

COMUNE DI PALESTRINA

(Provincia di Roma)



**MESSA IN SICUREZZA DEGLI EDIFICI E DEL TERRITORIO
ARTICOLO 1 COMMA 139 DELLA LEGGE 145 DEL 30
DICEMBRE 2018 E S.M.I.**

**INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DELL'AREA
DELL'EX STAZIONE FERROVIARIA**



PROGETTO DEFINITIVO

Il Responsabile U.T.:

Arch. Daniele Cardoli

Il Progettista:

Ing. Luigi Cipriani

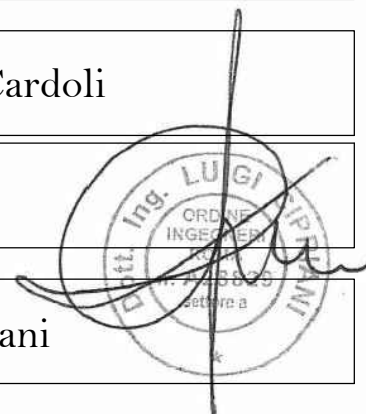


Tavola
D_ST_15_A

**Schemi strutturali posti alla base
dei calcoli**

Settembre 2022

CIPRIANI INGEGNERIA - Dott. Ing. Luigi Cipriani
Via delle Colombe 2F, 00024 Castel Madama (Roma)
pec. luigi.cipriani@pec.ording.roma.it



1. TEORIA DI CALCOLO

Coefficienti di spinta

-Spinta Statica Attiva

Il coefficiente di spinta attiva (K_a) è stato calcolato con la teoria di Coulomb tramite la relazione:

$$K_a = A / (B * [1 + \sqrt{(C / D)}]^2)$$

dove: $A = \cos^2 (\Phi - (90 - \psi));$

$$B = \cos^2 (90 - \psi) * \cos ((90 - \psi) + \delta);$$

$$C = \sin (\delta + \Phi) * \sin (\Phi - \beta);$$

$$D = \cos ((90 - \psi) + \delta) * \sin ((90 - \psi) - \beta);$$

-Spinta Attiva in Condizioni Sismiche

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche (K_{aE}) è stato calcolato con la formula di Mononobe e Okabe:

$$K_{aE} = A' / (B' * [1 + \sqrt{(C' / D')}]^2)$$

dove: $A' = \sin^2 (\psi + \Phi - \theta);$

$$B' = \cos (\theta) * \sin^2 (\psi) * \sin (\psi - \theta - \delta);$$

$$C' = \sin (\Phi + \delta) * \sin (\Phi - \beta - \theta);$$

$$D' = \sin (\psi - \theta - \delta) * \sin (\psi + \beta);$$

- Spinta Statica Passiva

Il coefficiente di spinta passiva (K_p) è stato calcolato tramite la relazione

$$K_p = A / (B * [1 + \sqrt{(C / D)}]^2)$$

dove: $A = \cos^2 (\Phi + (90 - \psi))$

$$B = \cos^2 (90 - \psi) * \cos ((90 - \psi) - \delta)$$

$$C = \sin (\delta + \Phi) * \sin (\Phi + \psi)$$

$$D = \cos ((90 - \psi) - \delta) * \sin ((90 - \psi) - \beta)$$

- Significato dei simboli

Nelle precedenti relazioni:

Φ è il valore dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;

ψ è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;

β è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;

δ è il valore dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro.

$\theta = \arctan(kh/(1+K_v))$ per livello di falda al di sotto del muro di sostegno;

$\theta = \arctan(\gamma/(\gamma - \gamma_w)*kh/(1+K_v))$ per terreno impermeabile in condizioni dinamiche al di sotto del livello di falda.

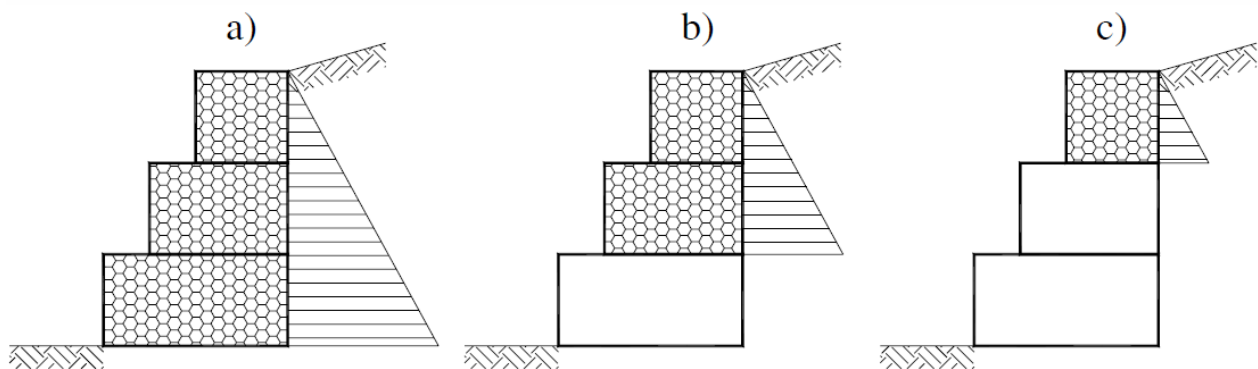
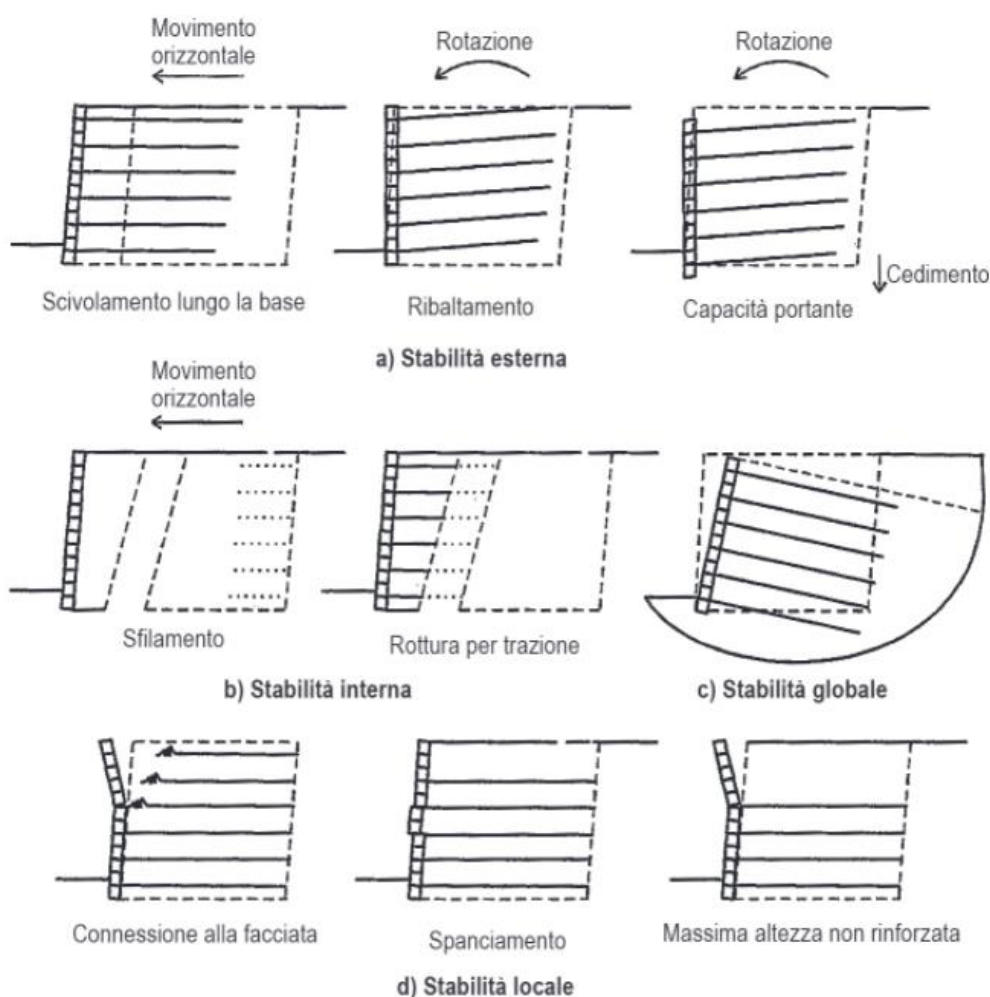


Figura 6. Diagrammi schematici di spinta attiva sulle varie porzioni di muro da verificare.

Il progetto di un muro in gabbioni si esegue allo stesso modo di un muro a gravità di calcestruzzo o muratura, tuttavia la sua particolare struttura modulare con n strati di gabbioni richiede che le verifiche di stabilità vengano eseguite sia con riferimento all'intero muro, sia considerando le $(n-1)$ porzioni che si ottengono considerando per ciascuno strato solo gli strati soprastanti (Figura 6).

Per le terre rinforzate La forza orizzontale globale richiesta per mantenere l'equilibrio in ogni particolare caso di potenziale meccanismo di scorrimento può essere calcolata applicando le stesse forze esterne al pendio e imponendo che il pendio sia in condizioni di equilibrio, assumendo un valore fissato della resistenza a taglio mobilizzata dal terreno. L'analisi dell'intera gamma di meccanismi di potenziali scorrimenti permette di individuare due particolari superfici dentro il pendio che sono definite come la linea di forza richiesta nulla e la linea di forza richiesta massima. La prima linea definisce la zona di terreno in cui sono richiesti gli strati di rinforzo per mantenere l'equilibrio. La linea di massima forza richiesta è la linea che connette i punti in cui la forza richiesta è più alta; solitamente essa passa attraverso il piede del pendio. Occorre definire il fattore di sicurezza nelle varie analisi di stabilità come rapporto tra la resistenza massima della struttura, cioè in condizioni di equilibrio limite, e le forze agenti nella condizione di esercizio più svantaggiosa.



Per il progetto di un muro in terra rinforzata sono richiesti quattro tipi di analisi di stabilità:

- stabilità esterna (figura 13.2a): il blocco rinforzato viene considerato come blocco rigido, cui si applicano gli stessi meccanismi di rottura dei muri a gravità, cioè scivolamento lungo la base, ribaltamento, capacità portante; questa analisi permette di definire le dimensioni minime del blocco rinforzato;
- stabilità interna (figura 13.2b): si considerano qui le superfici di rottura potenziali interne al blocco rinforzato e si calcolano gli strati di GSR in numero, posizione verticale, lunghezza e resistenza a trazione; i meccanismi di rottura che si considerano sono la rottura per trazione dei GSR e lo sfilamento (o pull-out) dei GSR dal terreno;

2.3.2 Verifica di stabilità interna

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera in terra rinforzata, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata (fig. 3).

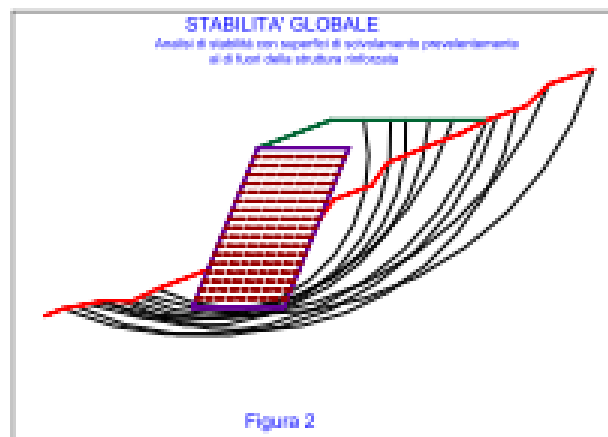
- stabilità locale (figura 13.2d): si verifica che non esistano possibilità di rottura locali in corrispondenza della facciata dell'opera, per rottura delle connessioni tra GSR ed elementi di facciata e per spanciamento della

facciata; inoltre si verifica la massima altezza non rinforzata vicino alla sommità del muro. Questa analisi dipende dal tipo di facciata e di connessione che si intende utilizzare; le strutture più sensibili a questa possibile rottura sono quelle in cui la facciata è realizzata con blocchi prefabbricati in calcestruzzo;

- stabilità globale (figura 13.2c): si considerano qui le superfici di rottura potenziali che passano anche dietro e sotto il blocco rinforzato; questa analisi viene in genere svolta con il metodo di Bishop modificato, cioè considerando superfici di rottura circolari

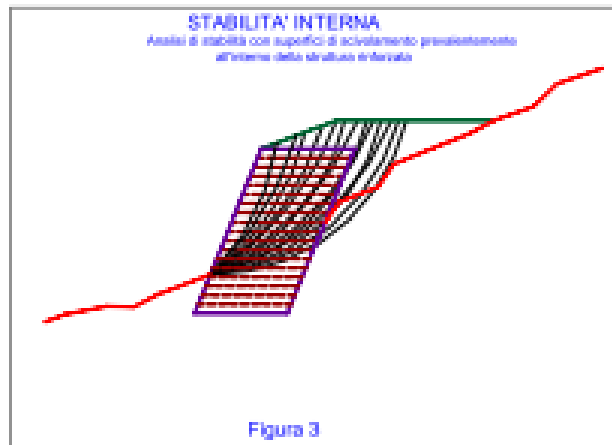
Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato, con opera di sostegno o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi o gabbionate, prima delle ipotesi di progetto. A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni all'opera di sostegno o ai rinforzi stessi



Verifica di stabilità interna

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera in terra rinforzata, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata (fig. 3).

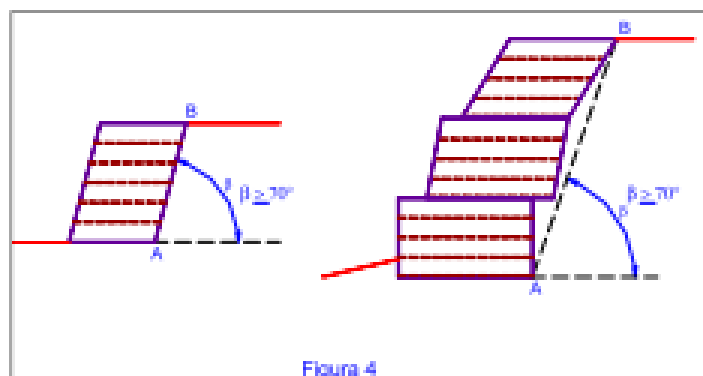


Verifica dell'opera come muro di sostegno (Scorrimento, Ribaltamento e di Portanza della Fondazione)

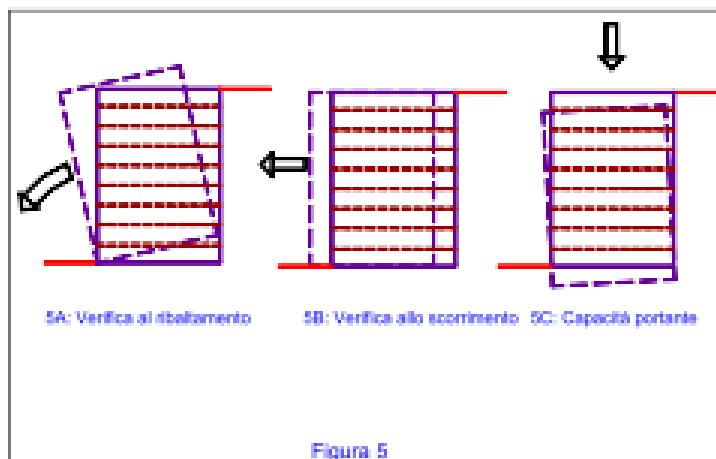
In tale verifica l'opera in terra rinforzata, intera o una sua parte, viene considerata come un muro monolitico, formato da blocchi che compongono l'opera stessa, che sostiene le spinte del terreno che si trova a monte. A costituire il muro possono concorrere tutti i blocchi (intesi come rilevati strutturali) che costituiscono l'opera oppure tutti i blocchi a partire dal blocco di verifica, cioè tutti i blocchi di una opera che si trovano sopra un blocco scelto per tale verifica.

Affinché la sequenza di blocchi prescelta possa essere considerata un muro monolitico deve essere soddisfatta una condizione geometrica di pendenza media dei blocchi (β in fig. 4) che deve essere superiore

od uguale a 70° . La valutazione della pendenza media viene effettuata dal programma considerando la retta congiungente lo spigolo inferiore destro del primo blocco (fig. 4, punti A) con lo spigolo superiore destro dell'ultimo blocco di verifica (fig. 4, punti B)

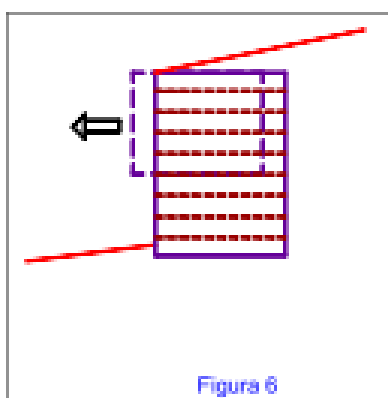


In tale verifica l'opera di sostegno in gabbioni (gabbionata), viene considerata come un muro monolitico. La verifica dell'opera come muro di sostegno, sia essa in terra rinforzata che muro in gabbioni, si articola a sua volta nelle tre verifiche classiche dei muri di sostegno (fig. 5): verifica al ribaltamento (fig. 5a), verifica allo scorrimento (fig. 5b), verifica per capacità portante (fig. 5c). Per quest'ultima verifica il valore della pressione di rottura del terreno alla base del muro può essere fornita dall'utente oppure può essere calcolata automaticamente dal programma come meglio di seguito descritto.



Verifica di scorrimento

In tale tipo di verifica si accerta la stabilità di un'opera (intera o di una sua porzione) allo scorrimento lungo un piano orizzontale scelto dall'utente (fig. 6), con parametri di verifica (coesione e angolo di attrito sulla superficie di scorrimento) scelti pure dall'utente in funzione del tipo di contatto alla base.



Verifica di scorrimento interno (verifica di scorrimento tra un corso di gabbioni e quello soprastante)

In tale tipo di verifica si accerta la stabilità di un'opera (intera o di una sua porzione) allo scorrimento lungo un piano di contatto al di sotto di un corso di gabbioni scelto dall'utente, con parametri di verifica (coesione e

angolo di attrito sulla superficie di scorrimento) che, solo per lo strato di base (detto primo corso), possono essere scelti dall'utente in funzione del tipo di contatto con lo strato di base.

Spinte unitarie delle terre

-Spinta attiva

La spinta attiva dello strato sul muro si calcola con la formula:

$$S_a := K_a * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove: K_a è il valore del coefficiente di spinta attiva;

$\sigma'(z_1)$ e $\sigma'(z_2)$ sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

h_i è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro del diagramma.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{aX} := K_{aX} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2);$$

$$S_{aY} := K_{aY} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2).$$

-Incremento di spinta attiva (Δ_{PAE}) esercitata dal terreno in condizioni sismiche

L'incremento di spinta è pari alla differenza di spinte esercitate dal terreno retrostante in condizione sismica e in quella statica.

Per il generico strato i -esimo, l'incremento di spinta si calcola con la formula:

$$\Delta_{PAE} := (K_{aE} - K_a) * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove: h_i è lo spessore dello strato medesimo;

$\sigma'(z_1)$ e $\sigma'(z_2)$ sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

K_{aE} è il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche;

K_a è il valore del coefficiente statico di spinta attiva.

Tale incremento viene applicato a metà altezza dello strato

-Spinta Passiva

La spinta passiva (S_p) dello strato sul muro si calcola con la formula:

$$S_p := K_p * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2)$$

dove: K_p è il valore del coefficiente di spinta passiva;

$\sigma'(z_1)$ e $\sigma'(z_2)$ sono i valori delle tensioni verticali efficaci agli estremi iniziale e finale;

h_i è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro del diagramma.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{pX} := K_{pX} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2);$$

$$S_{pY} := K_{pY} * ((\sigma'(z_1) + \sigma'(z_2)) * h_i / 2).$$

-Spinta dovuta all'acqua

Per il generico strato la spinta esercitata dall'acqua sul muro si calcola con la formula:

$$S_w := (u(z1) + u(z2)) * h_i / 2$$

dove : $u(z1)$ e $u(z2)$ sono i valori delle pressioni neutre agli estremi iniziale e finale;

h_i è lo spessore dello strato medesimo.

Tale spinta viene applicata nel baricentro del diagramma delle spinte.

-Contributo alla spinta dovuto alla coesione

Per il generico strato i -esimo la spinta negativa dovuta alla coesione viene valutata considerando un valore di calcolo pari ad un'aliquota della coesione [%50 di c] calcolata con la formula:

$$S_c := -2 * c * (\sqrt{A}) * h_i$$

dove: c è il valore della coesione;

K_a è il valore del coefficiente di spinta attiva;

h_i è lo spessore dello strato medesimo.

Tale incremento viene applicato a metà altezza dello strato

-Incremento di Spinta dovuto al Sovraccarico

L'incremento di spinta dovuto al sovraccarico si calcola con la formula:

$$S_A := K_A * Q$$

dove: Q è il valore del sovraccarico applicato;

K_a è il valore del coefficiente di spinta attiva.

Tale spinta, viene applicata nel baricentro dello strato.

Le sue componenti orizzontale e verticale si calcolano con le formule:

$$S_{AX} := K_{AX} * Q;$$

$$S_{AY} := K_{AY} * Q.$$

Forze d'inerzia orizzontali

- Forza d'inerzia orizzontale dovuta al muro:

$$FIO_M = k_h * PM$$

dove: k_h = coefficiente sismico orizzontale;

PM = peso proprio del muro.

- Forza d'inerzia orizzontale dovuta al terreno gravante sulla mensola di fondazione a monte:

$$FIO_T = k_h * PT$$

dove: k_h = coefficiente sismico orizzontale;

PT = peso proprio del terreno gravante sulla mensola di fondazione.

I punti di applicazione delle forze d'inerzie orizzontali coincidono con i relativi baricentri delle masse degli elementi interessati.

Forze d'inerzia verticali

- Forza d'inerzia verticale dovuta al muro:

$$FIV_M = (+/-) k_v * PM$$

dove: k_v = coefficiente sismico verticale = $1/2 k_h$;

PM = peso proprio del muro.

- forza d'inerzia verticale dovuta al terreno gravante sulla mensola di fondazione a monte:

$$FIV_T = (+/-)k_v * P_T$$

dove: k_v = coefficiente sismico verticale;

P_T = peso proprio del terreno gravante sulla mensola di fondazione.

I punti di applicazione delle forze d'inerzie verticali coincidono con i relativi baricentri delle masse degli elementi interessati.

* * *

Palestrina, lì

Il Tecnico