estradosso in pendenza atto allo scarico su mezzi di trasporto. Le celle spesso sono pensili per favorire l'accesso agli automezzi.

a) c)
b)



a) celle circolari
b) " esagonali
c) " rettangolari



acciaio o alluminio

- cls -

mat granulare in quiete

mat. granulare in deflusso

3.3.4. Pressione attiva: il terreno preme contro una parete ruvida.

Considerato l'elemento di terreno 1-2-3-4 (fig. 3.12), pensiamo che, nella situazione di equilibrio estremo, l'azione risultante applicata alla faccia 1-2, a contatto con la parete, sia inclinata rispetto all'orizzontale dell'angolo di attrito δ fra il terreno e la stessa parete. Lo studio presenta notevoli analogie con quello precedente, relativo al piano limite inclinato: considerate le due rette r_1, r_2 inclinate di $\pm\varphi$, si ha che, nel circolo limite di Mohr tangente a r_1, r_2, il punto A_x, rappresentante lo stato di tensione per la sezione 1-2, deve trovarsi sulla retta inclinata di δ, essendo $\tau_{xy} = \sigma_x \operatorname{tg} \delta$ (positiva secondo la convenzione connessa con il circolo di Mohr); il punto A_y, diametralmente opposto a A_x, fornisce le tensioni applicate alla faccia 1-4. Interesserà conoscere, in merito ai problemi riguardanti i sili, il rapporto $\lambda = \dfrac{\sigma_x}{\sigma_y}$ (3.14).

Allora, detto r il raggio del circolo e ammessa per semplicità nulla la coesione, $\sigma_x = \overline{OC} - r\cos\beta = \overline{OC}\,(1 - \operatorname{sen}\varphi\cos\beta)$, $\sigma_y = \overline{OC}\,(1 + \operatorname{sen}\varphi\cos\beta)$ (fig. 3.12), risulta

$$\lambda = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = (1 - \operatorname{sen}\varphi\cos\beta) : (1 + \operatorname{sen}\varphi\cos\beta). \qquad [3.17]$$

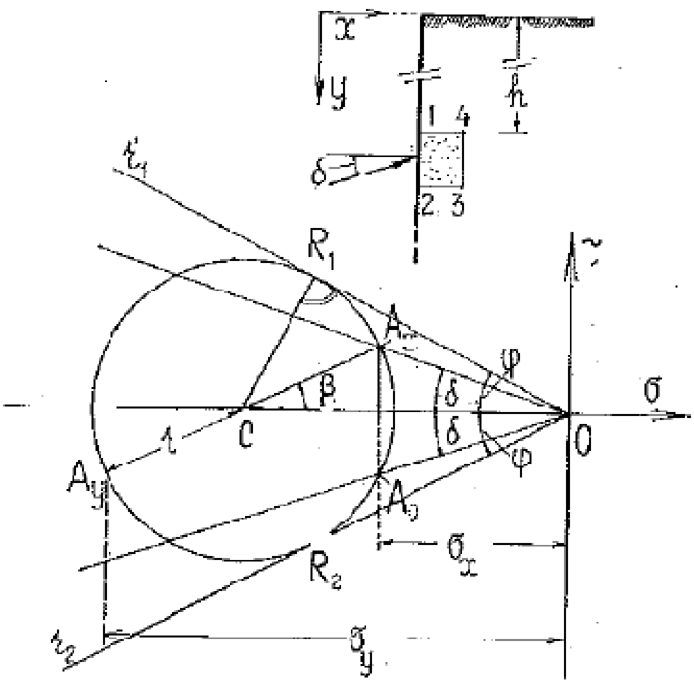
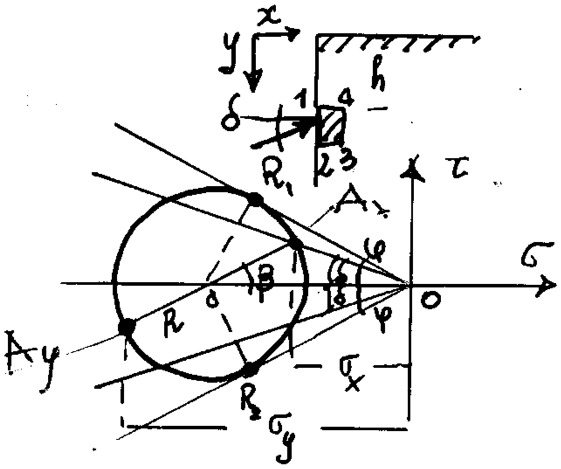


Fig. 3.12

PRESSIONE ATTIVA DEL TERRENO CONTRO UNA PARETE RUVIDA. (Ponati 1 3.3.4 pagg 68-71)

_ TEORIA DI RANKINE.



φ = angolo di attrito interno
δ = " " fra terreno e parete
coesione $c \equiv 0$

Il cerchio limite di Mohr è tg in R_1 ed R_2 al cono di Coulomb.

A_x stato di tensione sulla sez 1-2, deve trovarsi sulla retta inclinata di δ $(<\varphi)$ essendo $\tau_{xy} = \sigma_x \, tg\, \delta$

A_y stato di tensione sulla faccia 1-4 ruotata di 90°.

Per i sili interessa il rapporto $\boxed{\lambda = \dfrac{\sigma_x}{\sigma_y}}$

$$\sigma_x = \overline{OC} - R\cos\beta$$

$$\sigma_y = OC + R\cos\beta$$

$$\lambda = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{1 - \sin\varphi\cos\beta}{1 + \sin\varphi\cos\beta}$$

$\Longrightarrow$ dal triangolo $A_x C O$ $\quad \dfrac{1 - \sin\beta\cos\varphi}{\cos\delta\sin\varphi} = \dfrac{\sin\beta}{\sin\delta}$

$$\Longrightarrow \lambda = \frac{1 - \sin^2\delta - \cos\delta\sqrt{\sin^2\varphi - \sin^2\delta}}{1 + \sin^2\delta + \cos\delta\sqrt{\sin^2\varphi - \sin^2\delta}}$$ (Formula di CAMIZ)

Per i terreni di solito $\frac{1}{3}\varphi \leq \delta \leq \frac{2}{3}\varphi$

per i mezzi granulari

in regime statico (in quiete) $\delta_s = \varphi$ pareti molto scabre

$\delta_s = \frac{3}{4}\varphi$ " med. lisce

Per i cereali $\varphi \sim 30°$ e $f_s = tg\,\delta_s \cong 0{,}41 \Rightarrow \lambda_s \cong 0{,}45$

In regime dinamico
(all'atto dello scarico) $\delta_d = 0{,}8\,\delta_s$

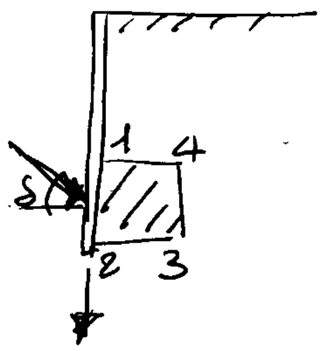
e $20° \leq \varphi \leq 45° \Longrightarrow 0{,}6 \leq \lambda \leq 1$

se $\varphi \sim 30°$ e pareti lisce (sili metallici)

$\delta_d = 0{,}6\varphi = 18°$, $f_d \cong 0{,}32$, $\lambda_d \cong 0{,}9\,\lambda_s$

Attenzione

Può capitare nel caso di cedimenti delle fondazioni della parete che $\delta < 0$ (Attrito negativo)



Nel caso particolare di pareti molto scabre ($\delta \cong \varphi$) la formula di Caquot diviene: (BUISMAN)

$$\lambda = \frac{(1 - \sin^2\varphi)}{(1 + \sin^2\varphi)}$$

LA SOLUZIONE DI JANSSEN (1895) e KOENEN

A = area sez. interna del silos

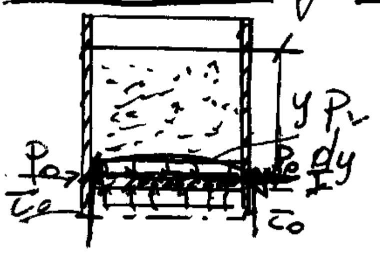
l = lunghezza del perimetro interno

γ = peso specifico del materiale

φ = angolo di attrito interno

δ = angolo di attrito fra il materiale e la parete

Ipotesi di Janssen: la pressione verticale (p_v) è distribuita uniformemente nella sezione



$$\Rightarrow \boxed{\begin{cases} p_o = \lambda p_v \\ \tau_o = \underbrace{tg\,\delta}_{f}\, p_o = \lambda \cdot f \cdot p_v \end{cases}}$$

L'eq. alla traslazione verticale per lo strato di spessore dy

$$\Rightarrow -dp_v \cdot A - \tau_o\, l\, dy + \gamma A\, dy = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dp_v}{dy} + \frac{\lambda f l}{A} p_v - \gamma = 0$$

posto $y_0 = \dfrac{A}{\lambda f l}$ = profondità caratteristica

$$\Rightarrow \frac{dp_v}{dy} + \frac{p_v}{y_0} - \gamma = 0$$

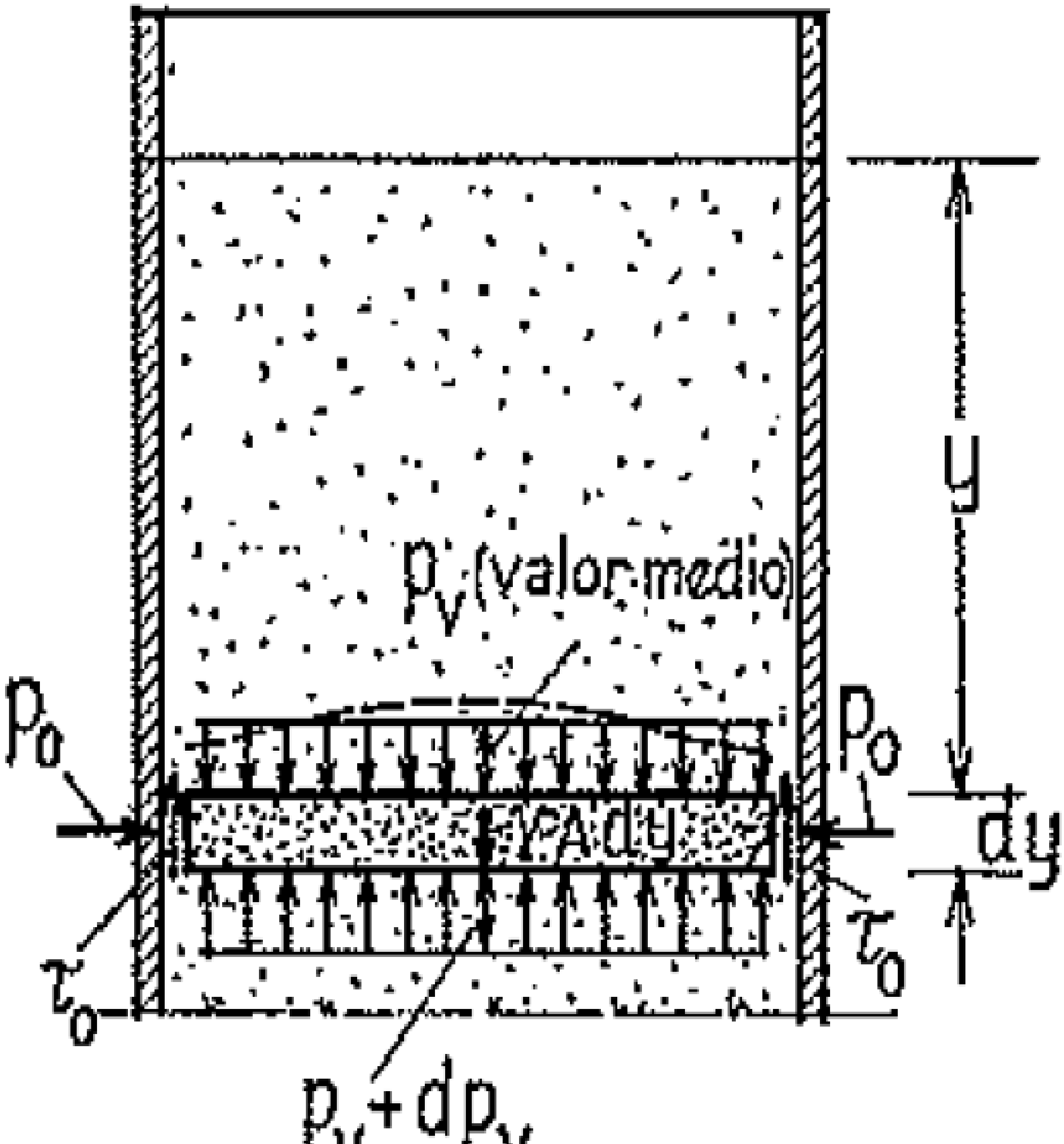
(la condizione ai limiti è del tipo $p_v = 0$ per $y = 0$)

e la soluzione è del tipo $\psi(y)$

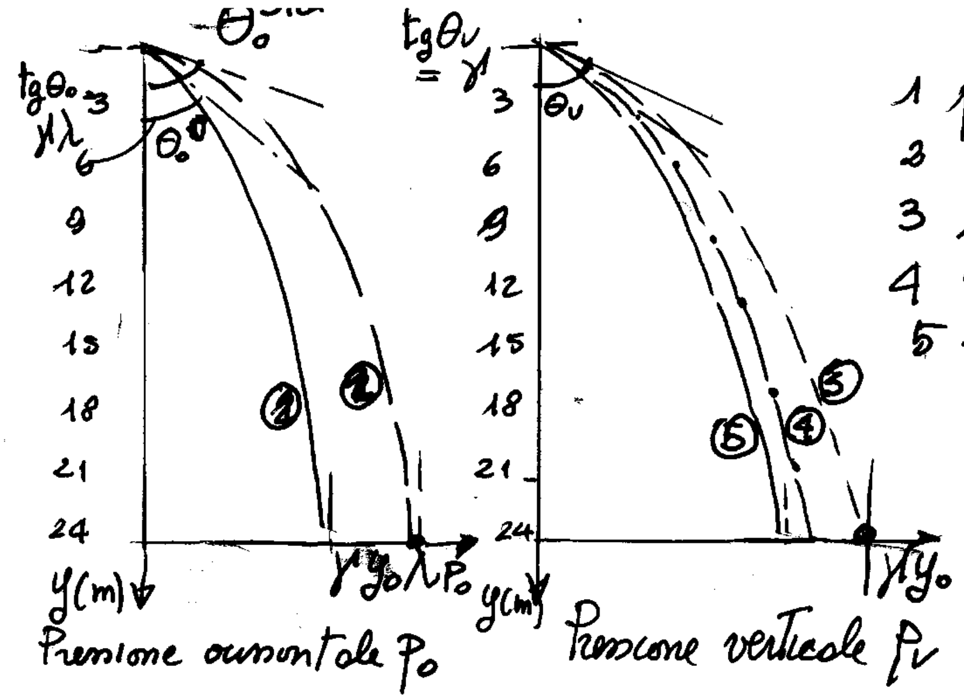
$$\boxed{p_v = \gamma y_0 \left(1 - e^{-y/y_0}\right)}$$

Le pressioni p_v e p_o tendono ad aumentare fino ai valori limite ($y \to \infty$)

$$\boxed{\bar{p}_v = \gamma y_0 \quad , \quad \bar{p}_o = \gamma y_0 \lambda = \frac{\gamma A}{f l}}$$



pv (valor medio)
y
p0
p0
γAdy
dy
τ0
τ0
pv+dpv

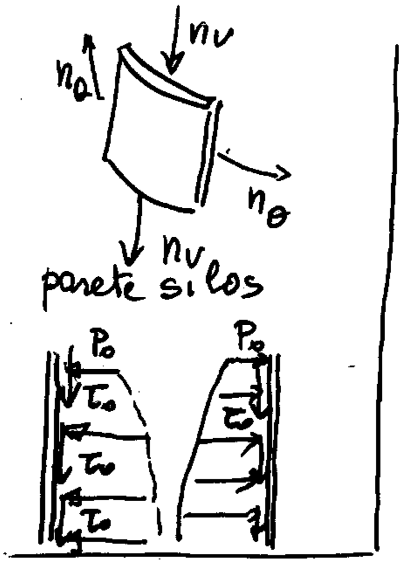


1 p_o Fa. di Rankine
2 p_o dinamico
3 p_v statico
4 sperimentale
5 p_v dinamico

Pressione orizzontale p_o Pressione verticale p_v

(si veda Pozzati e le diverse normative)

situazioni limite



p_o max = verifica per n_θ
p_v max verifica n_v
(e stabilità verticale)

τ_o max

Per mat. granulari tipo cereali e per silos circolari:

y_o(statico) $\cong$ 2,7 R
y_o(din) $\cong$ 1,7 R

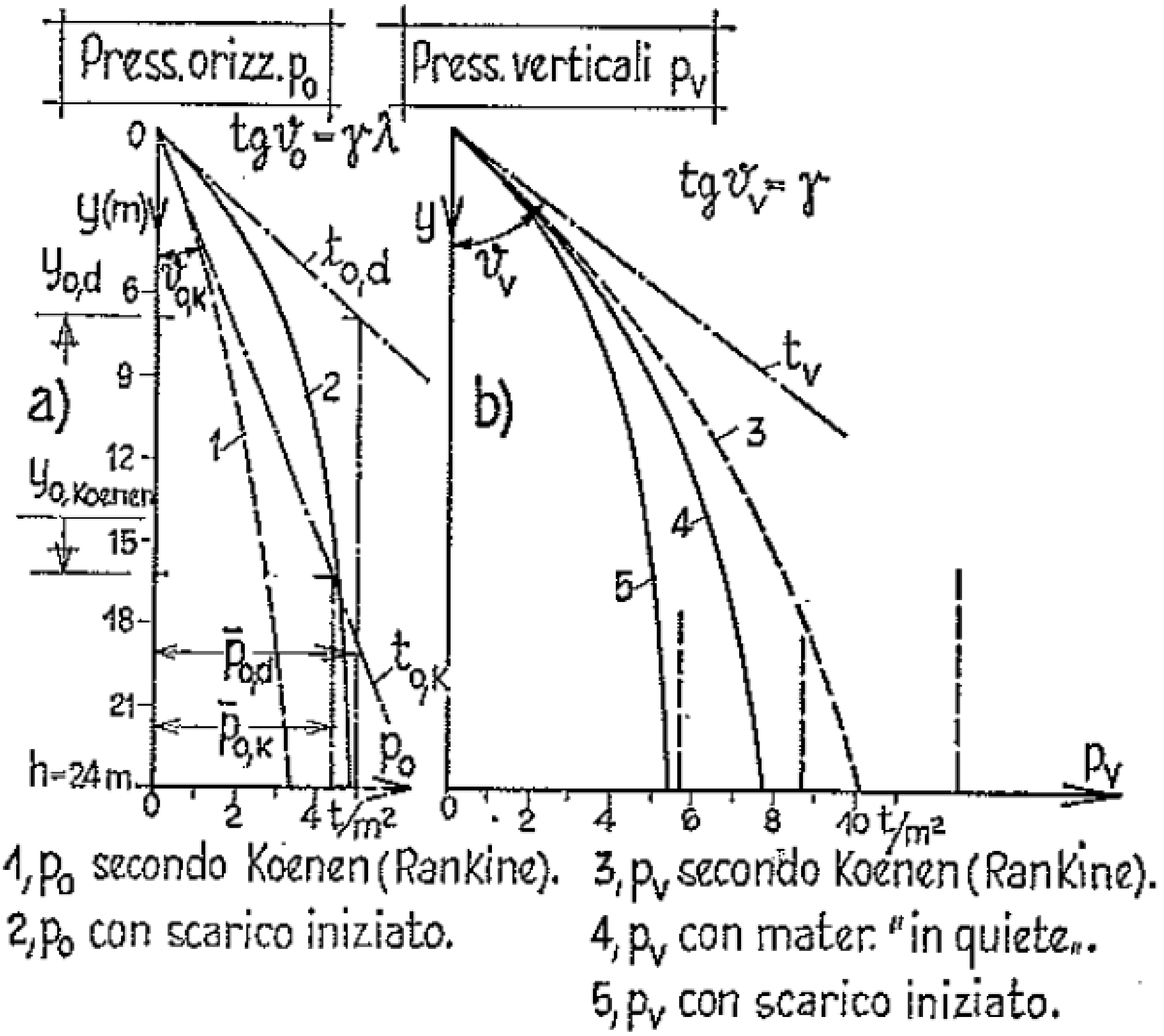
Per materiali pulverulenti (farine) la trattazione svolta non è del tutto attendibile

Sembra possibile porre $\lambda_s \cong 0,5$ $\lambda_d \cong 1$

$\delta_s = \delta_d = \varphi$, $f_s = f_d = tg\varphi$

Attenzione – scarichi troppo rapidi depressione $p_o < 0$

Pericolo di instabilità $\Longrightarrow$ crisi del silo


Press. orizz. p_o
Press. verticali p_v
$tg\vartheta_o = \gamma\lambda$
$tg\vartheta_v = \gamma$
y(m)
$y_{o,d}$
$y_{o,Koenen}$
$\vartheta_{o,K}$
ϑ_v
$t_{o,d}$
$t_{o,K}$
t_v
a)
b)
$\bar{p}_{o,d}$
$\bar{p}_{o,K}$
p_o
p_v
h=24 m
t/m²
1, p_o secondo Koenen (Rankine).
2, p_o con scarico iniziato.
3, p_v secondo Koenen (Rankine).
4, p_v con mater. "in quiete".
5, p_v con scarico iniziato.

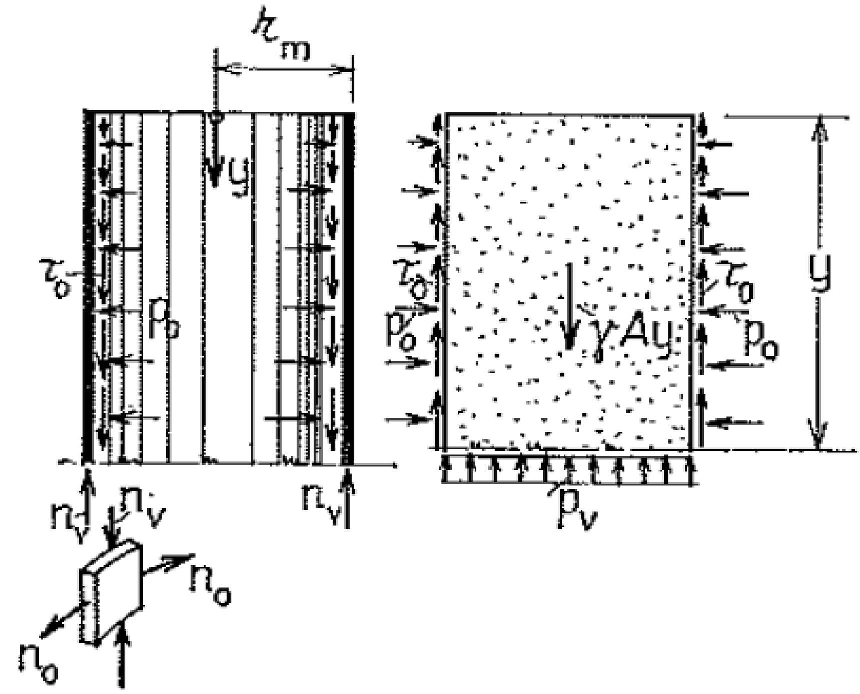

r_m
y
τ_o
p_o
$\gamma A y$
p_v
n_v
n_o

Fig. 4.4