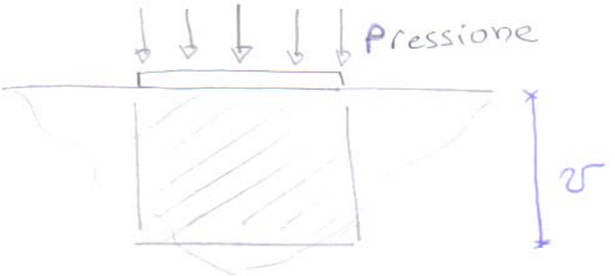
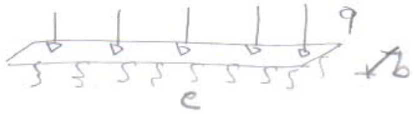
LEZIONE FONDAZIONI

Suolo alla Winkler

Modello semplificato per l'interazione terreno strutture



$\frac{p}{v} = c$ COSTANTE DI SOTTOFONDO



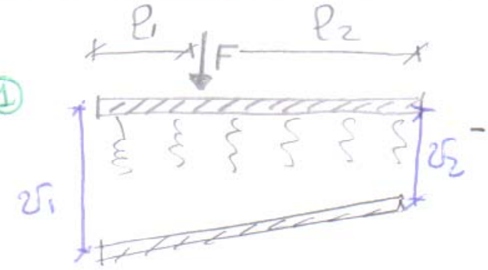
$p = \frac{q}{b} \rightarrow$

$c = \frac{q}{bv}$

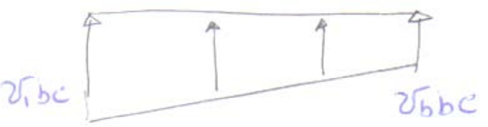
① TRAVE RIGIDA SU SUOLO ELASTICO
② TRAVE DEFORMABILE

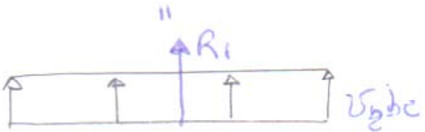
} IN FUNZIONE DELLA RIGIDEZZA RELATIVA TRA SUOLO E TRAVE

①



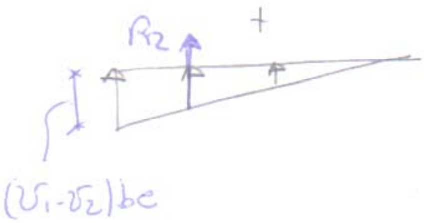
- IL MODELLO ① PUÒ ESSERE USATO SOLO SE LA TRAVE È LABILE IN ASSENZA DEL TERRENO.
- POSSO TRACCIARE LA CONFIGURAZIONE DEFORMATA MEDIANTE UN CINEMATISMO RIGIDO (2 componenti di spostamento perché non ho spostamenti orizzontali)





$R_1 = v_b bc\, l$

$R_2 = (v_1 - v_2) bc \frac{l}{2}$

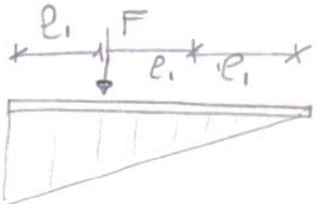


DETERMINO v_1 e v_2 IMPONENDO L'EQUILIBRIO

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = F \\ F \cdot l_1 = R_1 \cdot \frac{l}{2} + R_2 \cdot \frac{l}{3} \end{cases} \qquad \begin{cases} R_2 = F - R_1 \\ F l_1 = R_1 \frac{l}{2} + F\frac{l}{3} - R_1 \frac{l}{3} \end{cases} \rightarrow$$

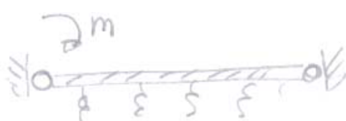
$$F l_1 - \frac{l}{3} F = R_1 \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{3} \right) \rightarrow R_1 = \frac{6}{l} F \left(l_1 - \frac{l}{3} \right) \Rightarrow$$

$$v_b = \frac{6F}{bcl^2} \left(l_1 - \frac{l}{3} \right) \rightarrow$$

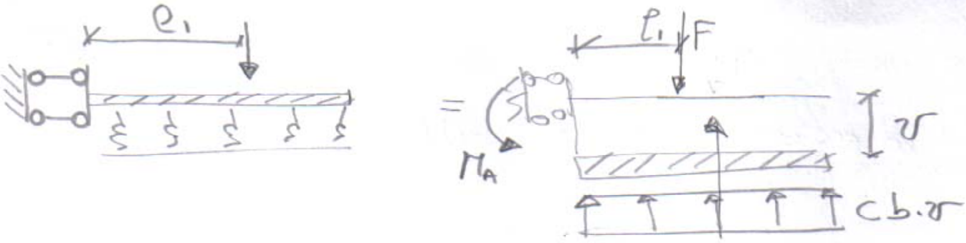


LO SPOSTAMENTO È VERSO IL BASSO SOLO SE $l_1 > \frac{l}{3}$
ALTRIMENTI NASCEREBBE TRAZIONE NEL TERRENO
(che il modello accetta)

- IL METODO NON SAREBBE APPLICABILE A

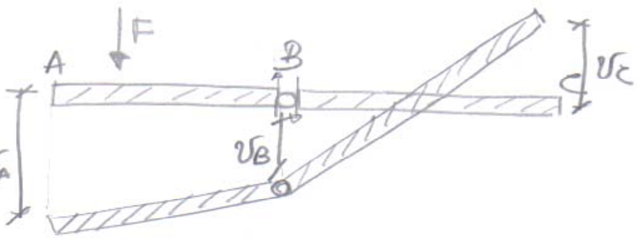


PERCHÉ NON POSSO AVERE CINEMATISMI

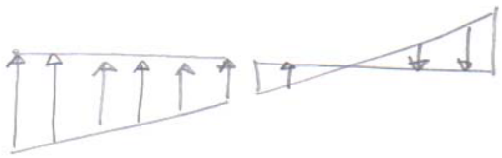


$$\begin{cases} F = l \cdot c b v \\ F \cdot l_1 - F \cdot \frac{l}{2} = M_A \end{cases}$$

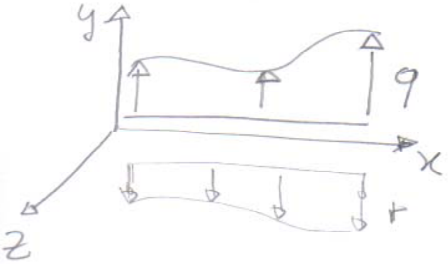
POSSO ANCHE AVERE PIÙ TRATTI TRA LORO COLLEGATI



IMPONGO EQUILIBRIO GLOBALE E DEI SINGOLI TRATTI.



② TRAVE ELASTICA SU SUOLO ELASTICO



$$EI\frac{d^4 v}{dx^4} = q \quad \text{con} \quad q = \frac{dV}{dx};\; V = \frac{dM}{dx}$$

$$\varphi = \frac{dv}{dx};\; \chi = \frac{d\varphi}{dx} = \frac{M}{EI}$$

PER EFFETTO DEGLI SPOSTAMENTI NASCONO REAZIONI NEL TERRENO CON VERSO OPPOSTO AGLI SPOSTAMENTI $\rightarrow\; r = -vbc$

L'EQUAZIONE DIFFERENZIALE DIVIENE $\Rightarrow EJ\frac{d^4 v}{dx^4} = q - vbc \rightarrow$

$$\boxed{\frac{d^4 v}{dx^4} + \frac{bc}{EI}v = \frac{q}{EI}}$$

SI RISOLVE PRIMA L'EQUAZIONE OMOGENEA ASSOCIATA $\rightarrow$

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + \frac{bc}{EI}v = 0 .$$

SI PONE $\lambda^4 = \frac{bc}{4EI} \rightarrow \lambda = \sqrt[4]{\frac{bc}{EI}} \rightarrow \frac{d^4 v}{dx^4} + 4\lambda^4 v = 0$

LA SOLUZIONE È DEL TIPO:

$$\boxed{v = C_1 e^{\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x + C_2 e^{\lambda x}\cos\lambda x + C_3 e^{-\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x + C_4 e^{-\lambda x}\cos\lambda x}$$

Infatti:

$$e^{\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x \Rightarrow v' = \lambda e^{\lambda x}\cos\lambda x + \lambda e^{\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x = \lambda e^{\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x)$$
$$v'' = \lambda^2 e^{\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x) + \lambda^2 e^{\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) = \lambda^2 e^{\lambda x}\cdot 2\cos\lambda x$$
$$v''' = 2\lambda^3 e^{\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)$$
$$v^{IV} = 2\lambda^4 e^{\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) + 2\lambda^4 e^{\lambda x}(-\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x) = -4\lambda^4 e^{\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x$$

$$e^{\lambda x}\cos\lambda x \Rightarrow v' = \lambda e^{\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)$$
$$v'' = \lambda^2 e^{\lambda x}(\cancel{\cos\lambda x} - \operatorname{sen}\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x \cancel{- \cos\lambda x}) = -2\lambda^2 e^{\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x$$
$$v''' = -2\lambda^3 e^{\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x)$$
$$v^{IV} = -2\lambda^4 e^{\lambda x}(\cancel{\operatorname{sen}\lambda x} + \cos\lambda x + \cos\lambda x \cancel{- \operatorname{sen}\lambda x}) = -4\lambda^4 e^{\lambda x}\cos\lambda x$$

$$e^{-\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x \rightarrow v' = -\lambda e^{-\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x) + \lambda e^{-\lambda x}\cos\lambda x = \lambda e^{-\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)$$
$$v'' = -\lambda^2 e^{-\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) + \lambda^2 e^{-\lambda x}(-\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x) = -2\lambda^2 e^{-\lambda x}\cos\lambda x$$
$$v''' = 2\lambda^3 e^{-\lambda x}\cos\lambda x + 2\lambda^3 e^{-\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x = 2\lambda^3 e^{-\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x)$$
$$v^{IV} = -2\lambda^4 e^{-\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x) + 2\lambda^4 e^{-\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) = -4\lambda^4 e^{-\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x$$

$$e^{-\lambda x}\cos\lambda x \rightarrow v' = \lambda e^{-\lambda x}(-\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)$$
$$v'' = \lambda^2 e^{-\lambda x}(\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x) - \lambda^2 e^{-\lambda x}(-\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) = 2\lambda^2 e^{-\lambda x}\operatorname{sen}\lambda x$$
$$v''' = 2\lambda^3 e^{-\lambda x}(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)$$
$$v^{IV} = 2\lambda^4 e^{-\lambda x}(-\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x) - 2\lambda^4 e^{-\lambda x}(+\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) = -4\lambda^4 e^{-\lambda x}\cos\lambda x$$

QUINDI:

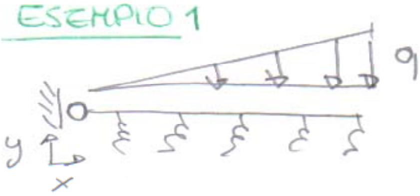
$$v' = \lambda e^{\lambda x}\left[C_1(\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x) + C_2(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x)\right] + \lambda e^{-\lambda x}\left[C_3(-\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x) + C_4(-\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x)\right] = \varphi$$

$$M = EIv'' = 2EI\lambda^2\left\{e^{\lambda x}\left[C_1\cos\lambda x - C_2\operatorname{sen}\lambda x\right] + e^{-\lambda x}\left[-C_3\cos\lambda x + C_4\operatorname{sen}\lambda x\right]\right.$$

$$V = EIv''' = 2EI\lambda^3\left\{e^{\lambda x}\left[C_1(\cos\lambda x - \operatorname{sen}\lambda x) + C_2(-\operatorname{sen}\lambda x - \cos\lambda x)\right] + \right.$$
$$\left. + e^{-\lambda x}\left[C_3(\cos\lambda x + \operatorname{sen}\lambda x) + C_4(-\operatorname{sen}\lambda x + \cos\lambda x)\right]\right\}$$

OCCORRE POI DETERMINARE IL CONTRIBUTO DELLA SOLUZIONE PARTICOLARE

ESEMPIO 1



$$\frac{d^4 v}{dx^4} + 4\lambda^4 v = -\frac{q_0 x}{\ell EI}$$

LA SOLUZIONE PARTICOLARE DEVE ESSERE LINEARE $\rightarrow$

$v_q = Ax + B \rightarrow d^4 v = 0 \rightarrow 4\lambda^4 \cdot (Ax+B) = -\frac{q_0 x}{\ell EI} \rightarrow B = 0, \quad A = -\frac{q_0}{4\lambda^4 EI \ell}$

essendo $\lambda^4 = \frac{bc}{4EI} \rightarrow A = -\frac{q_0 \cancel{EI}}{bc \cancel{EI} \ell} = -\frac{q_0}{bc\ell} \rightarrow v_q = -\frac{q_0}{bc\ell} x$

LE CONDIZIONI AL CONTORNO DA IMPORRE SONO:

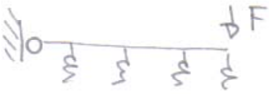
1) $v(0) = 0 \longrightarrow C_2 + C_4 = 0$

2) $EI v''(0) = 0 \rightarrow C_1 - C_3 = 0$

3) $EI v''(\ell) = 0 \rightarrow e^{\lambda\ell}(C_1 \cos\lambda\ell - C_2 \sin\lambda\ell) + e^{-\lambda\ell}(-C_3 \cos\lambda\ell + C_4 \sin\lambda\ell)$

4) $EI v'''(\ell) = 0$

ESEMPIO 2



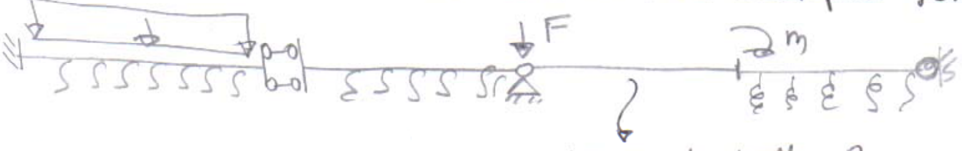
$v_q = 0$

$v(0) = 0 \qquad EI v'''(\ell) = F$

$v''(0) = 0 \qquad EI v''(\ell) = 0$

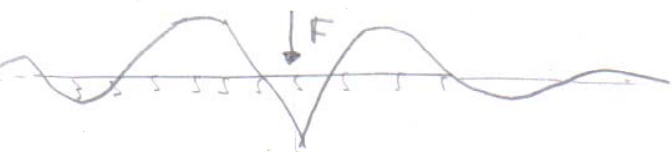
ESEMPIO 3

POSSO ANCHE RISOLVERE STRUTTURE CON ALCUNI TRATTI SU SUOLO ELASTICO ED ALTRI SENZA SUOLO (ad esempio fondazioni su più livelli)



in questo tratto la soluzione è del tipo $v = C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x + C_4$

ESEMPIO 4



$v_1(-\infty) = 0 \rightarrow C_3 e^{-\lambda x} = 0, \quad C_4 e^{-\lambda x} = 0 \rightarrow C_3 = C_4 = 0$

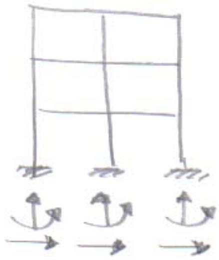
$v_2(+\infty) = 0 \rightarrow C_5 e^{\lambda x} = 0, \quad C_6 e^{\lambda x} = 0 \rightarrow C_5 = C_6 = 0$

DISTANZA TRA DUE PUNTI DI NULLO

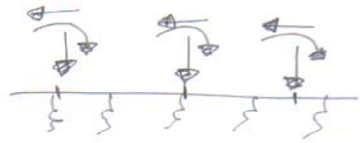
$2\pi/\lambda$ (rigidezza della trave)

FONDAZIONI DIRETTE CONTINUE: MODELLI DI CALCOLO

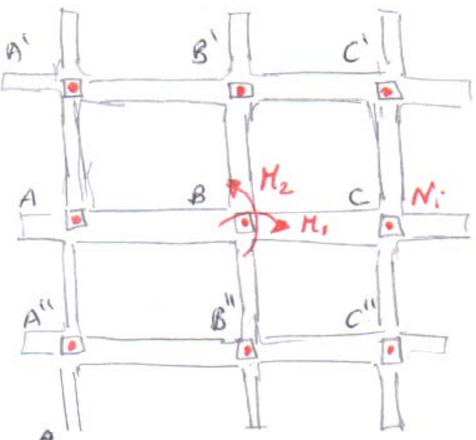
TRADIZIONALMENTE SI STUDIANO SEPARATAMENTE LA STRUTTURA IN ELEVAZIONE E L'ELEMENTO DI FONDAZIONE (Approccio possibile se le travi è abbastanza rigida ⇒ non nascono ulteriori sollecitazioni nel telaio per i cedimenti differenziali)



RICAVO LE REAZIONI E LE APPLICO ALLA TRAVE SU SUOLO ELASTICO ⇒



IL PROBLEMA DI RIPARTIZIONE ~~DEA~~ DELLE AZIONI SU UN GRIGLIATO DI TRAVI NON È BANALE



- PER QUANTO RIGUARDA I MOMENTI FLETTENTI SI CONSIDERA LA RIGIDEZZA TORSIONALE DELLA TRAVE MODESTA RISPETTO A QUELLA FLESSIONALE

↓

AFFIDO M_1 ALLA TRAVE A-B-C
M_2 ALLA TRAVE B''-B-B'

- PER QUANTO RIGUARDA N LO DEVO SUDDIVIDERE TRA LE DUE TRAVI:
  - FACCIO UNA SUDDIVISIONE DI TENTATIVO
  - CALCOLO GLI ABBASSAMENTI NEI NODI E SE $v_{B} \in (ABC) \neq v_{B} \in (B''BB')$ DEVO RIPARTIRE NUOVAMENTE I CARICHI FINO AD AVERE CONGRUENZA.

- cautelativamente posso assegnare ≃ 60% di N alle travi;
- per le travi di bordo ho ≃ N

Carichi trasmessi dalle strutture in elevazione:

APPROCCIO 1 ⇒
- A1 + M1 + R1 (gravoso per le strutture) $\gamma_R = 1$
- A2 + M2 + R2 (gravoso per il terreno) $\gamma_R = 1.8$

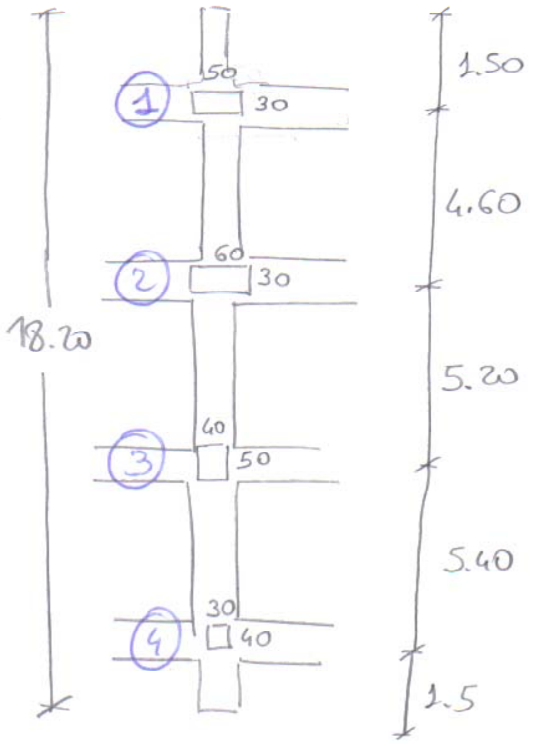
APPROCCIO 2 ⇒ A1 + M1 + R3 $\gamma_R = 2.3$

dove
$$A_1 \rightarrow \begin{cases} \gamma_{G1} = 1.3 \\ \gamma_{G2} = 1.5 \\ \gamma_q = 1.5 \end{cases} \qquad M_1 \rightarrow \begin{cases} \gamma_\gamma = 1 \\ \gamma_{tg\varphi'} = 1 \end{cases}$$

$$A_2 \rightarrow \begin{cases} \gamma_{G1} = 1.0 \\ \gamma_{G2} = 1.3 \\ \gamma_q = 1.3 \end{cases} \qquad M_2 \rightarrow \begin{cases} \gamma_\gamma = 1 \\ \gamma_{tg\varphi'} = 1.25 \end{cases}$$

I COEFF. PARZIALI SONO APPLICATI SIA AI PARAMETRI GEOTECNICI SIA ALLA RESISTENZA COMPLESSIVA.

Dimensionamento della trave rovescia



DATI

- EDIFICIO A 6 PIANI
- TRAVI IN ELEVAZIONE 30x60
- MATERIALE C25/30
- TERRENO INCOERENTE $c = 0$

$\varphi_k = 28°$

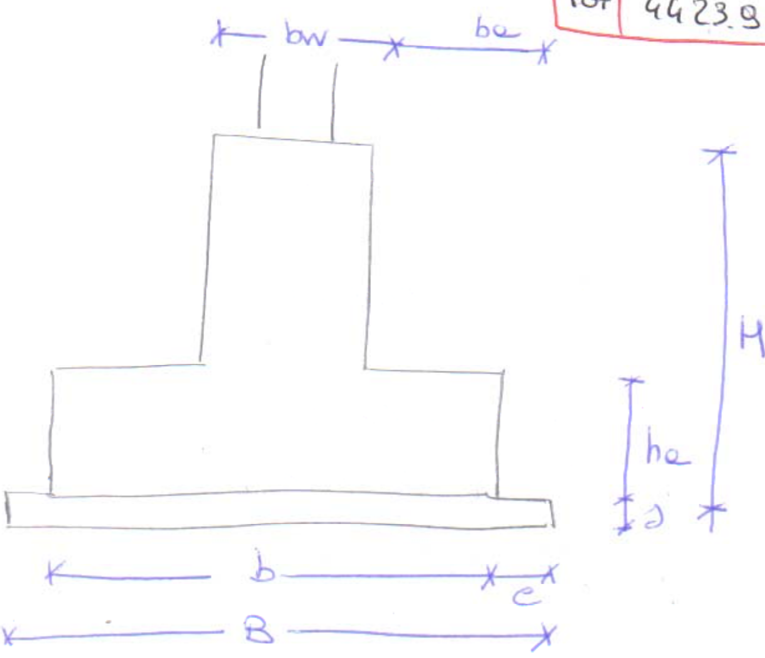
$\gamma_k = 18\ kN/m^3$

SABBIA TRA MEDIO E DENSO STATO DI ADDENSAMENTO → $K_1 = 74 \frac{N}{cm^3}$ (da prove supposte)

(questo valore coinvolge solo gli strati più superficiali di terreno perché la piastra ha dimensione 30 cm → il valore reale è $K = K_1 \left(\frac{B+b}{2B}\right)^2$ con $b = 30\,cm$

CARICHI

PILASTRO ~~PIANO~~	$g_d + q_d$ Ned (solo Qv)	$g_d + \psi_2 q$ SISMA + Qv Ned	Med	Ved
1	1508.1 KN	888.10	244.4	152,75
2	2200.5	1311.02	234.0	146,25
3	2518.4	1501.02	633.1	395,69
4	1186.3	712.74	442.0	276.25
	TOT	4423.9	1553.5	970.9



$d = 10 \div 15$ cm

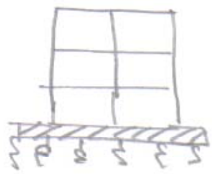
PER EVITARE LA ROTTURA A FLESSIONE DELLA MENSOLA DI MAGRONE SI IMPONE: $c \leq d$

$b_w = 10\,cm + L^{max}_{lato\ corto} = 50\,cm$

Predimensionamento H

LE SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE DI FONDAZIONE SONO NOTE SOLO DOPO AVER RISOLTO LA TRAVE SU SUOLO ELASTICO → DEVO CONOSCERE EJ DELLA TRAVE ⇒ NECESSARIO PREDIMENSIONAMENTO

(1) CONDIZIONE DI RIGIDEZZA → TRAVE SUFFICIENTEMENTE RIGIDA PER EVITARE CEDIMENTI DIFFERENZIALI NOTEVOLI



↓

$$I_f \geq 4 \sum I_{travi\ elev}$$

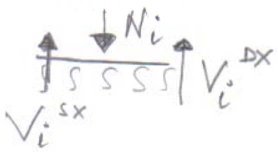
$$\frac{1.7\, b_w H^3}{12} \geq 4 \times 6 \times \underbrace{\frac{0{,}30 \times 0.60^3}{12}}_{0.1296\ m^4} \rightarrow H^3 \geq \frac{12}{1{,}7 \times 0{,}5\,m} \times 0.1296\,m^4 = 1.83 \rightarrow$$

per considerare le ali

$$H \geq 1{,}22\,m$$

(2) VERIFICA DI RESISTENZA

DIMENSIONO L'ALTEZZA DELLA TRAVE IN FUNZIONE DEL MASSIMO TAGLIO ATTESO.



$$V_i^{SX} + V_i^{DX} = N_i \Rightarrow V_{max} \simeq 0.60\, N_{max} \rightarrow$$

la condizione più gravosa è quella da carichi verticali

$$V_{Ed}^{max} = 0.60 \times 2519.4\,kN \simeq 1512\,kN$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}9\, b_w d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta} \qquad 1 \leq \cot\theta \leq 2.5$$

- $\alpha_c = 1$ IN ASSENZA DI COMPRESSIONE
- $f'_{cd} = 0.5 f_{cd} = 0.5 \times \frac{25}{1.5} \times 0.85 = 7.08\ MPa$
- $\cot\alpha = 0$
- $b_w = 0{,}5\,m$
- $\cot\theta = 2$

↓

$$d = 1.19\,m \rightarrow H = d + c = 1.19 + 0{,}05 = 1.24\,m$$

*Scelta del copriferro:

E' CONDIZIONATA DALLA NECESSITA' DI PROTEGGERE L'ARMATURA DALLA CORROSIONE

TAB 4.1.IV
Circolare 2/2/09

CLASSE ESPOSIZIONE
XC2 (bagnato raramente asciutto)

C_{min}	C_o	AMBIENTE	$C \geq C_o$	$C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	20	25
C28/35	C40/50	aggressivo	30	35
C35/45	C45/55	molto agg.	40	45

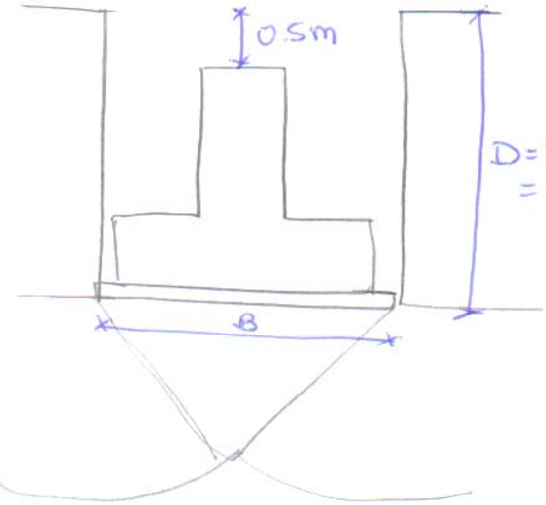
(se avessi XC4, ciclicamente bagnato e asciutto → aggressivo)

$R = 25 + \Delta R = 30\ mm$

$C = R + \phi_{st} + \frac{\phi}{2} = 50\ mm$

Predimensionamento delle base

NASCE DA CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE → DEVO TRASMETTERE AL TERRENO TENSIONI TALI DA NON INNESCARE LA ROTTURA:



(e' necessaria anche una verifica a scorrimento)

$$Q_{lim} = \left[\frac{1}{2}\gamma' B N_\gamma \alpha_\gamma + c N_c \alpha_c + \gamma' D N_q \alpha_q\right] \frac{B'L'}{\gamma_R}$$

con B', L' dimensioni ridotte per l'eccentricità del carico.

$\alpha_i = i_i \; g_i \; \partial_i \; d_i$ → affondamento → DIPENDONO DA B → LI PONGO = 1 MA E' RICHIESTO UN CALCOLO ITERATIVO

inclinazione del carico; piano di posa; forma

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

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

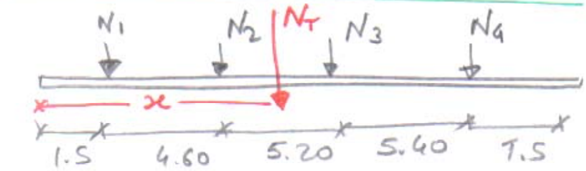
$$N_c = (N_q-1)\operatorname{cotg}\varphi'$$

con $\gamma_R = 2.3$

$\gamma' = \gamma_{\operatorname{tg}\varphi'} = 1$

se $\varphi = 28° \rightarrow N_q = 14.72$
$N_\gamma = 16.70$

COMB 1 : CARICHI VERTICALI



$x N_{TOT} = 1.5 N_1 + 6.1 N_2 + 11.3 N_3 + 16.7 N_4 \rightarrow$

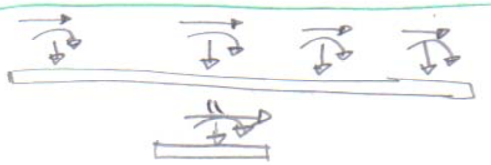
$x = 8.637\,m \Rightarrow e = \frac{L}{2} - x = 0.463\,m$

$L' = L - 2e = 17.27\,m$

SONO ASSENTI FORZE ORIZZONTALI ⇒ $i = 1$

$$\frac{1}{2}\gamma' B^2 N_\gamma + \gamma' B D N_q - \frac{N_{TOT}}{L'} \cancel{B} \gamma_R = 0 \rightarrow B = 1.37\,m$$

COMB 2: AZIONI SISMICHE



$x N_{TOT} = 1.5 N_1 + \dots + 16.7 N_4$; $\Delta e = \frac{M_{TOT}}{N_{TOT}}$

$\Rightarrow e = 0.463 + \frac{1185 \times 1.3}{4423.8} = 0.812\,m$

Quindi $L' = L - 2e = 16.576\,m$

PER EFFETTO DELLE AZIONI ORIZZONTALI HO:

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

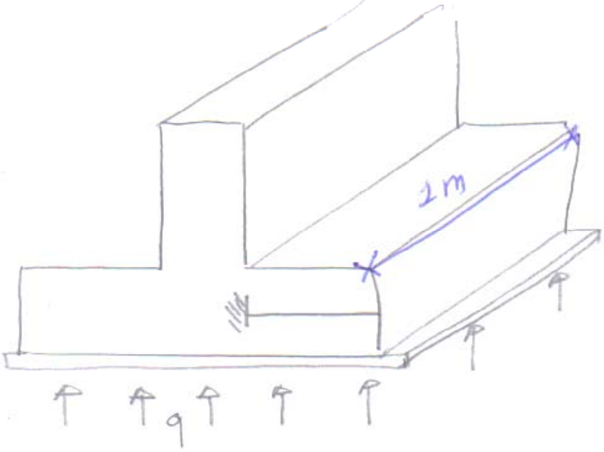
$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{N + B'\cancel{L'c'\cot\varphi'}}\right]^{m+1} \quad \text{con} \quad m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

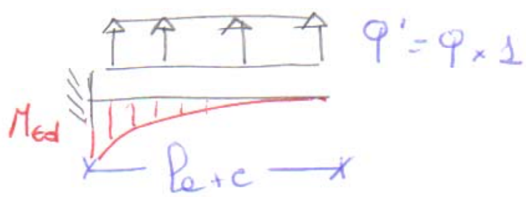
IPOTIZZO $m = 2 \rightarrow$ $i_q = 0.609$, $i_\gamma = 0,476$ $\Rightarrow B = 1.46\,m$

FISSO CAUTELATIVAMENTE $\boxed{B = 1.60\,m} \rightarrow$

$$\boxed{l_e = \frac{B - 2c - b_w}{2} = 0,45\,m}$$

Dimensionamento dell'altezza h_e



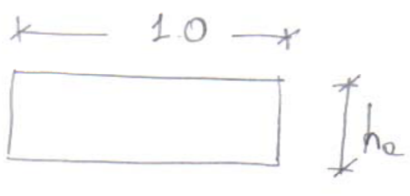


COMB 1: $q = \frac{N}{BL'} = \frac{7425.3}{1.60 \times 17.27} = 268.72\ \frac{kN}{m^2}$

COMB 2 $q = \frac{N}{BL'} = \frac{4423.9}{1.60 \times 16.576} = 166.8\ \frac{kN}{m^2}$

$$M_{Ed} = \frac{q'(l_e + c)^2}{2} = 40,65\,kNm$$

$$V_{Ed} = q'(l_e + c) = 147.80\,kN$$



$$M_{Rd} = \frac{b d_e^2}{r^2} \rightarrow d = r'\sqrt{\frac{M}{1\,m}} = 0.018\sqrt{\frac{40.65}{1}} = 0.115\,m$$

$$h_e = d + c \simeq 0.17\,m$$

VALUTO L'ALTEZZA NECESSARIA PER NON AVERE ARMATURA A TAGLIO

$$V_{Rd} = \left[0.18\,k\,\frac{\sqrt[3]{100\,\rho_e f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.15\,\sigma_{cp}\right] b_w d$$

$$\geq \left[\nu_{min} + 0.15\,\sigma_{cp}\right] b_w d$$

$$\nu_{min} = 0.035\,k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad \text{con} \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

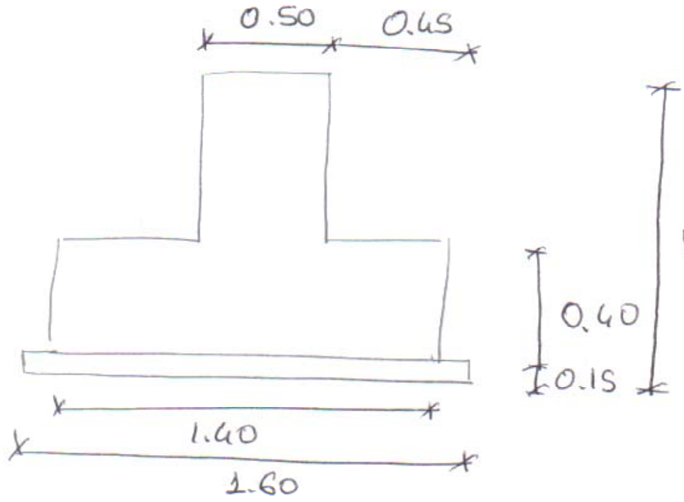
$\rho_e = \frac{A_{se}}{b_w d}$ NON È NOTO A PRIORI $\Rightarrow$ CONSIDERO LA 2ª RELAZIONE

$V_{Rd} = 1.4^{3/2} \cdot 0,035 \cdot 25^{1/2} \cdot 1m \times d = V_{Ed} = 147.8\ kN$

ASSUNTO $k = 1.4$
($h_{TOT} = 1300\ mm$)

$\Rightarrow d = 0.51m \Rightarrow h_e = d_e + c = 0,56m$

FISSO $h_e = 0,40m \Rightarrow$ DISPONGO ARMATURA A TAGLIO



$\rightarrow$ CALCOLO I_f E VERIFICO CHE SIA EFFETTIVAMENTE $> 4 \times \sum I_{el}$

CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

- RISOLVO LO SCHEMA DI TRAVE SU SUOLO ELASTICO
- DETERMINO LE SOLLECITAZIONI
- PROGETTO LE ARMATURE

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{c \cdot B}{4 E_c I_f}} \quad \text{con} \quad k = k_1 \left(\frac{B+b}{2B}\right)^2 = 74 \frac{N}{cm^3} \left(\frac{1.60+0.30}{2 \times 1.60}\right)^2 = 26,1 \frac{N}{cm^3}$$

$I_f = 0.1432 m^4$

$E_c = 22\,000 \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31500 \frac{N}{mm^2}$

DAL TABULATO DI CALCOLO LEGGO:

- $V_{Ed}^{max} = 1283.6\ kN < V_{Ed}^{ipotizzato}$
- $M_{Ed}^{max} = 1565.5\ kNm \leq M_{Rd} = \frac{b w d^2}{r'^2} = 2071.7\ kNm$

Progetto delle armature a Flessione

NTC PUNTO 7.2.5:

"Le fondazioni superficiali devono essere progettate per rimanere in campo elastico → Non sono necessarie armature specifiche per avere un comportamento duttile"

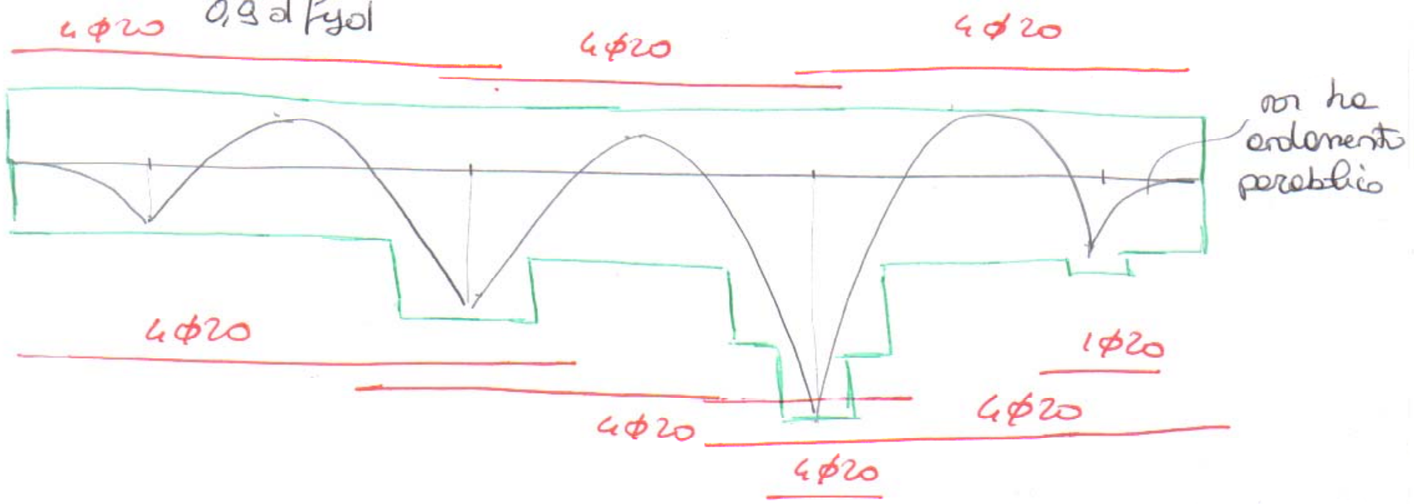
↓

UTILIZZO I DETTAGLI COSTRUTTIVI DEL CAP. 4

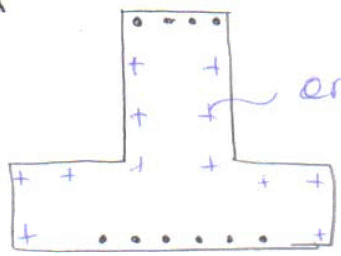
$A_{s,min}^{sup} = A_{s,min}^{inf} = 0{,}2\%\, bd$ (valore maggiore del limite per le travi in elevazione)

$\Rightarrow A_{s,min} = \frac{0{,}2}{100} \times 0{,}50 \times 1{,}26 = 12.50\ cm^2 \Rightarrow 4\phi 20\ (12{,}56\ cm^2)$

$A_{s,nec} = \frac{M}{0{,}9\, d\, f_{yd}}$



L'ARMATURA DEVE ESSERE DISPOSTA PREVALENTEMENTE ALL'INTERNO DELLA ZONA VICINO ALL'ANIMA



armatura fuori calcolo con $d \leq 20cm$

Armatura a taglio

IL TAGLIO SOLLECITANTE NON È LINEARE MA HA ANDAMENTO PROSSIMO A QUELLO LINEARE

QUANTITATIVO MINIMO DI STAFFE: $A_{st} \geq 1.5\, b_w \frac{mm^2}{m} = 1.5 \times 500 = 750 \frac{mm^2}{m}$

UTILIZZO $\phi 10$ A 2 BRACCI → $A_{st} = 2 \times 0.785 = 1.57\ cm^2 \Rightarrow \frac{n_{st}}{m} = \frac{750}{157} = 4.77$

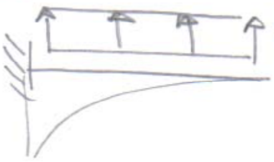
→ $\boxed{\phi 10/20}$

IL TAGLIO RESISTENTE DELLE ARMATURE È:

$$V_{Rd,s} = \underbrace{\frac{A_{st}}{s}}_{\frac{2\times 0{,}785}{20}} \times 0{,}9\,\underbrace{d}_{1{,}26\,m} \times \underbrace{f_{yd}}_{391{,}3\,\frac{N}{mm^2}} \left(\underbrace{\cot\theta}_{2} + \underbrace{\cot\alpha}_{0}\right) \underbrace{\operatorname{sen}\alpha}_{1} = 691{,}1\ kN$$

se $\phi 10/10 \Rightarrow V_{Rd,s} = 1382{,}27\ kN$ (raffittisco agli appoggi)

ARMATURA DELL'ALA



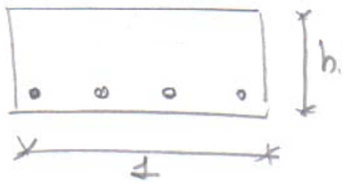
$q' = 268.72\ \frac{kN}{m}$

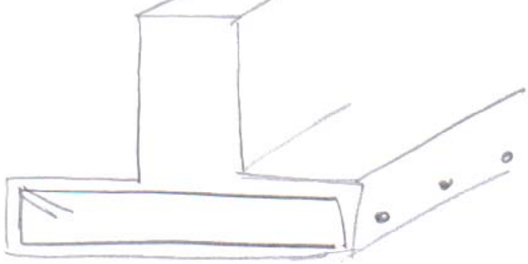
$M_{Ed} = 40.65\ \frac{kN}{m}$

$V_{Ed} = 147.8\ kN$

$$A_s = \frac{M}{0{,}9\,d\,f_{yd}} = \frac{40{,}65\ kNm}{0{,}9 \times 0{,}35\,m \times 391{,}3\,\frac{N}{mm^2}} = 329.8\ mm^2$$

OTTENGO QUESTA ARMATURA DISPONENDO STAFFE NELLE ALI





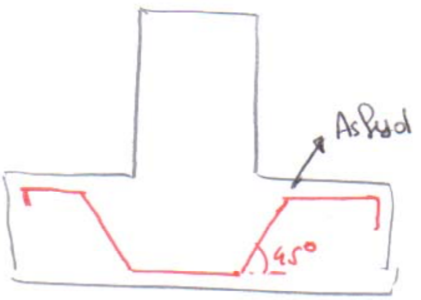
$$\Rightarrow n_b = \frac{329.8\ mm^2}{A_{\phi st}} = 4.20 \Rightarrow 5\phi 10$$

$(\phi 10/20)$

CALCOLO $V_{Rd,c}$ PER VEDERE SE È NECESSARIA ARMATURA A TAGLIO

$$\rho_\ell = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{A_{s\phi 20}}{100 \times 35} = 0.112\% \qquad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{350}} = 1.75$$

$$V_{Rd,c} = 0.18\,k\,\frac{\sqrt[3]{100\,\rho_\ell\,f_{ck}}}{\gamma_c} \cdot 1\,m \times 0{,}35\,m = 103{,}6\ kN \Rightarrow$$ SERVE ARMATURA A TAGLIO

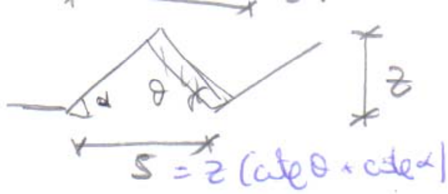


$$V_{Rd,s} = \frac{A_s}{s} \cdot 0{,}9\,d\,f_{yd}\,(\cot\theta + \cot\alpha)\,\operatorname{sen}\alpha$$

$\cot\alpha = 1$

$\operatorname{sen}\alpha = \sqrt{2}/2$

$\cot\theta = 2$



$$\Rightarrow A_s = \frac{V_{Ed}}{f_{yd}\,\operatorname{sen}\alpha}$$

carico su piastre standard di forma quadrata o circolare con lato o diametro di 30 cm; a tale valore si assegnerà il simbolo k_1. Avendo fissato la forma e le dimensioni della piastra, il valore di k_1 dipende solo dalle caratteristiche del terreno di fondazione; ha quindi senso assumere per esso valori tipici, dipendenti solo dal tipo di terreno.

Si noti che non si sta suggerendo di eseguire realmente prove di carico su piastra, che sono assai onerose, soprattutto in fase di progetto. Si vuole solo mettere in evidenza che i valori tipici del coefficiente di reazione del terreno, che sono forniti ad esempio da manuali e testi, sono riferiti ad una piastra di dimensioni e forma standardizzate e pertanto, prima di essere usati per l'analisi di una fondazione di forma e dimensioni diverse, devono essere opportunamente modificati.

Valori tipici di k_1 sono elencati nella tabella 9.3 per terreni coesivi sovraconsolidati e nella tabella 9.4 per terreni incoerenti.

Consistenza	Compatta ($c_u = 50 \div 100$ kPa)	Molto compatta ($c_u = 100 \div 200$ kPa)	Dura ($c_u > 200$ kPa)
Campo	$18 \div 35$	$35 \div 70$	> 70
Valore consigliato	25	50	100

Tab. 9.3. Valori tipici di k_1 (N/cm^3) per terreni coesivi.
Per estrapolare alla fondazione, v. eq. (9.7)

Tipo di sabbia		Stato di addensamento		
		Sciolto	Medio	Denso
Non satura	Campo	$7 \div 20$	$20 \div 100$	$100 \div 350$
	Valore consigliato	15	50	175
Satura	Valore consigliato	10	30	110

Tab. 9.4. Valori tipici di k_1 (N/cm^3) per terreni incoerenti.
Per estrapolare alla fondazione, v. eq. (9.8)

In prima approssimazione, e nel campo di profondità di interesse per una fondazione diretta, un terreno coesivo sovraconsolidato può essere assimilato ad un mezzo elastico omogeneo. Per un mezzo siffatto, il cedimento w_1 della piastra standard di lato b = 30 cm vale:

$$w_1 = \frac{pb}{E}\left(1-\nu^2\right)I_1$$

mentre il cedimento di una trave di fondazione di larghezza B vale:

$$w = \frac{pB}{E}\left(1-\nu^2\right)I$$

Si ha allora: