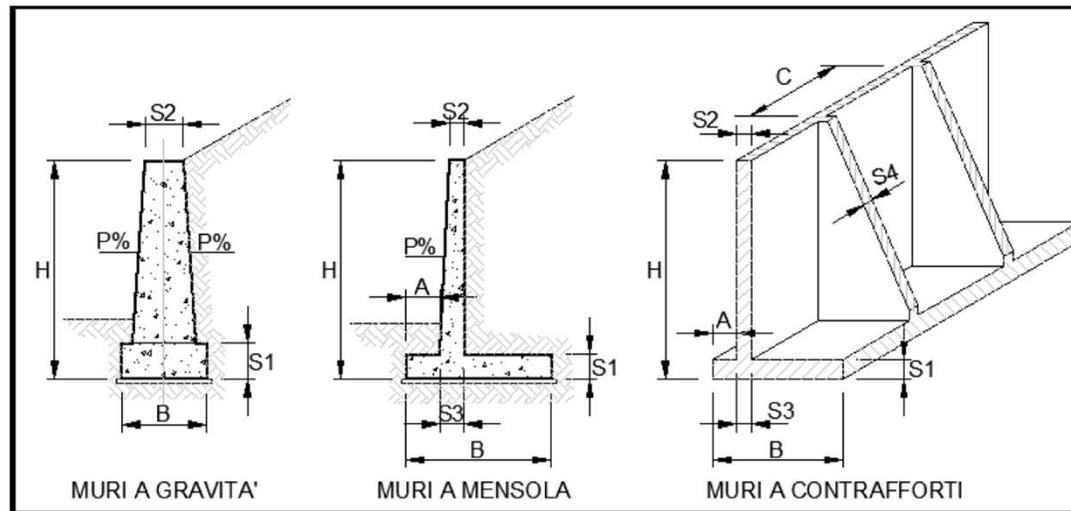


# COSTRUZIONE DI STRADE

## Le opere di sostegno



# Le opere di sostegno delle terre: tipologie

Le **opere di sostegno delle terre** si utilizzano per sostenere pendii e fronti di scavo verticali troppo alti o ripidi per essere stabili autonomamente.

Possono essere strutture rigide, cioè caratterizzate dal fatto che l'unico movimento che manifestano sotto l'azione dei carichi è un movimento rigido, o strutture flessibili, caratterizzate da una certa deformabilità.

<b>Muri di sostegno:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ a mensola</li> <li>❖ a gravità</li> <li>❖ a contrafforti</li> <li>❖ a elementi prefabbricati</li> <li>❖ crib walls</li> </ul>	<b>Gabbionate</b>	<b>Terre rinforzate ed armate</b>	<b>Paratie</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Palancole metalliche</li> <li>❖ Diaframmi in ca</li> <li>❖ Berlinesi di pali</li> </ul>

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

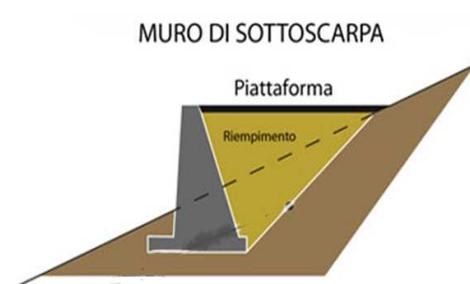
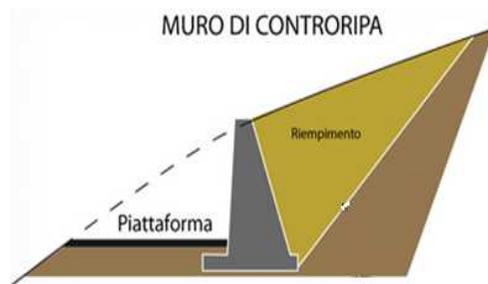
## Muri di sostegno

I **muri di sostegno** sono opere in grado di garantire la stabilità di un fronte di terreno potenzialmente instabile.

Possono essere distinti in base al posizionamento o al principio statico con cui resistono.

### Posizionamento

- ❖ **Muro di controripa** è un muro realizzato a sostegno del lato a monte di un'infrastruttura viaria. Sostiene una scarpata indefinita e consente di formare una piattaforma a valle;
- ❖ **Muro di sottoscarpa** è un muro di contenimento che sostiene le terre sovrastanti il manufatto e che non raggiunge l'estradosso orizzontale del terreno di monte. Consente di formare una piattaforma a monte;
- ❖ **Muro di sostegno** è un muro di contenimento che sostiene le terre sovrastanti il manufatto e che raggiunge l'estradosso orizzontale del terreno di monte.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

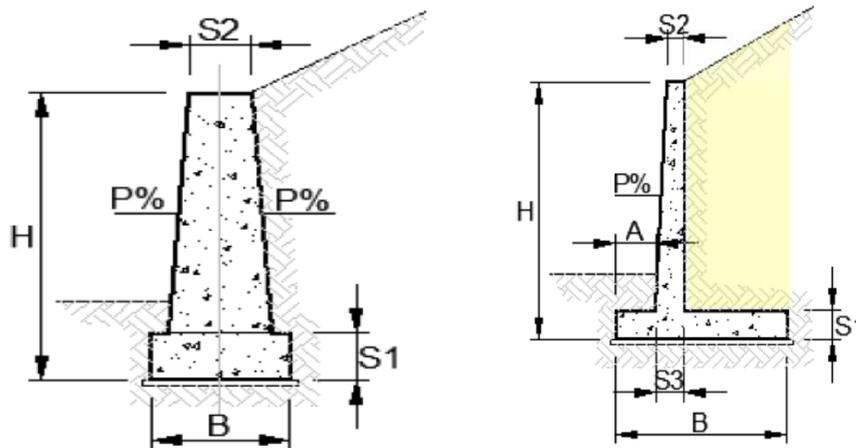
## Muri di sostegno

I **muri di sostegno** sono opere in grado di garantire la stabilità di un fronte di terreno potenzialmente instabile.

Possono essere distinti in base al posizionamento o al principio statico con cui resistono.

### Principio statico con cui resistono

- ❖ **Muri a gravità** sono muri massicci che resistono alla spinta della terreno grazie al peso proprio;
- ❖ **Muri a mensola** sono muri snelli che resistono alla spinta del terreno grazie al loro peso ed a quello del terreno imbarcato.



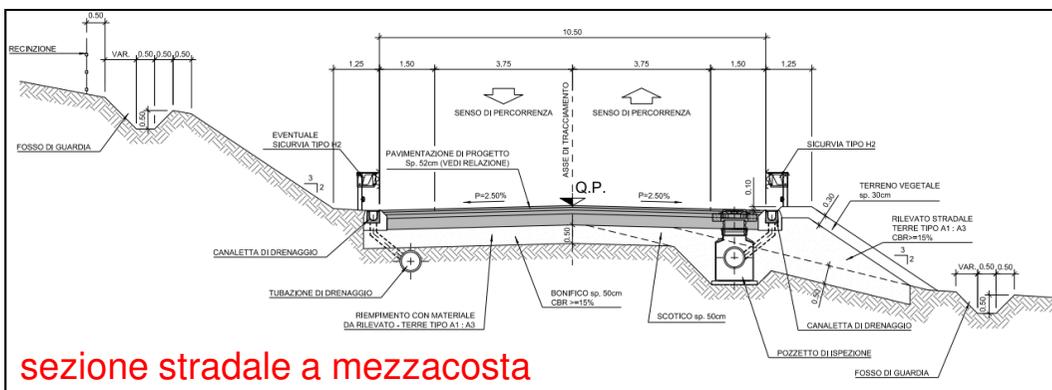
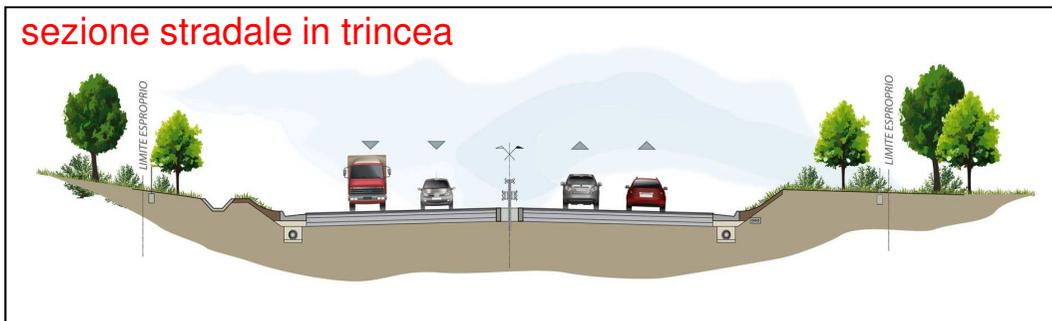
# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

sezione stradale in rilevato

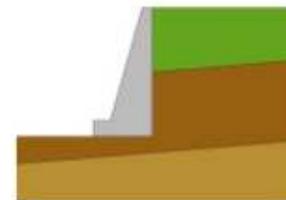


sezione stradale in trincea



sezione stradale a mezzacosta

MURO DI SOSTEGNO



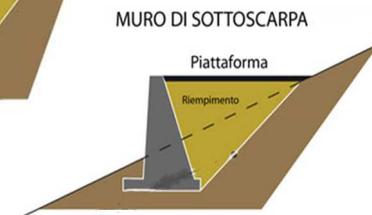
MURO DI CONTRORIPA

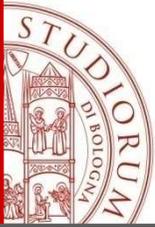


MURO DI CONTRORIPA



MURO DI SOTTOSCARPA



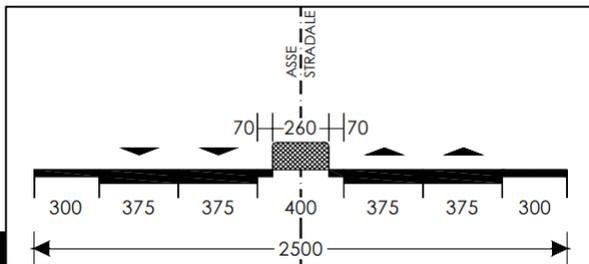
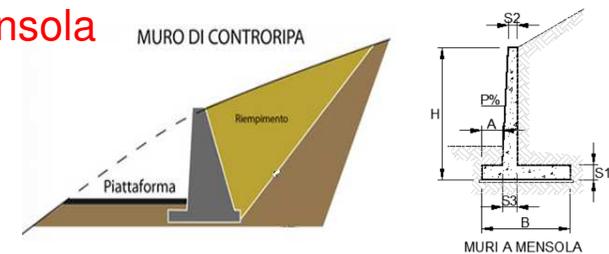


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

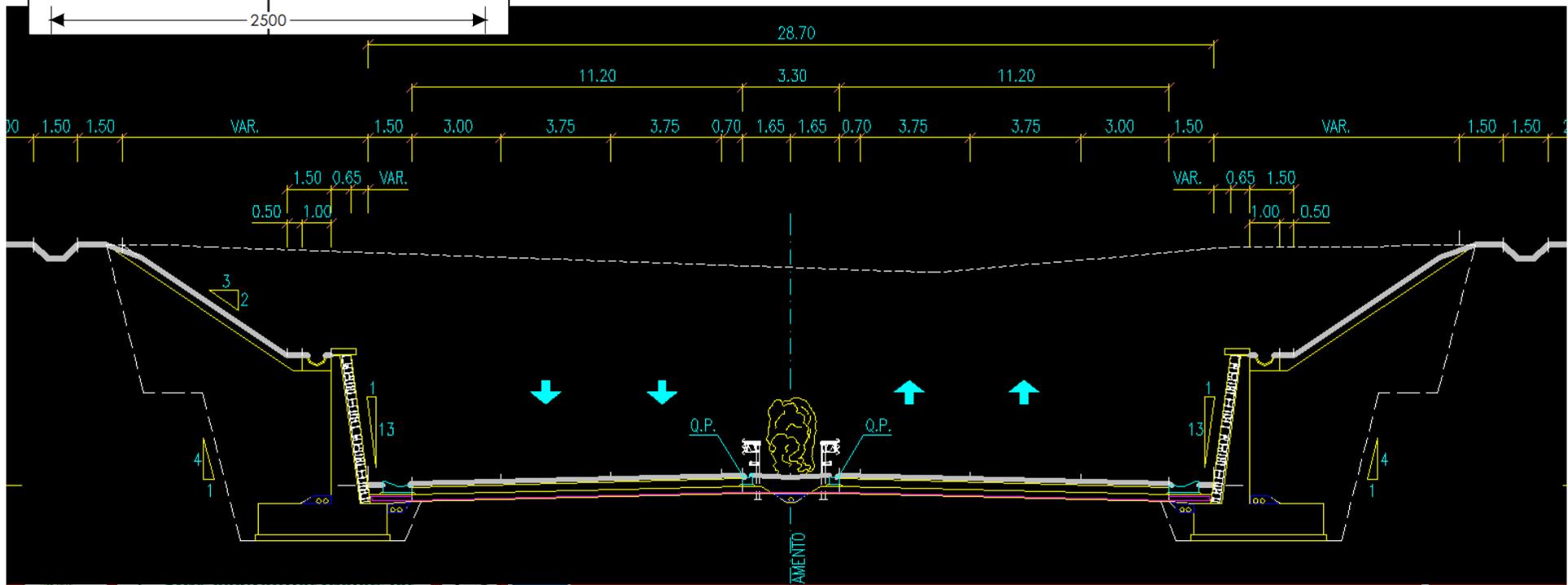
## Muri di sostegno

Esempio di muro di controripa a mensola

Categoria A – Autostrade  
(DM 05.11.2001)



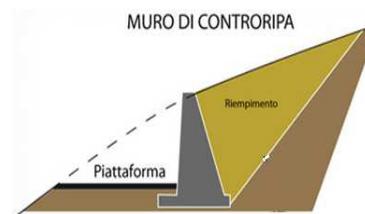
sezione stradale in trincea



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

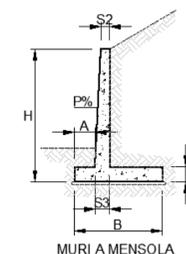
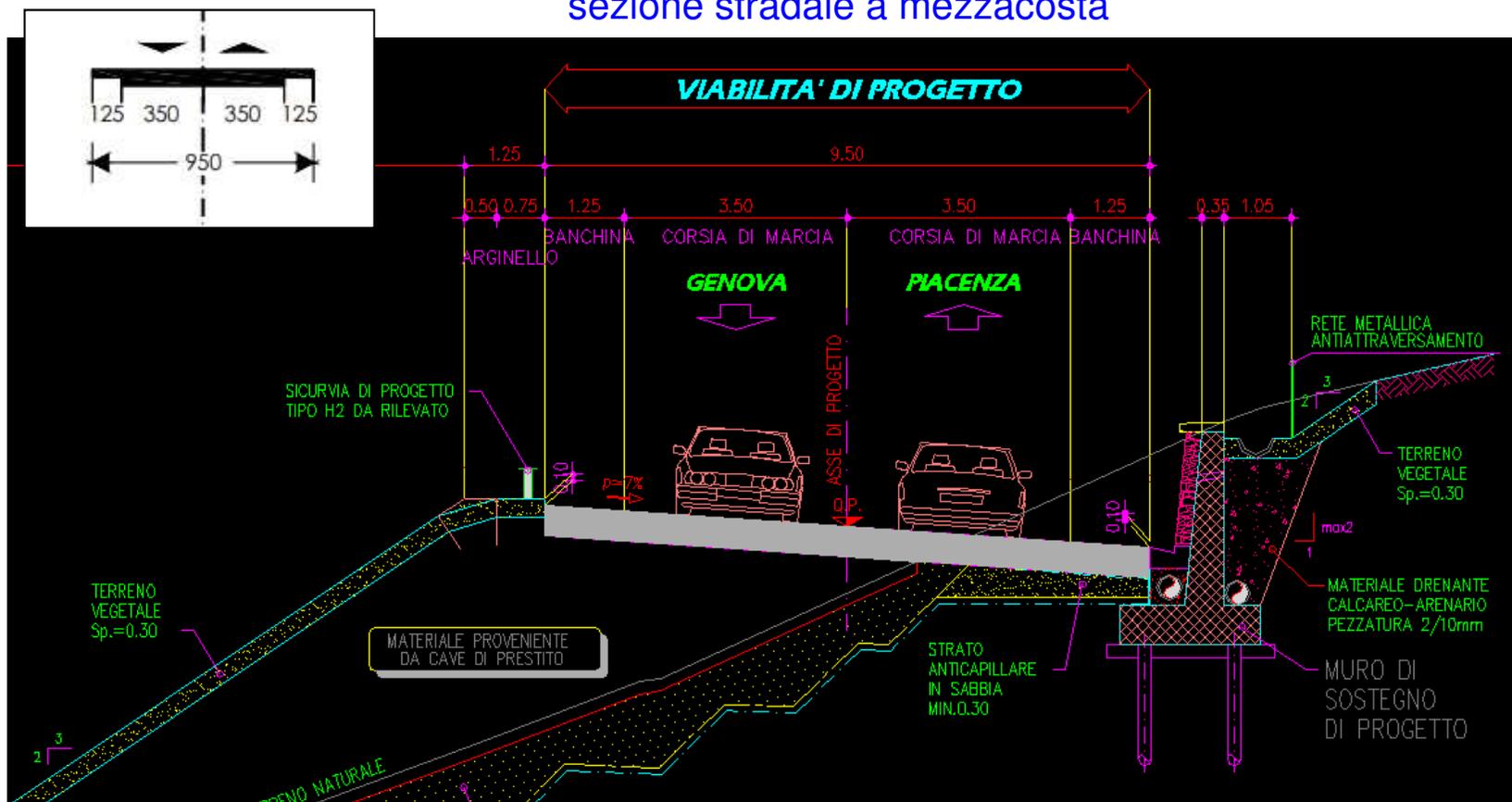
## Muri di sostegno

Esempio di muro di controripa a mensola



Categoria C2 – Extraurbane  
secondarie (DM 05.11.2001)

sezione stradale a mezzacosta

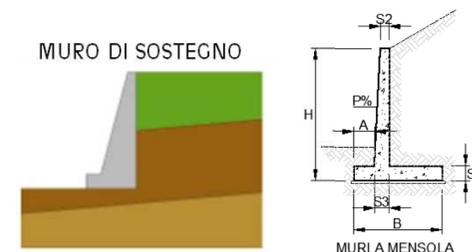
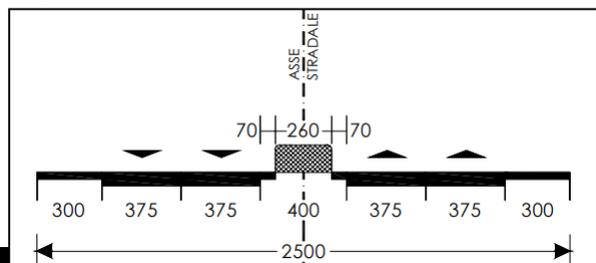


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

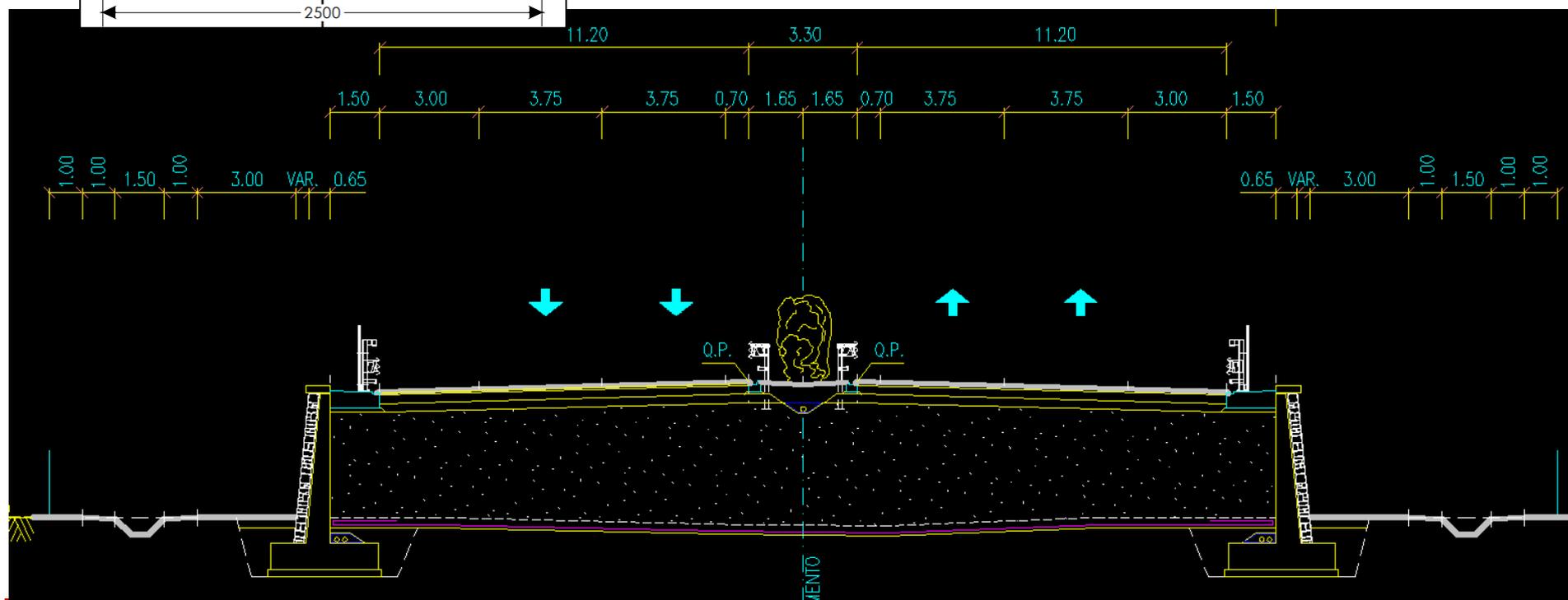
## Muri di sostegno

Esempio di muro di sostegno a mensola

Categoria A – Autostrade (DM 05.11.2001)



sezione stradale in rilievo





# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

I **muri a gravità** sono strutture di sostegno che resistono in funzione del loro peso proprio; l'azione stabilizzante è affidata quasi esclusivamente al peso della struttura.

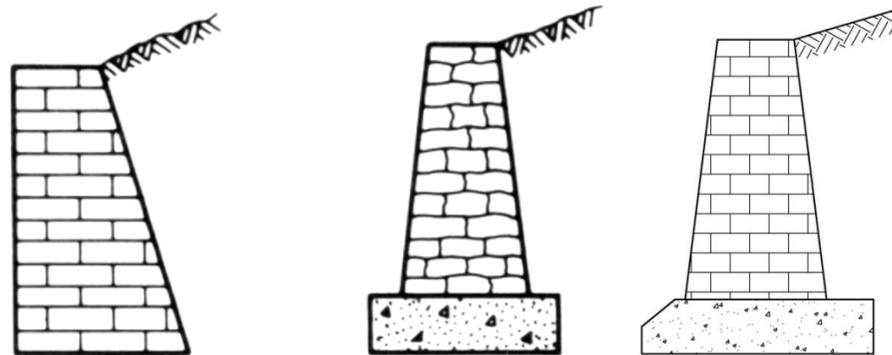
La forma dei muri a gravità è generalmente trapezoidale.

Possono essere realizzati in calcestruzzo, in pietrame a secco ed in pietrame legato.

Sono utilizzati per la costruzione di muri non troppo alti ( $H < 3 \div 4$  m).

Sono caratterizzati da uno schema di funzionamento semplice, sono relativamente facili da realizzare, ma rischiano di avere dimensioni eccessivamente generose in presenza di sovraccarichi importanti.

Per valutare le spinte agenti sull'opera si utilizza generalmente la teoria di Coulomb.



Muri a gravità in pietrame o calcestruzzo

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

I **muri a mensola** sono strutture di sostegno che resistono in funzione del peso proprio e di quello del terreno imbarcato a tergo dell'opera.

Sono generalmente realizzati in calcestruzzo armato.

L'introduzione dell'armatura consente di realizzare strutture più snelle rispetto ai muri a gravità, adatte per altezze più elevate ( $4 \div 5 \text{ m} < H < 8 \div 9 \text{ m}$ ).

Per valutare le spinte agenti sul muro si utilizza la teoria di Rankine.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

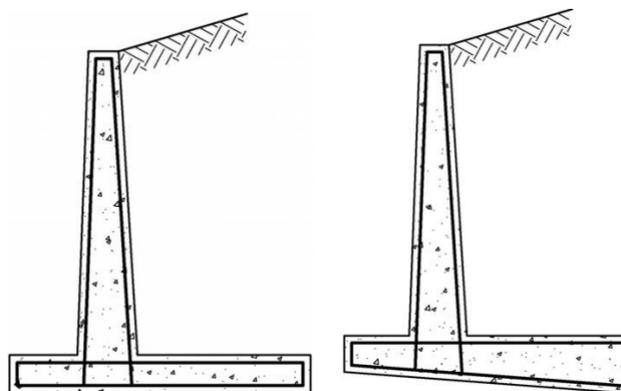
## Muri di sostegno

I **muri a mensola** sono costituiti da tre mensole convergenti in un nodo.

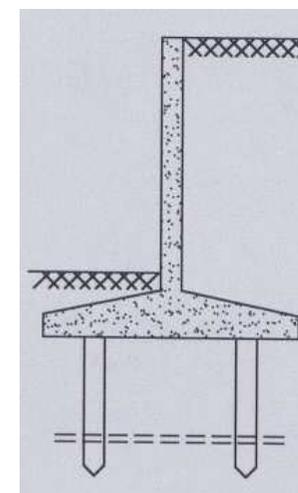
Parete verticale  
(è incastrata nella  
base di fondazione)



Fondazione  
(è costituita da una mensola  
anteriore e da una posteriore)



La parte verticale e la fondazione  
possono essere a sezione  
rettangolare o trapezoidale.



Possono anche  
essere su pali.

Una fondazione su pali si adotta al fine di migliorare la stabilità allo scorrimento dell'opera di sostegno, poiché si approfondisce la zona di trasmissione del carico al terreno. I muri di sostegno con fondazione su pali si utilizzano frequentemente per opere di sostegno ubicate su pendii soggetti a movimenti franosi.

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

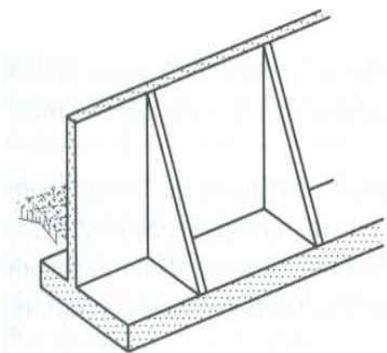
I **muri a contrafforti** o **a speroni** si differenziano dai muri a mensola per la presenza di irrigidimenti inseriti a sostegno della lastra verticale.

Si utilizzano per altezze elevate ( $H > 8 \div 9$  m), poiché gli speroni di cui sono dotati hanno funzione stabilizzante e consentono di ridurre lo spessore del muro senza che gli spostamenti trasversali diventino eccessivi.

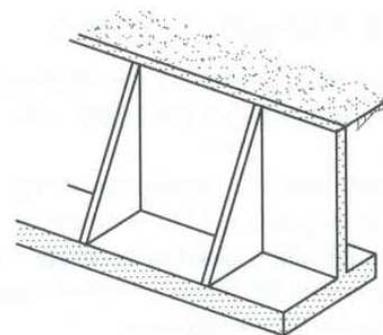
Hanno un comportamento analogo a quello dei muri a mensola ma, date le difficoltà di cassetatura e l'elevato costo di messa in opera, hanno una diffusione limitata.

Possono essere realizzati seguendo due modalità costruttive:

- ❖ utilizzo di contrafforti interni: la piastra frontale funziona come l'ala di una sezione a T e l'armatura di trazione è disposta nelle nervature;
- ❖ utilizzo di contrafforti esterni: questo caso è meno interessante poiché pone problemi estetici.



Muro a contrafforti interni



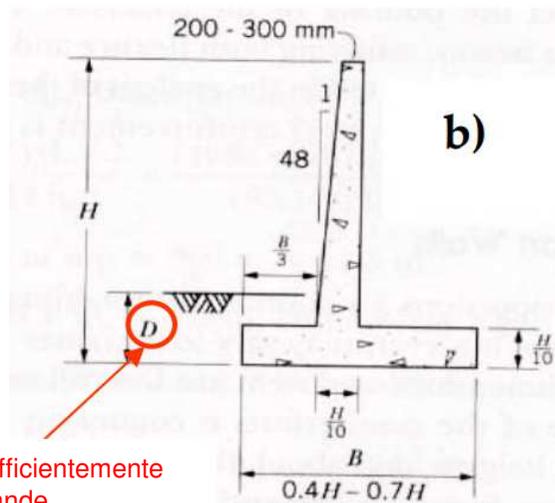
Muro a contrafforti esterni

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

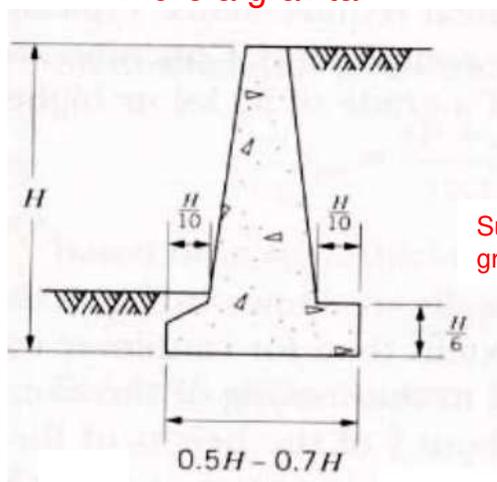
Le **dimensioni dell'opera** sono solitamente fissate in funzione del relativo criterio di resistenza: il muro sotto l'azione della spinta deve restare in equilibrio, non deve ruotare o traslare, e il terreno su cui è fondato non deve collassare o subire cedimenti tali da comprometterne la funzionalità.

Muro a mensola

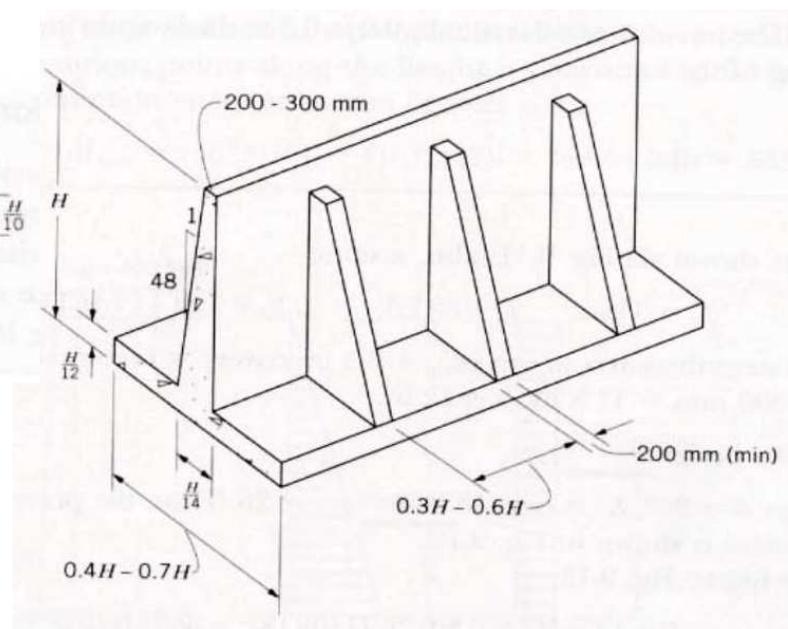


Sufficientemente grande

Muro a gravità



Muro a contrafforti

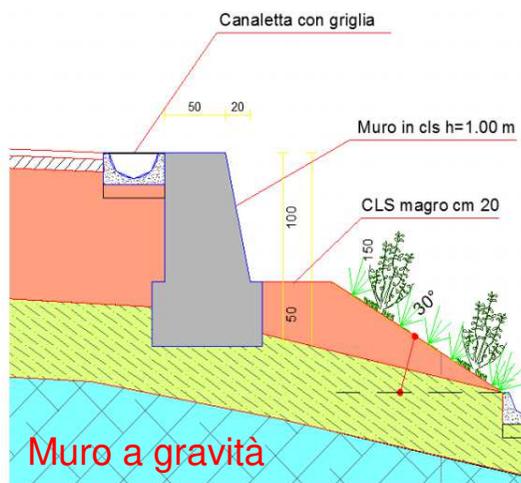


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Le **fasi costruttive dell'opera** sono solitamente:

- ❖ scavo di sbancamento;
- ❖ realizzazione delle casseforme e delle armature (non nei muri a gravità);
- ❖ getto del calcestruzzo;
- ❖ realizzazione del riempimento a tergo e del drenaggio a tergo del muro.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

I **muri di sostegno prefabbricati** sono realizzati mediante elementi prefabbricati in calcestruzzo armato, assemblati fra loro mediante giunzioni ad incastro.

Sono costituiti da una successione di pannelli modulari a tutta altezza (larghezza: 1.25 ÷ 2.50 m), posati su un cordolo di fondazione preventivamente gettato in opera o prefabbricato.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Nei **muri di sostegno prefabbricati** i pannelli possono essere verticali o inclinati, in cemento armato, e sono provvisti nella parte contro terra di costole di irrigidimento che si estendono dalla sommità alla base del muro, dalla quale fuoriescono le armature (ferri di ripresa) per il collegamento con la fondazione.

La parte a vista, invece, può essere in cemento, rivestita in pietra già in stabilimento, o provvista di aiuole orizzontali autodrenanti per la crescita della vegetazione per meglio mimetizzarsi con l'ambiente circostante.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

I **muri di sostegno prefabbricati** si analizzano utilizzando gli stessi metodi dei muri di sostegno a mensola.

La prefabbricazione e la produzione in serie di questi componenti comporta:

- ❖ una riduzione dei tempi di realizzazione dell'opera (rapidità di montaggio, risparmio ottenuto nella fase di getto e nella maturazione della parete verticale);
- ❖ una riduzione dei costi rispetto agli elementi in opera;
- ❖ non serve manodopera specializzata per la posa del ferro di armatura;
- ❖ precisione millimetrica nella regolazione degli elementi.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Per i **muri di sostegno prefabbricati** le fasi costruttive dell'opera sono solitamente:

- ❖ sbancamento del terreno con eventuale costruzione di pali o micropali di fondazione, in presenza di angoli d'attrito molto bassi;
- ❖ getto del magrone di sottofondazione;
- ❖ trasporto dei muri sul luogo di montaggio;
- ❖ il muro di sostegno viene agganciato dalla parte superiore e sollevato con un mezzo adeguato;

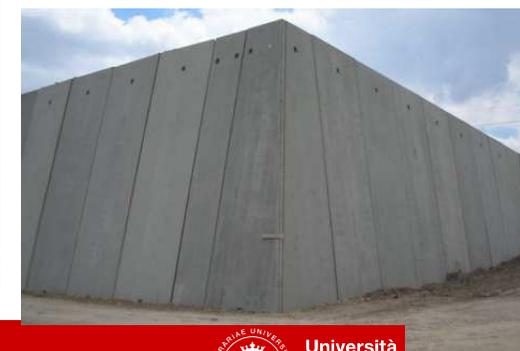
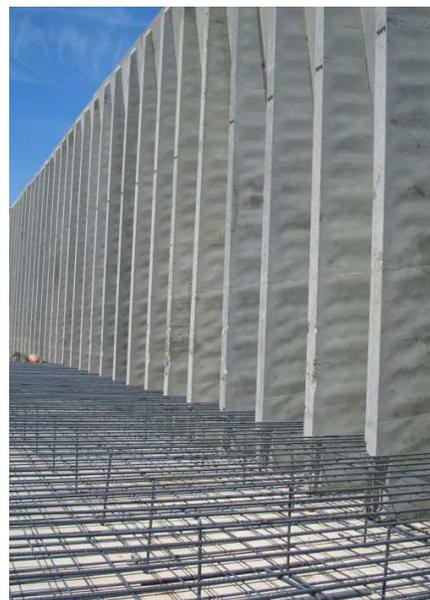


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Per i **muri di sostegno prefabbricati** le fasi costruttive dell'opera sono solitamente:

- ❖ gli elementi prefabbricati vengono posizionati in piedi ed affiancati tra di loro. Non necessitano di puntellatura durante la fase di montaggio;
- ❖ completato il posizionamento degli elementi prefabbricati, vengono assemblate le armature della fondazione e si passa al getto in opera del calcestruzzo;
- ❖ quando il calcestruzzo in fondazione è stagionato si passa al riempimento a tergo del muro.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

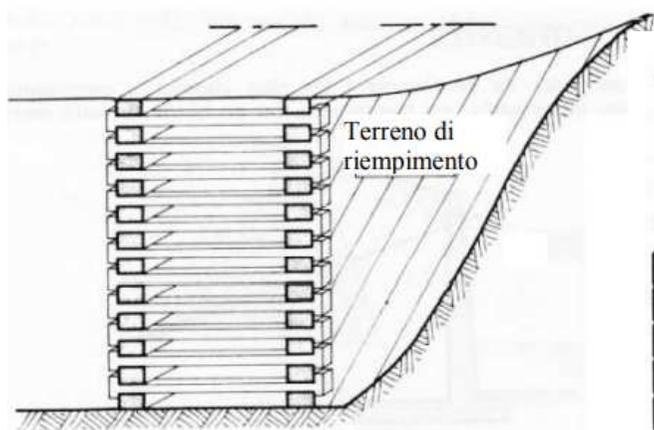
## Muri di sostegno

I **muri cellulari** o **crib walls** sono strutture costituite da gabbie in legno, in calcestruzzo prefabbricato o in acciaio, poste l'una sull'altra, a formare un reticolo spaziale che viene successivamente riempito con terreno.

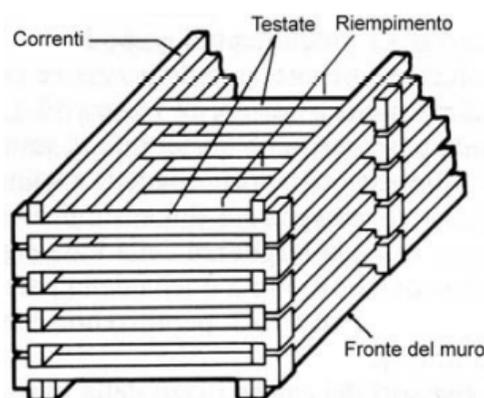
Si presentano, quindi, come una maglia rettangolare di travetti riempita di terreno.

Appartengono alla categoria dei muri a gravità drenanti, in quanto assolvono le funzioni di muro a gravità, grazie al peso della struttura reticolare riempita di terreno, e permettono lo smaltimento delle acque a monte grazie al materiale incoerente insilato al loro interno.

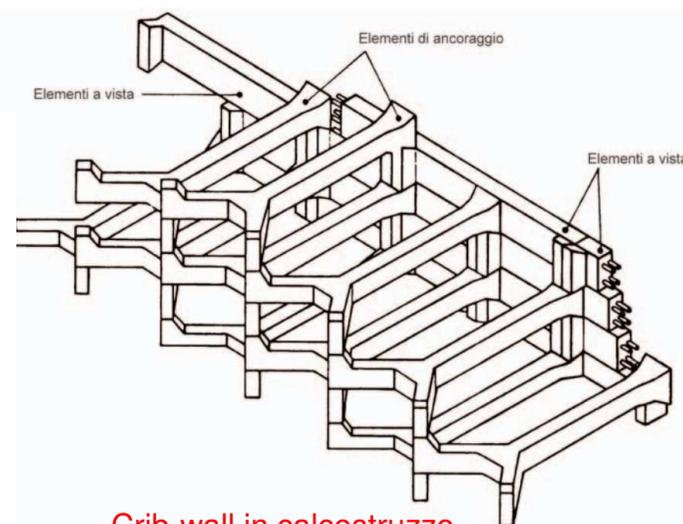
Da un punto di vista statico tali opere vanno dimensionate come muri a gravità.



Schema di Crib-wall



Crib-wall in legno

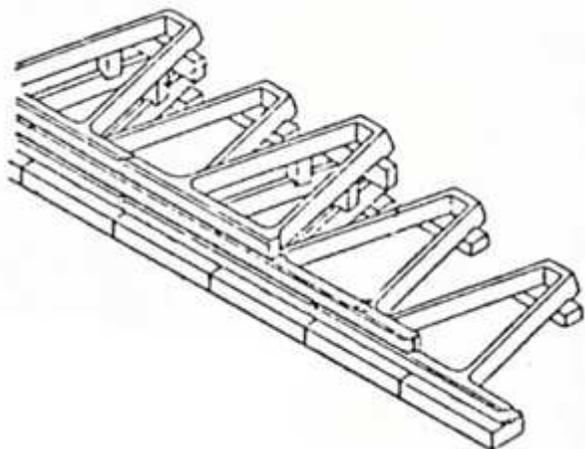
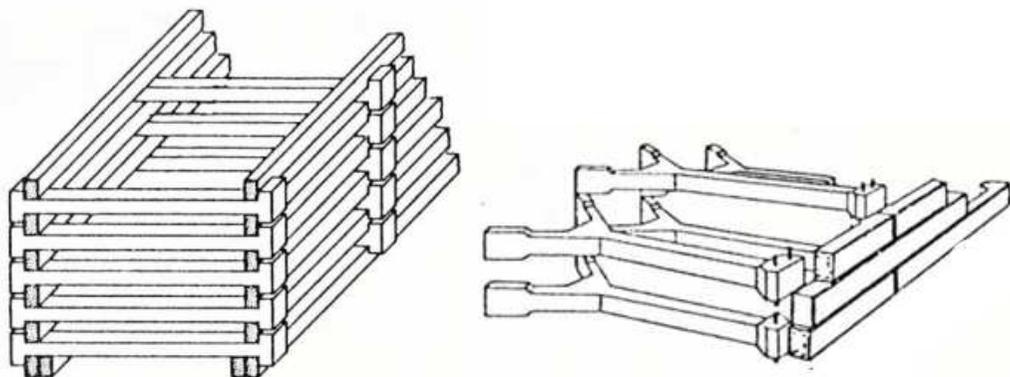


Crib-wall in calcestruzzo armato prefabbricato

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Gli elementi prefabbricati che formano i **muri cellulari** o **crib walls** possono avere forma diversa.

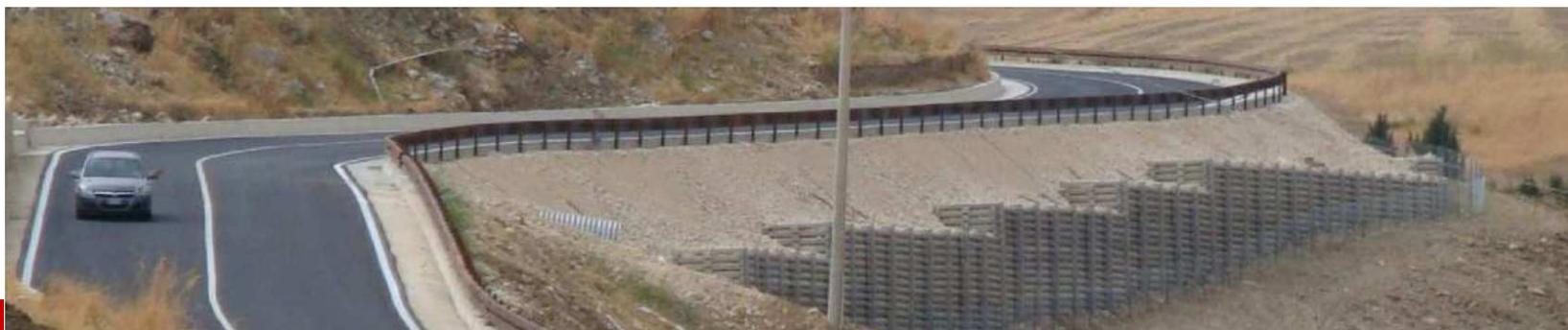


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Vantaggi dei **muri cellulari** o **crib walls**:

- ❖ il montaggio dei singoli elementi avviene senza l'ausilio di malta o di colla;
- ❖ è possibile realizzare delle opere provvisorie che devono essere smontate in un secondo tempo, con la possibilità di recuperare tutti gli elementi del muro;
- ❖ il montaggio a secco consente al muro di assorbire piccoli cedimenti differenziali in fondazione;
- ❖ la struttura cellulare facilita lo smaltimento delle acque a tergo del muro, riducendo in tal modo l'effetto delle pressioni neutre.

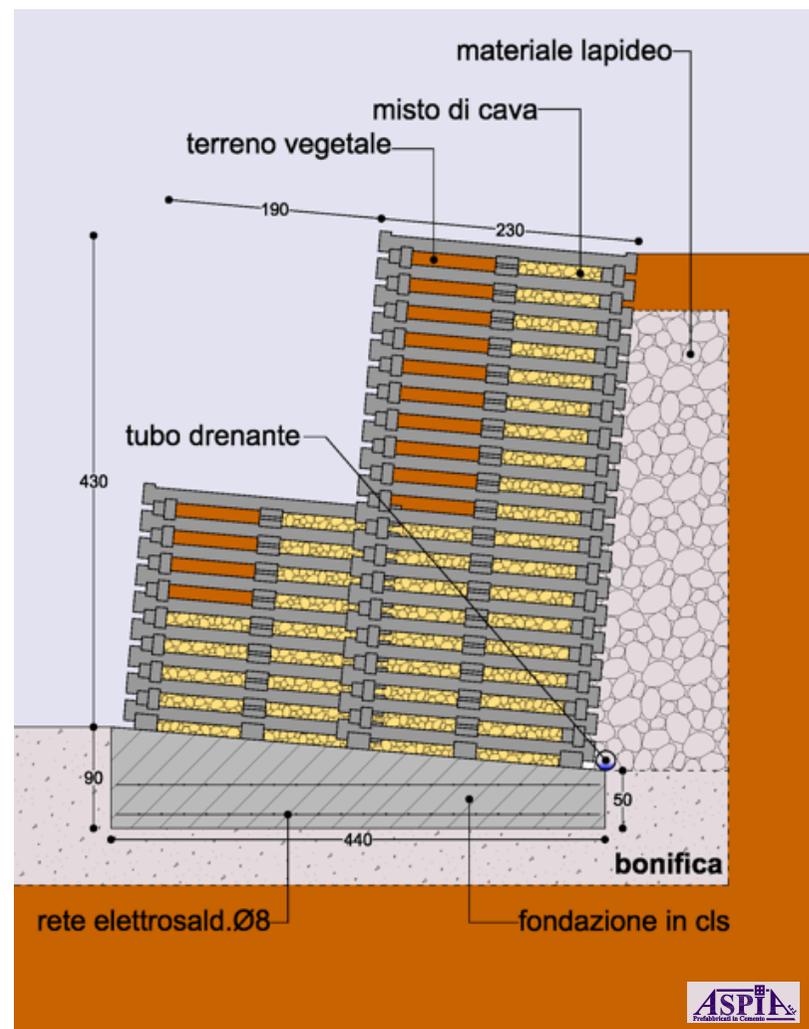


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Per garantire lo smaltimento delle acque a monte, i **muri cellulari** o **crib walls** devono essere riempiti con un terreno caratterizzato da una granulometria eterogenea, in modo tale da non essere dilavato dalle acque drenanti.

Il materiale più idoneo è il misto granulometrico naturale di fiume o di cava. Se quest'ultimo viene miscelato con terreno vegetale, è possibile piantumare delle essenze negli interstizi presenti tra gli elementi a faccia vista del muro. In tal modo l'opera si trasformerà in un muro verde.

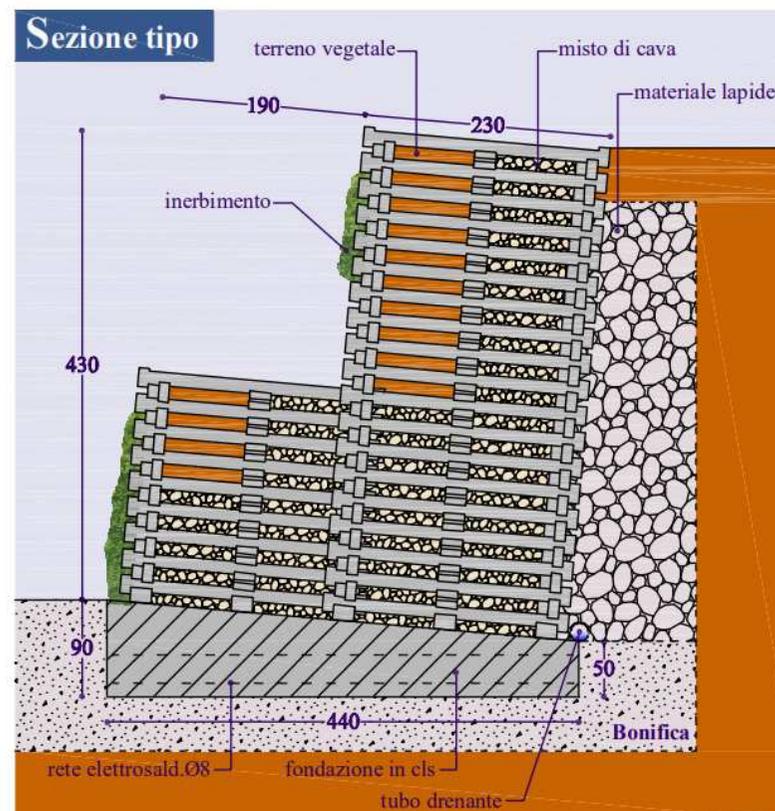
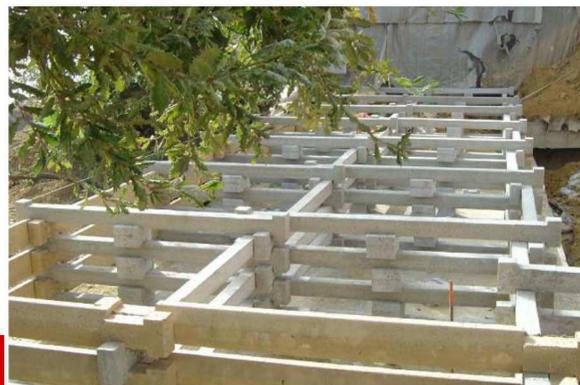


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Muri di sostegno

Le fasi costruttive dei **muri cellulari** o **crib walls** sono:

- ❖ realizzazione di uno scavo a sezione obbligata della profondità di circa 90 cm. Se le caratteristiche meccaniche dei terreni non sono ottimali, bonificare il piano di posa per una profondità di almeno un metro;
- ❖ realizzazione della fondazione in conglomerato cementizio, opportunamente armato, inclinata di circa il 5%;
- ❖ montare la struttura reticolare assemblandone i pezzi costituenti;
- ❖ al raggiungimento di un'altezza di circa 1 m, le gabbie devono essere riempite e costipate con materiale incoerente;
- ❖ negli interstizi presenti tra gli elementi faccia vista è possibile inserire terreno vegetale e piantumare delle essenze vegetali che possono interamente ricoprire il muro dopo un tempo relativamente breve.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Gabbionate

Le **gabbionate** sono opere di sostegno costituite da elementi indipendenti (gabbioni), affiancati e appoggiati l'uno sull'altro.

I gabbioni sono parallelepipedi di rete metallica, di norma di dimensioni 1x1x2 m, riempiti in sito di pietrame, ciottoli e ghiaia pulita.

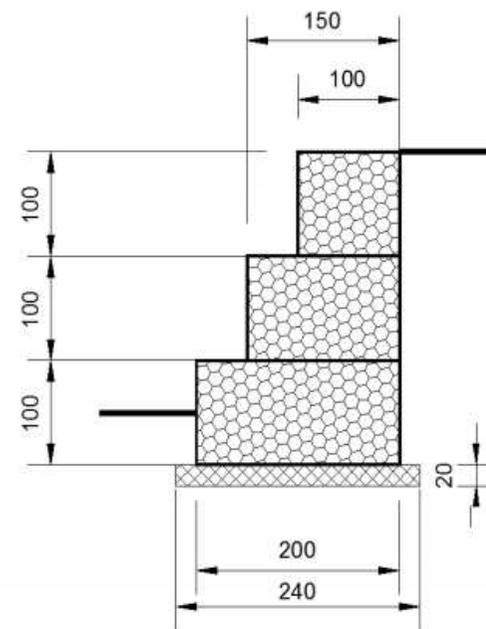
Sono strutture autoportanti che sostengono il terreno retrostante. Nella maggior parte dei casi le gabbionate non necessitano né di micropali, né di tiranti.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Gabbionate

Nelle **gabbionate** la faccia esterna di solito è rastremata sfalsando i gabbioni ad ogni strato successivo.

I muri in gabbioni sono flessibili, cioè si adattano ai cedimenti differenziali del terreno, e molto permeabili. Essendo caratterizzati da un'elevatissima percentuale di vuoti, sono in grado di drenare molto efficacemente il terreno sostenuto a tergo. Tali caratteristiche rendono le gabbionate particolarmente utili per la stabilizzazione dei pendii in frana e per le opere di difesa dall'erosione delle sponde dei corsi d'acqua e delle coste.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Gabbionate

Le fasi costruttive di una **gabbionata** sono:

- ❖ posizionamento: viene posizionato il cassero in rete esagonale;
- ❖ riempimento: le reti vengono riempite con materiale arido e vengono compattate;
- ❖ sistemazione: viene accuratamente sistemato il materiale a vista. Possono essere facilmente ed efficacemente rinverdite.

Il materiale di riempimento è da scegliere con attenzione. Le pietre utilizzate per riempire i gabbioni dovrebbero avere una dimensione tra i 15 e i 25 cm, essere compatte e resistenti, non gelive e non friabili. L'ideale sarebbe optare per pietre di origine fluviale o materiali provenienti da cave opportunamente selezionate.

L'inerte deve essere posato in modo tale da garantire il mutuo incastro del materiale lapideo (non sono idonei materiali di forma troppo regolare come pietre squadrate, mattoni o blocchetti).



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Terre rinforzate ed armate

Le **terre rinforzate e armate** sono realizzate introducendo dei rinforzi all'interno di un terreno di riporto.

Le terre armate prevedono rinforzi meccanici sottoforma di strisce, barre metalliche, nastri in acciaio sub orizzontali vincolati alla superficie esterna del muro.

Le terre rinforzate prevedono rinforzi geosintetici sottoforma di strisce o fogli di geosintetico.

In questo modo aumenta la resistenza del terreno, poiché il rinforzo reagisce agli sforzi di trazione provocati dai carichi applicati ed interagisce con il terreno stesso attraverso l'attrito e/o l'adesione.

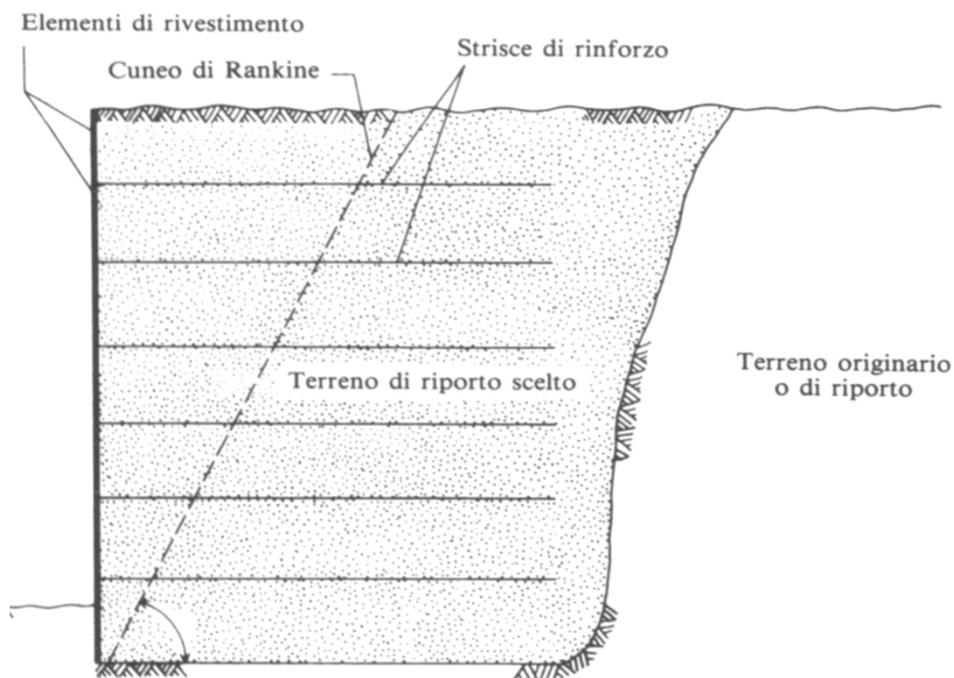
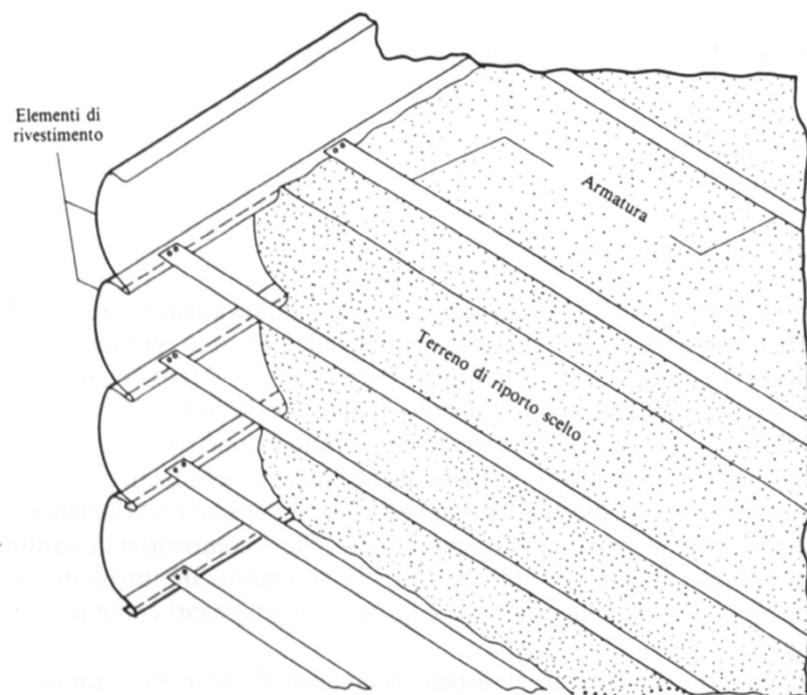


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Terre rinforzate ed armate

I componenti fondamentali di una **terra rinforzata e armata** sono:

- ❖ il terreno di riporto, generalmente materiale granulare appositamente selezionato in modo da garantire un buon attrito;
- ❖ gli elementi di rinforzo che si estendono all'interno del terrapieno per un certo tratto e devono essere flessibili, resistenti a trazione, con elevato coefficiente d'attrito;



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Terre rinforzate ed armate

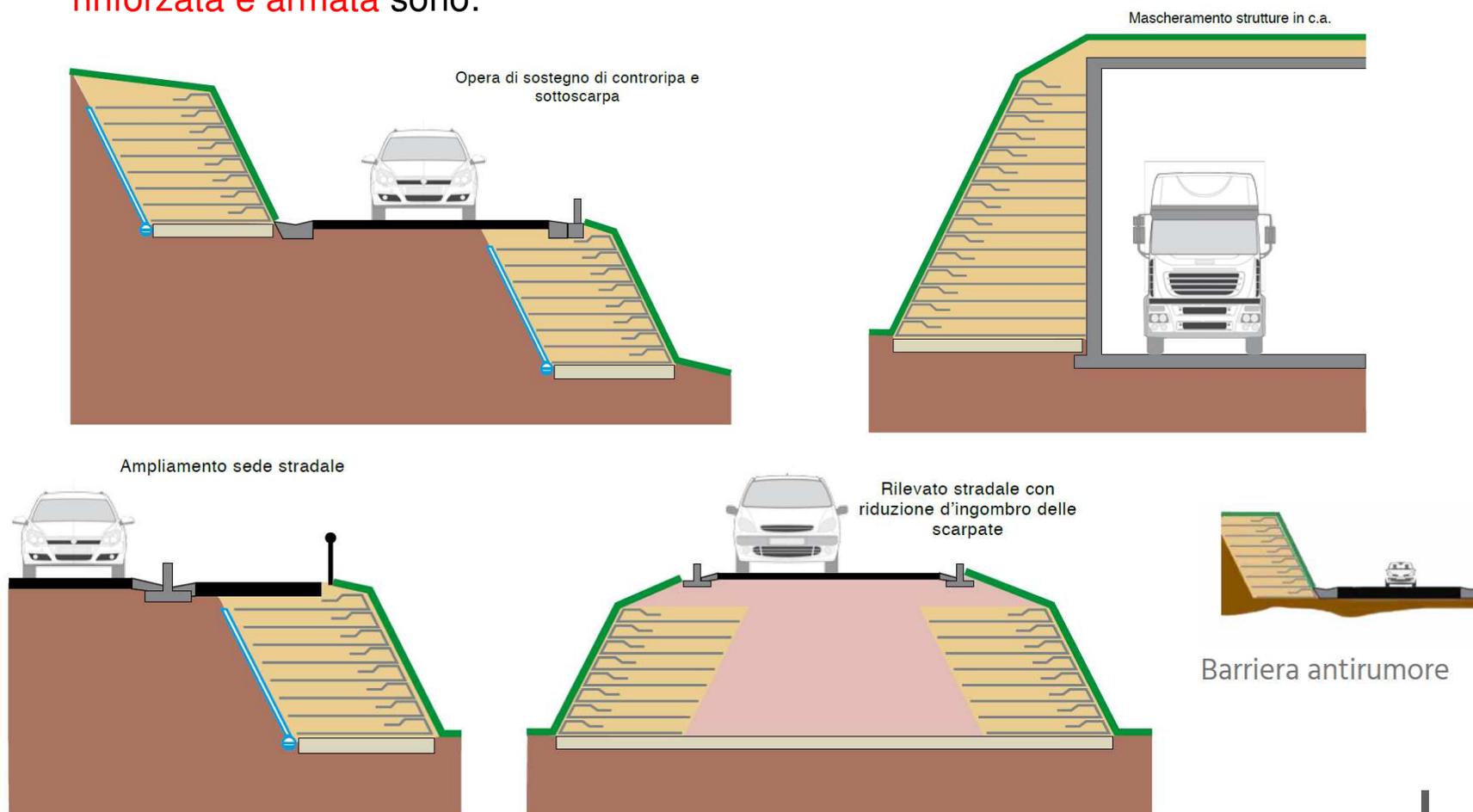
I componenti fondamentali di una **terra rinforzata e armata** sono:

- ❖ il paramento verticale, che costituisce la parte a vista del muro, e deve potersi adattare alle deformazioni dell'ammasso. A tal fine possono essere utilizzati degli elementi di rivestimento. Possono essere piastre metalliche piane o curve, oppure elementi o piastre in calcestruzzo prefabbricato.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Terre rinforzate ed armate

Nel settore delle infrastrutture viarie i principali campi di applicazione di una **terra rinforzata e armata** sono:



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Terre rinforzate ed armate

I vantaggi di una **terra rinforzata e armata** sono:

- ❖ minori costi di realizzazione rispetto ad un manufatto in calcestruzzo;
- ❖ capacità di carico equivalente ad un manufatto realizzato in calcestruzzo;
- ❖ maggiore deformabilità e migliore adattamento ai cedimenti del sottofondo;
- ❖ riduzione dei tempi di realizzazione dell'opera;
- ❖ integrazione totale con l'ambiente circostante grazie alla possibilità di rinverdimento.

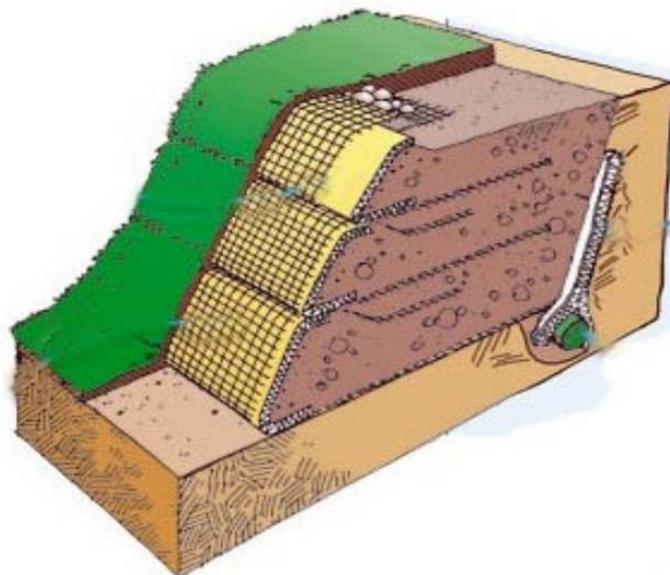


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Terre rinforzate ed armate

Le fasi di realizzazione di una **terra rinforzata e armata** sono:

- ❖ regolarizzazione del terreno in sito e preparazione del piano di posa: deve essere idoneo, stabile e sub-orizzontale;
- ❖ posa del sistema drenante;
- ❖ realizzazione della terra rinforzata: si procede per strati successivi, inserendo in ciascuno strato i rinforzi e rullando e compattando il terreno;
- ❖ realizzazione delle opere a verde, mediante rinverdimento della facciata esterna.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

Le **paratie** sono strutture verticali relativamente sottili, che sono immorsate nel terreno fino ad una certa profondità al di sotto del piano di scavo, in modo da ottenere un supporto sufficientemente robusto per contrastare le spinte agenti sulla struttura.

Si distinguono in:

- ❖ paratie libere: la stabilità all'azione della spinta è assicurata dalla resistenza passiva del terreno sulla parte di struttura infissa e la paratia si comporta grosso modo come una mensola;
- ❖ paratie ancorate: la stabilità è assicurata da tiranti connessi ad ancoraggi fissati in una porzione di terreno stabile.



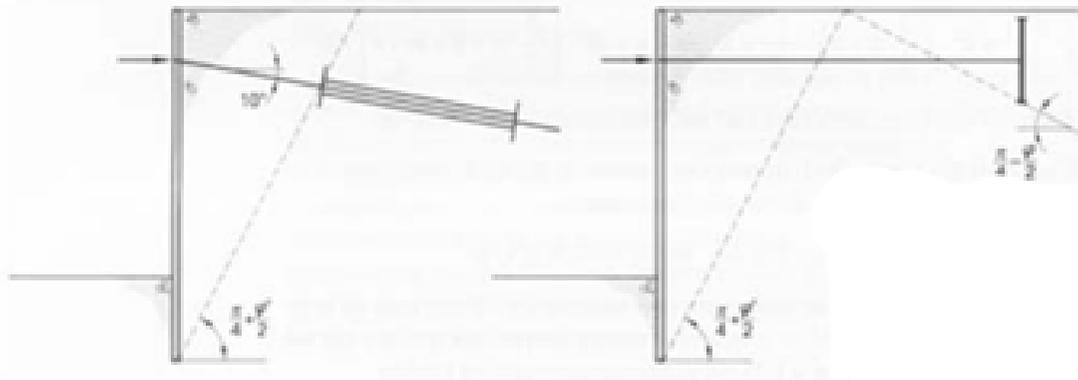
In funzione dell'altezza di terreno da sostenere

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

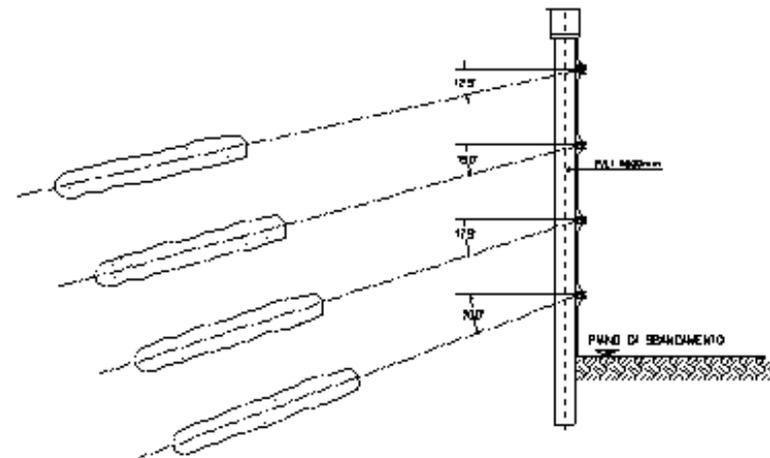
Nelle **paratie** gli ancoraggi possono essere attivi o passivi a seconda del momento in cui vengono messi in trazione.

I primi sono messi in trazione quando sono posti in opera; i secondi sono messi in trazione dagli spostamenti della paratia.



tiranti di ancoraggio inclinati o orizzontali

tiranti di ancoraggio disposti su diversi ordini



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

In base al materiale costituente le **paratie** si dividono in:

- ❖ diaframmi in calcestruzzo: possono essere costruiti direttamente in opera o realizzati con elementi in calcestruzzo prefabbricati, connessi tra loro mediante giunzioni a maschio e femmina. Alla sommità si può realizzare un cordolo armato con lo scopo di solidarizzare tutti i setti verticali;
- ❖ palancole metalliche: sono opere costituite da elementi in acciaio agganciati l'uno all'altro ed infissi nel terreno;
- ❖ berlinesi di pali: sono costituite da pali trivellati accostati tra loro. Possono essere adiacenti oppure presentare un interasse l'uno dall'altro, che però non deve essere troppo elevato onde evitare il crollo del terreno dopo lo scavo.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

La **palancola metallica** è una delle tipologie più usate, in virtù dei vantaggi che manifesta rispetto a quelle realizzate con altri materiali. I principali vantaggi sono:

- ❖ è resistente agli elevati sforzi di infissione che si sviluppano in presenza di materiali duri o rocciosi;
- ❖ è di peso relativamente limitato;
- ❖ può essere riutilizzata più volte;
- ❖ presenta un lungo periodo utile di esercizio;
- ❖ può essere facilmente trasportata e movimentata;
- ❖ è semplice aumentarne la lunghezza ricorrendo sia a saldatura, che a collegamenti bullonati;
- ❖ possono essere facilmente collegate tra loro, in orizzontale, per saldatura.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Paratie

Le **palancole metalliche** possono essere opere provvisorie o permanenti.

## PALANCOLE: TIPOLOGIE DI IMPIEGO

### TEMPORANEO



Gli impieghi temporanei possono, ad esempio, riguardare la protezione di aree di scavo all'interno di un cantiere, alla fine del quale il palancole viene rimosso. In generale, tali impieghi riguardano la protezione degli scavi in condizioni di terreno particolari.

### PERMANENTE



Quando le palancole vengono impiegate in modo permanente, lo si fa per realizzare banchine e porti, conche di navigazione e frangiflutti, protezione degli argini dei fiumi e dei canali, muri di sostegno, parcheggi sotterranei, sottopassi e opere di contenimento dei terreni.

# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

La posa in opera di una **palancola metallica** avviene mediante infissione, la cui profondità dipende dall'entità dei carichi e dalle condizioni del terreno.

Le modalità di infissione sono principalmente tre:

- ❖ la modalità a percussione, che avviene tramite martelli a caduta. Il sistema a battipalo è composto da una mazza cadente, che agisce in caduta libera o accelerata da un motore, che viene sollevata e fatta cadere sulla palancola per batterla nel terreno.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

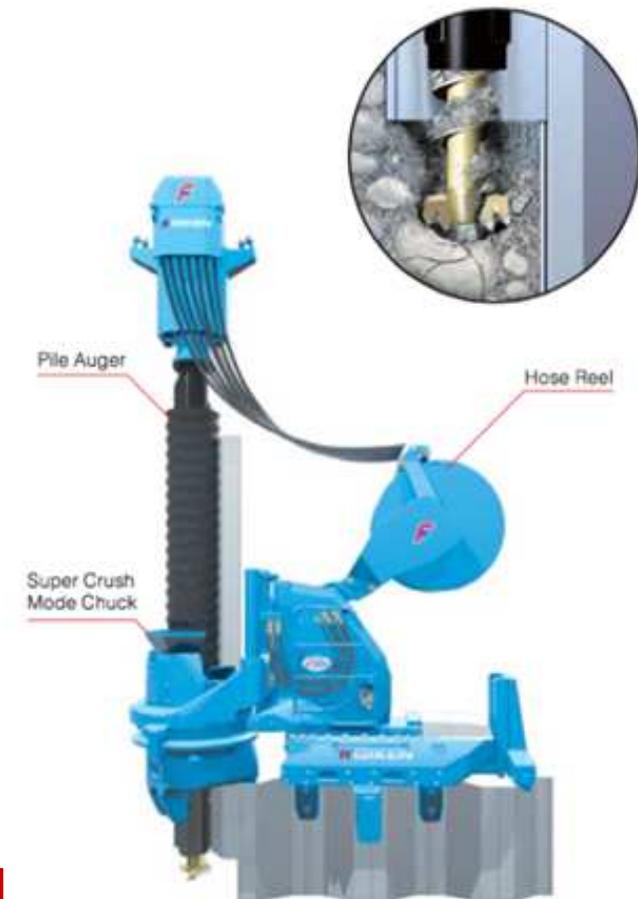
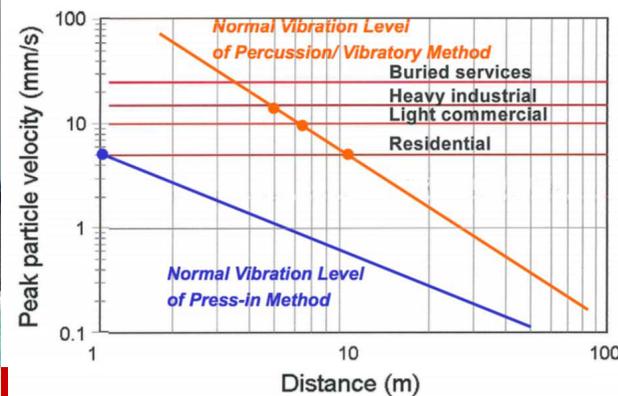
- ❖ la modalità per vibro infissione: il vibroinfissore trasmette una vibrazione alla palancola che a sua volta la trasferisce al terreno circostante. Tale vibrazione, vincendo la coesione del terreno, lo sgretola consentendo l'avanzamento del profilato per peso proprio. Questa tecnologia riduce notevolmente il rumore derivante dall'infissione rispetto a quella a percussione, ma deve essere scelta in relazione anche alle condizioni ambientali limitrofe, che possono imporre limitazioni sulle vibrazioni trasmesse e sul rumore emesso (ambienti cittadini);



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

- ❖ la modalità per presso infissione: il macchinario è composto da un braccio meccanico che afferra la palancola e la spinge per un tratto nel terreno mediante pressione. L'assenza di vibrazione consente l'applicazione del palancola anche a distanza ridotta da strutture esistenti, eliminando il rischio di danni collaterali per cedimenti o per vibrazioni.



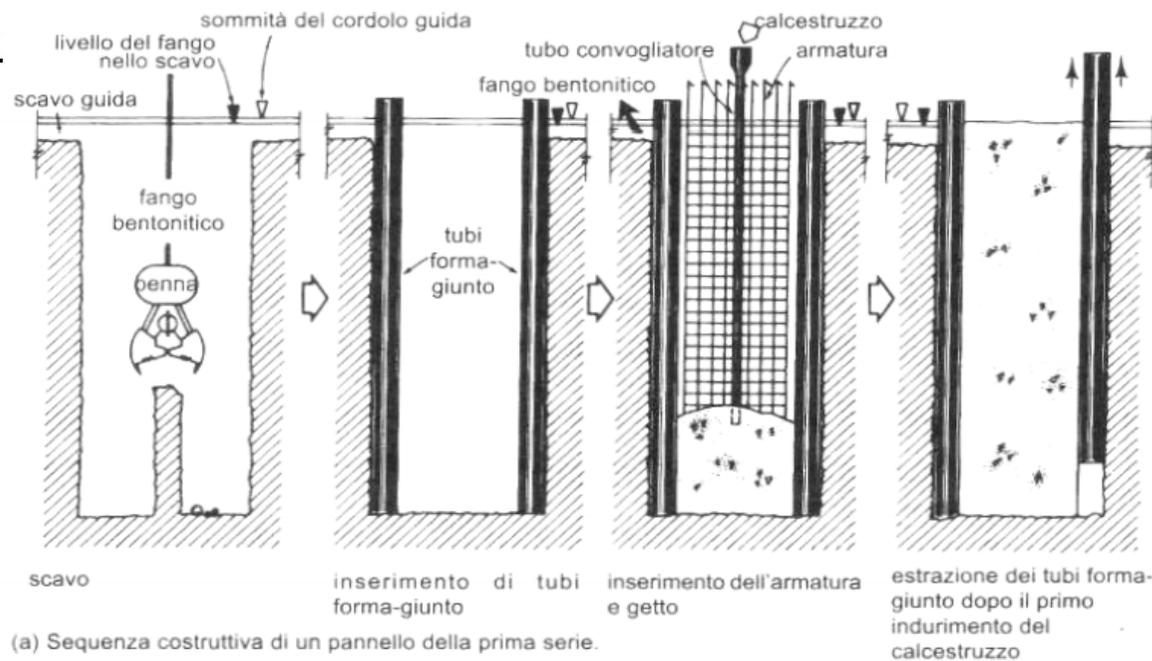
# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

I **diaframmi in calcestruzzo** possono essere costruiti direttamente in opera o realizzati con elementi in calcestruzzo prefabbricati.

Le fasi di realizzazione di un diaframma in calcestruzzo in opera sono:

- ❖ scavo: può essere eseguito con una benna mordente (scavo con fango a riposo) o con idrofresa (scavo con fango in movimento) in presenza di fango bentonitico;
- ❖ inserimento dei dispositivi per la formazione dei giunti: si utilizzano dei tubi-spalla, controllandone la verticalità con sistemi ottici. Ad avvenuta presa del getto si provvederà alla loro rimozione;
- ❖ posa in opera delle armature;
- ❖ getto del calcestruzzo;
- ❖ eventuale realizzazione della trave di testa.

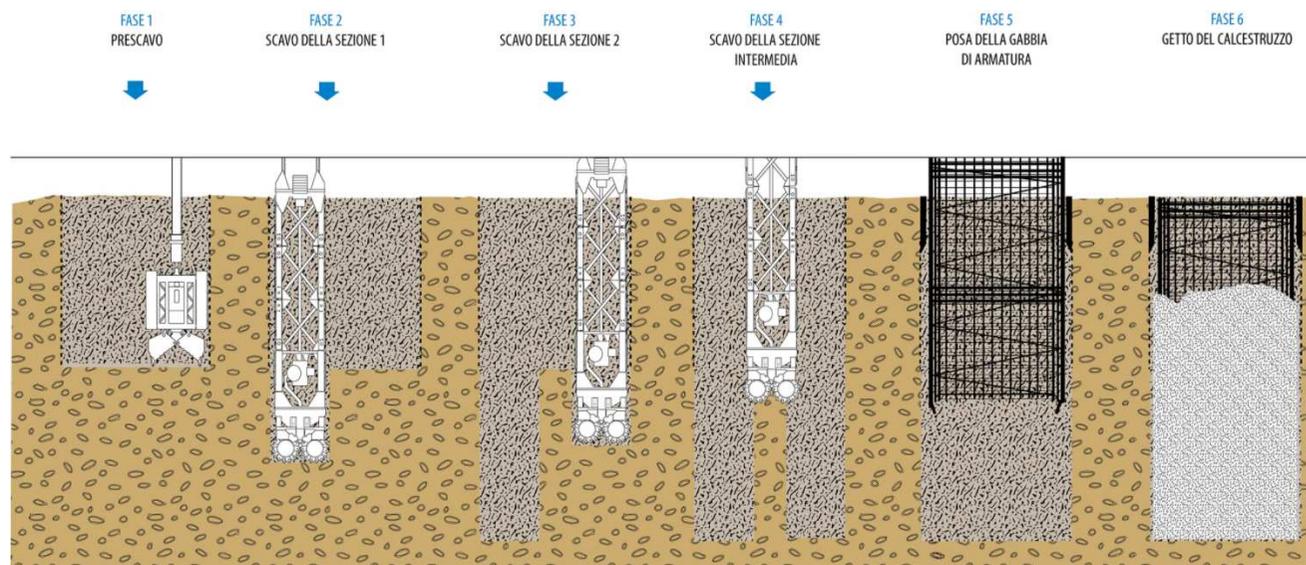


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

I diaframmi in calcestruzzo realizzati in opera si realizzano generalmente dividendo i pannelli in primari e secondari.

Pannello primario (è costruito operando nel terreno naturale)



Pannello secondario (è scavato tra due pannelli primari adiacenti)



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

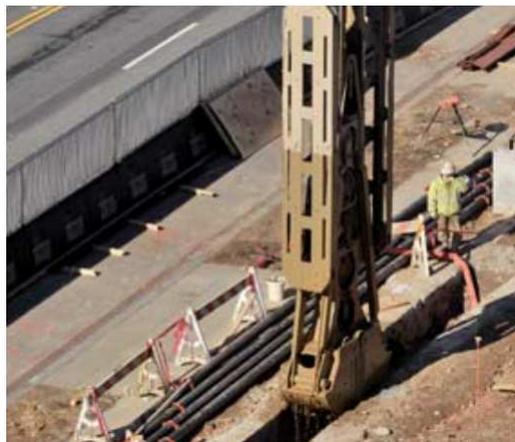
## Paratie

Per i **diaframmi in calcestruzzo realizzati in opera** lo scavo può essere eseguito con benna mordente (scavo con fango a riposo) o con idrofresa (scavo con fango in movimento) in presenza di fango bentonitico.

Tale fango sostiene le pareti ed elimina la necessità di introdurre sistemi di sostegno meccanico che risulterebbero costosi e potrebbero intralciare le operazioni di scavo.

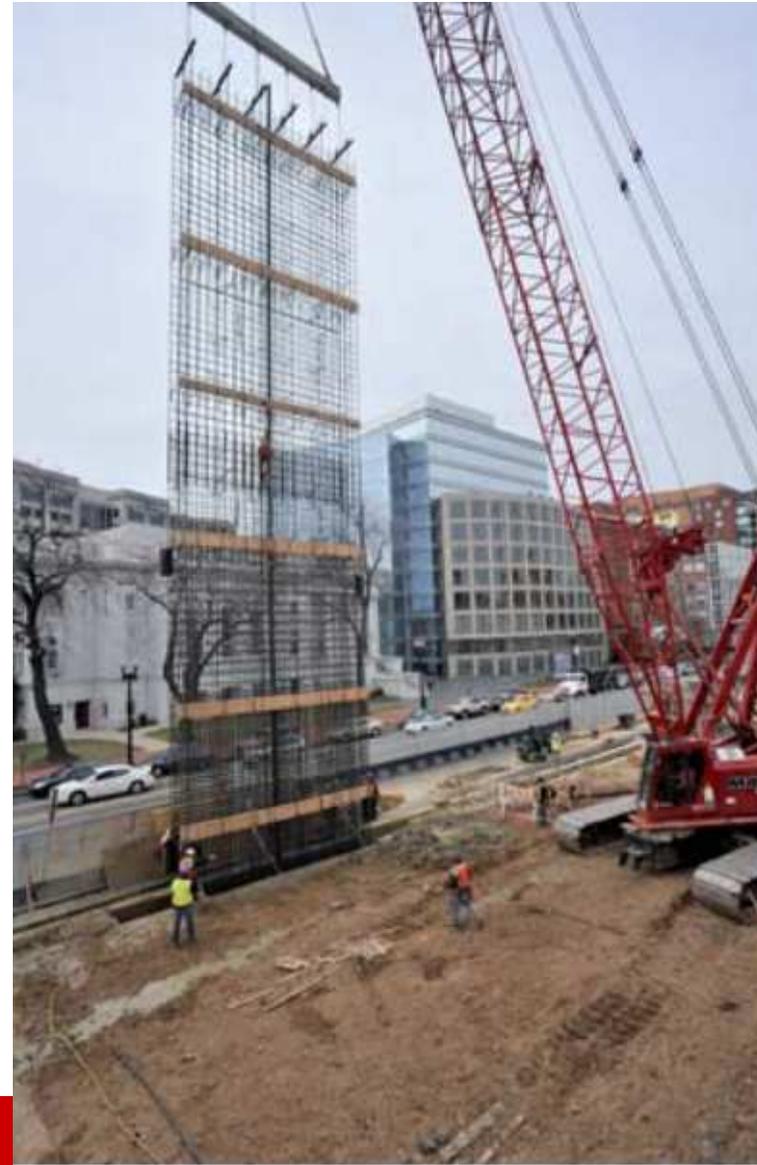
Lo scavo con fango a riposo si utilizza nei terreni sciolti, nei quali la benna asporta il terreno, sostituendolo immediatamente con un pari quantitativo di fango bentonitico, cosicché sono garantite le condizioni di equilibrio delle pareti della trincea.

Lo scavo con fango in movimento si utilizza nei terreni compatti e lapidei e si impiega l'idrofresa, un'attrezzatura in grado di tagliare verticalmente in continuo il terreno, in un'unica passata, ed eliminare i detriti di scavo per via idraulica con circolazione rovescia del fluido di perforazione.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Paratie

Per i **diaframmi in calcestruzzo** realizzati in **opera** l'armatura è posizionata dentro alla trincea riempita di fango mediante gru. Deve essere opportunamente rinforzata per evitare distorsioni e dotata di distanziatori sulle facce per garantire il copriferro di progetto.



# Opere di sostegno delle terre - tipologie Paratie

I **diaframmi in calcestruzzo** possono essere realizzati anche con elementi in calcestruzzo prefabbricati, connessi tra loro mediante giunzioni a maschio e femmina.

In testa si realizza generalmente un cordolo armato, che collega e solidarizza tutti i setti verticali.

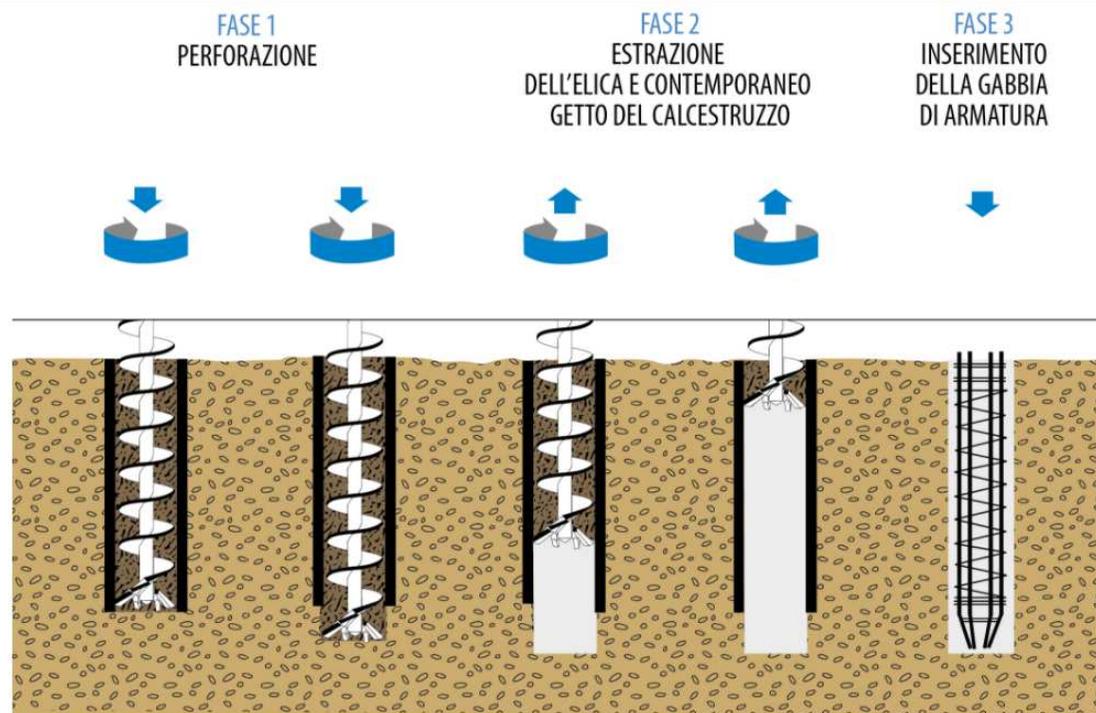
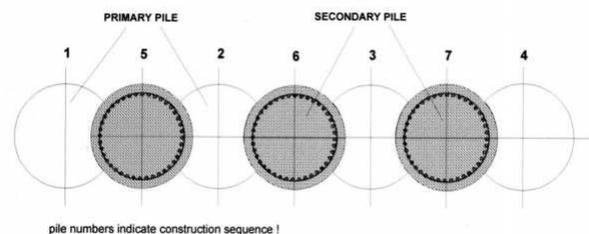


# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

Le **berlinesi di pali** possono essere costruite:

- ❖ **a pali secanti**: sono composti da pali trivellati di diametro compreso tra 60 e 80 cm, ed interasse tra 50 e 60 cm. Si realizzano prima i pali pari (o dispari) non armati, e successivamente i pali dispari (o pari) che intersecano i pali già gettati e sono dotati di armatura metallica;



Pali Secondari  
armati con gabbia di rinforzo



Pali Secondari  
armati con gabbia di rinforzo



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

## Paratie

Le **berlinesi di pali** possono essere costruite:

- ❖ a pali accostati: possono essere adiacenti oppure presentare un interasse l'uno dall'altro, che però non deve essere troppo elevato onde evitare il crollo del terreno dopo lo scavo. Vengono realizzati con le tecniche utilizzate nell'esecuzione di pali di grosso diametro.

In testa si realizza generalmente un cordolo armato che collega e solidarizza tutti i pali verticali.



pali adiacenti



# Opere di sostegno delle terre - tipologie

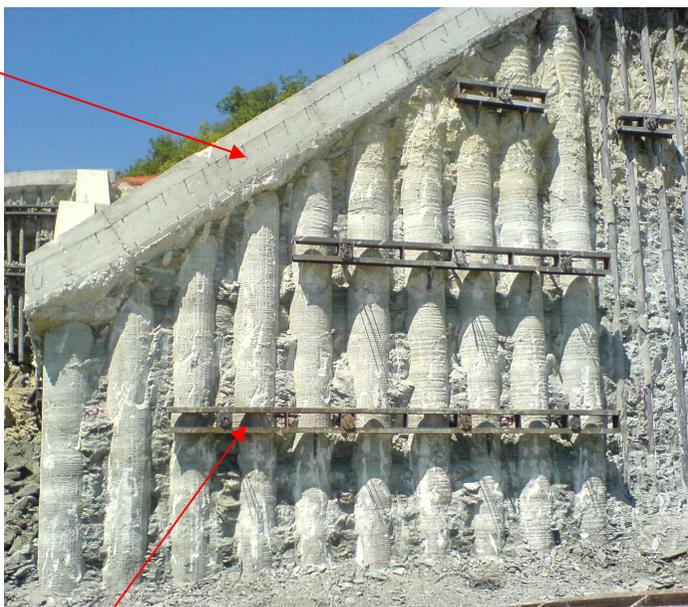
## Paratie

Le **berlinesi di pali** possono essere costruite:

- ❖ a pali accostati: possono essere adiacenti oppure presentare un interasse l'uno dall'altro, che però non deve essere troppo elevato onde evitare il crollo del terreno dopo lo scavo. Vengono realizzati con le tecniche utilizzate per i pali di grosso diametro.

In testa si realizza generalmente un cordolo armato che collega e solidarizza tutti i pali verticali.

Cordolo  
armato



Tiranti

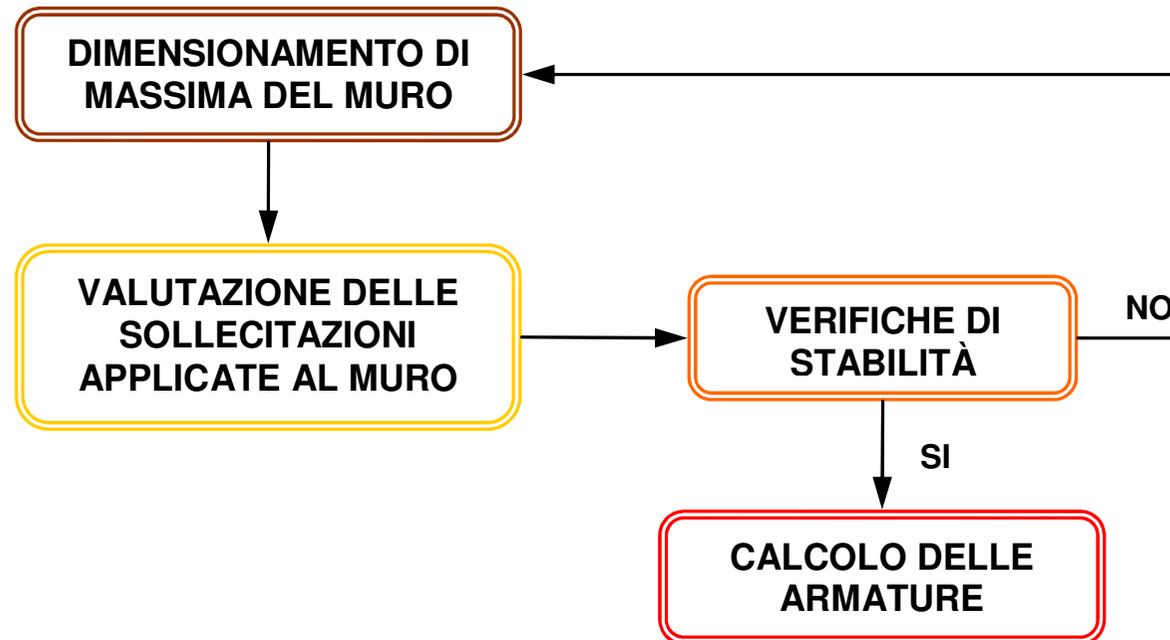
pali ad interasse



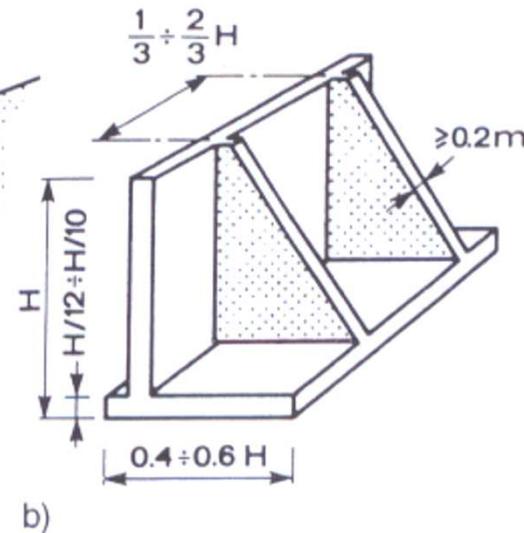
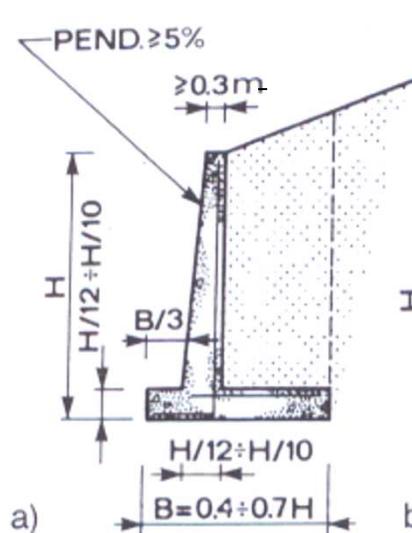
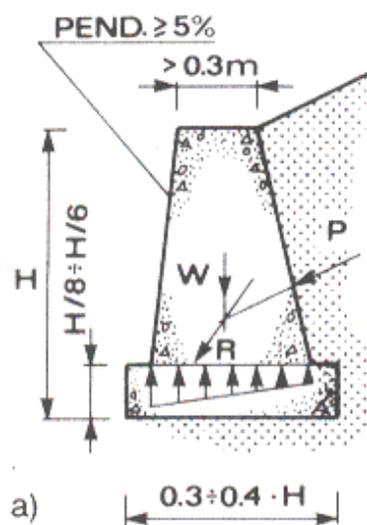
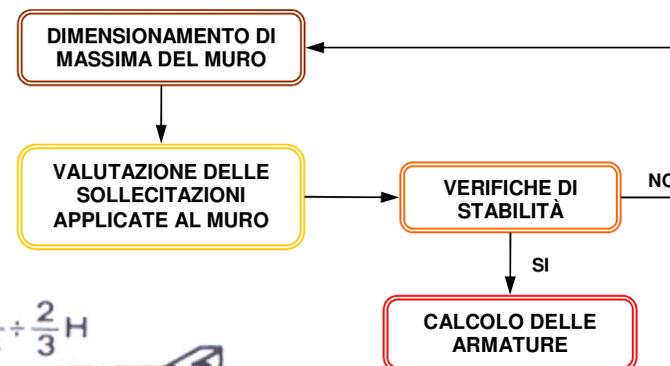
# Le opere di sostegno delle terre: normativa

<b>DOCUMENTO</b>	<b>TITOLO</b>
DM 16/01/1996	“Norme tecniche per le costr. in zone sismiche” (G.U. 05/02/1996, n. 29)
Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003	“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in z. sismica” (G.U. 08/05/2003, n. 105)
Ordinanza n. 3333 del 23/01/2004	“Elementi informativi sull’Ord. del Presidente del Consiglio dei Min. n. 3274 del 20 marzo 2003 che apporta (art.6, comma 7) modifiche all’Ord. n. 3274” (G.U. 02/02/2004, n. 26)
Ordinanza n. 3431 del 03/05/2005	“Ulteriori modifiche ed integrazioni all’ord. del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
Ordinanza n. 3467 del 13/10/2005	“Disposizioni urgenti di protezione civile in materia di norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” (G.U. 20/10/2005, n. 245)
DM 14/09/2005	“Norme tecniche per le costruzioni” (G.U. 23/09/2005, n. 222)
<b>DM 14/01/2008</b>	<b>“Norme tecniche per le costruzioni” (G.U. 4/02/2008, n. 29)</b>
<i>DM 17/01/2018</i>	<i>Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (G.U. 20/02/2018, n. 42)</i>
<i>CIRC. 21/1/2019</i>	<i>Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al DM 17/1/2018. (G.U. 11/02/2019, n. 35)</i>

# La progettazione di un muro di sostegno



# Il dimensionamento di massima di un muro di sostegno



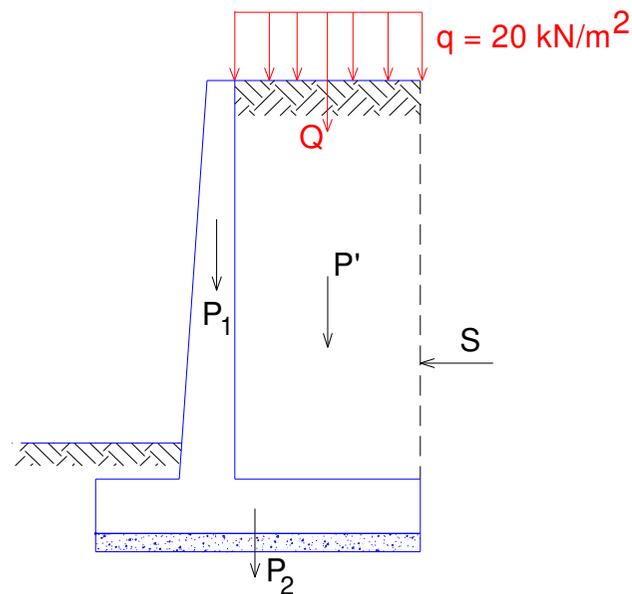
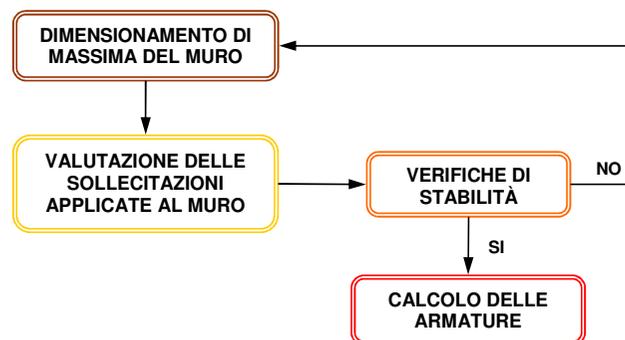
Dimensionamento di un muro a gravità, a mensola ed a contrafforti

# Le sollecitazioni di calcolo

Le sollecitazioni agenti sul muro di sostegno rilevanti per il calcolo sono:

- il peso proprio dell'opera ed i carichi permanenti portati;
- la spinta del terreno;
- i sovraccarichi variabili.

Ad eccezione dei muri a contrafforti, si valutano esaminando una striscia di struttura di profondità unitaria.



## Il metodo di calcolo

La Normativa di riferimento per il progetto di un muro di sostegno è il D.M. 14/01/08 "Norme Tecniche per le Costruzioni", il quale valuta la sicurezza e le prestazioni di una struttura in relazione agli **stati limite** che si possono verificare durante la sua vita nominale.

Sono definiti, in particolare, due tipi di stato limite:

- lo **stato limite ultimo** (SLU), che corrisponde allo stato al superamento del quale si ha collasso strutturale, crolli, dissesti gravi, ovvero fenomeni che mettono fuori servizio in modo irreversibile la struttura;
- lo **stato limite di esercizio** (SLE), al superamento del quale corrisponde la perdita di una funzionalità che condiziona o limita la prestazione dell'opera.

STATO LIMITE ULTIMO



CROLLO

STATO LIMITE DI ESERCIZIO



LIMITATA FUNZIONALITA'

# Il metodo di calcolo

## Stato Limite Ultimo:

- Perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- Deformazioni o movimenti eccessivi;
- Raggiungimento della massima capacità di resistenza dei terreni;
- Rottura per fatica di parti di strutture, collegamenti, fondazioni.

## Stato Limite di Esercizio:

- Danneggiamenti locali, ad esempio fessurazione del calcestruzzo;
- Eccessive deformazioni che possono limitare l'uso della costruzione o comprometterne l'efficienza, ad esempio cedimenti differenziali.

# Il metodo di calcolo

## RAGGIUNGIMENTO DELLO STATO LIMITE ULTIMO: ESEMPI



PERDITA IRREVERSIBILE DELLA RESISTENZA STRUTTURALE

## Il metodo di calcolo

### RAGGIUNGIMENTO DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO: ESEMPI



DANNI SENZA INTERRUZIONE D'USO



# Il metodo di calcolo

Sopportare tutte le azioni .....

cioè evitare il collasso ....

Verifica allo stato limite ultimo (SLU)

Rimanere adatta all'uso .....

ovvero limitare deformazioni, fessurazioni, ....

Verifica allo stato limite di esercizio (SLE)



## Il metodo di calcolo

Il metodo di verifica agli stati limite consiste nel:

- definire i **valori caratteristici (k)** delle **resistenze ( $X_k$ )** e **azioni ( $F_k$ )**;
- passare dai valori caratteristici ai corrispondenti **valori di calcolo o di progetto-design (d)** mediante i **coefficienti parziali ( $\gamma$ )**:

per le resistenze: 
$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

in funzione del materiale e dello stato limite considerato

per le azioni: 
$$F_d = F_k \cdot \gamma_F$$

in funzione della tipologia di carico e dello stato limite considerato

- confrontare le resistenze ( $X_d$ ) e le azioni ( $F_d$ ) di **progetto**.

# Il metodo di calcolo

Per le azioni è inoltre necessario prevedere un'opportuna modalità di **combinazione** attraverso opportuni **coefficienti** ( $\psi$ ).

Posto pari ad  **$m$**  il numero di carichi permanenti agenti sulla struttura ed  **$n$**  il numero di quelli variabili, la combinazione può essere scritta secondo la formula generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \sum_{i=1}^n \psi_i \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki}$$

Valore caratteristico della j-esima azione permanente      Valore caratteristico della i-esima azione variabile

I simboli di sommatoria stanno per "effetto combinato di"

Il simbolo + sta per "da combinarsi con"

Coeff. parziali della j-esima azione permanente      Coeff. parziali della i-esima azione variabile

Coefficiente di **combinazione** della i-esima azione variabile

## Il metodo di calcolo

Per le opere geotecniche le **azioni** ( $E_d$ ) e le **resistenze** ( $R_d$ ) di calcolo sono funzione:

1. delle azioni di progetto ( $\gamma_F F_k$ )
2. delle caratteristiche di resistenza di progetto ( $X_k/\gamma_M$ )
3. della geometria di progetto ( $a_d$ )

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$\gamma_R$  opera direttamente sulla **resistenza del sistema** ed è specificato per ogni tipologia di opera geotecnica

Deve essere rispettata la condizione che prevede che le azioni di calcolo ( $E_d$ ) siano inferiori alle resistenze di calcolo ( $R_d$ ):

$$E_d \leq R_d$$

$$\text{(oppure): } \frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

## Il metodo di calcolo

La scelta dei **coefficienti parziali** ( $\gamma$ ), da assegnare alle azioni e alle resistenze ed ai parametri geotecnici può essere effettuata nell'ambito di **due approcci progettuali alternativi**:

- **Approccio 1:**

- combinazione 1: (A1+M1+R1)

- combinazione 2: (A2+M2+R2)

- **Approccio 2:**

- combinazione unica (A1+M1+R3)

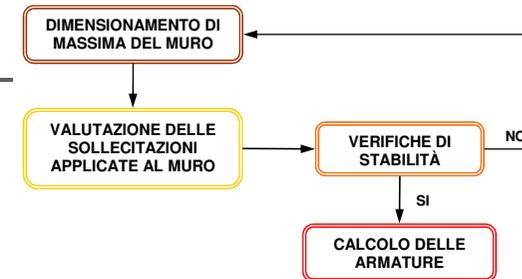
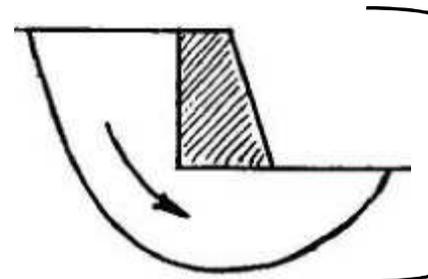
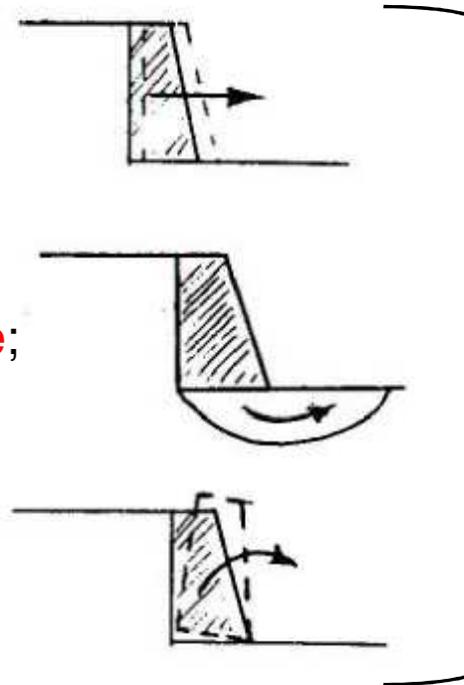
Combinazione unica per verifiche  
**strutturali** e **geotecniche**.

È la più gravosa nei confronti del **dimensionamento strutturale** dell'opera geotecnica in quanto si incrementano i carichi e si lasciano invariate le resistenze del terreno.

È la più gravosa nei confronti del **dimensionamento geotecnico** della opera in quanto si riducono i valori caratteristici di resistenza del terreno e si lasciano invariati i carichi.

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

- Verifica allo **scorrimento**;
- Verifica della **capacità portante**;
- Verifica al **ribaltamento**;
- Verifica di **stabilità globale** del complesso muro-terreno



## L'ordine non è casuale:

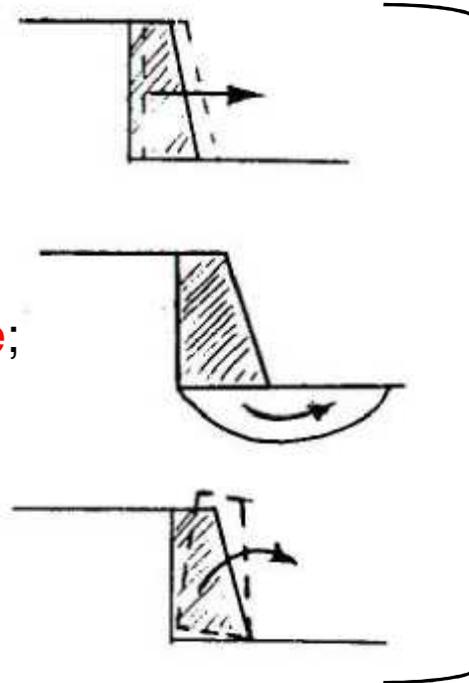
- La prima è generalmente più vincolante della seconda;
- e così via.

## Verifica d'insieme:

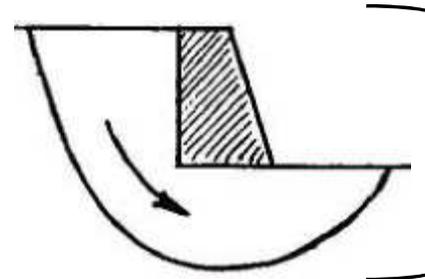
- Riguarda principalmente l'assetto geometrico della sezione;
- è già stata trattata

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

- Verifica allo **scorrimento**;
- Verifica della **capacità portante**;
- Verifica al **ribaltamento**;
- Verifica di **stabilità globale** del complesso muro-terreno



**Approccio 2:**  
Combinazione Unica:  
(A1+M1+R3)



**Approccio 1:**  
Comb 2: (A2+M2+R2\*)  
(R2\* → Coefficienti parz.  
per ver. di sicurezza di  
opere di mat. sciolti e fronti  
di scavo)

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

Per le verifiche si utilizzano tre tabelle fondamentali:

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno **(M)**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali per le verifiche di muri di sostegno **(R)**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

Per le verifiche a: **Scorrimento**, **Carico limite** e **Ribaltamento** si deve utilizzare:

## Approccio 2: (A1+M1+R3)

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno **(M)**

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali per le verifiche di muri di sostegno **(R)**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

Per la verifica di **Stabilità globale** si deve utilizzare: **Approccio 1**: Combinazione 2 (A2+M2+R2), con  $\gamma_R$  specifico per opere in m. sciolti e fronti di scavo

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno **(M)**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parz. per ver. di sicurezza di opere di mat. sciolti e fronti di scavo **(R)**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

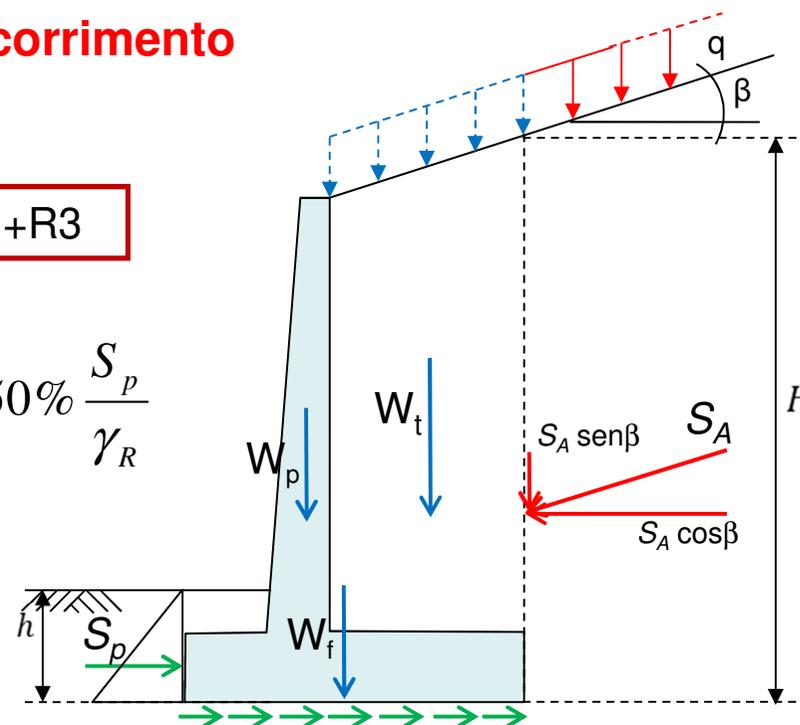
## Verifica allo scorrimento

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

COMBINAZIONE UNICA: A1+M1+R3

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left( N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,fav} \cdot \gamma_{Q_i} \right) \cdot f + 50\% \frac{S_p}{\gamma_R}$$

$$E_d = \left( N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right)$$



Se la verifica non è soddisfatta:

- ❖ modifica della fondazione: allargamento o approfondimento;
- ❖ taglio di fondazione;
- ❖ fondazione su pali.

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica allo scorrimento

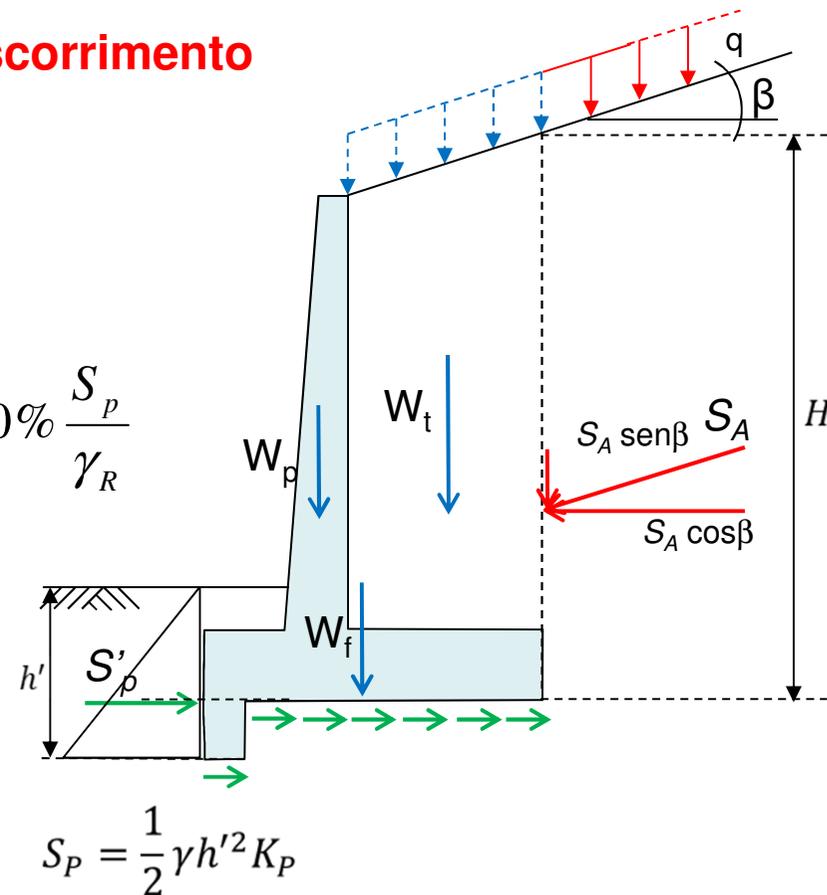
### TAGLIONE A VALLE:

Con il taglio a valle si incrementa  $h$  ad  $h'$  e di conseguenza  $S'_p > S_p$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left( N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,fav} \cdot \gamma_{Q_i} \right) \cdot f + 50\% \frac{S_p}{\gamma_R}$$

$$E_d = \left( N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right)$$

Tutto il resto è invariato.



Se la verifica non è soddisfatta:

- ❖ taglio di fondazione a monte

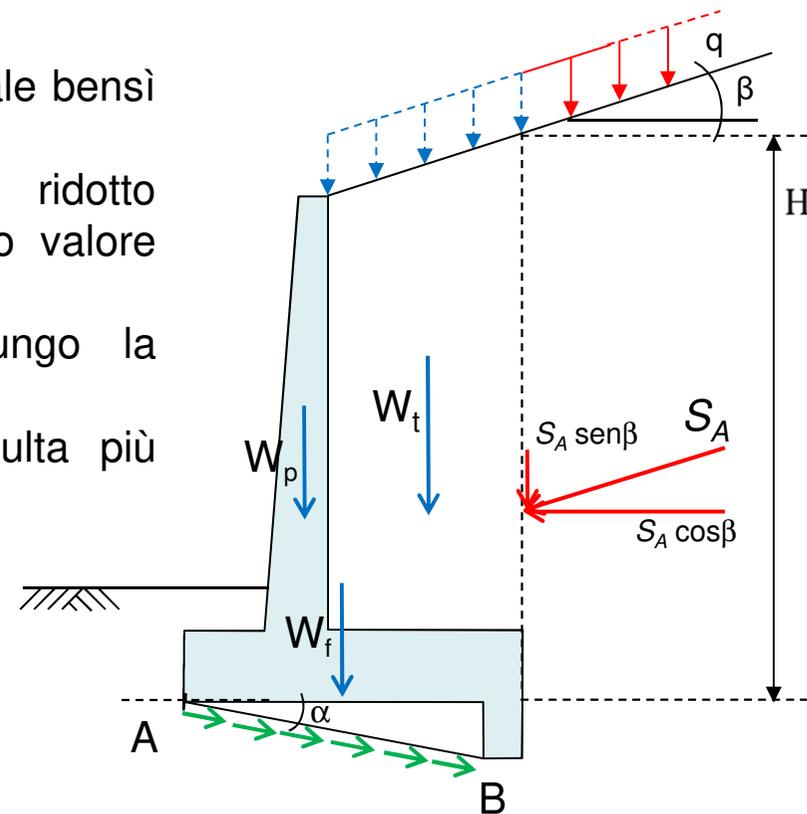
# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica allo scorrimento

### TAGLIONE A MONTE:

La superficie di scorrimento non è più orizzontale bensì inclinata di  $\alpha$ :

- ❖ lungo AB al posto dell'angolo di attrito ridotto fondazione-terreno ( $\delta$ ) è mobilitabile l'intero valore dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ ;
- ❖ cambiano le componenti delle forze lungo la superficie di scorrimento;
- ❖ la realizzazione del taglione a monte risulta più difficile dal punto di vista costruttivo.



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

COMBINAZIONE UNICA: A1+M1+R3

$$R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R}$$

$\gamma_R$  : coefficiente correttivo delle resistenze.

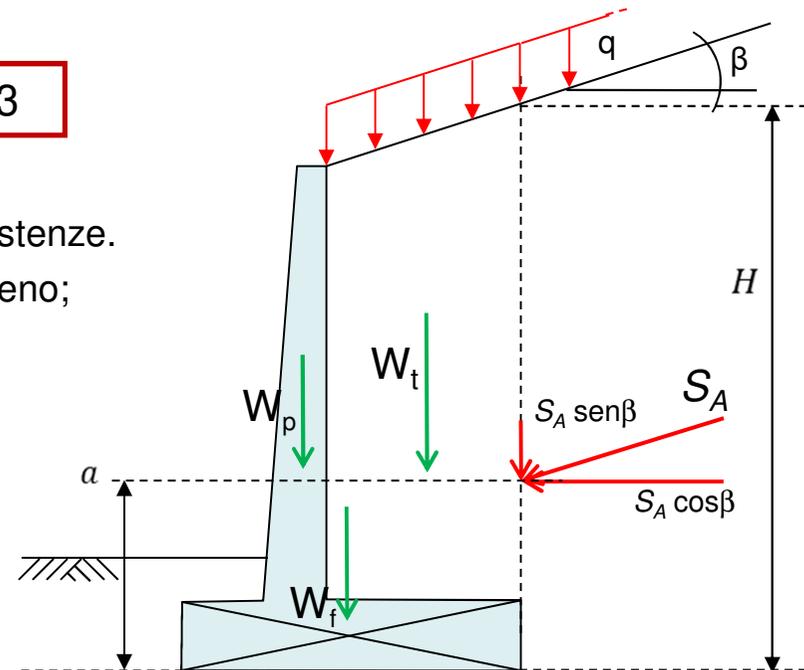
$q_{lim}$  : pressione limite ultima del terreno;

$A_{b,f}$  : area di base della fondazione;

$$E_d = \left( N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right)$$

Il carico limite unitario ( $q_{lim}$ ) del terreno si può calcolare con varie formule (Terzaghi, Brinch-Hansen).

$$q_{lim} = \gamma_t \cdot D \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q + c \cdot N_c \cdot i_c \cdot d_c + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \gamma_t \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

$$R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R}$$

$\gamma_R$  : coefficiente correttivo delle resistenze.

$q_{lim}$  : pressione limite ultima del terreno;

$A_{b,f}$  : area di base della fondazione;

Valutazione di  $A_{b,f}$

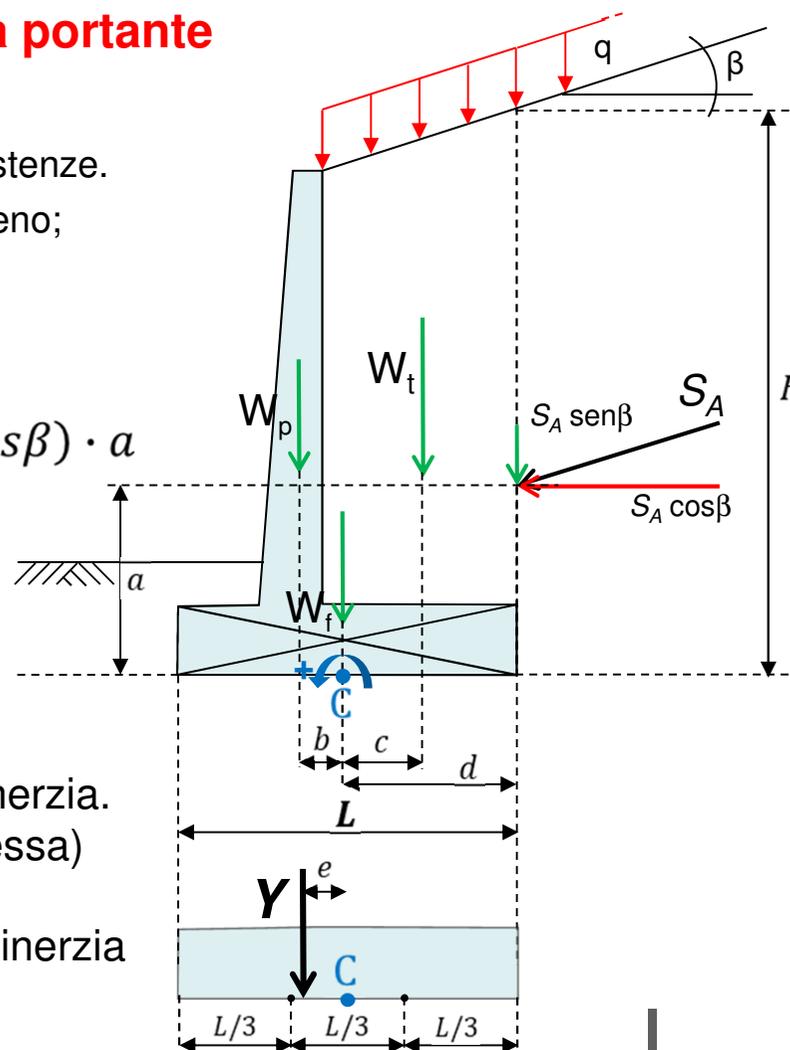
$$M_C = W_p \cdot b - W_t \cdot c - (S_A \cdot \sin\beta) \cdot d + (S_A \cdot \cos\beta) \cdot a$$

$$Y = W_p + W_f + W_t + S_A \cdot \sin\beta$$

$$e = \frac{M_C}{Y}$$

$e \leq \frac{L}{6}$  ➔ Y cade entro il nocciolo centrale d'inerzia.  
(La sezione è interamente compressa)

$e > \frac{L}{6}$  ➔ Y cade fuori dal nocciolo centrale d'inerzia  
(La sezione è parzializzata)



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

$$\text{CASO 1: } e < \frac{L}{6}$$



Y cade entro il NCI. La sezione è interamente compressa

Pressoflessione retta:

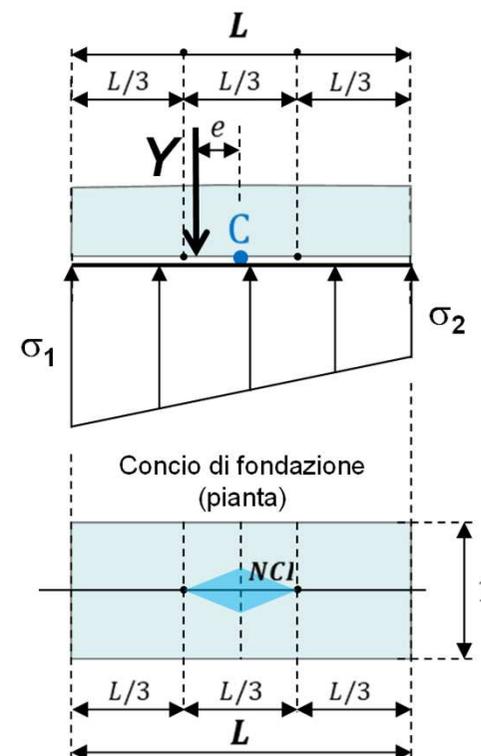
- ❖  $\sigma_1, \sigma_2$ : pressioni massima e minima sul terreno (elastico-lineare) agli estremi della fondazione;

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{A} \pm \frac{M_C}{W}$$

- ❖ Area di base:  $A = L \cdot 1$

- ❖ Modulo di resistenza:  $W = \frac{J}{\frac{L}{2}} = \frac{\frac{L^3 \cdot 1}{12}}{\frac{L}{2}} = \frac{L^2}{6}$

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{L} \pm \frac{6 \cdot M_C}{L^2}$$



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

**CASO 2:**  $e = \frac{L}{6}$



Y cade su estremo del NCI.  
La sezione è interamente compressa

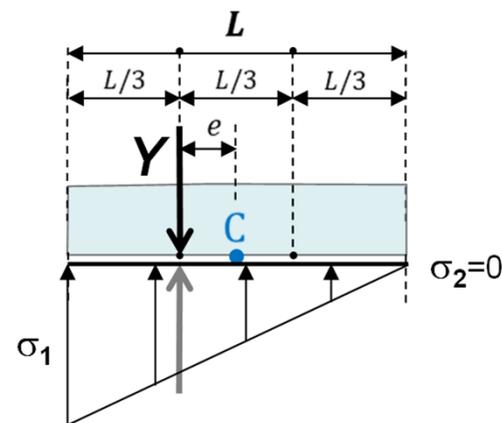
Pressoflessione retta:

- ❖  $\sigma_1, \sigma_2$ : pressioni massima e minima sul terreno (elastico-lineare) agli estremi della fondazione;

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{L} \pm \frac{6 \cdot M_C}{L^2}$$

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{L} \pm \frac{6 \cdot Y \cdot \frac{L}{6}}{L^2}$$

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{L} \pm \frac{Y}{L} = \begin{cases} \sigma_1 = -\frac{2 \cdot Y}{L} \\ \sigma_2 = 0 \end{cases}$$



$A = L \cdot 1$

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

**CASO 3:**  $e > \frac{L}{6}$



Y cade fuori dal NCI.  
La sezione si parzializza

Pressoflessione retta:

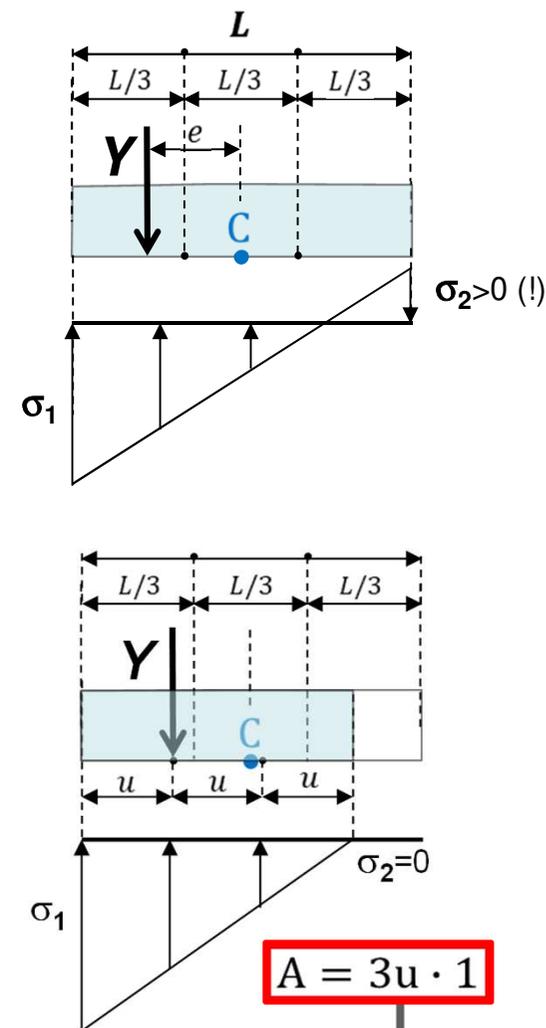
$\sigma_1, \sigma_2$ : pressioni massima e minima sul terreno  
(elastico-lineare) agli estremi della fondazione;

$$\sigma_{1,2} = -\frac{Y}{L} \pm \frac{\sigma \cdot M_C}{L^2}$$

- ❖ la sezione si parzializza;
- ❖ insorgerebbero sforzi di trazione ( $\sigma_2 > 0$ );
- ❖ Siccome all'interfaccia fondazione-terreno non si possono avere trazioni, si trascurerebbe una parte del diagramma.

Il punto di applicazione di Y diventa punto di nocciolo di una sezione ridotta ( $3u$ ).

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot Y}{3u}$$



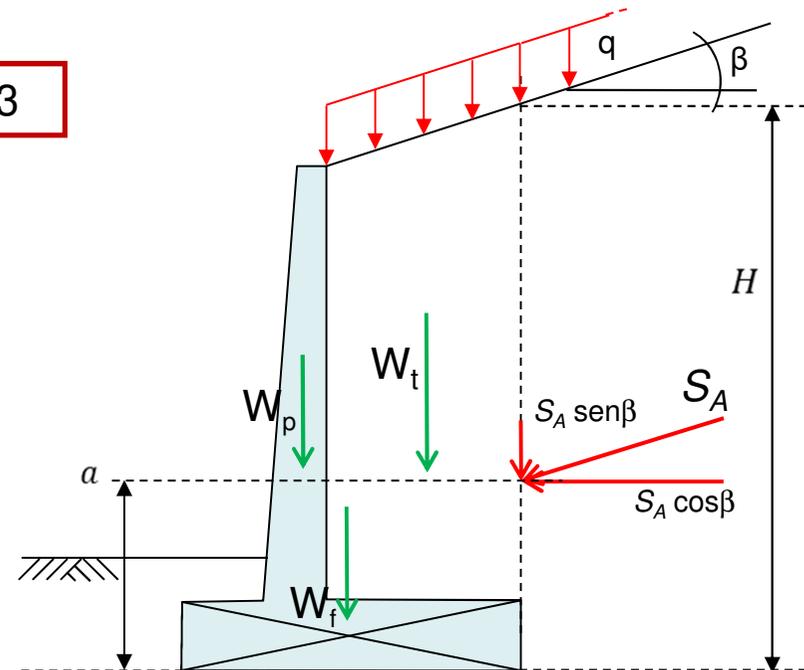
# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica alla capacità portante

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

COMBINAZIONE UNICA: A1+M1+R3

$$E_d = \left( N_{perm, sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var, sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right)$$



Se la verifica non è soddisfatta:

- ❖ modifica della fondazione: allargamento o approfondimento;
- ❖ modifica delle proporzioni sbalzo anteriore/sbalzo posteriore
- ❖ fondazione su pali.

# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica al ribaltamento

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

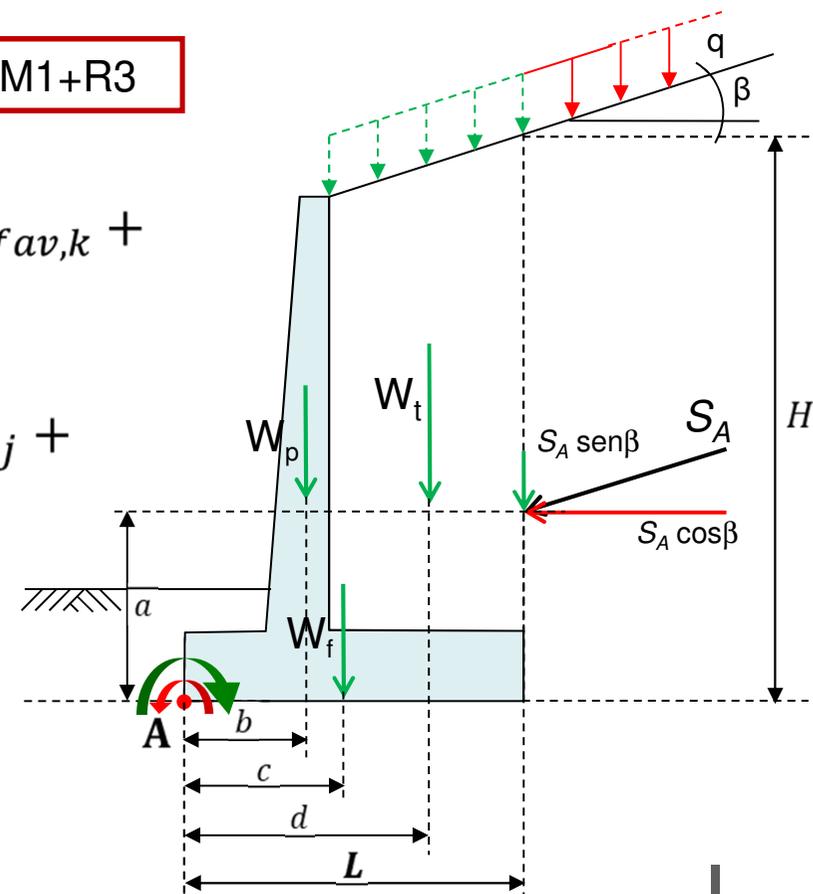
COMBINAZIONE UNICA: A1+M1+R3

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum_k (N_{perm,fav,k} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav,k} + N_{var,fav,k} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,fav,k})$$

$$E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,sfav,j} + N_{var,sfav,j} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,sfav,j})$$

Se la verifica non è soddisfatta:

- ❖ modifica della fondazione: allargamento;
- ❖ fondazione su pali.



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

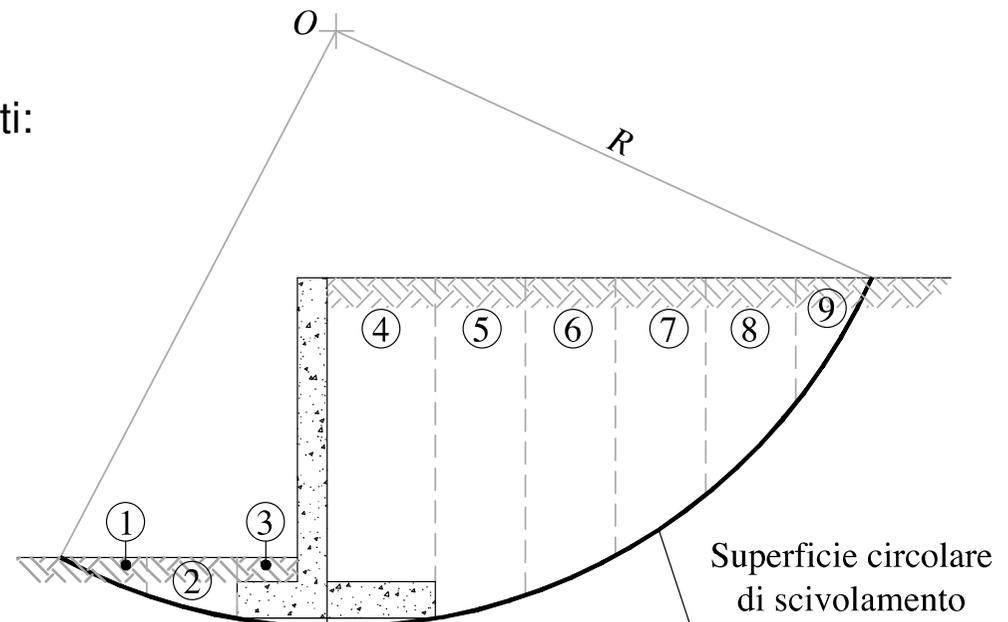
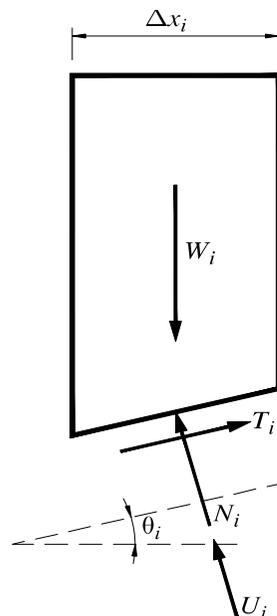
## Verifica di stabilità globale

Approccio 1 - Combinazione 2:  
(A2+M2+R2\*)

(R2\* → Coefficienti parziali per verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo)

Si traccia una superficie di scorrimento di (**primo**) tentativo e si divide l'ammasso compreso in conci. Si devono analizzare più superfici.

Per ogni concio si valutano le forze agenti:



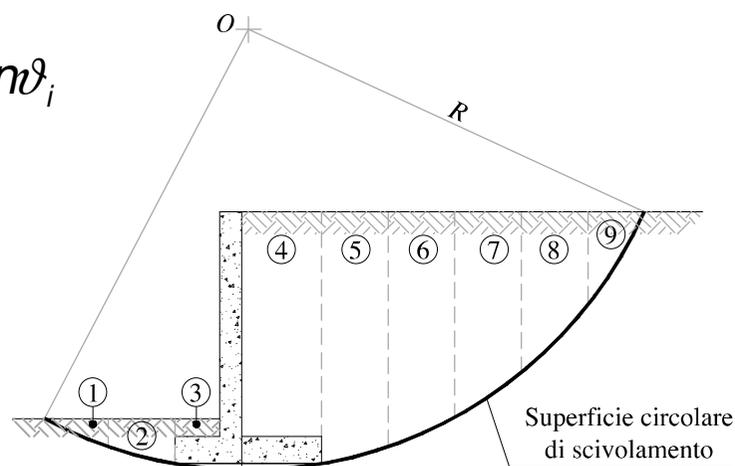
# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Verifica di stabilità globale

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

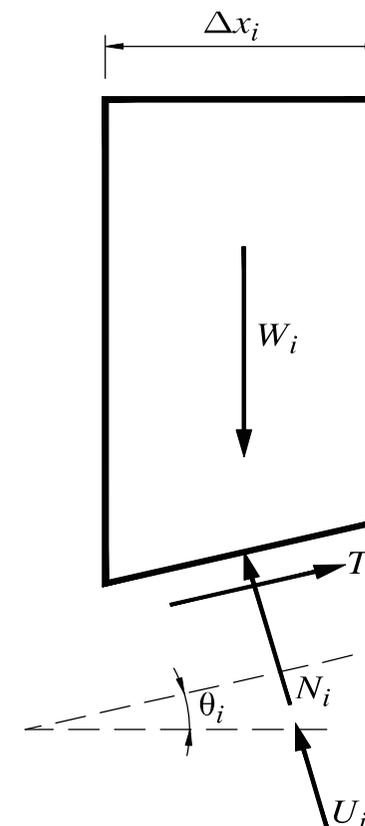
$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum \left[ (N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \cos \vartheta_i) \cdot \frac{tg\phi'_i}{\gamma_{\phi'_i}} \right]$$

$$E_d = \sum N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \sin \vartheta_i$$



### Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2\*)

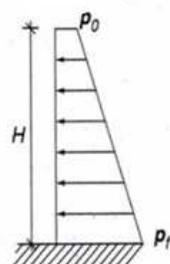
(R2\* → Coefficienti parziali per verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo)



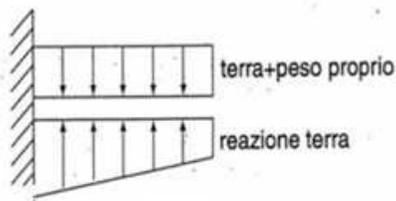
# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Calcolo delle armature

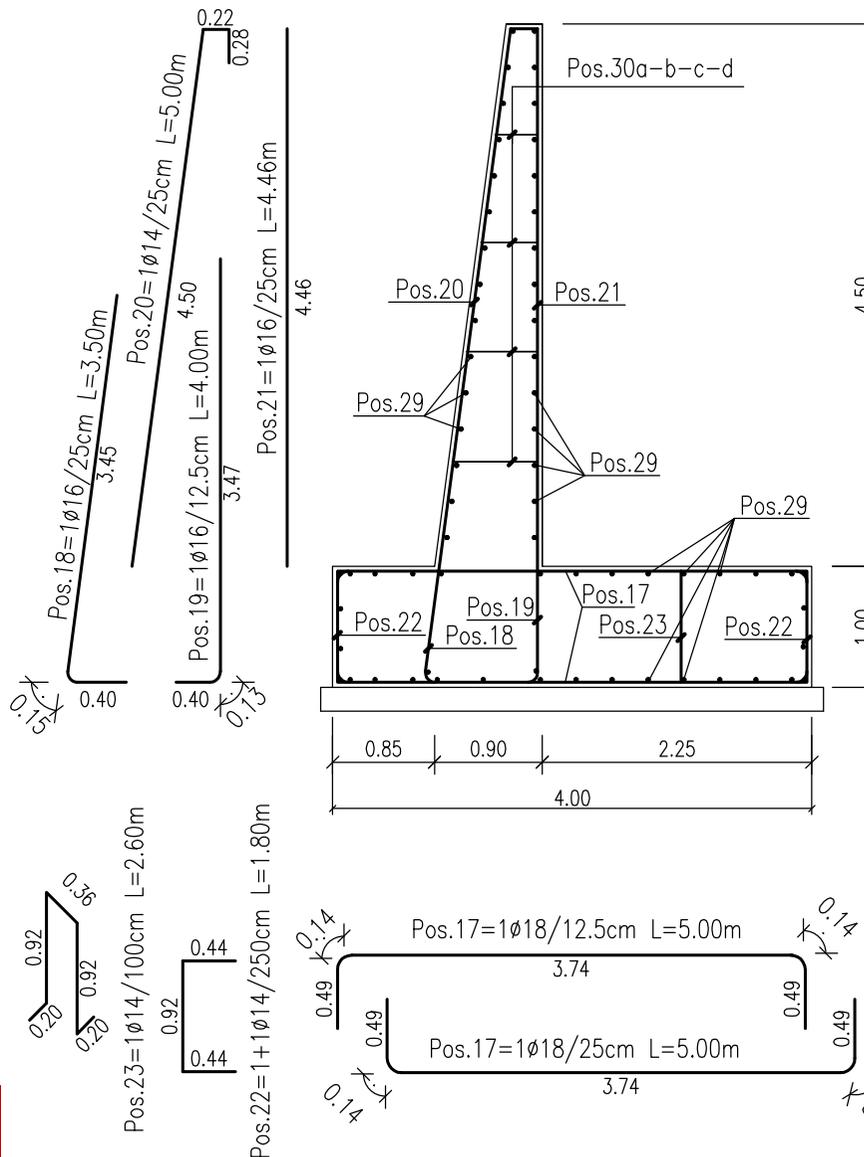
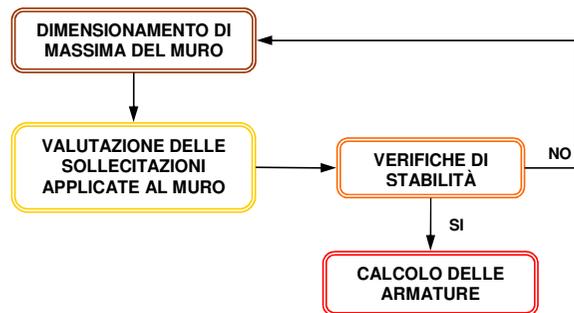
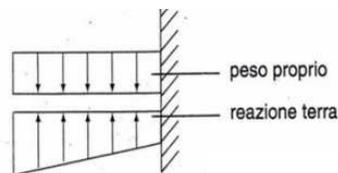
Parete verticale



Mensola posteriore della fondazione



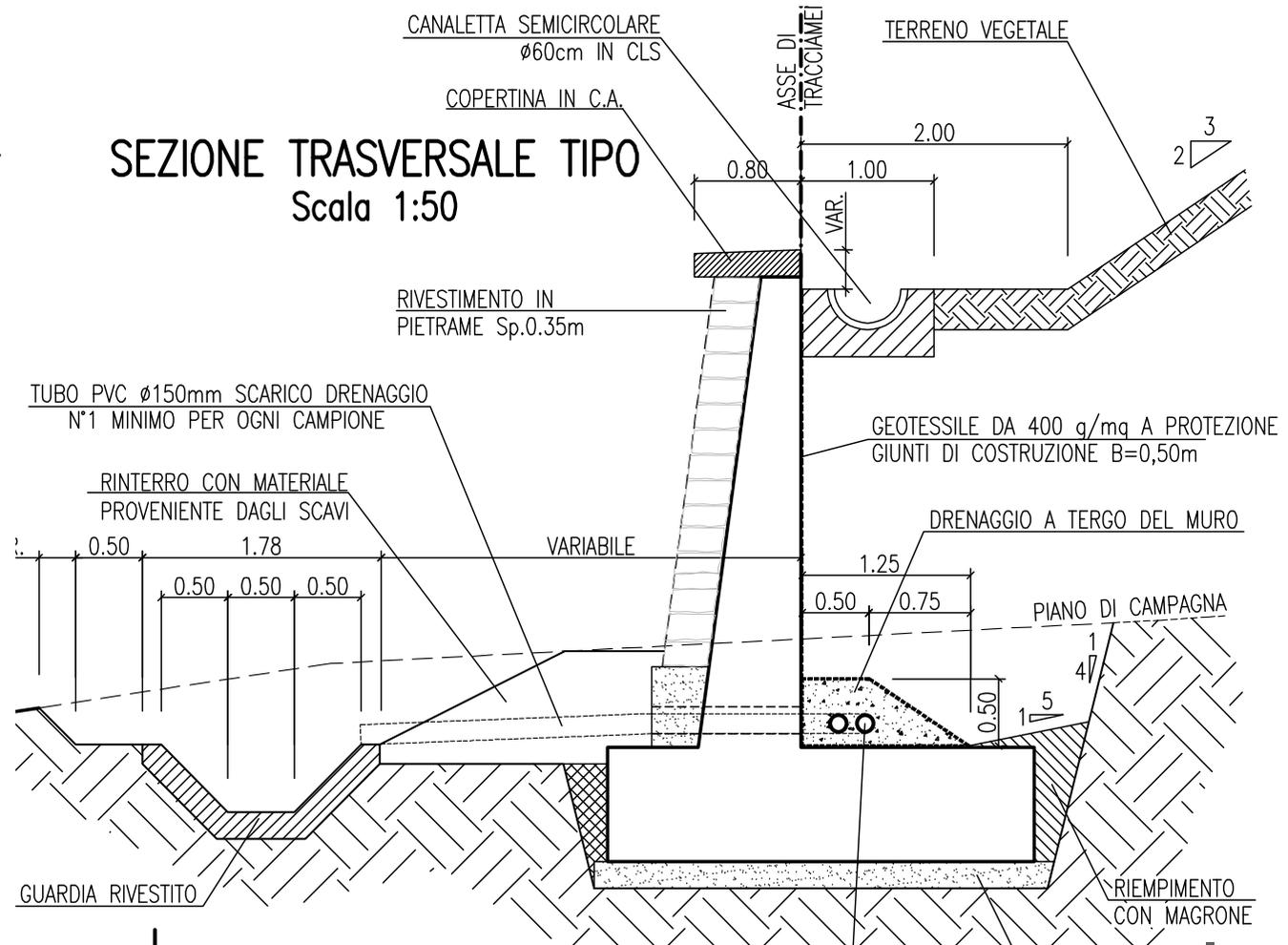
Mensola anteriore della fondazione



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

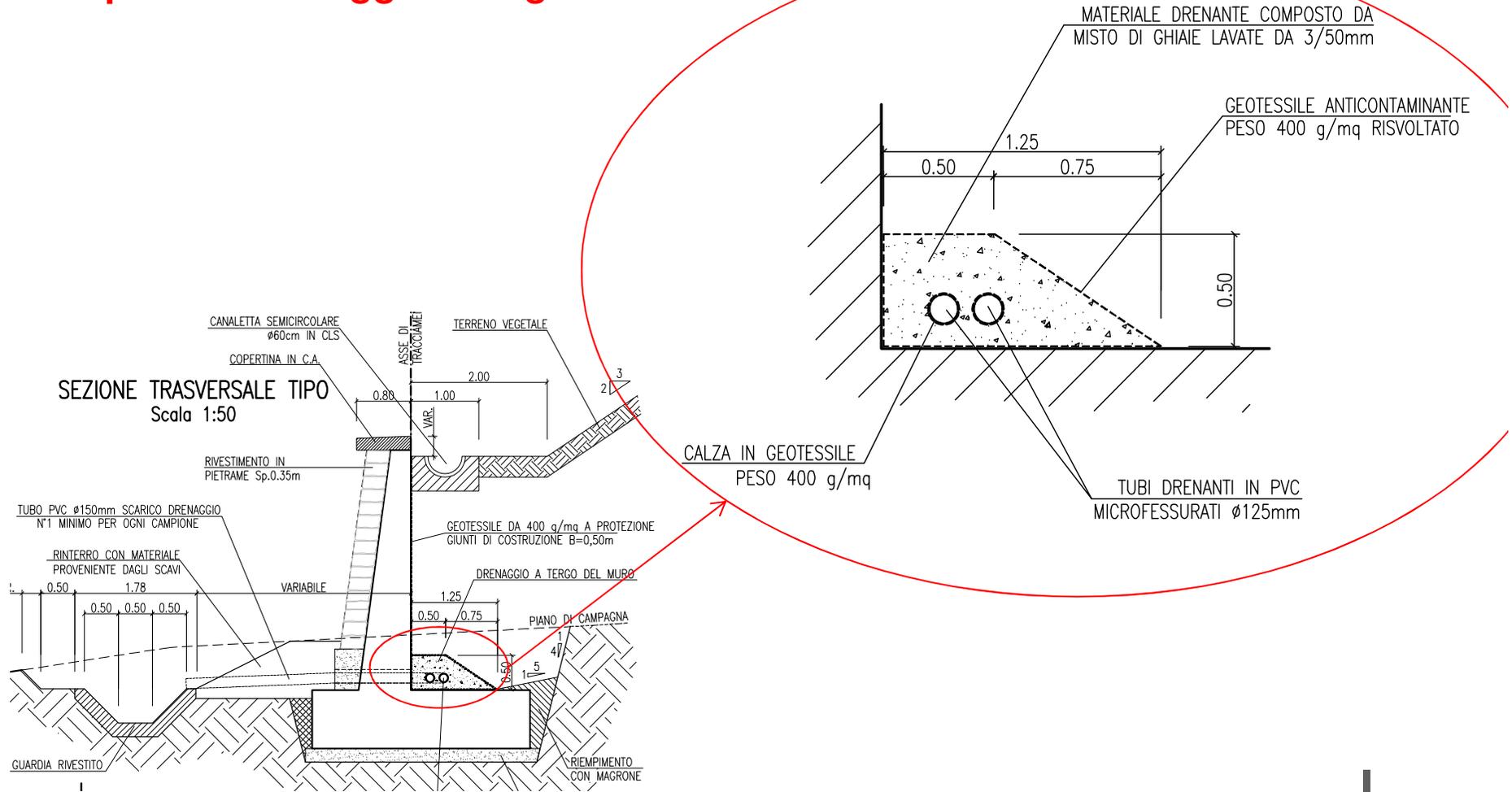
## Le opere di drenaggio a tergo del muro

È importante eliminare la spinta esercitata dall'acqua a tergo del muro, prevedendo un efficace sistema di drenaggio.



# Verifiche di stabilità per un muro di sostegno

## Le opere di drenaggio a tergo del muro



# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

### CARATTERISTICHE DEL MURO:

$$\gamma_{cls} = 2500 \text{ daN/m}^3$$

$$H_{TOT} = 4,50 \text{ m}$$

$$L_{FOND} = 3,20 \text{ m}$$

### FORZE AGENTI:

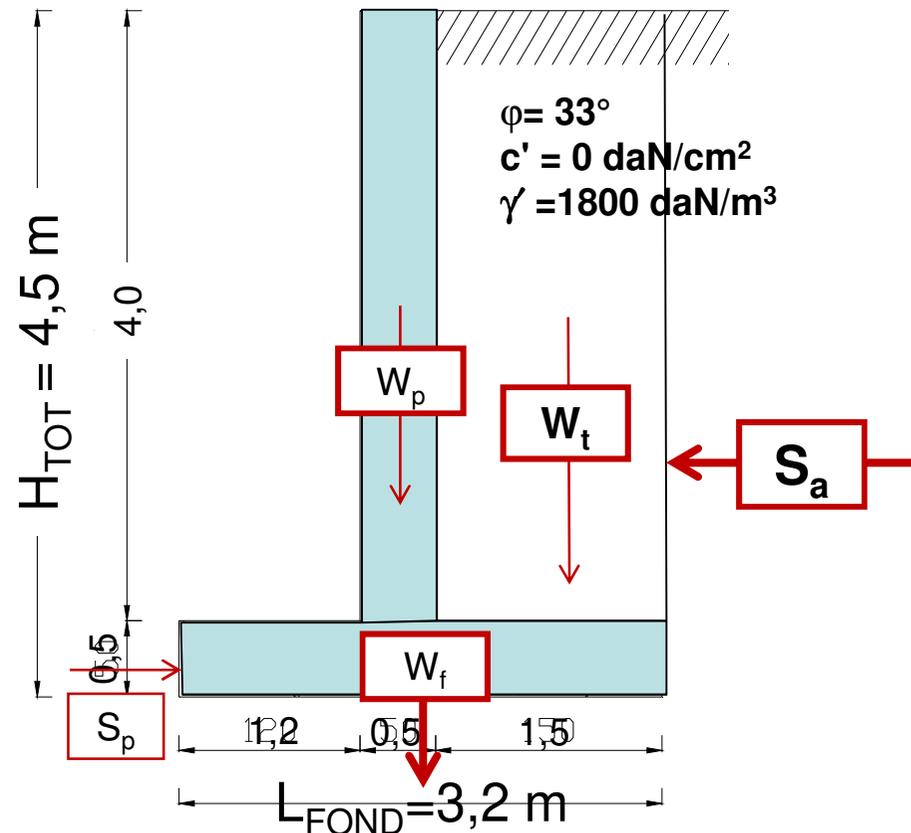
- Peso dell'elevazione:  $W_p$ ;
- Peso della fondazione:  $W_f$ ;
- Peso del terreno a monte:  $W_t$ ;
- Spinte attiva ( $S_a$ ) [e ev. passiva ( $S_p$ )].

$$W_p = \gamma_{cls} \cdot A_p = 2500 \cdot (4,0 \cdot 0,5) = 5000 \text{ daN}$$

$$W_f = \gamma_{cls} \cdot A_f = 2500 \cdot (3,2 \cdot 0,5) = 4000 \text{ daN}$$

$$W_m = W_p + W_f = 5000 + 4000 = 9000 \text{ daN}$$

$$W_t = \gamma_t \cdot A_t = 1800 \cdot (1,5 \cdot 4,0) = 10800 \text{ daN}$$



$$\rightarrow N_{perm, fav} = W_m + W_t = 9000 + 10800 = 19800 \text{ daN}$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

La verifica allo scorrimento risulta soddisfatta se:  $\frac{R_d}{E_d} \geq 1$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left( N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,fav} \cdot \gamma_{Q_i} \right) \cdot f + 50\% \frac{S_p}{\gamma_R} \quad \text{dove:}$$

$N_{perm,fav}$  : azioni permanenti favorevoli;  $\gamma_{G_1}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (favorevoli);

$N_{var,fav}$  : azioni variabili favorevoli;  $\gamma_{Q_i}$  : coefficiente correttivo azioni variabili (favorevoli);

$\gamma_R$  : coefficiente correttivo delle resistenze;

$S_p$  : spinta passiva;

$f$  : coeff. di attrito terreno - fondazione.

**COMBINAZIONE U:**

**A1+M1+R3**

$$E_d = \left( N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right) \quad \text{dove:}$$

$N_{perm,sfav}$  : azioni permanenti sfavorevoli;  $\gamma_{G_1}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (sfavorevoli);

$N_{var,sfav}$  : azioni variabili sfavorevoli;  $\gamma_{Q_i}$  : coefficiente correttivo azioni variabili (sfavorevoli);

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE STABILIZZANTE:** 
$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} (N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,fav} \cdot \gamma_{Q_i}) \cdot f + 50\% \frac{S_p}{\gamma_R}$$

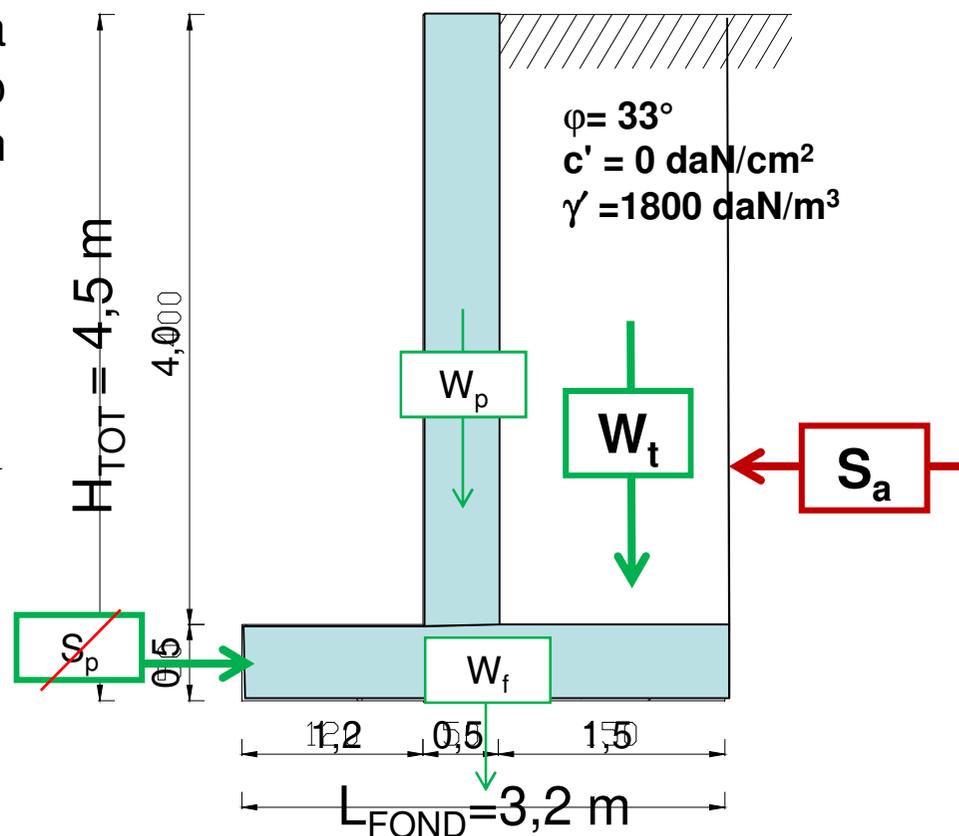
Qualunque sia la combinazione utilizzata i carichi verticali permanenti risultano **favorevoli** e forniscono sempre un contributo stabilizzante.

$$W_m = W_p + W_f = 5000 + 4000 = 9000 \text{ daN}$$

$$W_t = 10800 \text{ daN}$$

$$N_{perm,fav} = W_m + W_t = 9000 + 10800 = 19800 \text{ daN}$$

La Spinta passiva, anch'essa **favorevole** in questo caso è trascurata.



# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni (A)

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali per le verifiche di muri di sostegno (R)

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left( N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G1} + N_{var,fav} \cdot \gamma_{Qi} \right) \cdot f + 50\% \frac{\delta_p}{\gamma_R} \quad \text{dove: } f = \operatorname{tg}\left(\frac{3}{4} \phi_d\right) = 0,47$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G1}) \cdot f = \frac{1}{1,1} \cdot (19800 \cdot 1,0) \cdot 0,47 = 8460 \text{ daN}$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**  $E_d = \left( N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right)$

La spinta del terreno agente sul paramento di monte viene calcolata utilizzando i parametri geotecnici del terreno corretti con i coefficienti del gruppo M1.

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

$$\text{Tangente ang. di res. al taglio: } tg \varphi_d = \frac{tg \varphi_k}{\gamma_{\varphi'}} = \frac{tg 33^\circ}{1,00} = 0,64 \longrightarrow \varphi_d = 33^\circ$$

$$\text{Peso per unità di volume del terreno: } \gamma_{td} = \frac{\gamma_{tk}}{\gamma_\gamma} = \frac{1800}{1,00} = 1800 \text{ daN/m}^3$$

$$\text{Coefficiente di spinta attiva: } K_a = tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_d}{2} \right) = 0,29$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**  $E_d = (N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i})$

Una volta corretti i parametri geotecnici è possibile calcolare la spinta del terreno agente sul paramento di monte:

- Spinta attiva del terreno:

$$\rightarrow N_{perm,sfav} = S_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{td} \cdot K_a \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot 1800 \cdot 0,29 \cdot 4,5^2 = 5285 \text{ daN}$$

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni (A)

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

$$E_d = (N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_Q) = (5285 \cdot 1,3) = 6871 \text{ daN}$$

## Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

### ESEMPIO DI CALCOLO

#### RESISTENZA DI PROGETTO:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (N_{perm, fav} \cdot \gamma_{G1}) \cdot f = \frac{1}{1,1} \cdot (19800 \cdot 1,0) \cdot 0,47 = 8460 \text{ daN}$$

#### AZIONE DI PROGETTO:

$$E_d = (N_{perm, sfav} \cdot \gamma_{G1} + N_{var, sfav} \cdot \gamma_Q) = (5285 \cdot 1,3) = 6871 \text{ daN}$$

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO:

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{8460}{6871} = 1,23 \geq 1$$

VERIFICA SODDISFATTA

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

La verifica alla capacità portante risulta soddisfatta se:  $\frac{R_d}{E_d} \geq 1$

$$R_d = \frac{q_{\text{lim}} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R} \quad \text{dove:}$$

$\gamma_R$  : coefficiente correttivo delle resistenze.

$q_{\text{lim}}$  : pressione limite ultima del terreno;

$A_{b,f}$  : area di base della fondazione;

COMBINAZIONE U:

A1+M1+R3

$$E_d = \left( N_{\text{perm},sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{\text{var},sfav} \cdot \gamma_{Q_i} \right) \quad \text{dove:}$$

$N_{\text{perm},sfav}$  : azioni permanenti sfavorevoli;  $\gamma_{G_1}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (sfavorevoli);

$N_{\text{var},sfav}$  : azioni variabili sfavorevoli;  $\gamma_{Q_i}$  : coefficiente correttivo azioni variabili (sfavorevoli);

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

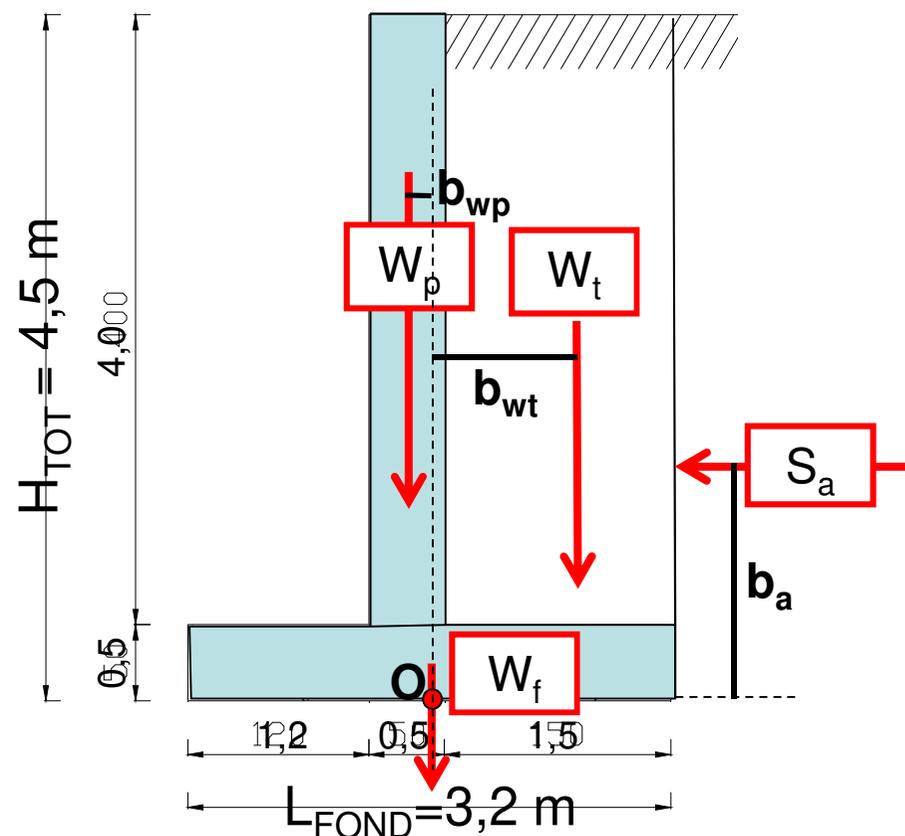
## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE STABILIZZANTE:**  $R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R}$

Qualunque sia la combinazione utilizzata i carichi verticali permanenti risultano **sfavorevoli** e forniscono sempre un contributo instabilizzante.

Il carico limite unitario ( $q_{lim}$ ) del terreno si può calcolare con varie formule tra le quali: Terzaghi o Brinch-Hansen (Appendice C del libro di testo):

$$q_{lim} = \gamma_t \cdot D \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q + c \cdot N_c \cdot i_c \cdot d_c + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \gamma_t \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$



# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE STABILIZZANTE:**  $R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R}$

Ipotizzando, ad esempio, un  $q_{lim} = 0.5 \text{ MPa} = 50000 \text{ daN/m}^2$

Tab. 6.5.1 - Coefficienti parziali per le verifiche di muri di sostegno (R)

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

### RESISTENZA DI PROGETTO:

$$R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R} = \frac{q_{lim} \cdot 3,2 \cdot 1}{1,4} = 114286 \text{ daN}$$

Consideriamo  $A_{b,f} = 3,2 \cdot 1$  perché l'eccentricità  $e < L_{FOND}/6$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**  $E_d = (N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i})$

Tutte le forze (verticali e orizzontali), per la verifica di capacità portante, forniscono un contributo instabilizzante, pertanto sono da considerarsi **sfavorevoli**. Si adotta quindi  $\gamma_G=1,3$ .

Tab. 6.2.1 - Coefficienti parziali per le azioni (A)

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.1. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G_1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Risultante delle forze verticali:  $E_d = (N_{perm,sfav} \cdot \gamma_{G_1} + N_{var,sfav} \cdot \gamma_{Q_i})$

### **AZIONE DI PROGETTO:**

$$E_d = \gamma_{G_1} \cdot (W_p + W_f + W_t) = 1,3 \cdot (5000 + 4000 + 10800) = 25740 \text{ daN}$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

### RESISTENZA DI PROGETTO:

$$R_d = \frac{q_{lim} \cdot A_{b,f}}{\gamma_R} = \frac{q_{lim} \cdot 3,2 \cdot 1}{1,4} = 114286 \text{ daN}$$

### AZIONE DI PROGETTO:

$$E_d = \gamma_{G_1} \cdot (W_p + W_f + W_t) = 1,3 \cdot (5000 + 4000 + 10800) = 25740 \text{ daN}$$

### VERIFICA ALLA CAPACITÀ PORTANTE:

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{114286}{25740} = 4,44 \geq 1$$

**VERIFICA SODDISFATTA**

## Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

### ESEMPIO DI CALCOLO

La verifica al ribaltamento risulta soddisfatta se:  $\frac{R_d}{E_d} \geq 1$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum_k (N_{perm,fav,k} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav,k} + N_{var,fav,k} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,fav,k}) \quad \text{dove:}$$

$N_{perm,fav}$  : azioni permanenti favorevoli;  $\gamma_{G1}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (favorevoli);

$N_{var,fav}$  : azioni variabili favorevoli;  $\gamma_Q$  : coefficiente correttivo azioni variabili (favorevoli);

$b_{perm,fav}$  : braccio azioni permanenti favorevoli;

$b_{var,fav}$  : braccio azioni variabili favorevoli;

COMBINAZIONE U:

A1+M1+R3

$$E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,sfav,j} + N_{var,sfav,j} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,sfav,j}) \quad \text{dove:}$$

$N_{perm,sfav}$  : azioni permanenti sfavorevoli;  $\gamma_{G1}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (sfavorevoli);

$N_{var,sfav}$  : azioni variabili sfavorevoli;  $\gamma_Q$  : coefficiente correttivo azioni variabili (sfavorevoli);

$b_{perm,sfav}$  : braccio azioni permanenti sfavorevoli;

$b_{var,sfav}$  : braccio azioni variabili sfavorevoli;

## Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

### ESEMPIO DI CALCOLO

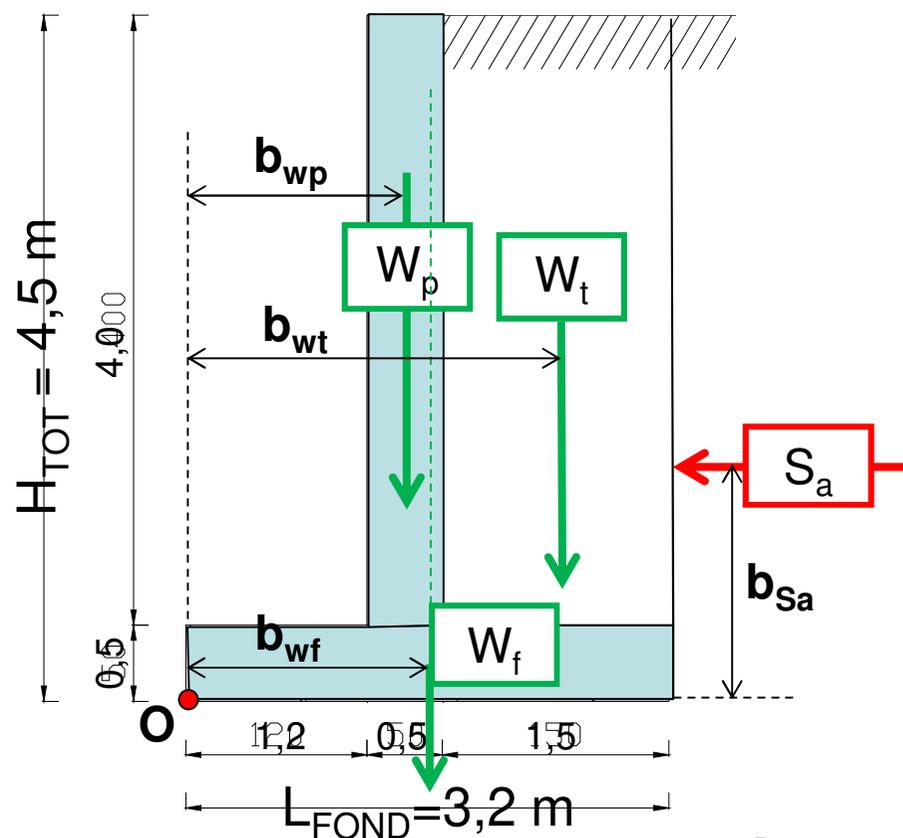
**AZIONE STABILIZZANTE:**  $R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum_k (N_{perm,fav,k} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav,k} + N_{var,fav,k} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,fav,k})$

Qualunque sia la combinazione utilizzata i carichi verticali permanenti risultano **favorevoli** e forniscono sempre un contributo stabilizzante.

$$W_m = W_p + W_f = 5000 + 4000 = 9000 \text{ daN}$$

$$W_t = 10800 \text{ daN}$$

$$N_{perm,fav} = W_m + W_t = 9000 + 10800 = 19800 \text{ daN}$$



# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE STABILIZZANTE:**  $R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum_k (N_{perm,fav,k} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav,k} + N_{var,fav,k} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,fav,k})$

- Momento stabilizzante dovuto al peso del muro:

$$M_m = W_p \cdot b_{wp} + W_f \cdot b_{wf} = 5000 \cdot 1,45 + 4000 \cdot 1,60 = 13650 \text{ daN} \cdot m$$

- Momento stabilizzante dovuto al peso del terreno:

$$M_t = W_t \cdot b_{wt} = 10800 \cdot 2,45 = 26460 \text{ daN} \cdot m$$

I carichi verticali permanenti risultano **favorevoli** (stabilizzanti), si adotta quindi  $\gamma_{G1}=1,0$  (colonna A1).

Tab. 6.2.1 - Coefficienti parziali per le azioni (A)

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE STABILIZZANTE:**  $R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum_k (N_{perm,fav,k} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav,k} + N_{var,fav,k} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,fav,k})$

Individuiamo dalla Tab. 6.5.I  $\gamma_R=1,15$ .

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali per le verifiche di muri di sostegno (**R**)

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav}) = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (M_m + M_t) \cdot \gamma_{G1} =$$

$$R_d = \frac{1}{1,15} \cdot (13650 + 26460) \cdot 1,0 = 34878 \quad daN \cdot m$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**  $E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,sfav,j} + N_{var,sfav,j} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,sfav,j})$

La spinta del terreno agente sul paramento di monte viene calcolata utilizzando i parametri geotecnici del terreno corretti con i coefficienti del gruppo M1.

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

$$\text{Tangente ang. di res. al taglio: } tg \varphi_d = \frac{tg \varphi_k}{\gamma_{\varphi'}} = \frac{tg 33^\circ}{1,00} = 0,64 \longrightarrow \varphi_d = 33^\circ$$

$$\text{Peso per unità di volume del terreno: } \gamma_{td} = \frac{\gamma_{tk}}{\gamma_\gamma} = \frac{1800}{1,00} = 1800 \text{ daN / m}^3$$

$$\text{Coefficiente di spinta attiva: } K_a = tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_d}{2} \right) = 0,29$$

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**  $E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,sfav,j} + N_{var,sfav,j} \cdot \gamma_Q \cdot b_{var,sfav,j})$

Corretti i parametri geotecnici, si calcola la spinta del terreno a monte:

- Spinta attiva del terreno (identica al caso dello scorrimento):

$$\rightarrow N_{perm,sfav} = S_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{td} \cdot K_a \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot 1800 \cdot 0,29 \cdot 4,5^2 = 5285 \text{ daN}$$

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

### AZIONE INSTABILIZZANTE:

$$E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{sa}) = 5285 \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 10306 \text{ daN} \cdot m$$

## Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

### ESEMPIO DI CALCOLO

#### RESISTENZA DI PROGETTO:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (N_{perm,fav} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{perm,fav}) = \frac{1}{\gamma_R} \cdot (M_m + M_t) \cdot \gamma_{G1} =$$
$$R_d = \frac{1}{1,15} \cdot (13650 + 26460) \cdot 1,0 = 34878 \quad daN \cdot m$$

#### AZIONE DI PROGETTO:

$$E_d = \sum_j (N_{perm,sfav,j} \cdot \gamma_{G1} \cdot b_{Sa}) = 5285 \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 10306 \quad daN \cdot m$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO:

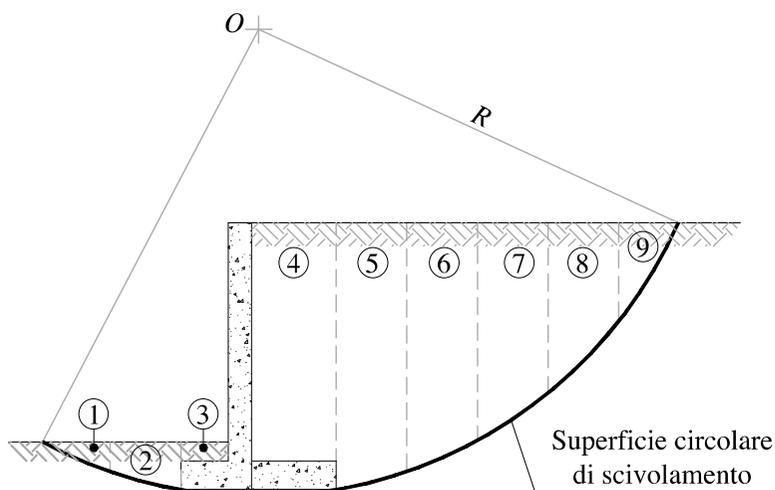
$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{34878}{10306} = 3,38 \geq 1$$

VERIFICA SODDISFATTA

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

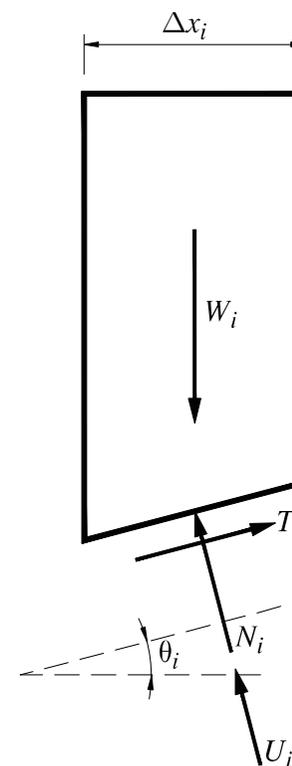
## ESEMPIO DI CALCOLO

Si traccia una superficie di scorrimento di (**primo**) tentativo e si divide l'ammasso compreso in conci. Si devono analizzare più superfici.



Per ogni concio si valutano le forze agenti:

Approccio 1 - Combinazione 2:  
(A2+M2+R2\*)



# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

La verifica di stabilità globale risulta soddisfatta se:  $\frac{R_d}{E_d} \geq 1$

Ricordando la formula di Fellenius: 
$$F = \frac{\bar{c}L + \tan \bar{\phi} \sum_{i=1}^{i=n} (W_i \cos \alpha_i - u_i \Delta l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum \left[ (N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \cos \vartheta_i) \cdot \frac{tg \phi'_i}{\gamma_{\phi'_i}} \right] \text{ dove:}$$

$N_{perm, fav}$  : azioni permanenti favorevoli;  $\gamma_{G_i}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (favorevoli);

$\gamma_{\phi'_i}$  : coefficiente correttivo dell'angolo d'attrito;

$\gamma_R$  : coefficiente correttivo delle resistenze.

$$E_d = \sum N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \sin \vartheta_i$$

$N_{perm, sfav}$  : azioni permanenti sfavorevoli;

$\gamma_{G_i}$  : coefficiente correttivo azioni permanenti (sfavorevoli);

Approccio 1 - Combinazione 2:

(A2+M2+R2\*)

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

Per la verifica di **Stabilità globale** si deve utilizzare: **Approccio 1**: Combinazione 2 (A2+M2+R2), con  $\gamma_R$  specifico per opere in m. sciolti e fronti di scavo

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno **(M)**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parz. per ver. di sicurezza di opere di mat. sciolti e fronti di scavo **(R)**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

### AZIONE STABILIZZANTE:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot \sum \left[ \left( N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \cos \vartheta_i \right) \cdot \frac{tg \phi'_i}{\gamma_{\phi'_i}} \right]$$

Tab. 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni (A)

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G_1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G_1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G_2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q_i}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parz. per ver. di sicurezza di opere di mat. sciolti e fronti di scavo (R)

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

# Verifiche di stabilità dei muri di sostegno

## ESEMPIO DI CALCOLO

**AZIONE INSTABILIZZANTE:**

$$E_d = \sum N_{perm} \cdot \gamma_{G_i} \cdot \text{sen} \vartheta_i$$

Tab. 6.2.1 - Coefficienti parziali per le azioni **(A)**

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.1. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G_1}$

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3