

MURI DI SOSTEGNO



*a cura del professore
Francesco Occhicone*

anno 2014

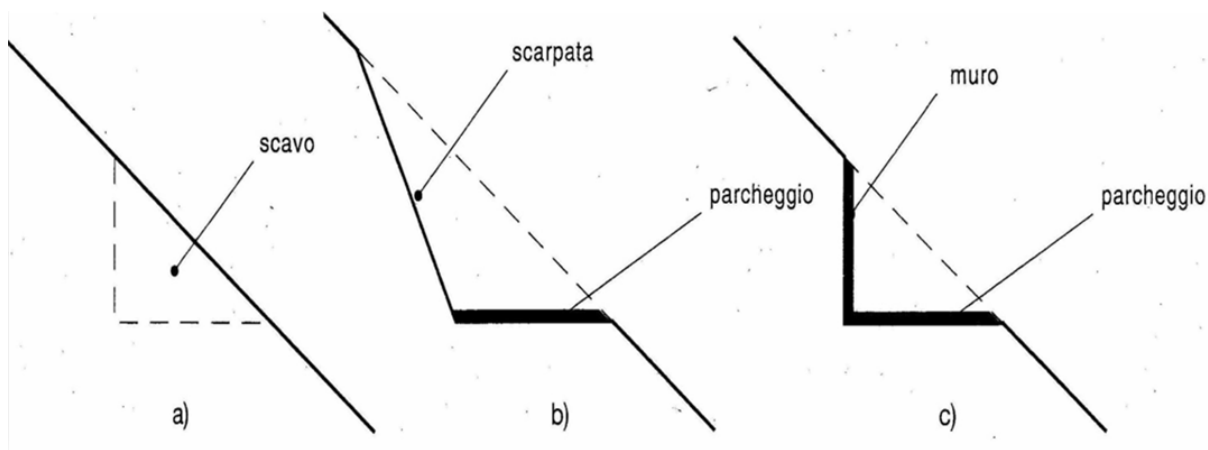
MURI DI SOSTEGNO

Per **muro di sostegno** si intende un'opera d'arte con la funzione principale di sostenere o contenere fronti di terreno di qualsiasi natura e tipologia, eventualmente artificiali.

I materiali con i quali può essere realizzato sono:

- muratura di mattoni,
- muratura di cls non armato,
- cemento armato.

Può essere utilizzato nel caso in cui si debba realizzare un parcheggio o una strada sotto il livello del piano di campagna.



CLASSIFICAZIONE

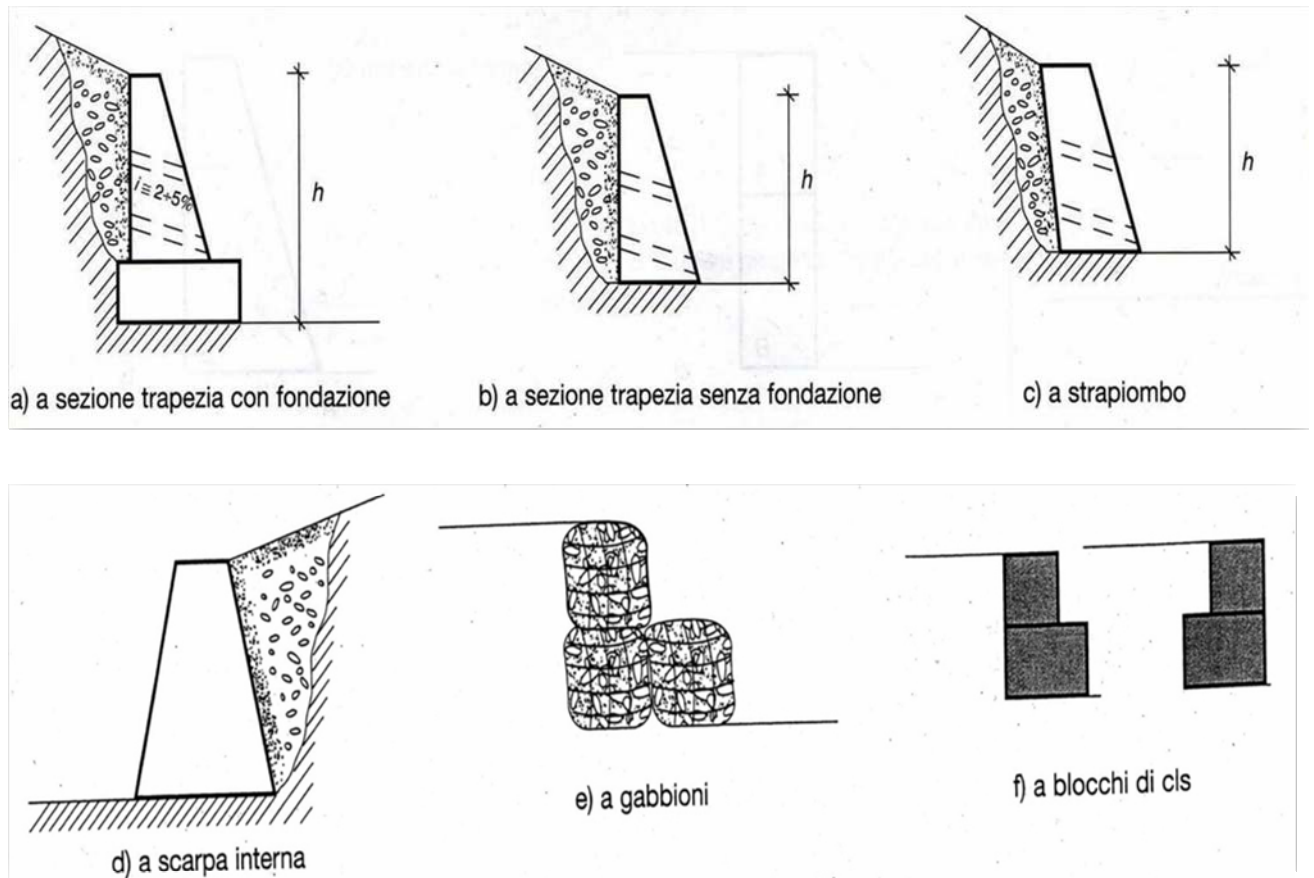
I muri di sostegno possono essere distinti in base al posizionamento o al principio statico con cui resistono. In base al posizionamento abbiamo:

1. **Muri di controripa**, che sostengono un manufatto;
2. **Muri di sottoripa o sottoscampa**, che sostengono terre sovrastanti il manufatto.

In base al principio statico si hanno:

1. **Muri a gravità**, che sono muri massicci in pietra e/o cls a basso dosaggio, che resistono alla spinta della terra grazie al loro peso.
2. **Muri a mensola**, sono dei muri con le pareti in cemento armato, che a differenza dei muri a gravità, hanno un comportamento elastico. La parete è incastrata nella base di fondazione che ha il comportamento strutturale di una mensola. Distinguiamo due tipologie di muri a mensola:
 - a) Tipologia che presenta un'ala di base più grande verso l'interno del terrapieno; essa sfrutta il peso della terra in favore della stabilità, comportandosi quindi complessivamente come un muro di sostegno a gravità (h max 6-7m)
 - b) Tipologia che viceversa presenta un'ala di base più grande verso l'esterno del terrapieno; essa sfrutta un aumento del braccio delle forze peso della parete del muro di sostegno, in modo da aumentare il momento stabilizzante, mentre quello ribaltante si mantiene costante (h max 3-3,50m)

Possiamo avere diverse tipologie di muro:

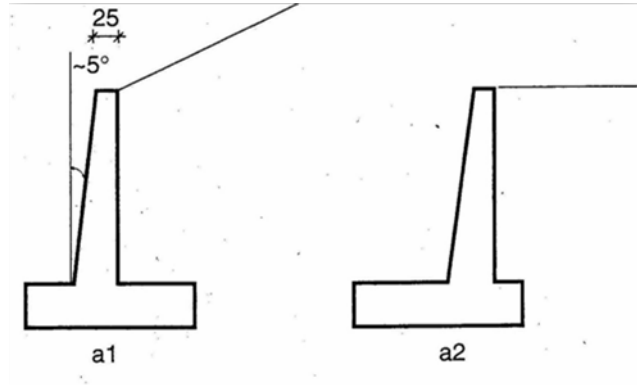


Le forze agenti sul muro sono il peso proprio, eventuali carichi verticali, la spinta della terra (orizzontale o inclinata), e l'eventuale spinta idraulica orizzontale.

Per quanto riguarda il criterio di resistenza, il muro sotto l'azione della spinta deve restare in equilibrio, non deve cioè ruotare o traslare e il terreno su cui è fondato non deve collassare né subire cedimenti tali da comprometterne la funzionalità.

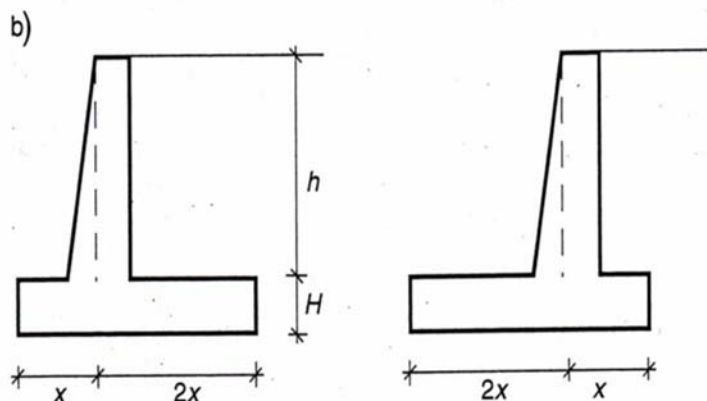
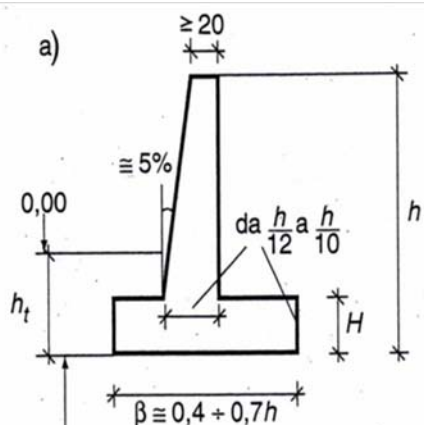
Progetto di un muro di sostegno a gravità

Il progetto si articola a partire dalle verifiche di stabilità, che sono verifica a ribaltamento, a scorrimento e schiacciamento, in modo da garantire i coefficienti di sicurezza richiesti. Inoltre impone un'analisi attenta delle caratteristiche del terreno che opera la spinta (caratteristiche meccaniche ecc..) e un'accurata esecuzione delle opere che garantiscono il rispetto delle condizioni ipotizzate nel calcolo.

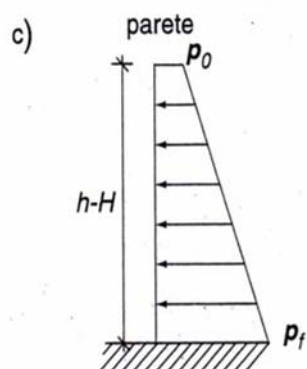


Progetto di un muro di sostegno in cemento armato

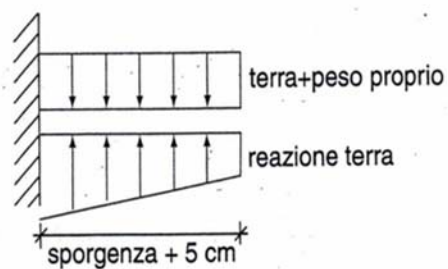
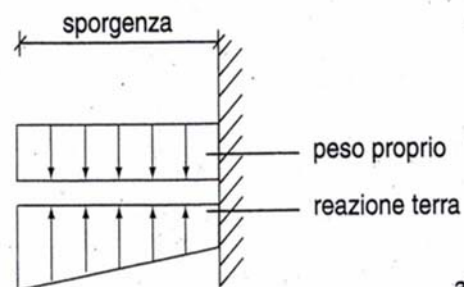
Il progetto consiste nell'individuare le dimensioni della sagoma del muro in modo che sia verificato al ribaltamento e scorrimento e verificato lo schiacciamento del terreno, ma consiste anche nel verificare le tensioni interne del cemento armato e la quantità di acciaio necessaria affinché il muro non collassi sotto l'azione del momento flettente indotto dalle forze esterne; consiste pertanto nel progettare il muro alla spinta della terra e nel progetto del cemento armato. Per l'impostazione del calcolo del muro in c.a. si segue quanto indicato per i muri a gravità, con le opportune modifiche dovute alla forma e al comportamento strutturale del materiale. Si pone come incognita l'ala di base, interna o esterna a seconda della tipologia adottata; in sommità il muro ha spessore minimo di 20 cm. Il piano di posa del muro deve essere al disotto della zona di terreno soggetta a gelo.



piano di posa al di sotto della zona soggetta a gelo



ala a valle



- a) Schemi per l'approssimazione delle dimensioni del muro
 b) Schemi di calcolo per il progetto di muri in c.a.
 c) Schemi statici per il calcolo del c.a.

PROGETTO DI UN MURO DI SOSTEGNO IN BASE ALLA TEORIA DI COULOMB

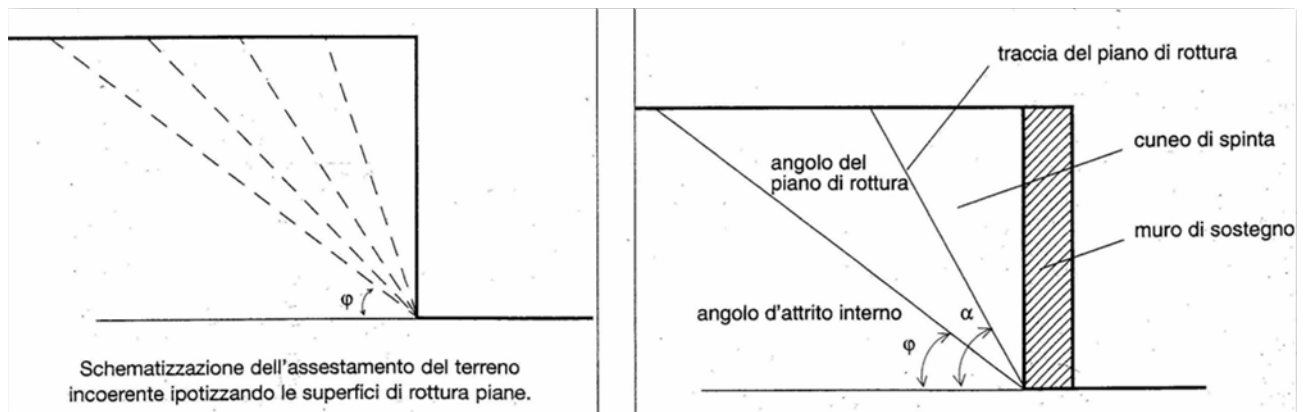
1. VALORE DELLA SPINTA ATTIVA DELLA TERRA

L'intervento di scavo determina una rottura dell'equilibrio interno del terreno, ritrovato quando, con successive frane, il profilo del pendio raggiunge il limite dell'angolo di natural declivio (per i terreni incoerenti tale angolo coincide con l'angolo di attrito interno φ). Il movimento franoso avviene secondo superfici di scorrimento che hanno una forma a cucchiaio, ma nella teoria di Coulomb queste avvengono approssimativamente con dei piani. Inoltre alla base della sua teoria Coulomb ipotizza che la coesione tra le particelle del terreno sia nulla ($c=0$) e che il terreno sia drenato (vale a dire che la **spinta idrostatica sia nulla**, nel caso di eventuale presenza d'acqua nel terreno, *questo purché nella costruzione del manufatto si provveda alla realizzazione di idoneo e adeguato sistema di drenaggio*).

Si chiama **cuneo di spinta** la parte di terreno che frana. Tale cuneo scivola lungo una superficie, detta piano di rottura, inclinata rispetto all'orizzontale di un angolo α (angolo piano di rottura) $> \varphi$ (angolo di attrito interno).

La spinta attiva è la forza esercitata dal cuneo di spinta sul muro di sostegno.

Coulomb determina il valore della spinta attiva della terra nell'ipotesi dello spostamento del muro di sostegno.



1° caso: terrapieno a superficie orizzontale e parete verticale, attrito terra-muro nullo

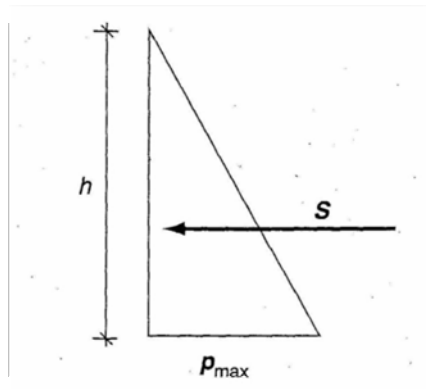
In questo caso la spinta S è orizzontale e quindi verrà calcolata in questo modo:

$$S = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot \gamma_t \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Generalmente si ipotizza che le pressioni della terra sul muro seguano una legge lineare in cui il valore della pressione è proporzionale all'altezza di terra sovrastante. Il diagramma delle pressioni è quindi triangolare. La retta d'azione della spinta S passa nel baricentro del diagramma delle pressioni.

$$p_{\max} = \frac{2S}{h}$$

il valore $K_A = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ è detto coefficiente di spinta attiva.



2° caso: terrapieno come nel 1° caso, ma con sovraccarico sul terreno.

Ci possono essere, però, dei carichi che agiscono alle spalle del muro di sostegno, e quindi agiscono direttamente sul cuneo di spinta, oppure agiscono davanti al muro. In questo secondo caso la loro azione non ha influenza sulla spinta che il terrapieno esercita sul muro, ma al contrario è favorevole alla stabilità del muro. Nel caso in cui i carichi agiscono alle spalle del muro di sostegno si andrà a calcolare la pressione del terreno a quota 0.00 (p_0) e la pressione massima (p_{max}), calcolata alla base del terrapieno; avremo così un diagramma delle pressioni di tipo trapezoidale. La pressione a quota 0.00 è calcolata ipotizzando di trasformare il sovraccarico in altezza h' di terra equivalente. Nell'ipotesi di terrapieno orizzontale e nullo l'attrito tra terra e muro, con l'avvertenza di considerare l'altezza h' , otteniamo:

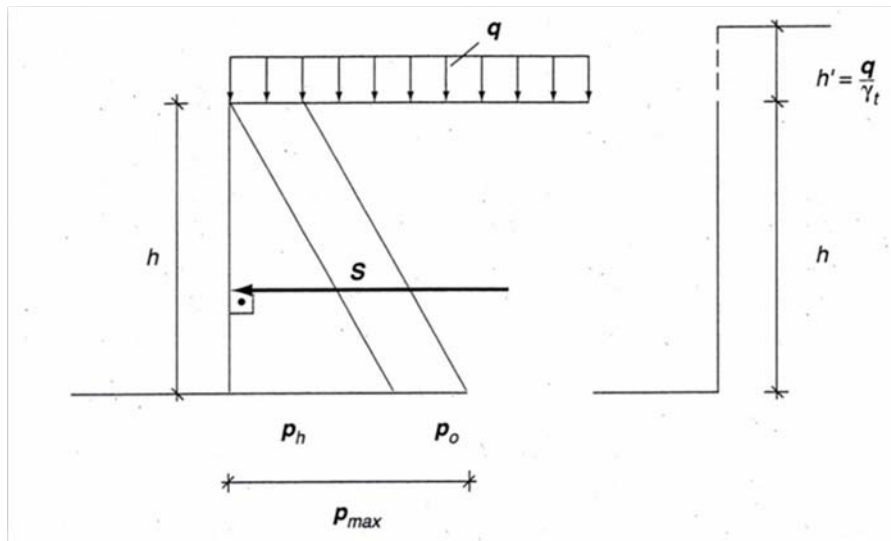
$$p_0 = h' \cdot \gamma_t \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

La spinta S calcolata a partire dal diagramma delle pressioni, diviene:

$$S = \frac{1}{2} h^2 \cdot \gamma_t \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \left(1 + \frac{2h'}{h} \right)$$

2. POSIZIONE DELLA SPINTA “S”

La spinta della terra, come risultante del diagramma delle pressioni, ha retta d'azione passante per



il baricentro del diagramma delle pressioni. Pertanto rispetto alla base del diagramma delle pressioni l'altezza h^* della spinta S è:

nel caso di terrapieno senza sovraccarico:

$$h^* = \frac{1}{3} h$$

nel caso di terrapieno con sovraccarico reso equivalente in altezza h' di terra:

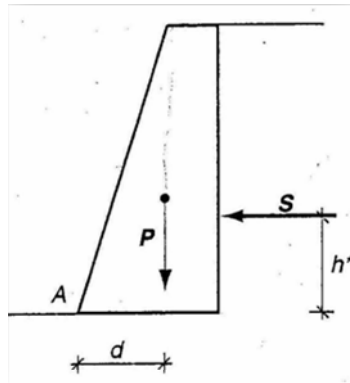
$$h^* = \frac{h}{3} \cdot \frac{h + 3h'}{h + 2h'}$$

VERIFICHE DI STABILITA'

Le verifiche di stabilità del muro sono:

1. La verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento è la verifica alla rotazione rispetto al punto più a valle della parete o della parte di parete che, per ragioni costruttive, si possa intendere come un elemento strutturale



autonomo.

M_S = momento stabilizzante = $P \cdot d$

M_r = momento ribaltante = $S \cdot h^*$

$$\mu = \frac{M_S}{M_r} \geq 1,5$$

2. Verifica a scorrimento

La verifica allo scorrimento è la verifica alla traslazione della parete rispetto al suo piano di posa.

$$\eta = \frac{F_a}{S} = \frac{P \cdot \tan \varphi'}{S} = \frac{P \cdot f}{S} \geq 1,3$$

φ' = è l'angolo d'attrito tra terra muro e superficie di scorrimento

Gli angoli d'attrito tra la superficie di base della parete e la superficie d'appoggio possono essere assunti:

- Per attrito muro/terra dove φ è l'angolo d'attrito interno della terra

$$\frac{1}{2} \varphi \leq \varphi' \leq \frac{2}{3} \varphi$$

- Per attrito muro/muro

$$f = 0,7$$

3. Verifica allo schiacciamento

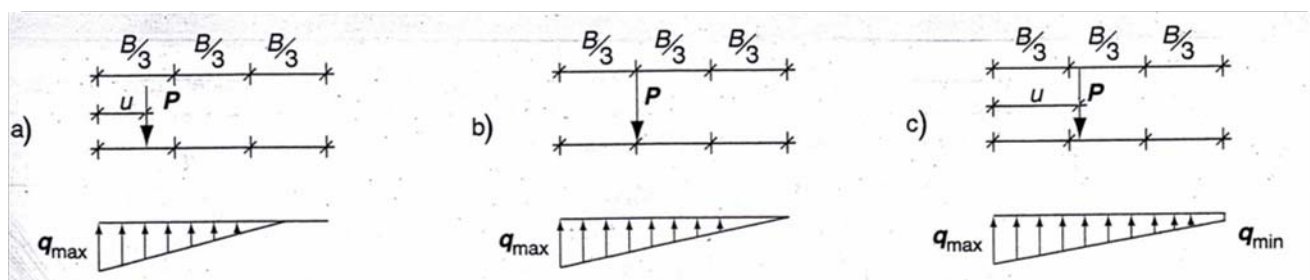
La verifica allo schiacciamento è la verifica alla compressione del terreno effettuata al livello del piano di posa del muro.

La risultante dei carichi si troverà, alla base del muro, in uno dei due casi seguenti:

- All'interno del nocciolo centrale d'inerzia o sulla sua estremità;
- All'esterno del nocciolo centrale d'inerzia.

Le forze agenti sono la spinta della terra S e il peso del muro P

$$u = \frac{M_s - M_r}{P}$$



Dal confronto di u con $\frac{B}{3}$ otteniamo:

- a. $u < \frac{B}{3}$, il centro della risultante è esterno al nocciolo centrale d'inerzia.
tensione massima è

$$\sigma_{t, \max} = \frac{2 \cdot P}{3 \cdot u \cdot 100}$$

- b. $u = \frac{B}{3}$, il centro di pressione è sull'estremità del nocciolo centrale d'inerzia.
la tensione massima è

$$\sigma_{t, \max} = \frac{2 \cdot P}{B \cdot 100}$$

- c. $u > \frac{B}{3}$, il centro di pressione è interno al nocciolo centrale d'inerzia
la tensione massima è

$$\frac{P}{B \cdot 100} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right); \text{ quella minima è: } \sigma_{t, \min} = \frac{P}{B \cdot 100} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B} \right)$$

la normativa impone il confronto della tensione massima calcolata con la tensione limite σ_{lim} del terreno. Il rapporto tra la tensione limite e la tensione massima deve risultare maggiore di due:

$$v = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{t, \max}} \geq 2$$