



Corso di aggiornamento per ingegneri

12 Crediti Formativi Professionali

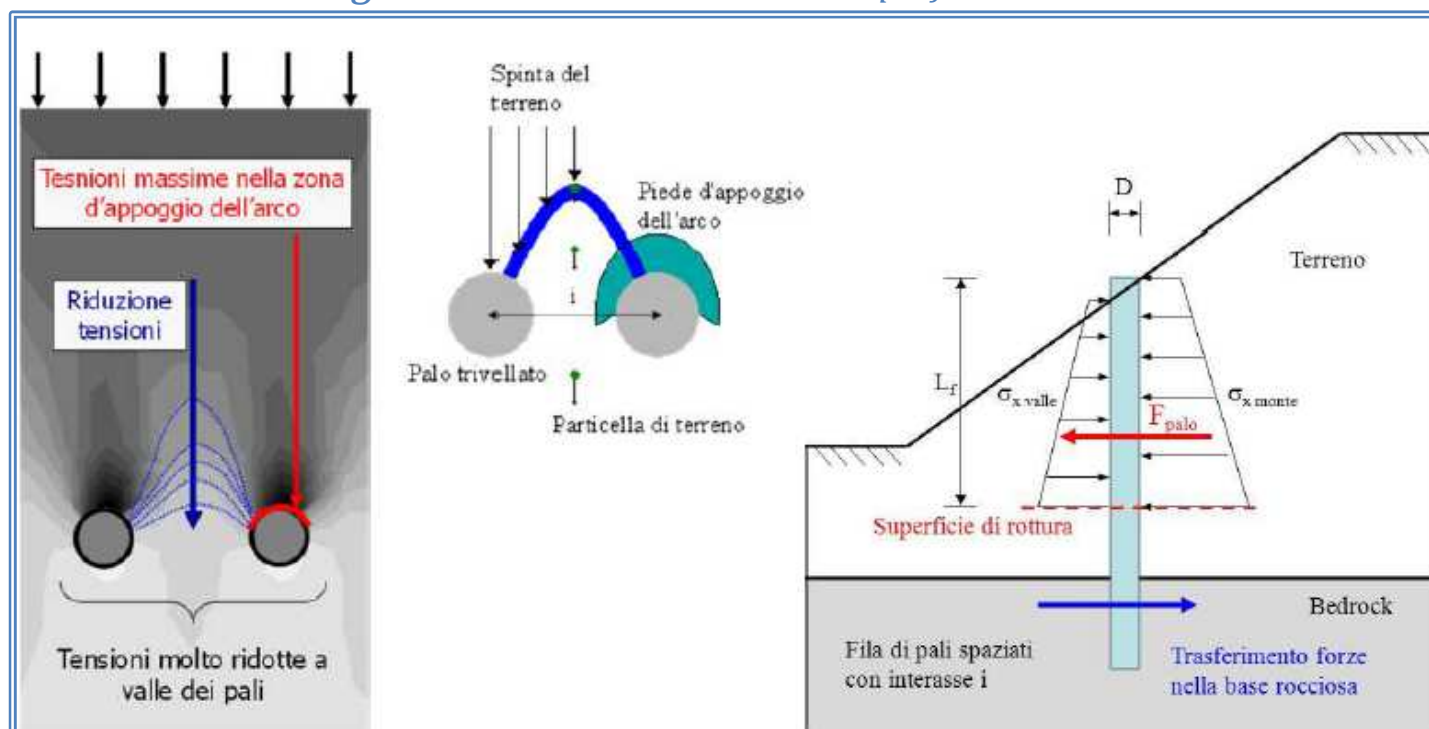
San Ponziano, Spoleto, 22-23 settembre 2017

Corso organizzato da APICE srl e prof. Aurelio Gherzi col patrocinio dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia

CORSO

Meccanica delle Frane e Metodologie di Consolidamento

Ing. Francesco Oliveto: Libero professionista



Spoleto, 23 Settembre 2017

MECCANICA DELLE FRANE E METODOLOGIE DI CONSOLIDAMENTO

INDICE

ore 8.30–10.30/11.00-13.00 :

1. Opere di Sostegno:

Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)

Strutture di sostegno speciali: (*Paratie libere e con tiranti, pali discreti, muri su pali e/o con tiranti, pozzi strutturali*)

2. Calcoli di Stabilit : Cenni sui metodi MEL, FEM-FDM.

3. Interazione struttura – Pendio instabile: Meccanismi di trasferimento delle azioni, fattore di sicurezza progetto, calcolo della resistenza degli interventi, scelta dell'ubicazione delle opere, effetto arco, verifiche di stabilit , metodi di calcolo per pali e pozzi strutturali soggetti ad azioni franose, proporzionamento e verifiche geotecniche e strutturali.

4. Pendii in roccia: Frane da crollo in roccia: Cenni sulle analisi del moto ed opere di protezione passiva.

1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali:(*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

GENERALITA

Un opera di sostegno è quella particolare opera geotecnica che ha la funzione di garantire condizioni permanenti di stabilità a corpi di terreno , che per forma , posizione o caratteristiche meccaniche , non sono in equilibrio naturale.

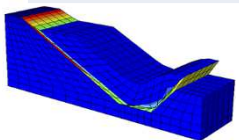
La spinta e la distribuzione delle pressioni che un opera di sostegno è soggetta, in condizioni lontane dal collasso è il risultato di un processo d'interazione terreno struttura molto complesso.

Solo nelle condizioni prossime al collasso la deformabilità dell'opera e del terreno non giocano un ruolo importante, per cui l'opera può essere considerata rigida e il terreno come un mezzo rigido plastico a cui si possono applicare i metodi dell'equilibrio limite o dell'analisi limite in condizioni statiche e cinematiche.

Le opere di sostegno possono essere suddivise in due categorie principali:

- ☐ Strutture di sostegno rigide;
- ☐ Strutture di sostegno flessibili.

Rientrano nella prima categoria i muri di sostegno , a mensola, gravita e semigravità. Appartengono alla seconda categoria le paratie di pali, micropali, diaframmi , palancole etc.



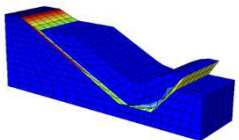
1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali:(*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

GENERALITA

Un opera di sostegno è quella particolare opera geotecnica che ha la funzione di garantire condizioni permanenti di stabilità a corpi di terreno , che per forma , posizione o caratteristiche meccaniche , non sono in equilibrio naturale.

La principale differenza deriva dalla natura delle deformazioni che l'opera subisce per effetto dei carichi applicati.

- ☐ I muri di sostegno essendo strutture massicce e poco deformabile, **tendono a subire movimenti di corpo rigido (traslazione e rotazione)** che si manifestano tipicamente in prossimità del collasso.
- ☐ Le opere di sostegno flessibili per la loro elevata snellezza , **rispondono con deformazioni significative flessionali e taglianti anche in condizioni lontane dal collasso.**
- ☐ Esistono infine le strutture di sostegno a gravità ma flessibili, realizzate con l'impiego di terra rinforzata, strutture componibili quali i gabbioni o i muri cellulari. Pur essendo molto simili alle opere di sostegno per i principi di funzionamento , **sono in grado di tollerare significativi cedimenti assoluti e differenziali del piano di posa senza subire lesioni apprezzabili, grazie alla elevata deformabilità.**



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

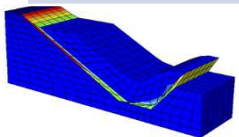
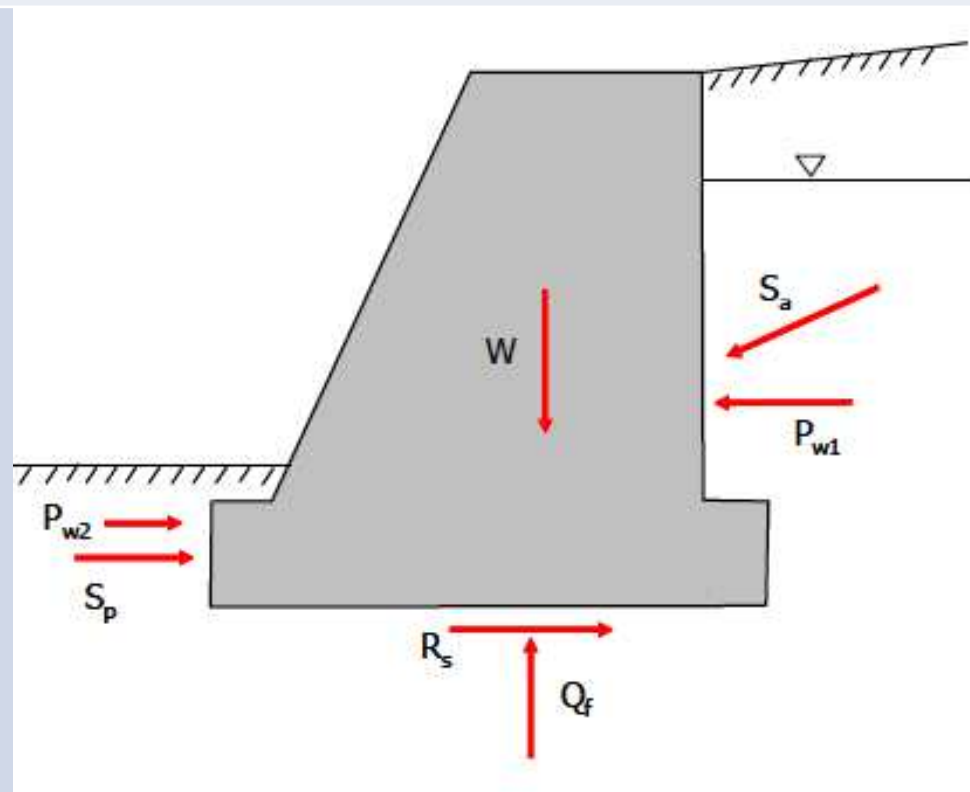
TIPOLOGIE DI OPERE

STRUTTURE A GRAVITÀ

Per strutture a gravità si intende quel complesso di opere che contrastano il movimento del terreno essenzialmente tramite il loro peso.

Nella figura sono riportate in maniera schematica le forze agenti su di un muro a gravità, in assenza di sovraccarichi esterni:

- W è il peso del muro;
- S_a la spinta attiva del terreno sul lato di monte;
- S_p la spinta passiva del terreno sul lato a valle (effetto stabilizzante);
- R_s la resistenza attritiva alla base del muro;
- Q_f la capacità portante del terreno;
- P_{w1} e P_{w2} rispettivamente le spinte idrostatiche sui due lati del muro.

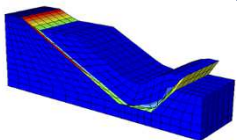
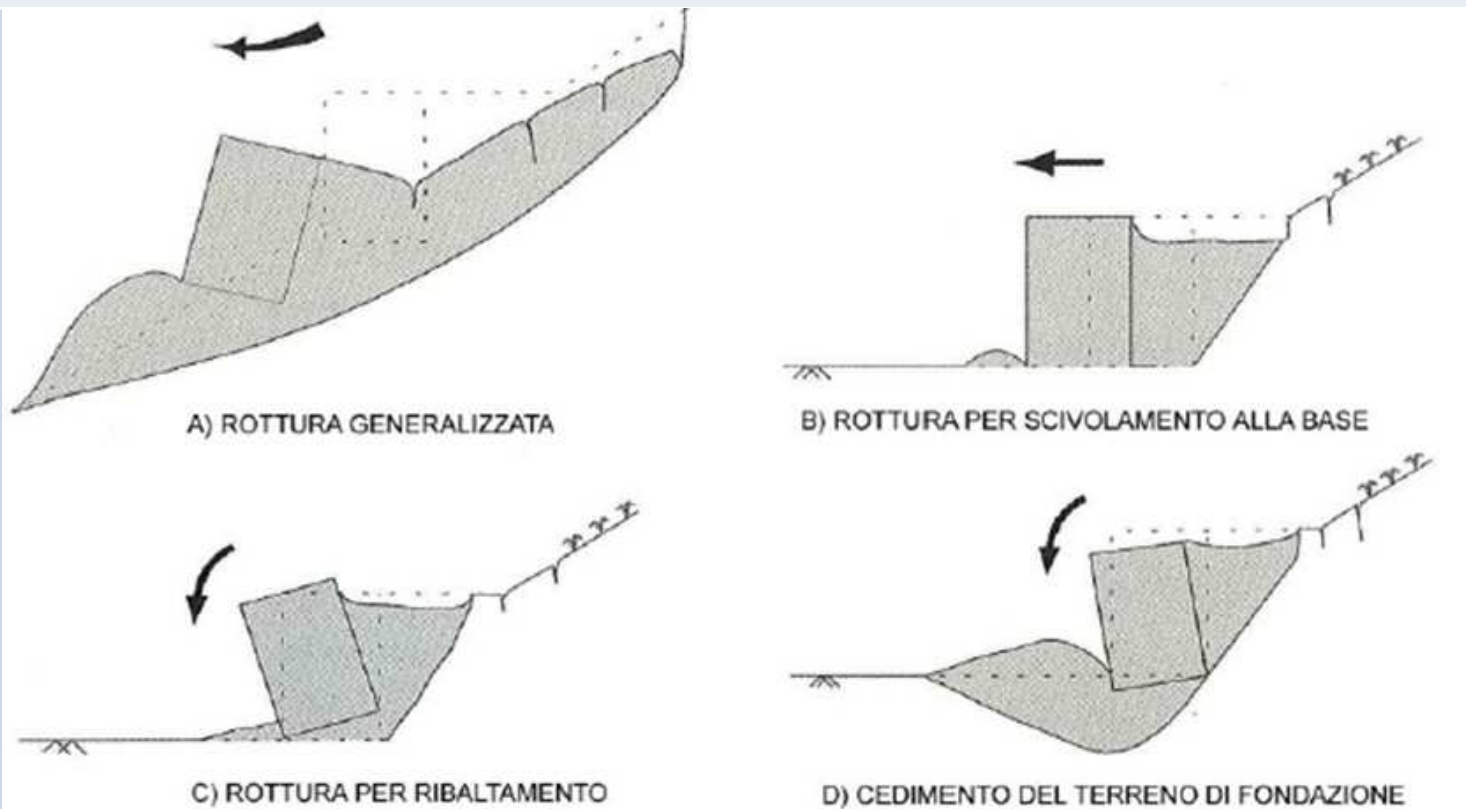


- 1. Opere di Sostegno:** Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

TIPOLOGIE DI OPERE

STRUTTURE A GRAVITÀ

Nel dimensionamento della struttura dovranno essere effettuate, oltre alla verifica globale di stabilità del pendio, tre tipologie di verifica: al carico limite, allo slittamento ed al ribaltamento.

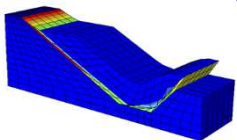
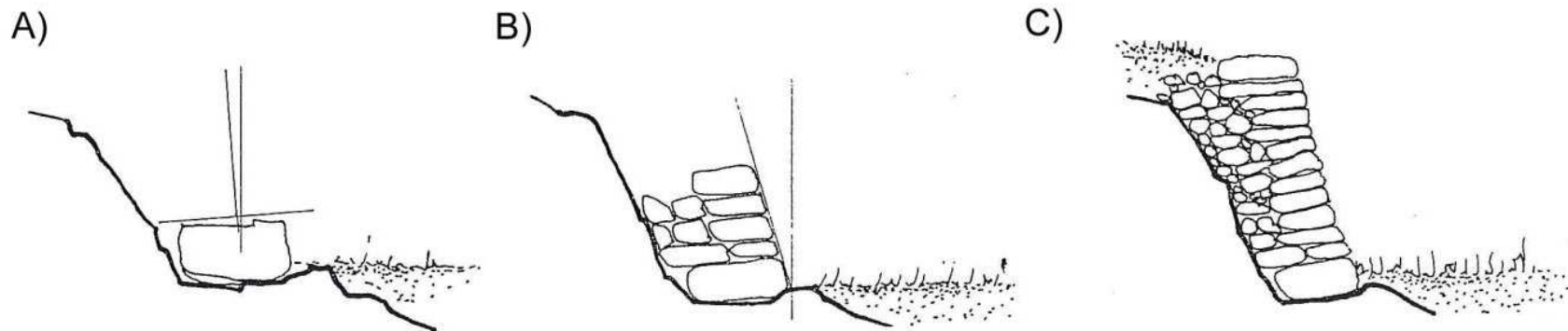


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

TIPOLOGIE DI OPERE

STRUTTURE A GRAVITÀ

Appartengono a questa categoria sia i muri a secco che quelli in muratura veri e propri in cui si utilizza malta idraulica come legante tra gli elementi costituenti (pietrame o mattoni). La tecnica di muratura a secco prevede, dopo una prima fase di preparazione del sito, la realizzazione di uno scavo di fondazione (ca. 40-50 cm) in leggera contropendenza. Al di sopra della prima pietra, generalmente più grande e con lato superiore il più liscio, vengono poste tutte le altre pietre secondo l'inclinazione verso monte della prima. Le pietre vengono giustapposte in modo da lasciare il minor spazio vuoto possibile tra l'una e l'altra. Alle spalle della nuova muratura così realizzata viene poi posizionato del detrito grossolano per garantire la funzione drenante della struttura. Generalmente le altezze dei muri a secco non superano i 2-3 m.

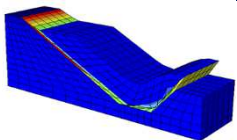
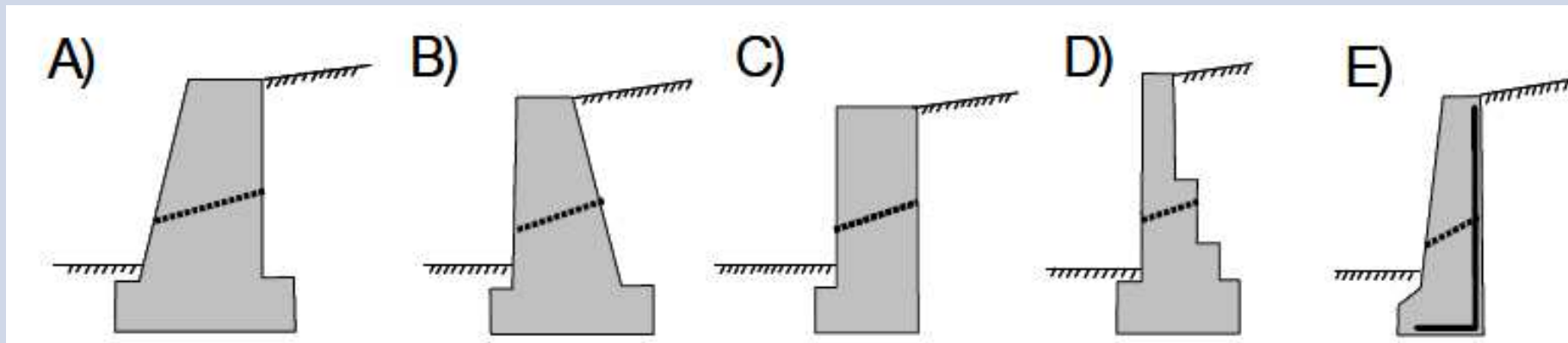


- 1. Opere di Sostegno:** Strutture superficiali: (*muri a gravità, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

TIPOLOGIE DI OPERE

STRUTTURE A GRAVITÀ

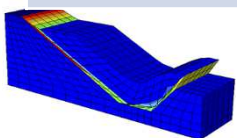
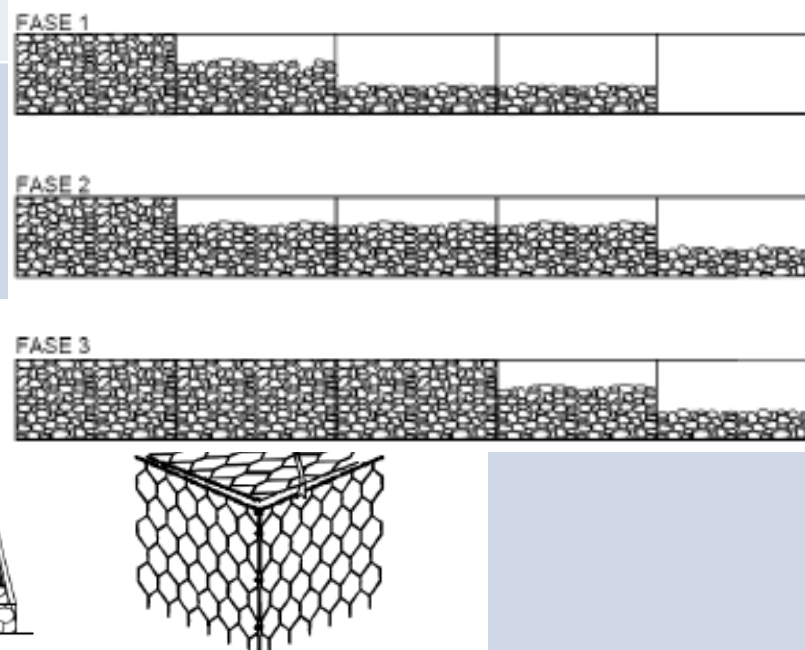
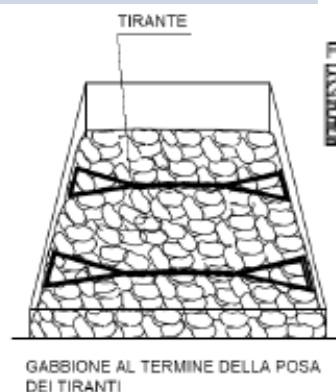
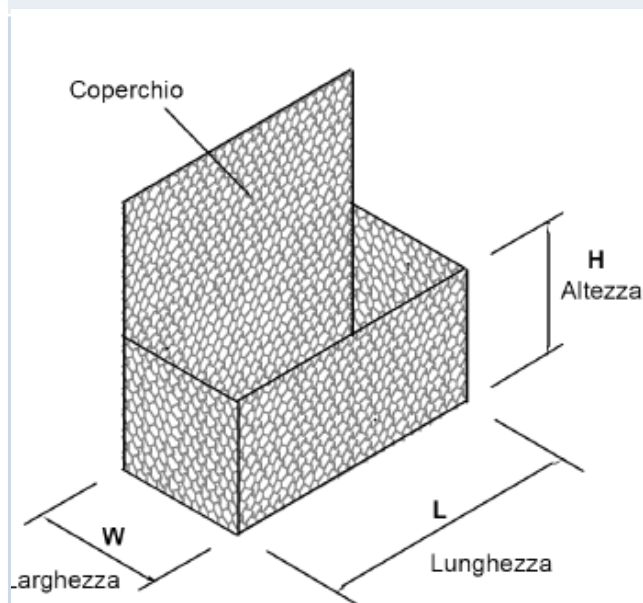
Si tratta di strutture di sostegno a gravità costituite da una fondazione in calcestruzzo completamente interrata, a cui è connessa una struttura in elevazione composta di due paramenti (esterno e interno). La sezione dei muri in calcestruzzo, generalmente trapezoidale, è funzione dello spazio a disposizione per la costruzione (opponendosi alla spinta del terreno essenzialmente tramite il loro peso. L'altezza dei muri in calcestruzzo non dovrebbe superare i 3 m, oltre i quali questo tipo di strutture diventa molto costoso e dovrebbe essere sostituito da altre tipologie di muri (es. muri in cemento armato). Per le forme più comuni di muri a gravità, la larghezza della base corrisponde generalmente al 50% dell'altezza.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE A GRAVITÀ

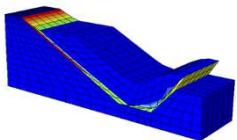
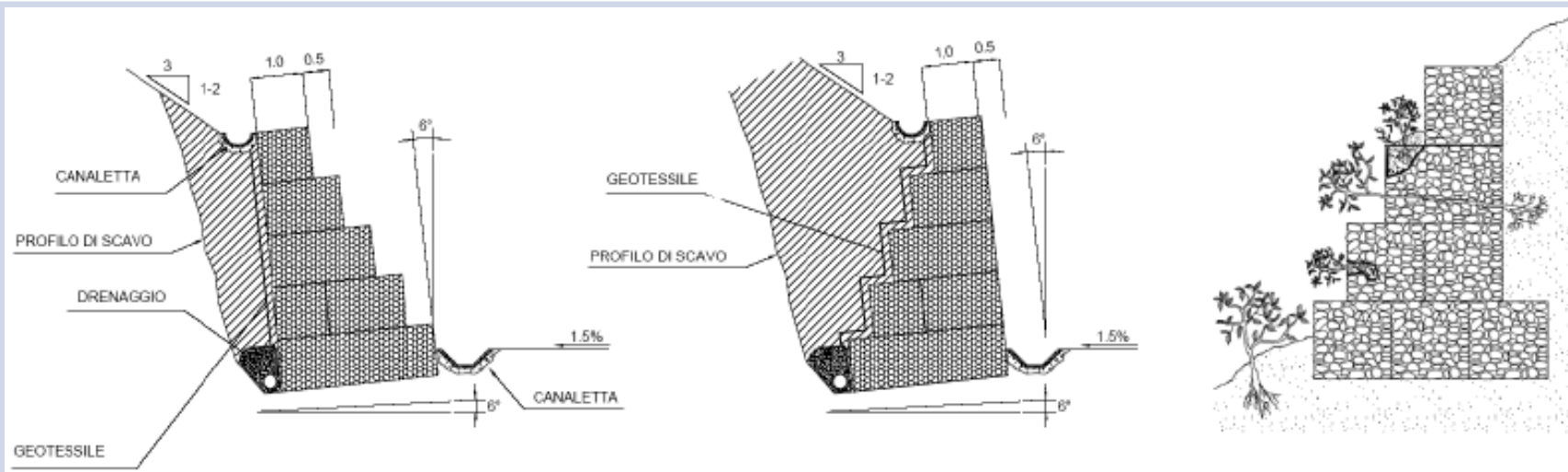
Le gabbionate sono strutture di sostegno formate da “scatole” in rete metallica (a maglia esagonale a doppia torsione), riempite con pietrame a secco e disposte le une sulle altre in maniera tale da realizzare una struttura a gravità monolitica, flessibile e con ottime capacità drenanti. I gabbioni, realizzati in acciaio zincato rivestito in PE (polietilene) per incrementarne la resistenza alla corrosione, hanno forma di parallelepipedo con larghezza (W) ed altezza (H) di circa 1m e lunghezza (L) compresa tra 1 e 4m.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE A GRAVITÀ

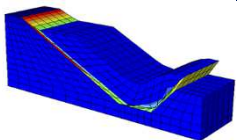
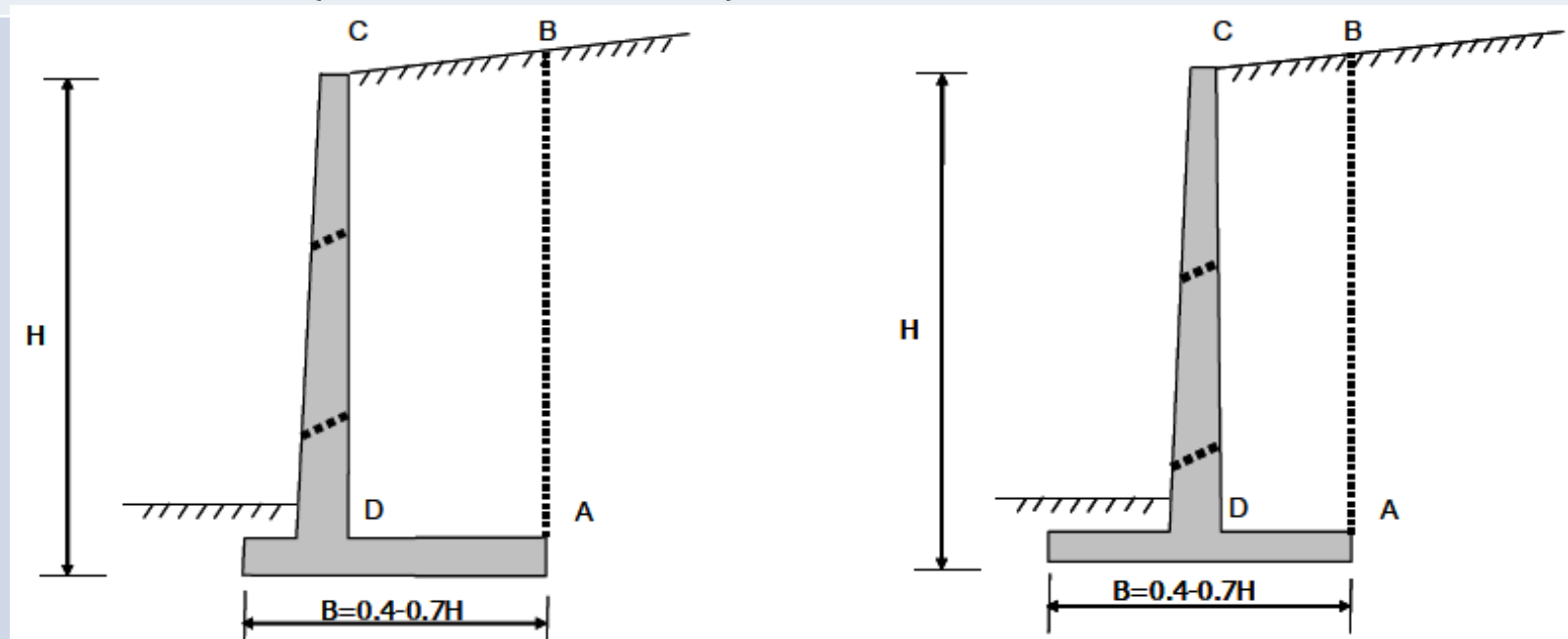
Dopo la preparazione del piano di appoggio, i gabbioni vengono disposti in file parallele al versante in modo da realizzare il primo livello della struttura; i gabbioni vengono poi “cuciti” l’uno all’altro tramite fili in acciaio galvanizzato e riempiti con pietrame. Il riempimento viene effettuato in strati pari a ca. $1/3$ dell’altezza H , al di sopra dei quali vengono realizzati dei tiranti in filo metallico (almeno 4 per ogni metro di lunghezza L), con lo scopo di evitare eccessive deformazioni della struttura; completato il riempimento, i gabbioni vengono chiusi legandone il coperchio. Sopra il livello così realizzato si posizionano i gabbioni superiori e così via.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravità, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

MURI IN CEMENTO ARMATO

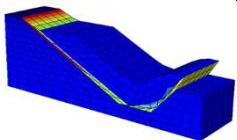
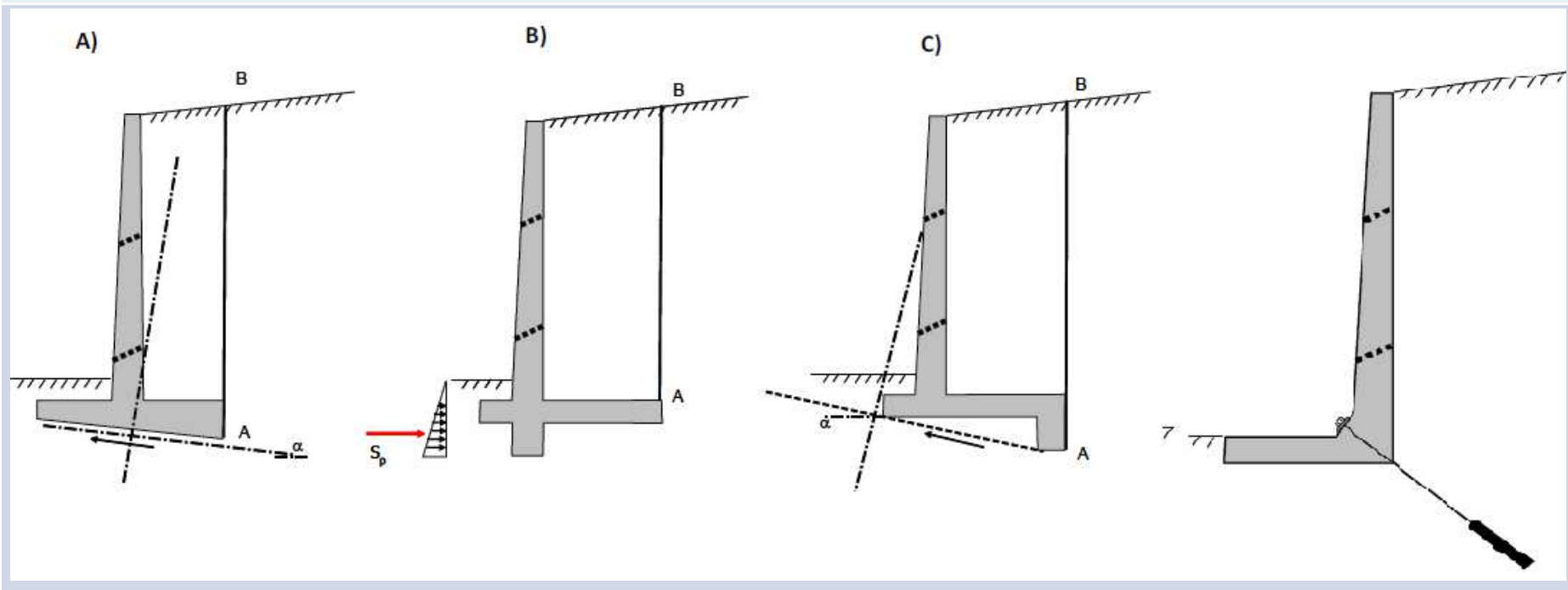
Si tratta di strutture in cemento armato di spessore limitato (relativamente alle strutture a gravità), con sezione trasversale generalmente ad L o a T rovesciata. La particolare conformazione di questo tipo di strutture ne consente una elevata resistenza al ribaltamento e allo scivolamento grazie al peso del terreno che agisce sulla soletta di fondazione, la cui larghezza (B) è generalmente compresa tra $0.4-0.7 H$ (con H altezza del muro).



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

MURI IN CEMENTO ARMATO

Questa tipologia di opere è economica fino ad altezze dell'ordine di 7-8 metri. Nel caso di altezze superiori, difatti, per assicurare l'integrità della struttura è necessario incrementarne notevolmente lo spessore, in particolare nella zona di raccordo tra il paramento verticale e la base di fondazione; in questi casi si preferisce ricorrere a muri a contrafforti

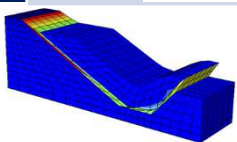
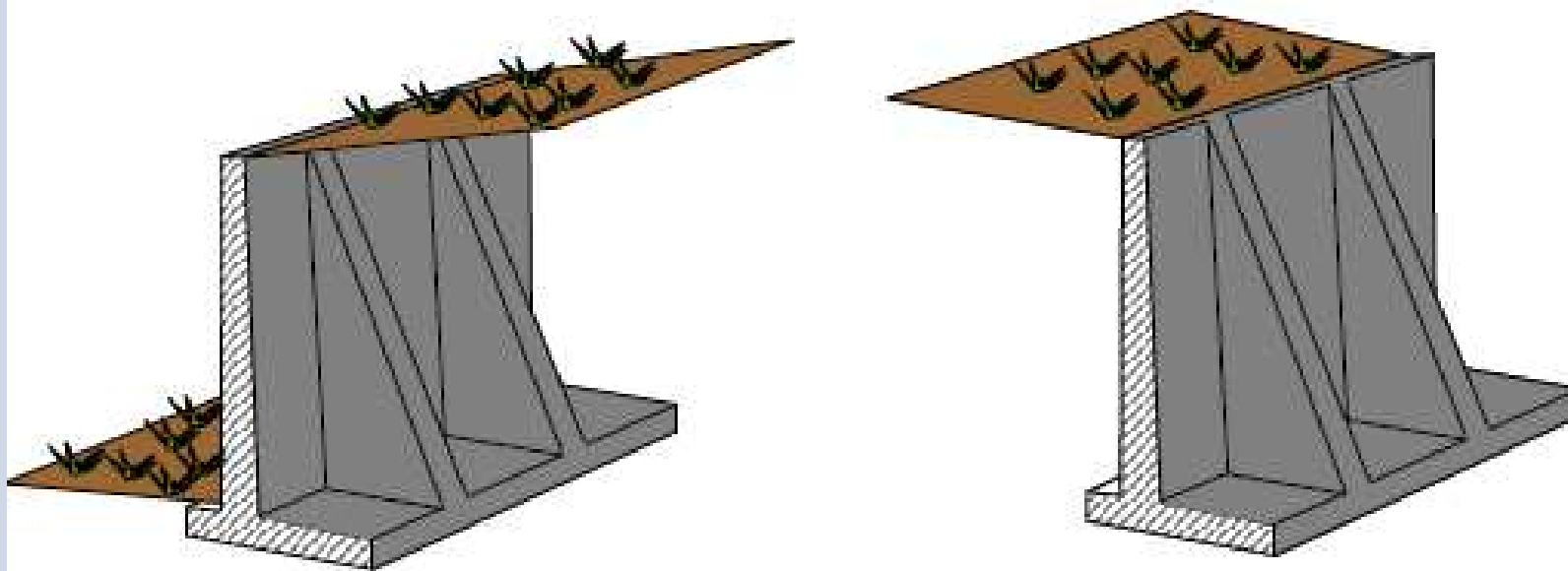


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

MURI IN CEMENTO ARMATO A CONTRAFFORTI

I muri a contrafforte sono delle strutture a mensola rinforzate con delle “ali” verticali (appunto i contrafforti) solidali al paramento verticale del muro e alla base di fondazione; i contrafforti irrigidiscono la struttura incrementandone la resistenza al taglio ed al piegamento.

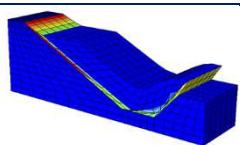
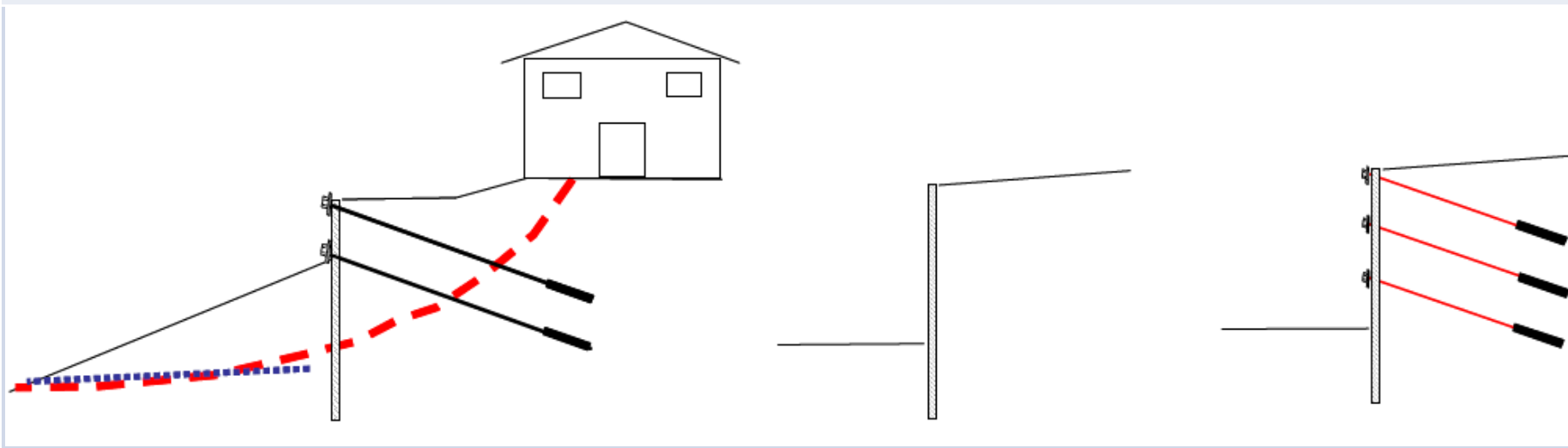
I contrafforti sono utilizzati per muri con altezza superiore ai 7-8 m (possono essere raggiunte altezze anche di 12 m), allo scopo di evitare eccessivi spessori della struttura in cemento armato, e in tutti quelle situazioni in cui sia necessario contrastare elevate spinte del terreno, come nel caso di pesanti sovraccarichi agenti sul terreno di riempimento a tergo del muro.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI-PARATIE

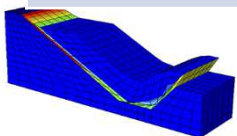
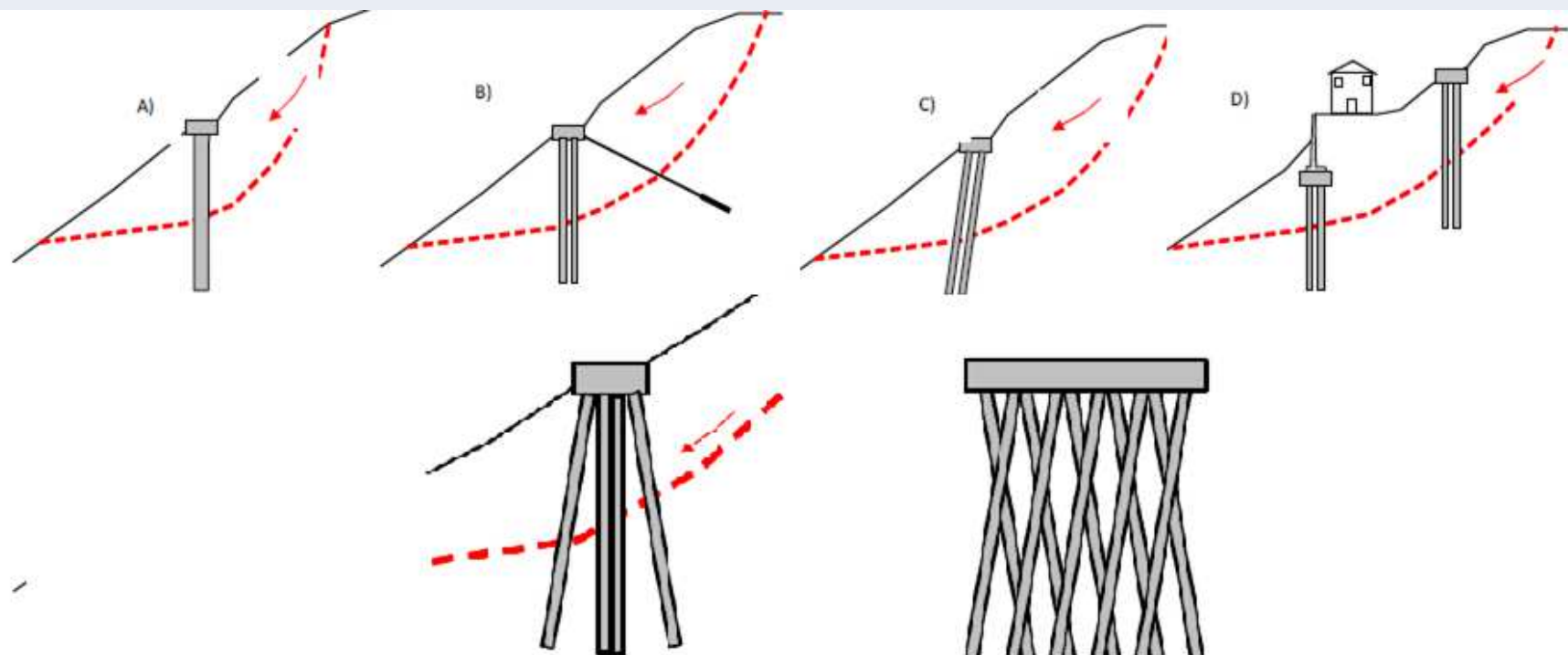
Le paratie sono delle strutture di sostegno verticali immorsate nel terreno fino ad una certa profondità, legata alla spinta del terreno che deve essere contrastata, che si oppongono agli spostamenti sfruttando la spinta passiva del terreno mobilitata sul lato a valle della struttura. Possono essere tirantate o meno; nel primo caso i tiranti, di tipo passivo o attivo, sono fissati generalmente nella porzione superiore della paratia e contribuiscono a contrastare, assieme alla spinta passiva agente sul lato immersato, il movimento del terreno. Le paratie possono essere formate da elementi prefabbricati (palancole in acciaio o cemento armato), da diaframmi in cemento armato gettati in opera o da pali trivellati accostati tra loro.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI-PALIFICATE

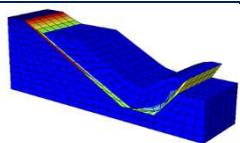
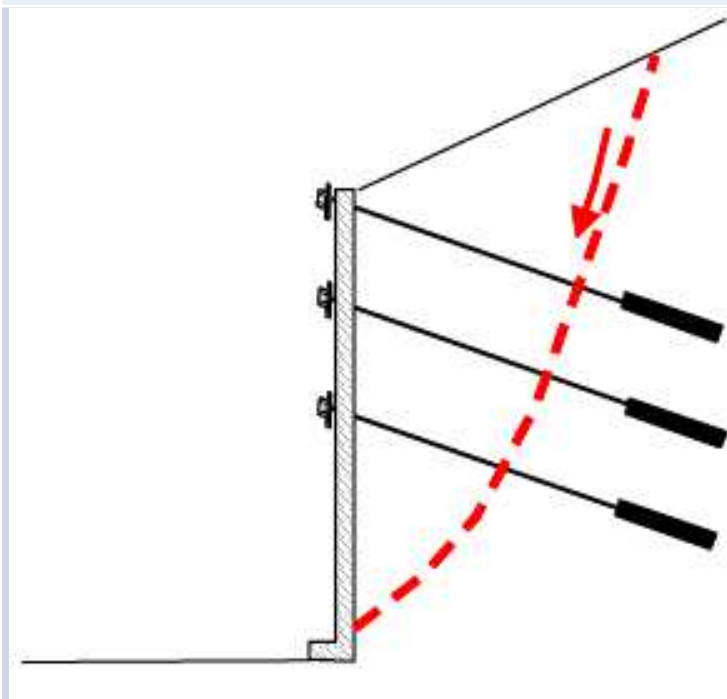
L'intervento consiste nella realizzazione, all'interno del corpo di frana da stabilizzare, di una serie di pali accostati o leggermente spazati tra di loro (la distanza tra i pali dovrà comunque essere tale da non consentire movimenti del terreno tra essi), in maniera tale da ottenere delle strutture ortogonali alla direzione di massima pendenza che contrastino il movimento della porzione retrostante del terreno.



- 1. Opere di Sostegno:** Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI-MURI TIRANTATI

Si tratta di muri in cemento armato di spessore ridotto (tra i 20 e 30 cm) fissati al substrato stabile tramite ancoraggi pretensionati. procedimento costruttivo dei muri tirantati può essere ascendente o discendente a seconda che siano costruiti dal basso verso l'alto (nel caso di riempimenti) o dall'alto verso il basso (nel caso di scavi).



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

I pozzi strutturali sono fondazioni speciali di notevole rigidezza che trovano il loro principale utilizzo nelle spalle e nelle pile dei viadotti, o laddove, vengano richieste fondazioni particolari al fine di contrastare movimenti franosi di versante.

I pozzi di fondazione possono essere realizzati per diverse finalità, tra queste le fondamentali sono:

- *fondazione di strutture che scaricano notevoli azioni (come pile, di ponti) ;*
- *Assicurare la stabilità di versanti instabili;*
- *Limitare l'ingombro in pianta delle fondazioni;*
- *Raggiungere gli strati di terreno con migliori caratteristiche meccaniche;*
- *Proteggere le pile dalle frane;*
- *Resistere alle azioni statiche e dinamiche di origine franosa.*

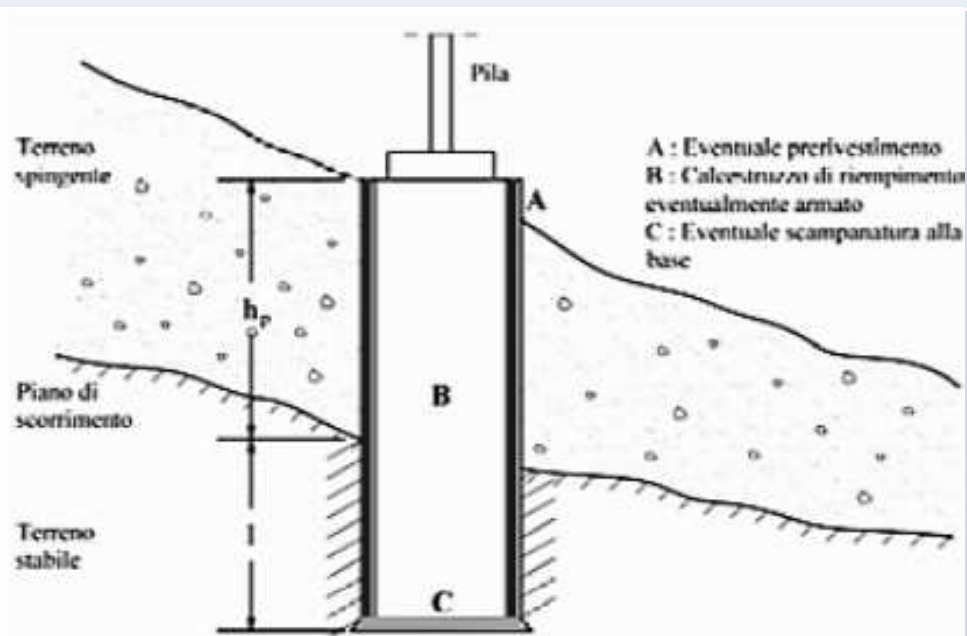
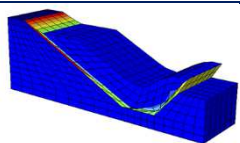


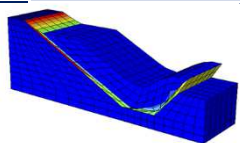
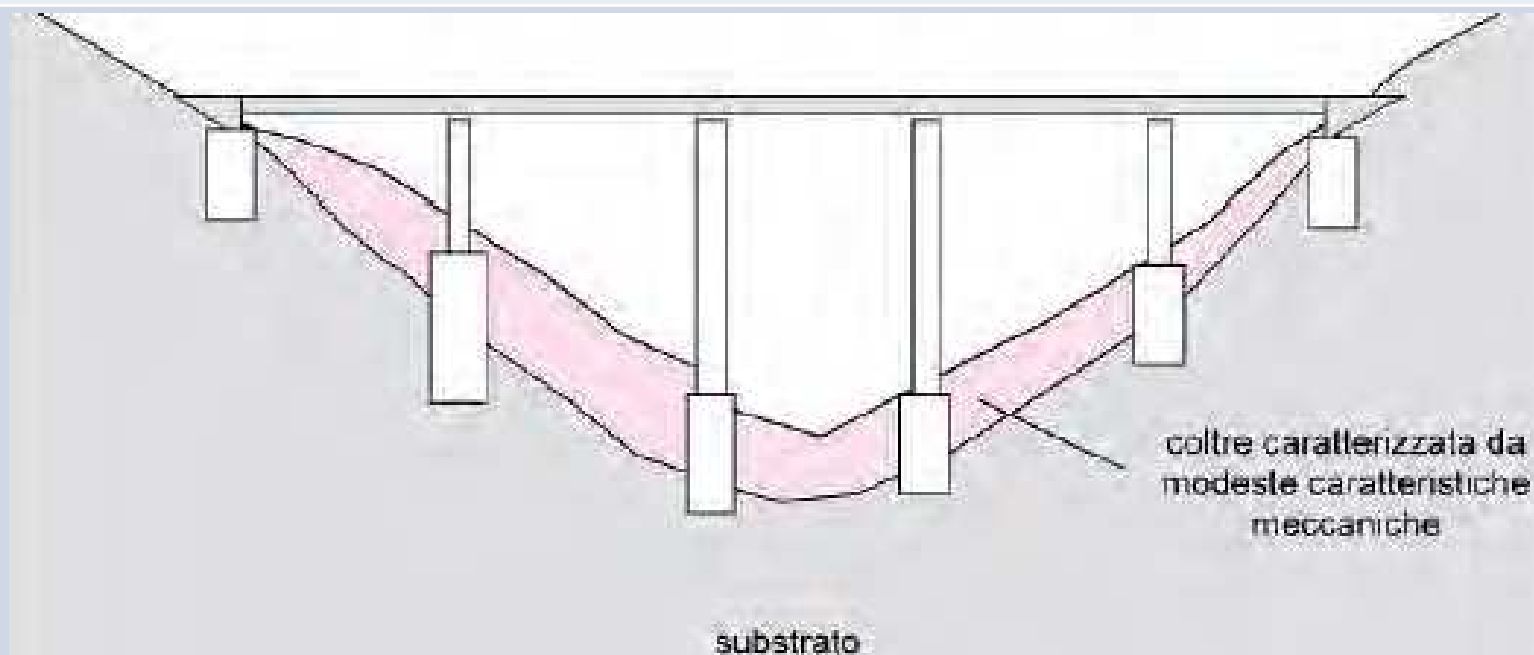
Figura I: Schematizzazione di un pozzo pieno



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

L'impiego dei pozzi di fondazione quindi può risultare necessario dove le fondazioni delle pile/spalle di ponti o viadotti sono intestate su versanti caratterizzati dalla presenza di coltri di notevole spessore di terreni soffici o sciolti (possibili movimenti franosi) oppure dove le strutture di fondazione devono essere realizzate in presenza di terreni di fondazione a modeste caratteristiche meccaniche (resistenza e deformabilità) accompagnate da pile di notevole altezza.

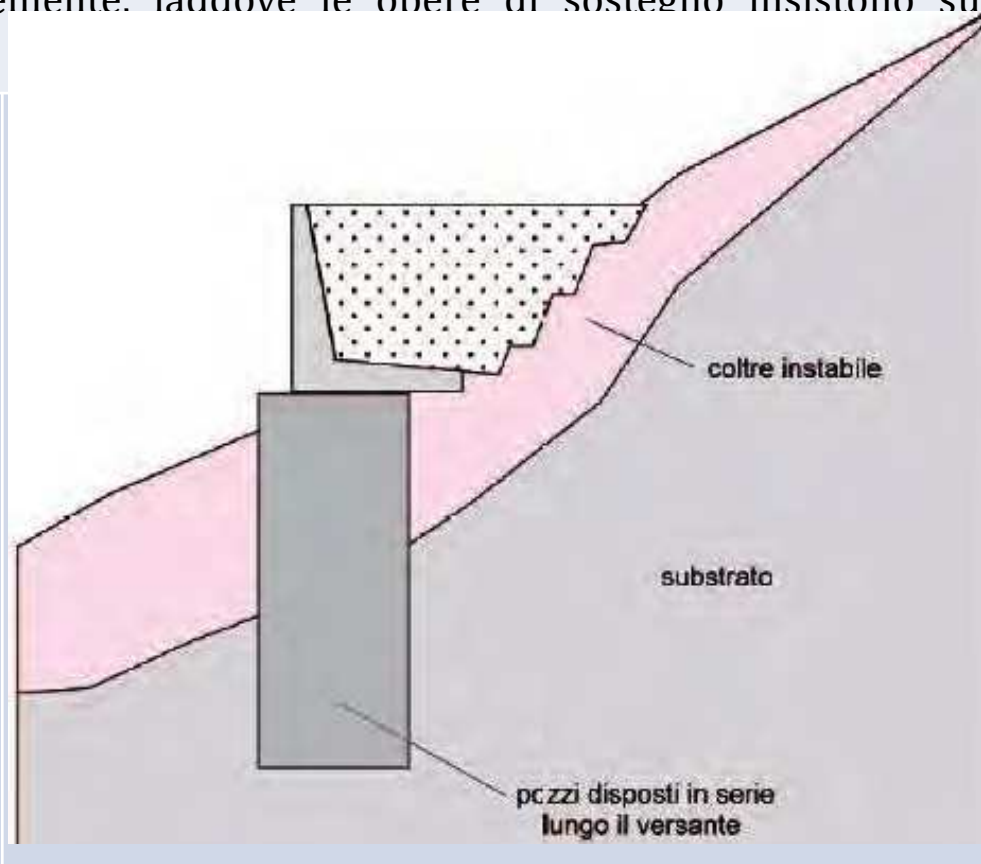


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Fondazioni di opere di sostegno su versante: strutture a pozzo possono essere adottate come fondazioni di opere di sostegno su versanti, in presenza di coltri caratterizzate da modeste caratteristiche meccaniche o, più frequentemente, laddove le opere di sostegno insistono su versanti instabili.

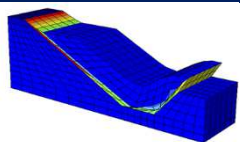
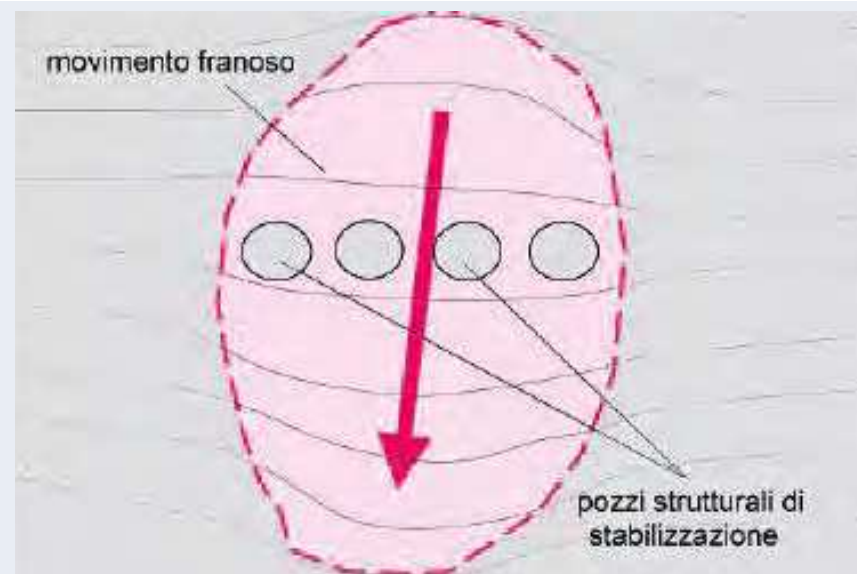
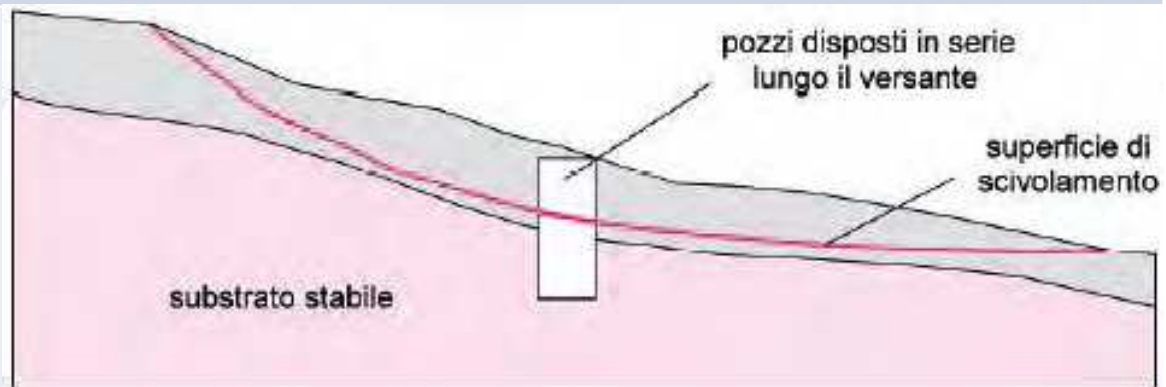
Strutture a pozzo possono essere previste, con funzione strutturale, per la stabilizzazione di versanti instabili interessati da movimenti gravitativi profondi. Questi ultimi, attraversando la coltre superficiale da stabilizzare, permettono di raggiungere quote di profondità in cui il terreno risulta migliore. Le profondità delle superfici di scivolamento possono raggiungere valori anche dell'ordine di 20-15 m da piano campagna, in tal caso se il pozzo è sufficientemente profondo.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

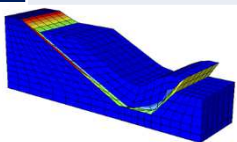
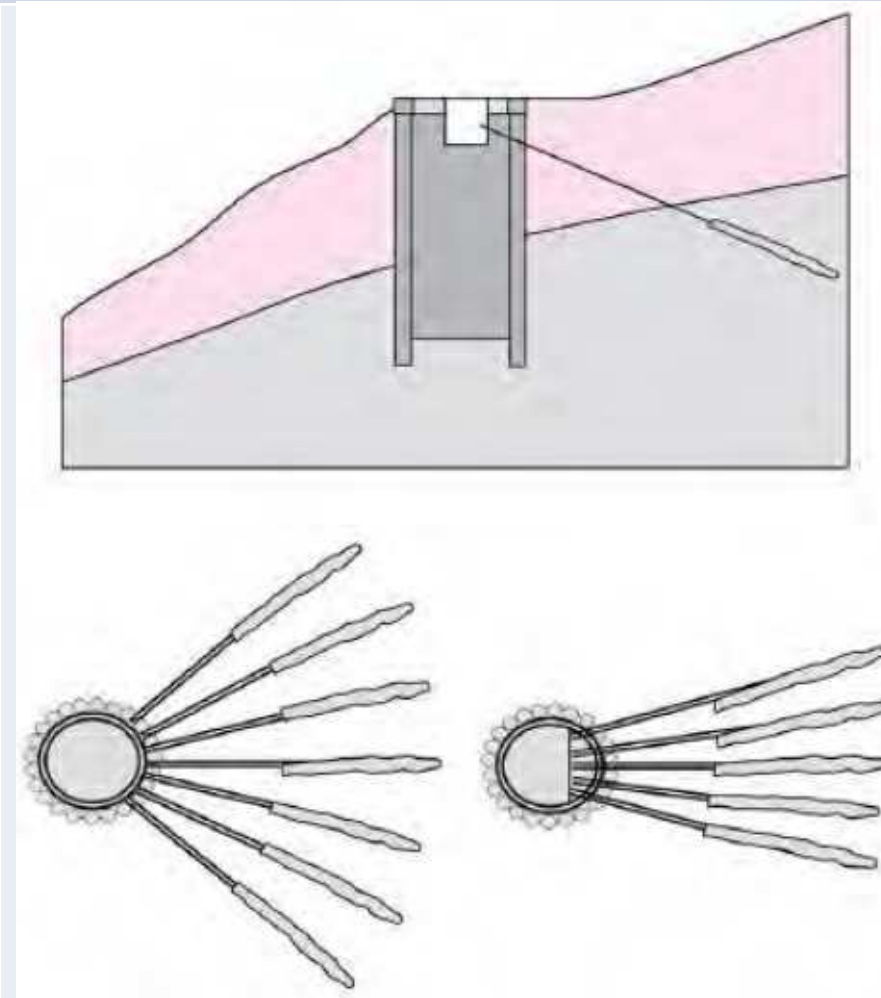
In tal caso, pozzi adeguatamente immorsati, possono raggiungere profondità dell'ordine di 35-40 m da piano campagna. In questo modo il substrato consistente non soggetto al fenomeno franoso contribuisce alla stabilità del materiale in superficie. I pozzi devono adeguatamente “coprire” il fronte instabile. Il loro numero deve essere tale per cui gli interassi netti fra i pozzi siano adeguati a consentire l'instaurarsi di un “effetto arco” per i terreni instabili che tendono a fluire tra i pozzi.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

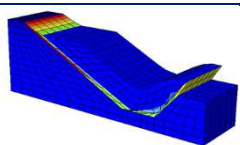
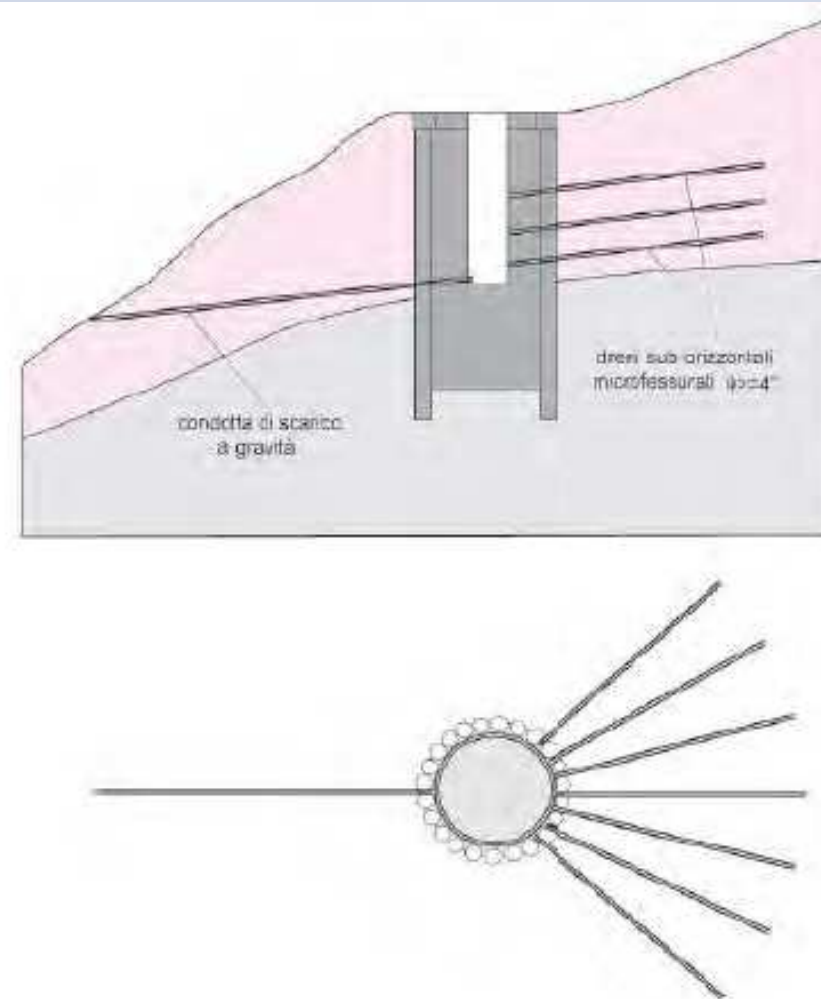
In condizioni geotecniche particolarmente gravose, al fine di ridurre le deformazioni e/o le azioni interne delle strutture a pozzo, può essere prevista l'esecuzione di uno o più ordini di tiranti di ancoraggio, applicati in prossimità della testa dei pozzi. I tiranti sono disposti a raggiera, in uno o più ordini, con inclinazione rispetto alla verticale, sfalsata di qualche grado fra tiranti adiacenti. Nel caso in cui l'applicazione sia riferita a pozzi di stabilizzazione di versanti instabili, il bulbo di ancoraggio dei tiranti deve essere interamente realizzato all'esterno del volume di terreno instabile, prevedendo tra la superficie di scivolamento e l'inizio del tratto attivo un intervallo di alcuni metri (min 3-5 m). I tiranti di ancoraggio possono raggiungere lunghezze massime dell'ordine di 50 m.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravità, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Strutture a pozzo previste per la stabilizzazione di versanti instabili, oltre a una funzione strutturale, possono avere anche una funzione drenante; tale funzione risulta utile al fine di ridurre il regime di spinte agente sulle strutture a pozzo, sia in fase di scavo sia nelle condizioni di esercizio. L'azione drenante è in genere ottenuta mediante l'adozione di più ordini di dreni microfessurati sub-orizzontali, disposti a raggiera su più livelli. Le lunghezze dei dreni possono raggiungere 40-50 m. Possibilmente, l'ubicazione dei pozzi deve poter garantire lo scarico a gravità, attraverso la realizzazione di condotte di fondo. Queste ultime, in genere costituite da due tubazioni affiancate, possono raggiungere lunghezze anche dell'ordine di 70 m.

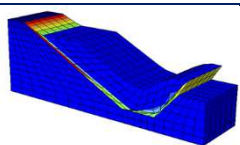


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

I pozzi strutturali sono elementi di grandi dimensioni, di sezione in genere circolare; esistono però anche esempi di pozzi con sezioni ellittiche o rettangolari/quadrate , al fine di avere maggiore rigidezza nella direzione della componente orizzontale dell'azione risultante. Realizzati in calcestruzzo eventualmente armato, questi elementi sono costituiti fondamentalmente da una elevata rigidezza flessionale, per la quale, la stessa struttura può essere convenientemente considerata infinitamente rigida. Fondamentalmente i pozzi di fondazione si possono distinguere in funzione di :

- *Diametro del pozzo (piccolo e medio/grande diametro);*
- *In che modo vengono protette le pareti dello scavo (pali, micropali, anelli in cls, spritz-beton, pannelli di diaframma etc.)*
- *Quando viene effettuato il sostegno delle pareti dello scavo (in fase di scavo o preventivamente allo scavo);*
- *Riempimento del pozzo (se il pozzo è pieno o cavo).*

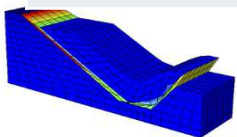


- 1. Opere di Sostegno:** Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Classificazione in base al diametro

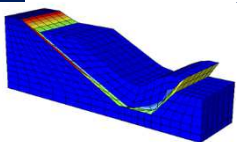
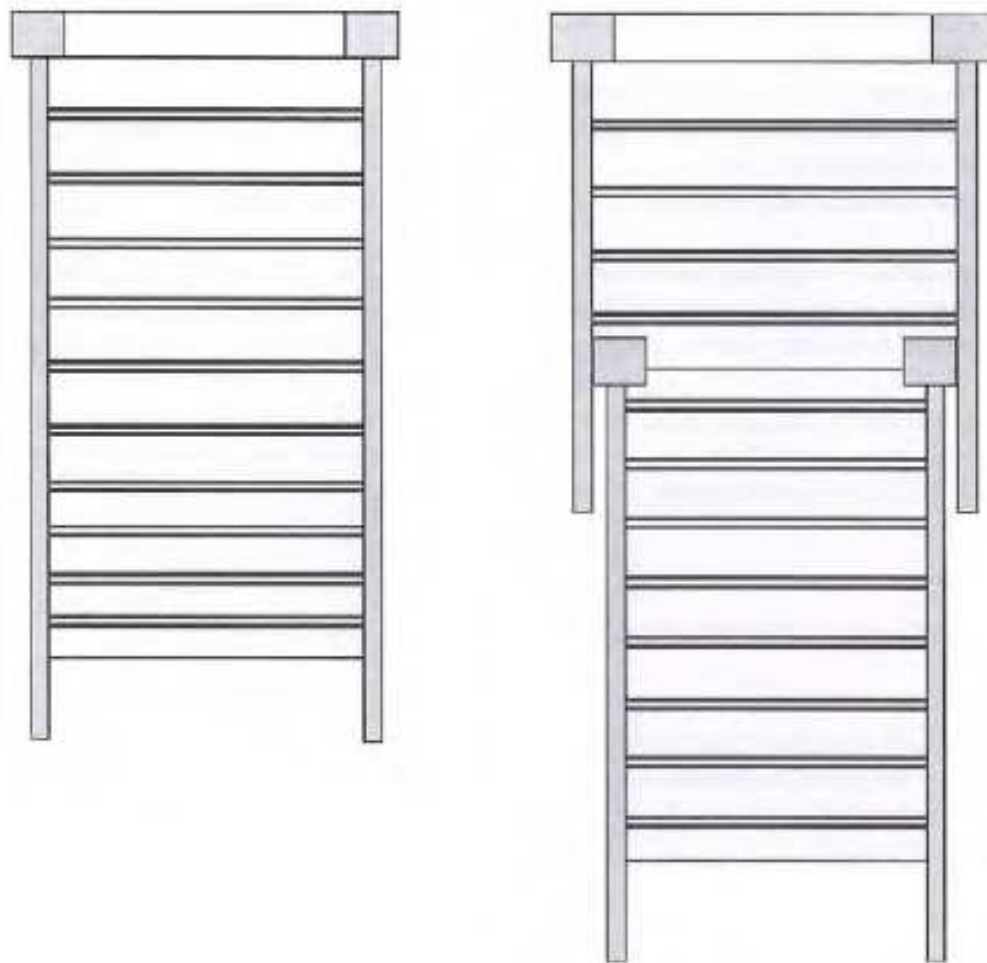
I pozzi di fondazione di pile/spalle di ponti o viadotti sono elementi di grandi dimensioni di sezione in genere circolare con diametri che vanno da 8-12 m. La minima dimensione è imposta dall'ingombro della macchina escavatrice che viene calata all'interno del pozzo per eseguire lo scavo. Per opere di stabilizzazione di versanti instabili il diametro può raggiungere anche 15 m, essendo in questo caso essenzialmente limitato dalla necessità di realizzare adeguate strutture di sostegno degli scavi. Per pozzi di grande diametro e particolarmente profondi, può essere prevista l'adozione di sezioni di pozzo con diametro differente. Per fondazioni a pozzo con sola funzione drenante, il diametro interno dei pozzi, deve essere comunque tale da consentire l'accesso alle attrezzature di perforazione dei dreni sub-orizzontali microfessurati; in tal caso il diametro minimo è usualmente di 5-6 m. Infine si possono avere anche pozzi di piccolo diametro (fino a 2 m). Questi "micropozzi", che in realtà potrebbero essere assimilati ai pali sono generalmente impiegati come pozzi drenanti, di conseguenza, la nostra attenzione si concentrerà sui pozzi di medio/grande diametro.



- 1. Opere di Sostegno:** Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Geometrie tipiche dei pozzi

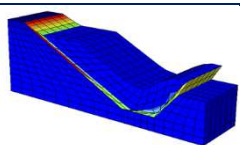


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

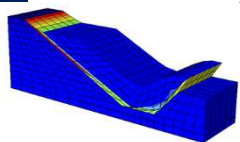
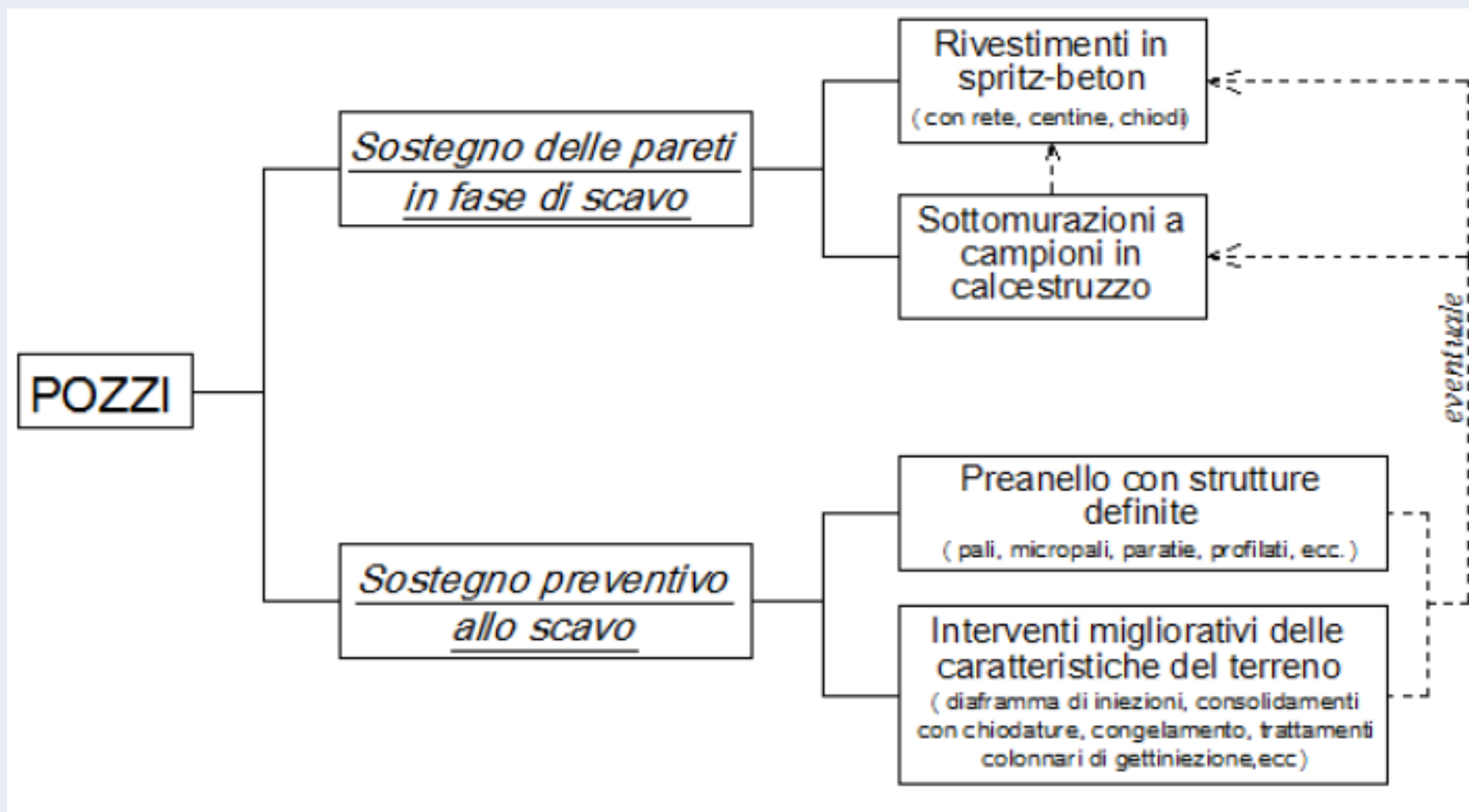
Classificazione in base alla tipologia realizzativa

I pozzi di fondazione pur essendo strutture dalle dimensioni considerevoli che presuppongono diverse fasi realizzative, constano di due lavorazioni principali che condizionano il programma dei lavori: in primis la protezione delle pareti di scavo e successivamente lo scavo del pozzo, lo svuotamento dello stesso ed il sollevamento dei materiali con eventuale aggettamento dell'acqua. Le altre lavorazioni successive, quali getto di riempimento o muratura delle pareti nel caso di pozzo cavo, esecuzioni di ulteriori interventi quali dreni o tiranti, unghie di contenimento in sommità, etc. non sono così condizionanti come le due precedentemente citate. Oltre che per il tipo di protezione delle pareti di scavo, i pozzi possono essere classificati anche in funzione di quando il sostegno delle pareti viene realizzato, se prima o dopo lo scavo stesso. A fare eccezione a questa ultima classificazione sono i pozzi di piccolo diametro che sono gli unici che consentono un avanzamento meccanico diretto con perforazione e l'inserimento di un eventuale rivestimento continuo in acciaio, il quale poi viene recuperato dopo il getto della parete perimetrale, eseguito tra doppia camicia di lamierino a perdere



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*)
Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI



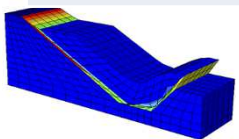
1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Pozzi di fondazione con sostegno delle pareti in fase di scavo : Per questa tipologia di pozzi si procede con il sostegno delle pareti man mano che si realizza lo scavo in profondità.

Scavo per sottomurazione

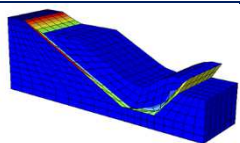
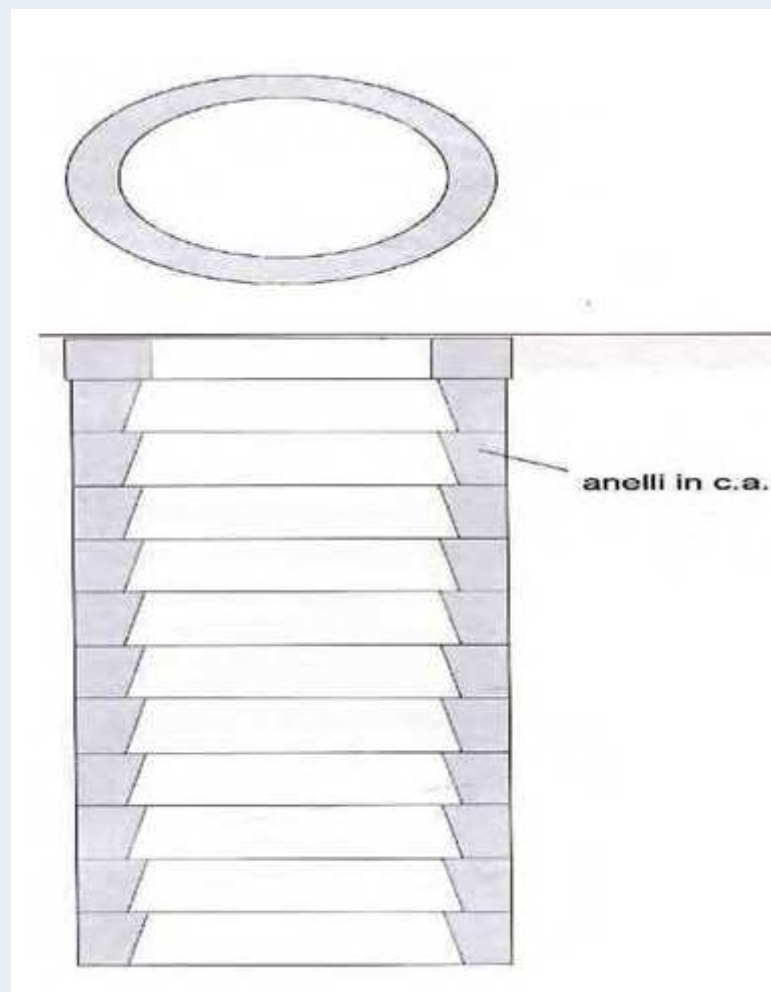
Il metodo per sottomurazione prevede che l'avanzamento dello scavo del pozzo avvenga mediante progressiva realizzazione di conci in cemento armato, dell'altezza variabile di 0,5-2 m (solitamente 1,5 m) in funzione della tipologia di terreno in cui si sta eseguendo lo scavo. Il rivestimento per sottomurazione a campioni, esteso a tutta la profondità o limitato alla sola zona superficiale, è il metodo “tradizionale” utilizzato per tutti i tipi di terreni; oggi è adottato per strutture non impegnative o dove non siano possibili altre soluzioni. Questi anelli in cemento armato, dalla grandezza variabile in funzione del diametro del pozzo, costituiscono sia il sostegno delle pareti di scavo, sia le strutture in grado di assorbire le spinte orizzontali radiali. I conci presentano generalmente sezione trapezoidale, in modo tale da favorire il getto del cls. L'armatura dei conci prevede la posa dei ferri piegati che saranno successivamente raddrizzati per consentire il collegamento fra i singoli anelli.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

In particolari condizioni, ovvero in terreni particolarmente sciolti o “soffici”, dove l’attrito laterale sulle pareti degli anelli è modesto, almeno nel primo tratto di pozzo il sistema di sottomurazione può essere sostituito dal progressivo “autoaffondamento” dei primi conci in cls armato realizzati. La tecnica prevede lo scavo al di sotto dei conci realizzati in modo tale da favorirne la discesa per gravità; i conci successivi saranno realizzati al di sopra, facilitando in tal modo la realizzazione del collegamento delle armature tra i diversi anelli. Quando l’autoaffondamento non sarà più possibile sarà ripresa la procedura per sottomurazione.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.) Strutture speciali: (Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali)

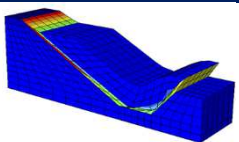
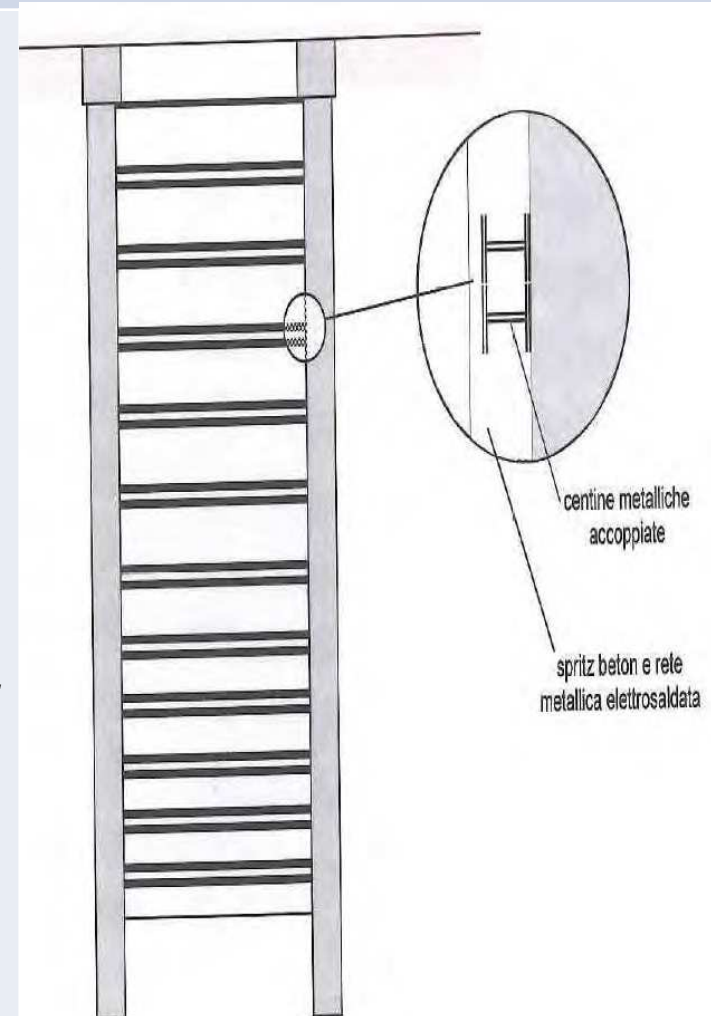
STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

spritz-beton armato e centine metalliche

Una notevole innovazione verso la fine degli anni '60 è stata l'adozione dello spritz-beton, armato con rete, con eventuale centina metallica. *Questo metodo, in cui il pozzo viene considerato come una galleria verticale, ha permesso di sostituire ove possibile la tecnica della sottomurazione in calcestruzzo, semplificando notevolmente le lavorazioni e consentendo una maggiore velocità di avanzamento.*

L'applicazione avviene a spruzzo mediante aria compressa. *Lo spritz-beton trova applicazione negli scavi in sotterraneo come pre-rivestimento e opera di sostegno e viene accompagnato da una rete elettrosaldata, utilizzata per impedirne il ritiro.* In definitiva quindi la protezione delle pareti di scavo, in luogo degli anelli in cemento armato, può prevedere la posa di:

- Centine metalliche accoppiate e non;
- Spritz-beton e doppia rete elettrosaldata.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

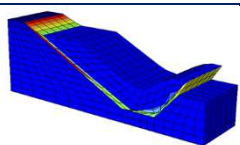
Pozzi di fondazione con sostegno delle pareti preventivo allo scavo

Questa tipologia di pozzi, che solitamente presenta dimensioni maggiori, è caratterizzata dalla costruzione di opere di sostegno preventivo allo scavo.

Viene realizzato un preanello sul perimetro di scavo con la costruzione di una struttura geometricamente definita, chiamata coronella, di norma vincolata a testa pozzo ed eventualmente irrobustita da travi anulari di contrasto a vari livelli ed approfondita al di sotto del fondo scavo. La costruzione di una camicia esterna di elevata rigidità permette di operare in piena sicurezza e limita gli effetti di decompressione in fase esecutiva.

Gli schemi costruttivi sono concettualmente analoghi, anche se la tipologia di preanello adottato può variare in funzione della natura del terreno e delle specifiche necessità strutturali. Frequentemente si utilizzano corone di pali accostati o pannelli di paratie in c.a.

Pur essendo lo scavo eseguito all'interno di coronelle, può risultare comunque necessario l'utilizzo di centine metalliche, spritz-beton e rete elettrosaldata oppure travi in cemento armato per assorbire le spinte orizzontali.



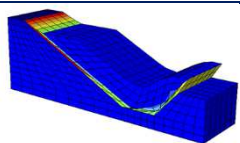
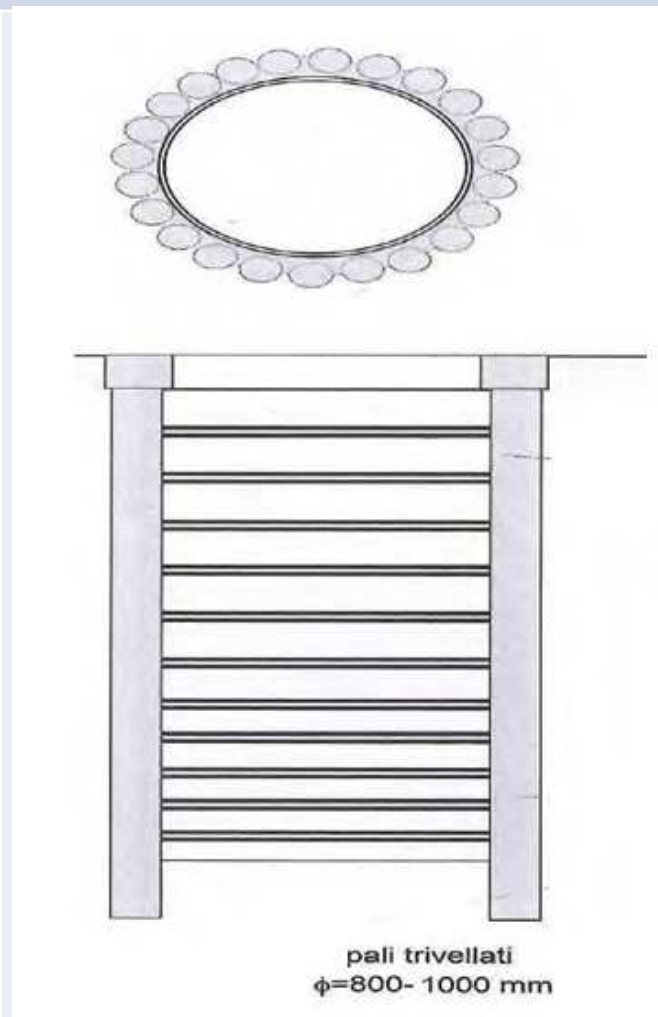
1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Coronella di pali trivellati di grande diametro

La coronella con pali trivellati di grande diametro, laddove possibile per le condizioni geotecniche dei terreni di fondazione e per l'accessibilità al sito, si presenta come la soluzione più economica, in grado anche di consentire la riduzione del numero di centine da porre in opera al fine di assorbire le spinte orizzontali. Generalmente si utilizzano pali trivellati del diametro $\phi=800-1000$ mm. Coronelle con l'utilizzo di pali trivellati di grande diametro non vengono normalmente utilizzate nel caso in cui si presenti una o più delle seguenti condizioni:

- *I terreni di fondazione sono caratterizzati dalla presenza di frequenti trovanti;*
- *Il numero di pozzi da realizzare è tale da non giustificare la mobilitazione delle attrezzature per la realizzazione dei pali trivellati di grande diametro;*
- *La mobilitazione delle attrezzature per la realizzazione di pali di grande diametro richiederebbe la realizzazione di piste di accesso di notevole impiego.*

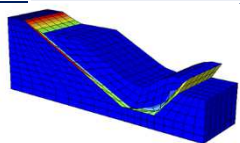
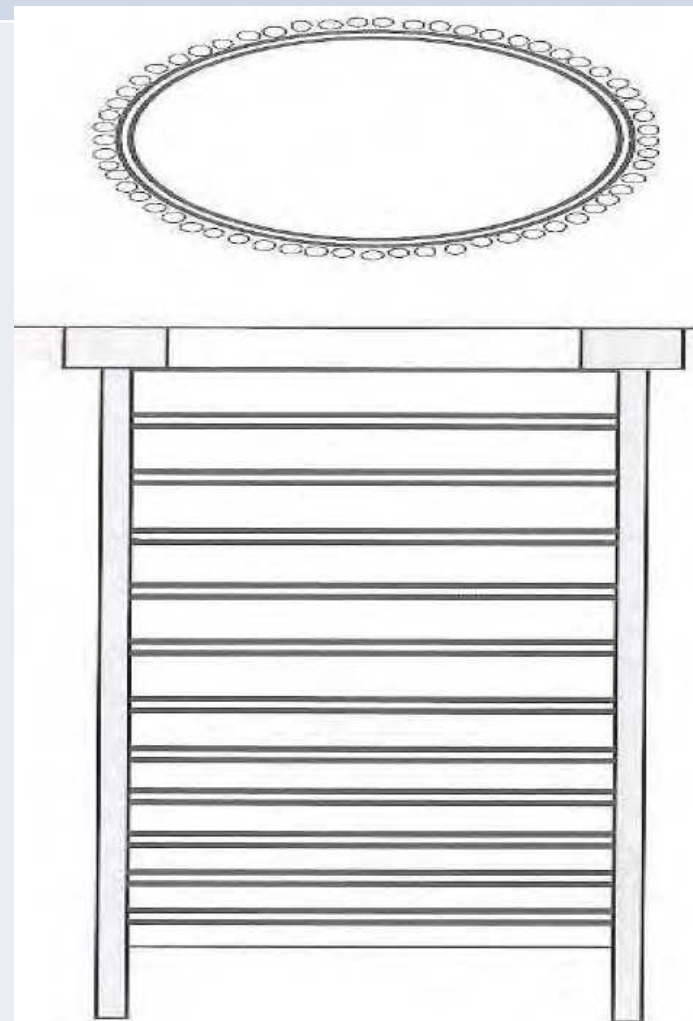


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Coronella di micropali

E' di questo decennio la diffusione dei pozzi all'interno di coronelle di micropali; questo tipo strutturale, che per la sua versatilità presenta un campo d'impiego sempre più ampio, è previsto soprattutto nei casi di terreni eterogenei in cui la presenza di livelli lapidei ostacola l'esecuzione dei pali trivellati o battuti. Sono normalmente previsti micropali disposti lungo la circonferenza di uno o due anelli concentrici, l'interasse varia fra 30-50 cm. Le pareti dello scavo sono rivestite con spritz-beton e doppia rete elettrosaldata. Precedentemente sono state elencate le condizioni per cui la realizzazione di pali di grande diametro non dovrebbe aver luogo; quelle stesse ragioni sono quelle che motivano invece l'adozione di coronelle di micropali.



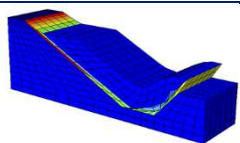
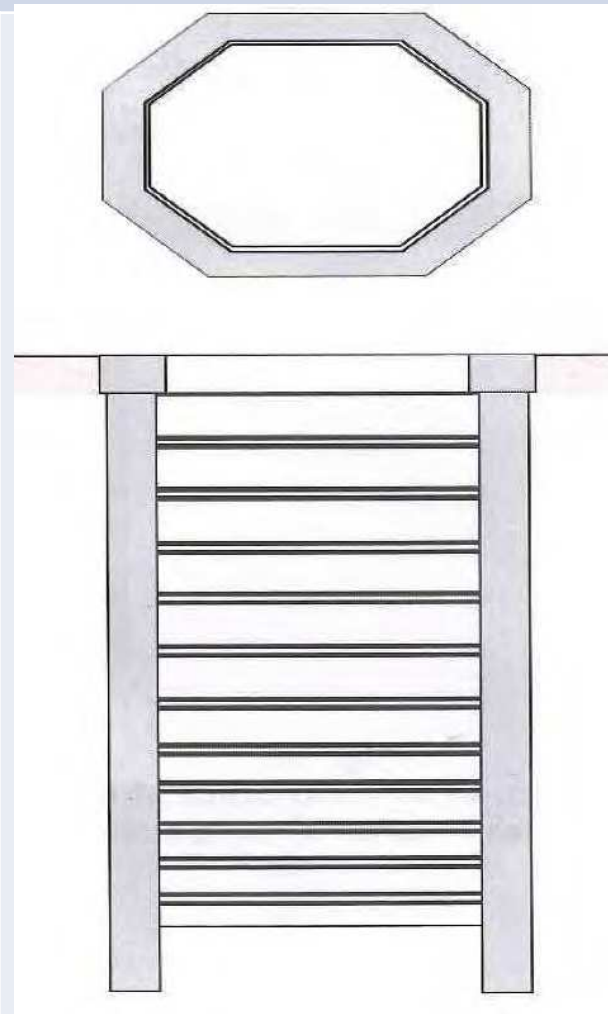
1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Coronella di pannelli di diaframma e/o pannelli di terreno consolidato (cutter soil mixing)

Le coronelle di protezione degli scavi possono essere realizzate anche mediante pannelli di diaframma e/o pannelli idrofresati di terreno consolidato (tecnologia cutter soil mixing). In entrambi i casi, i pannelli possono essere armati o non. Indicativamente, valgono le limitazioni evidenziate per le coronelle dei pali trivellati di grande diametro.

Questa nuova tecnologia, tra le tecniche più moderne e ampiamente utilizzata, si basa sul concetto della mescolazione meccanica in sito del terreno con apporto di miscela cementizia. La disaggregazione del terreno e la sua contemporanea mescolazione vengono ottenute tramite una testata di idrofresa per diaframmi montata su asta guidata. La sezione fresante ha una dimensione in pianta pari a 2,40 x 0,80 m; il risultato a fine trattamento sarà di una paratia continua avente spessore di 80 cm ottenuta mediante pannelli compenetrati.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

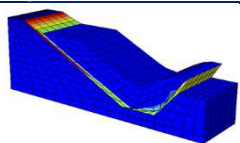
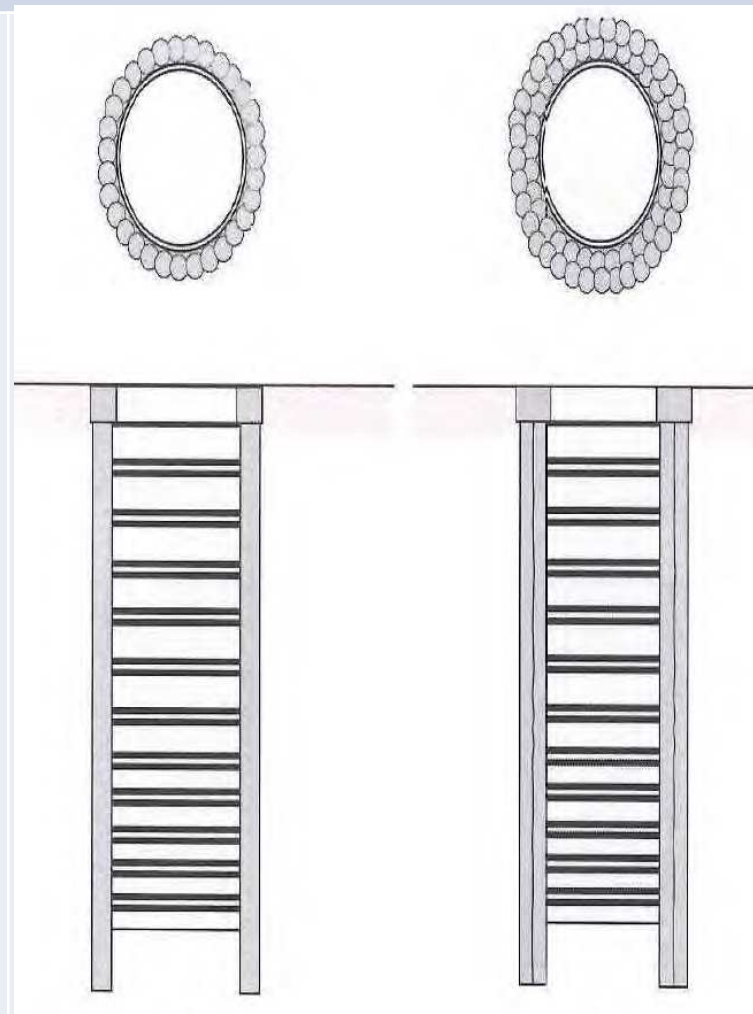
STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Coronella di colonne consolidate (jet-grouting)

L'utilizzo più frequente di coronella di colonne consolidate è in terreni granulari per i quali l'adozione di jet-grouting monofluido o bifluido è in grado di assicurare la realizzazione di colonne di terreno consolidato di grande diametro ($\phi > 1$ m) e caratteristiche di resistenza apprezzabili (q_u = resistenza alla compressione monoassiale $> 3-5$ MPa).

Problematiche di tipo ambientale possono tuttavia precluderne l'esecuzione in terreni ghiaiosi, senza matrice fine, sotto falda. Le coronelle possono essere costituite da colonne consolidate, armate o non, disposte lungo uno o più anelli.

Dopo aver introdotto questo nuovo tipo di coronella per proteggere lo scavo, si passerà ad analizzare i trattamenti colonnari di gettiniezione e in cosa consistono, con particolare attenzione alla tecnica del jet-grouting.

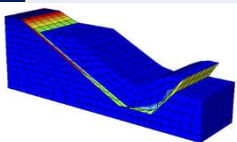
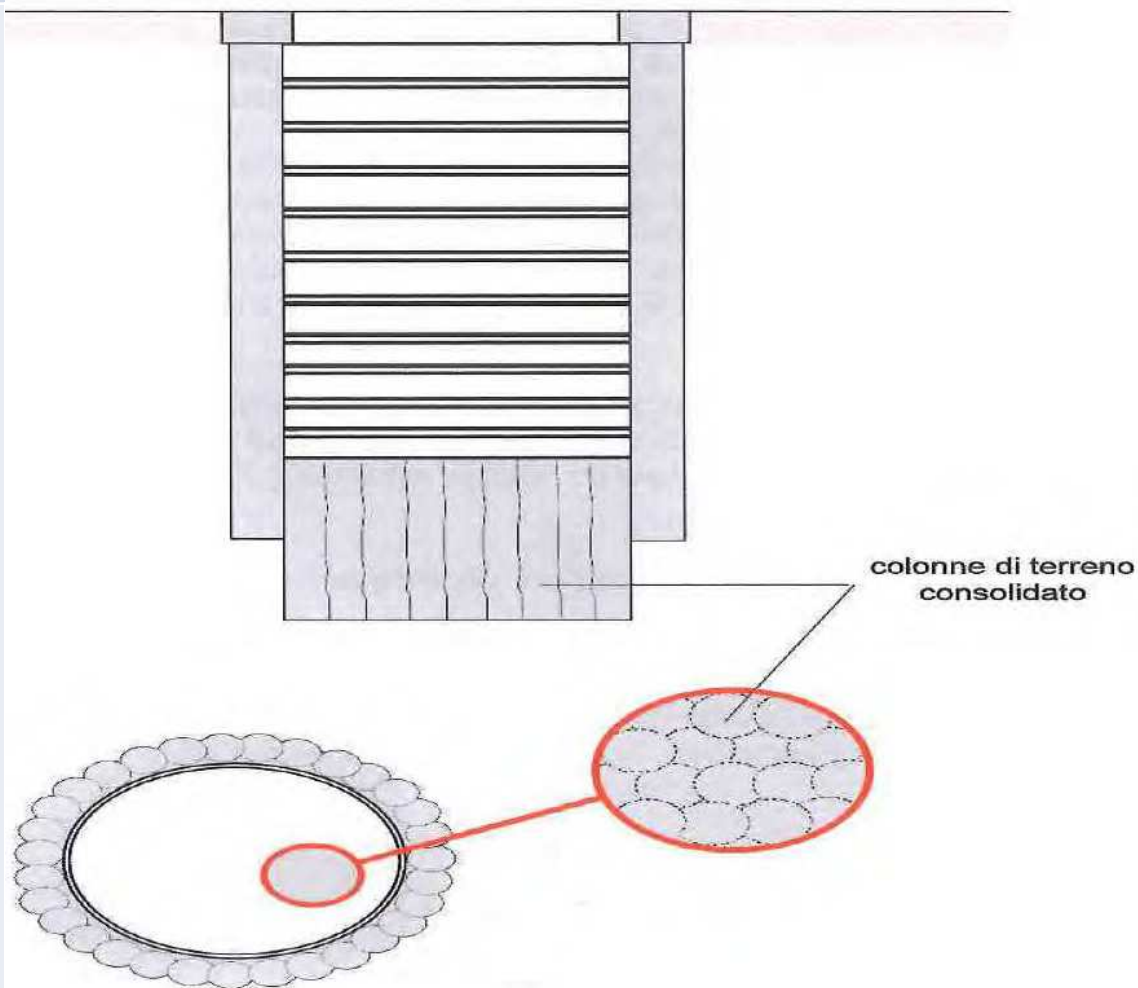


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Pozzi in terreni sotto falda – tamponi di fondo

Quando i pozzi sono realizzati sotto falda, ai fini della protezione degli scavi nei confronti di problemi di filtrazione e/o sifonamento o per contrastare il sollevamento del fondo scavo, è generalmente prevista l'adozione di tamponi di fondo realizzati mediante colonne di terreno consolidato compenetrante; qualora tale tipo di intervento non sia possibile si potrà ricorrere a un adeguato approfondimento delle coronelle.

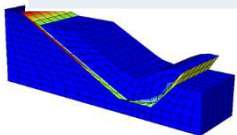
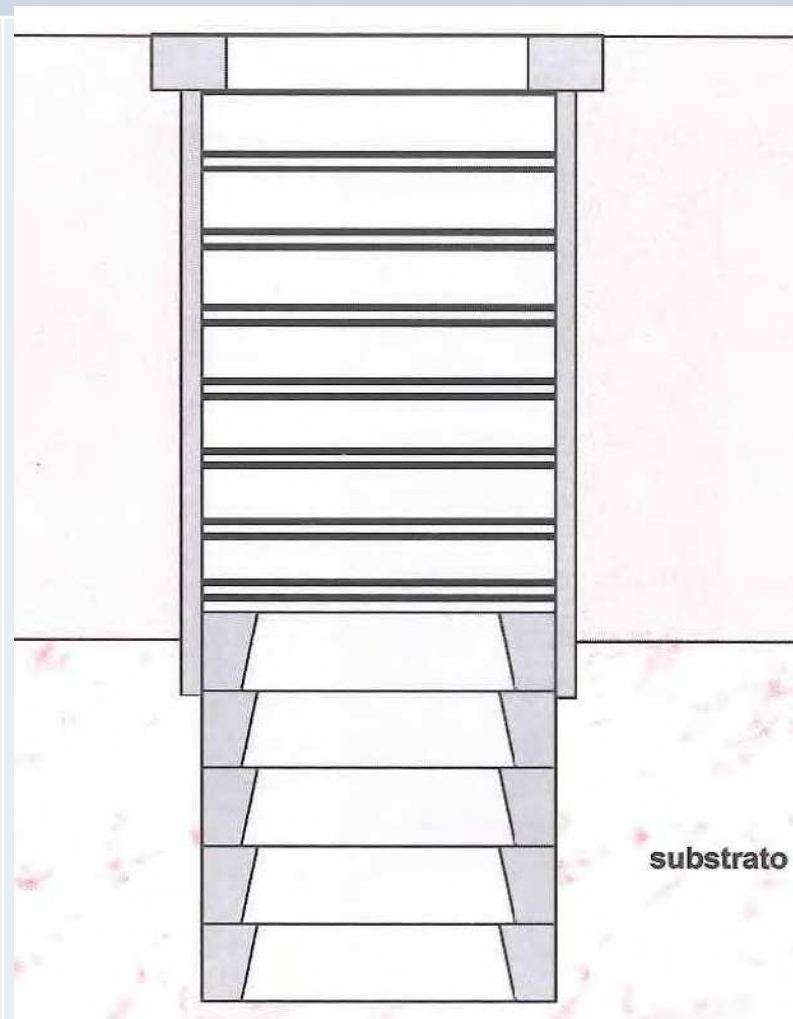


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Strutture di sostegno miste

Fino ad ora sono state passate in rassegna le possibili, nonché più frequenti, opere di sostegno preventive allo scavo o realizzate contemporaneamente con esso; per maggiore chiarezza è stata fatta una suddivisione delle diverse tipologie, ma resta il fatto che, in taluni casi, si possono utilizzare strutture cosiddette “miste” che prevedono l’unione di più tecniche. Per esempio, nel caso di pozzi realizzati in terreni che presentano uno strato sciolto posto al di sopra di un substrato in terreni che presentano uno strato sciolto posto al di sopra di un substrato roccioso, è possibile realizzare una struttura mista dove la parte sommitale del pozzo è realizzata all’interno di coronelle, mentre la parte inferiore per sottomurazione.

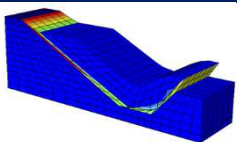
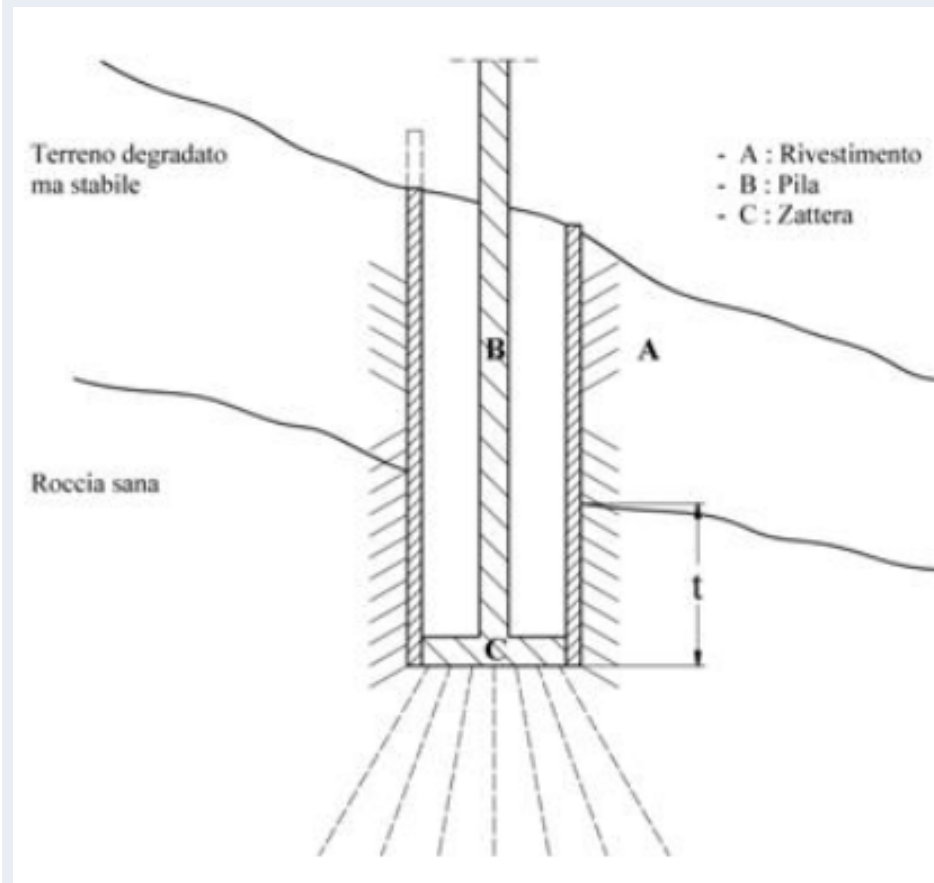


1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.) Strutture speciali: (Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali)

STRUTTURE DI SOSTEGNO SPECIALI – POZZI STRUTTURALI E DRENANTI

Classificazione in base al riempimento

Ci sono però anche soluzioni che prevedono che il riempimento del pozzo abbia un'estensione più limitata. Questo tipo di soluzione è adottabile per attraversare strati superficiali molto degradati o con scarsa capacità portante che però non presentino rischi di movimenti franosi, risultando peraltro difficili da attraversare per realizzare pali o diaframmi. *Il pozzo diventa solo uno strumento operativo per poter realizzare il plinto e la pila e proteggere quest'ultima dalla caduta di massi.* Può essere esteso in altezza nel lato a monte per costruire una cuffia protettiva. *Il pozzo deve resistere soltanto alla spinta attiva del terreno circostante, quindi la sua profondità t è dettata dalla necessità di raggiungere lo strato di terreno con buona capacità portante e di consentire il suo equilibrio come corpo rigido.*



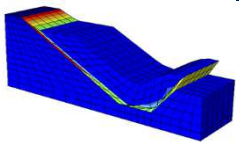
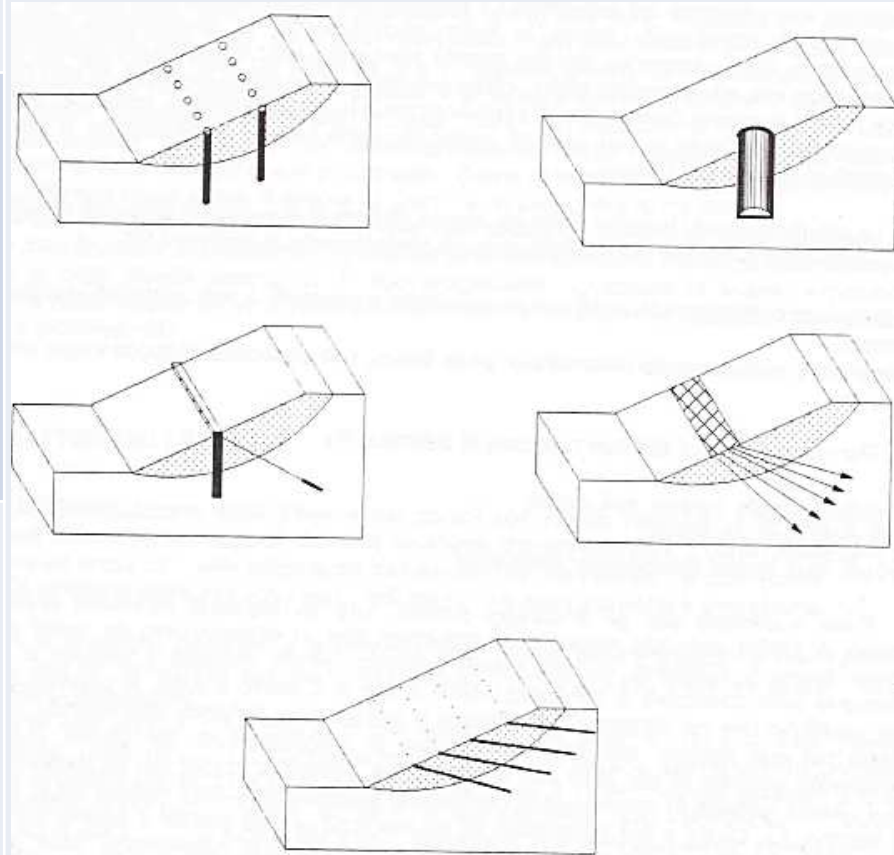
1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

La stabilizzazione delle frane con ridotto margine di sicurezza può avvenire attraverso l'impiego di elementi strutturali che attraversano il corpo instabile e si fondano ed ancorano nella sottostante formazione stabile (vedi fig.). Gli elementi strutturali possono essere distinti:

Muri di sostegno destinati a stabilizzare solo piccoli volumi instabili e come protezione al piede;

Paratie che esplicano un azione di contenimento del corpo frana. Vengono posizionate lungo una o più sezioni trasversali del pendio ed infisse nel substrato stabile a volte ancorate in testa. Queste strutture se adeguatamente proporzionate possono bloccare del tutto i movimenti. Possono essere realizzati in vari modi, a pali aderenti, secanti, accostati o pannelli.

Sistemi di pali verticali o pozzi distanziati e disposte lungo file, e infisse nello strato stabile. In funzione dell'interasse fra gli stessi possono svolgere un azione stabilizzante più o meno intensa. Nel caso in cui siano realizzati in un pendio sede di creep possono solo ridurre la velocità degli spostamenti.



1. Opere di Sostegno: Strutture superficiali: (*muri a gravita, a mensola e contrafforti in c.a.*) Strutture speciali: (*Paratie libere/tirantate, pali discreti, muri su pali e/o tirantate, pozzi strutturali*)

Micropali e soil nailing, costituiti da elementi esili di cucitura della superficie di scorrimento. Vengono realizzati con una qualunque inclinazione, orizzontali o ortogonali ad essa. **Vengono impiegati in pendii in roccia e terreni sciolti di masse instabili di limitate dimensioni.**

Elementi strutturali di placcaggio con ancoraggio attivo che attraversano tutta la massa instabile e si attestano nel substrato. **La componente dei tiri in direzione parallela alla superficie di scorrimento riduce la forza instabilizzante, quella normale aumenta la forza resistente.** Le applicazioni sono simili a quelle precedenti, affinché entra in carico l'intervento è necessario un precarico.

Le strutture descritte possono essere distinte in funzione dei diversi caratteri. Per quando attiene alla continuità dell'azione di contenimento si dividono:

- ☐ *Strutture a contenimento continuo: **muri, paratie a pannelli, a pali accostati, cortine di pozzi;***
- ☐ *Strutture a contenimento discontinuo : **pozzi isolati, pali distanziati disposti su una o più file;***

Per quando attiene alla rigidezza strutturale si distinguono:

- ☐ *Strutture rigide: **paratie, pali e pozzi;***
- ☐ *Strutture esili: **micropali ;***
- ☐ *Strutture di inerzia trascurabile : **ancoraggi***

