

TECNICHE, TECNOLOGIE E RISCHI PER LA SICUREZZA NEI CANTIERI

Indagini geologiche Scavi e movimentazione terreni

Ordine Ingegneri di Forlì e Cesena

8 novembre 2011

Dr. Fabiano Urbinati Geologo Libero Professionista - Rimini

PREMESSA

Il settore delle costruzioni è purtroppo in vetta alle classifiche per il verificarsi di infortuni mortali; le statistiche infatti indicano che il 12% di essi si verificano in attività di movimento terra, con un 3% nelle attività di scavo.

L'analisi degli infortuni relativi alle cadute dall'alto avvenute in fosse, buche, scavi, ecc. mostra che nei settori movimento terra e lavori stradali, dove le cubature sono grandi, questo tipo di eventi è maggiore, mentre negli interventi dove si realizzano fognature e si costruiscono acquedotti, esso è abbastanza contenuto.

Il seppellimento per franamento delle pareti di scavo risulta invece più frequente nei lavori di movimento terra, come gli scavi, gli sterri, i riporti o i rinterri, la preparazione aree prefabbricabili, gli scavi di fondazione, ecc.

La cantieristica civile è un settore ad alto rischio di incidente ed le attività di scavo presentano una serie di problematiche che non permettono una esecuzione improvvisata e non accuratamente programmata.

Sebbene oggi si abbia una esperienza consolidata nel settore degli scavi e siano disponibili sia tecnologie che normative atte a realizzare metodologie di lavoro sicure, si verificano numerosi infortuni causati per lo più da procedure o abitudini errate nell'utilizzo delle macchine e delle attrezzature.

Gli scavi sono un'attività lavorativa a **“rischio rilevante”** ed il Legislatore, con il D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 “Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”, ha ritenuto di dover elencare in un allegato, una lista di lavori che comportano rischi particolari, tra cui quello di seppellimento o sprofondamento.

Elemento fondamentale nella gestione in sicurezza di un'attività di scavo risulta essere la corretta pianificazione della stessa, a seguito di una serie di attività preliminari di valutazione, e la predisposizione delle attrezzature e delle metodologie di lavoro adeguate.

La Legislazione Nazionale inoltre, prevede sempre l'utilizzo prioritario dei mezzi di protezione collettiva in luogo di quelli individuali; qualora le misure collettive da sole siano insufficienti ad eliminare o ridurre sufficientemente i rischi, in relazione alla quota ineliminabile di rischio residuo, subentra l'obbligo del ricorso ai Dispositivi di Protezione Individuale (DPI).

Il mercato offre la possibilità di scelta di una vasta gamma di macchine movimento terra, di sistemi alternativi allo scavo a cielo aperto, di attrezzature di sostegno e di DPI e risulta quindi fondamentale una analisi preventiva approfondita delle attività da eseguire e delle diverse fasi operative, per stabilire l'utilizzo di idonee macchine, sistemi alternativi e di opere provvisorie di protezione collettiva oltre che i DPI.

Quasi tutte le opere di ingegneria civile ed industriale prevedono lavori di scavo e movimentazione di terre e rocce, come attività preliminari o come parti integranti della realizzazione delle opere stesse.

Per questo motivo è importante affrontare correttamente la pianificazione della sicurezza in questo sottoinsieme delle attività di ingegneria.

Nella maggior parte dei casi gli eventi infortunistici sono, infatti, causati da comportamenti improntati alla scarsa o superficiale attenzione, che porta a considerare ininfluenti le dinamiche della meccanica delle terre e delle rocce in operazioni che, spesso ritenute "semplici", vengono effettuate senza l'adozione delle misure necessarie per la sicurezza degli operatori, sia passiva che attiva.

CENNI SULLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche delle terre assume particolare importanza in quanto le proprietà di due terreni anche simili, situati in località diverse, possono differire molto rispetto al valore standard che normalmente si attribuisce a tale tipologia di terreno.

Da questo consegue che non si può individuare la natura dei terreni con dei termini assolutamente generici, come ad esempio "sabbia fine" o "argilla molle" in quanto due sabbie fini o due argille molli possono risultare diverse.

Per ridurre i rischi si rende assolutamente necessario distinguere i differenti tipi di terreno, anche all'interno di una stessa categoria, in base alle proprietà caratteristiche.

Potendo la natura di un terreno essere modificata da manipolazioni (es. vibrazioni, impasti), il comportamento dello stesso non è individuato solamente dalle caratteristiche dei singoli elementi costituenti, ma anche dalla loro disposizione all'interno della massa.

Le proprietà possono essere divise in due classi:

- proprietà delle particelle: relative alle dimensioni e alla forma;
- proprietà dell'aggregato: densità relativa per i terreni incoerenti e consistenza per i terreni coerenti.

Normalmente in geotecnica, i materiali costituenti la superficie terrestre sono sostanzialmente divisi in due principali categorie - **terreni e rocce**.

- **Il terreno** è un aggregato naturale di particelle minerali che è possibile separare mediante leggere azioni meccaniche, come l'agitazione in acqua.
- **La roccia** è un aggregato naturale di particelle minerali tenute insieme da notevoli e permanenti forze coesive.

Convenzionalmente, in geotecnica, la distinzione fra terre e rocce si basa sulla resistenza a compressione assumendo come valore discriminante quello dei 75 kg/cm².

Ai fini della sicurezza è di fondamentale importanza conoscere le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dalle opere da realizzare.

Per questo motivo dovranno essere considerate le peculiarità geotecniche dei materiali, da cui dipendono in massima parte le condizioni di “tenuta” delle pareti di scavo e delle opere sul terreno e che costituiscono il principale fattore predisponente a possibili fenomeni di instabilità.

Per definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraverso parametri geotecnici esistono varie classificazioni tecnico-scientifiche riconosciute a livello internazionale, quali ad esempio: Bureau of Reclamation and Engineers Corps degli Stati Uniti D’America (“Soil Mechanics, SI version”, Lambe and Whitman MIT 1979), HRB-AASHTO o anche la CNR UNI 10006.

Il comportamento meccanico d’insieme di ciascun terreno si può valutare dal livello o tipo di coesione (c) che caratterizza le sue componenti.

Infatti, la coesione di un terreno (normalmente espressa in kPa) è la capacità di resistere a sforzi di trazione.

Dal punto di vista pratico-descrittivo ed in accordo con la letteratura specialistica, è possibile operare una prima distinzione tra rocce propriamente dette e terre; il secondo gruppo rappresenta quello di maggiore interesse ai fini del presente lavoro, in quanto gran parte delle opere cui ci si riferisce interferiscono con materiali incoerenti e/o con la porzione superficiale più degradata di ammassi rocciosi (pertanto spesso allo stato detritico/sciolto).

Rocce

Sono insiemi di minerali generati in ambienti primari termo dinamicamente definiti o aggregati di minerali secondariamente associati in ambienti a prevalente azione fisico-chimica e meccanica.

Rocce coerenti

Trattasi di materiali tenaci ed a comportamento lapideo, massicci o in strati, che hanno elevata coesione (compresa tra 5 e 10 MPa) e pertanto notevole resistenza meccanica.

In genere si tratta di aggregati minerali naturali più o meno cementati i quali, se isolati in campioni, conservano le medesime caratteristiche chimiche, fisiche e geometriche, anche dopo prolungata immersione in acqua.

Gli ammassi rocciosi presentano una notevole resistenza all’abbattimento, buone caratteristiche di tenuta e risposta con stile rigido alle sollecitazioni.

Le caratteristiche meccaniche possono essere inficiate dalla presenza di discontinuità strutturali (giunti di strato, fratture, diaclasi, ecc.).

Non sono applicabili alle rocce così definite le prove per la determinazione dei limiti di Atterberg, di cui si dirà in seguito.



Rocce semicoerenti

Comprendono litologie ad elevata scistosità e preponderante presenza di minerali del gruppo dei



fillosilicati, quali le marne, oppure caratterizzate da un elevato grado di suddivisione dovuto ad intensa fratturazione per domini di elementi strutturali sovrapposti ed intersecanti, originatisi a seguito di complesse vicissitudini geologiche subite nel tempo dai materiali stessi; terreni clastici

debolmente cementati con bassa resistenza meccanica (c compresa tra 0,1 e 5 MPa), che però rimane costante anche dopo immersione in acqua per lungo tempo.

Rocce pseudocoerenti

Sono composte in prevalenza da argilla, detriti in matrice argillosa o sottili strati lapidei alternati con argilla; se asciutti, si comportano da semicoerenti, ma arrivano fino allo stato liquido, man mano che aumenta il loro contenuto in acqua.



Questi materiali, dunque, impongono approfondite verifiche preliminari, per poterne valutare il comportamento futuro, in quanto sono suscettibili di variazioni significative al variare delle pressioni neutre (acqua di ritenzione) al loro interno.

Terre

Sotto tale denominazione si raggruppano usualmente le rocce incoerenti ed i terreni di riporto.

Nel caso di materiali sciolti costituenti un terreno, è agevole ottenere indicazioni sulle proprietà geotecniche dello stesso mediante analisi speditive quali i limiti di Atterberg (limite di liquidità LL, di plasticità LP, di ritiro LW).

Dalla determinazione di questi parametri sono derivabili, con semplici calcoli, gli indici di consistenza IC, di liquidità IL, di plasticità IP ed il coefficiente di attività A.

Tutti questi indici sono molto utili per la definizione aritmetica e grafica dello stato di un terreno, ed anche per poterlo classificare dal punto di vista comportamentale.

Terre a comportamento granulare

Nell'ambito di questa ulteriore categoria sono classificabili **le sabbie ed i materiali clastici** fino alle ghiaie, contraddistinti da reazioni agli sforzi di taglio imputabili essenzialmente alla resistenza per attrito interno, ossia alle forze di attrito che si generano in corrispondenza delle superfici di contatto tra i granuli.

Terre a comportamento coesivo

Le terre a forte componente argillosa sono invece dette a comportamento coesivo, analogamente alle rocce pseudocoerenti, poiché le loro caratteristiche meccaniche sono essenzialmente condizionate dalla coesione esistente fra le particelle di natura argillosa.

In questo caso, il valore della coesione può variare da 10 KPa a 0,5 Mpa.

Le forze in gioco sono dovute all'attrazione elettrostatica tra gli elementi lamellari costituenti il materiale argilloso; all'aumentare del contenuto d'acqua e, quindi, della pressione interstiziale o neutrale, la struttura flocculare diviene instabile e pertanto si riduce sensibilmente la compattezza della massa pelitica, che assume un comportamento plastico, fino a fluidoviscoso.

ELEMENTI DI GEOTECNICA

Il terreno è un materiale eterogeneo e multifase: fase solida e vuoti.

I pori del terreno possono essere occupati dall'aria o dall'acqua.

La presenza dell'acqua nei pori influenza profondamente le risposte meccaniche del terreno alle sollecitazioni e tale risposta è correlata alle caratteristiche granulometriche del terreno.

Giacché materiale eterogeneo, per descriverne compiutamente le proprietà e i rapporti quantitativi tra le diverse fasi, è necessario introdurre numerosi parametri tra i quali si ricordano i più importanti:

1. Il volume totale V è somma dei volumi delle singole fasi
2. La porosità n data dal rapporto tra il volume dei vuoti V_v e il volume totale
3. L'indice dei vuoti e , definito come rapporto tra il volume dei vuoti e il volume della fase solida

Dalle definizioni di cui sopra è facile ricavare le relazioni tra indice dei vuoti e porosità.

4. *Il grado di saturazione S* è pari al rapporto tra il volume occupato dall'acqua V_w e il volume dei vuoti V_v .

Dunque si ha che:

$S = 100\%$ corrisponde a un terreno saturo

$S = 0\%$ corrisponde a un terreno asciutto

5. Il contenuto d'acqua w è definito come rapporto tra il peso dell'acqua e quello delle particelle.
6. La portanza K_t definita come la compressione ammissibile per il terreno.

Si definiscono inoltre:

- peso dell'unità di volume **totale** (γ o γ_t)
- peso dell'unità di volume della parte **solida** (γ_s)
- peso dell'unità di volume dell'**acqua** (γ_w)
- peso dell'unità di volume del **terreno secco** (γ_d)
- peso dell'unità di volume del **terreno alleggerito** ($\gamma' = \gamma - \gamma_w$)
- peso specifico totale
- peso specifico dei grani

La denominazione del terreno che compare nella tabella 1 seguente deriva dalla composizione granulometrica ricavata mediante vagli ($d > 0.074$ mm) e per le particelle più piccole mediante i tempi di sedimentazione (legge di Stokes).

Tabella 1 - valori orientativi di alcune delle grandezze sopra definite per alcuni terreni¹

| Terreno | n [%] | e [-] | W [%] | γ_d [kN/m ³] | γ o γ_t [kN/m ³] | K_t [kgf/cm ²] |
|------------------|----------|----------|----------|------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| Ghiaia | 25÷40 | 0.3÷0.67 | - | 14÷21 | 18÷23 | 5÷7 |
| Sabbia | 25÷50 | 0.3÷1.00 | - | 13÷18 | 16÷21 | 2÷5 |
| Limo | 35÷50 | 0.5÷1.00 | - | 13÷19 | 16÷21 | |
| Argilla tenera | 40÷70 | 0.7÷2.3 | 40÷100 | 7÷13 | 14÷18 | <1 |
| Argilla compatta | 30÷50 | 0.4÷1.0 | 20÷40 | 14÷18 | 18÷21 | 1,5÷3 |
| Torba | 75÷95 | 3÷19 | 200÷600 | 1÷5 | 10÷13 | |

Una prima semplice ma significativa classificazione dei terreni è la seguente:

1. a grana grossa
2. a grana fine

Questa distinzione implica proprietà meccaniche, quindi risposte alle sollecitazioni, diverse.

Analisi granulometrica

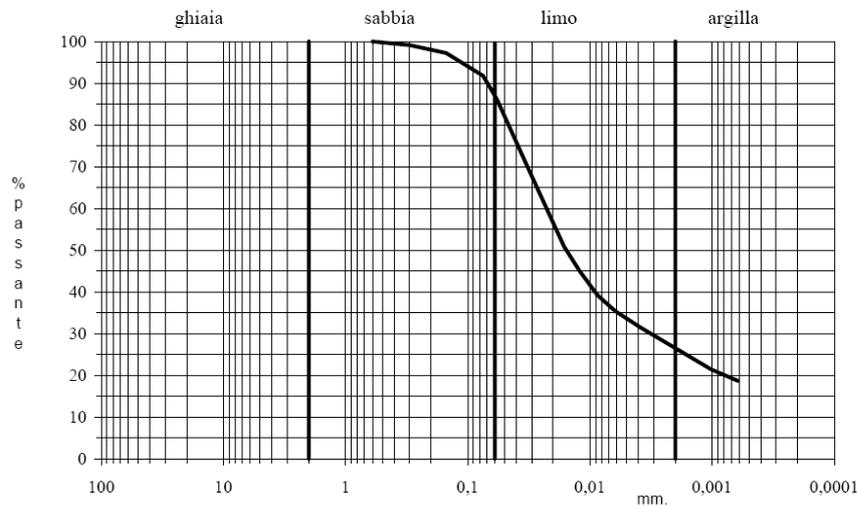
Metodo della prova: per setacciatura e sedimentazione

Stato del campione: indisturbato

Peso secco netto: 46,73 gr.

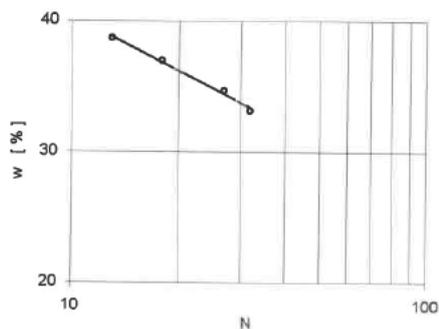
| setacci A.S.T.M. n. | luce netta mm. | passante % |
|---------------------|----------------|------------|
| 30 | 0,600 | 100,00 |
| 50 | 0,300 | 99,14 |
| 100 | 0,150 | 97,24 |
| 200 | 0,075 | 91,79 |

| Descrizione (Classificazione A.G.I.) | Ghiaia % | Sabbia % | Limo % | Argilla % |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------------|
| limo con argilla debolmente sabbioso | " | 13 | 60 | 27 |



Per es. nei terreni a grana grossa la permeabilità, capillarità ed angolo di resistenza al taglio sono collegate alla granulometria mentre il comportamento di quelli a grana fine dipende dalla storia tensionale e dal tipo di minerale ed è correlato al contenuto di acqua (limiti di Atterberg).

| | | Limite di plasticità | | Limite di liquidità | | | |
|-------|---|----------------------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
| x | g | 24,68 | 23,46 | 34,89 | 33,78 | 35,02 | 37,30 |
| y | g | 22,69 | 21,60 | 28,35 | 27,13 | 27,98 | 29,24 |
| z | g | 12,87 | 12,42 | 8,58 | 7,92 | 8,91 | 8,36 |
| w | % | 20,3 | 20,3 | 33,1 | 34,6 | 36,9 | 38,6 |
| Colpi | N | - | - | 32 | 27 | 18 | 13 |



| | | | |
|----------------------|-------|---|----|
| Limite di plasticità | w_p | % | 20 |
| Limite di liquidità | w_L | % | 35 |
| Indice di plasticità | I_p | % | 15 |

| | | | |
|------------------|-------|---|---|
| Limite di ritiro | w_s | % | - |
|------------------|-------|---|---|

È stato detto in precedenza come il terreno sia un materiale multifase il cui comportamento meccanico è determinato dall'interazione delle differenti fasi.

In assenza di acqua le particelle si distribuiscono le sollecitazioni (di compressione e di taglio) esterne tramite le reciproche superfici di contatto.

Con i pori saturati d'acqua in quiete, la risposta meccanica del terreno cambia a seconda del tipo di sollecitazione ed in particolare:

1. la **resistenza** del terreno a compressione **aumenta** in quanto **l'acqua è un fluido incompressibile** per cui parte della pressione esercitata si scarica sul liquido.
2. la **resistenza a taglio rimane invariata** in quanto il liquido ne è privo e quella del terreno dipende solo dall'interazione delle particelle solide.

Le deformazioni del terreno infatti, sono solo in minima parte dovute alla compressione e distorsione delle singole particelle ma derivano per lo più dallo spostamento reciproco delle stesse da cui la correlazione tra proprietà meccaniche e indice dei vuoti.

La quantificazione di questo fenomeno deriva dal principio delle pressioni efficaci (Terzaghi, 1923) secondo cui lo sforzo normale totale agente sul terreno è dato da due componenti: lo sforzo assorbito dal liquido (pressione dei pori o neutra) u e quella agente sullo scheletro solido (pressione efficace) σ' . In condizioni di equilibrio idrostatico si ha:

$$(1) \sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u$$

dove:

σ_{vo} = tensioni verticali totali

u = pressioni neutre

σ'_{vo} = tensioni verticali efficaci

Altro parametro fondamentale è la **Permeabilità**.

Si è già detto di come l'acqua influenzi il comportamento meccanico dei terreni e di come questa influenza sia legata alla granulometria dello stesso.

Riguardo alle proprietà idrauliche del terreno bisogna ricordare la permeabilità o conducibilità idraulica K che rappresenta l'attitudine del terreno a consentire il passaggio del flusso idrico.

Il coefficiente K è legato alla granulometria e alla struttura del terreno e il suo valore è molto importante anche ai fini del comportamento meccanico.

L'applicazione di un carico determina un aumento delle tensioni totali le quali, per la formula precedentemente indicata si dividono in componenti neutre ed efficaci.

Se un terreno ha una conducibilità elevata l'incremento delle pressioni neutre per effetto del carico determina un flusso d'acqua istantaneo lontano dal punto di applicazione mentre con conducibilità basse si generano delle sovrappressioni interstiziali che si dissipano in tempi lenti mediante dei

moti transitori.

La prima condizione viene indicata come condizione drenata e la seconda non drenata.

Le due condizioni a livello teorico possono essere entrambe trattate, ma a livello pratico nella seconda si hanno grandi problemi a determinare il valore di u per cui le analisi di stabilità vengono effettuate considerando parametri di resistenza globali determinati al lordo delle pressioni neutre.

Il moto laminare di un liquido in un ammasso permeabile, in generale, e dell'acqua nel terreno in particolare, è governato dalla legge di Darcy:

$$v = KI$$

dove:

v , (vu) = velocità del moto

K = permeabilità

I = gradiente idraulico (abbassamento della linea piezometrica / distanza a cui riferito l'abbassamento)

Considerando che la sezione dei condotti nel terreno è variabile così come lo sviluppo (che non è rettilineo), la V di Darcy è da considerarsi una velocità media apparente in quanto la velocità del flusso è riferita a tutta la sezione e non a quella dei vuoti (all'interno della quale una parte è occupata d'acqua ferma).

Spinta delle terre

Nel considerare l'equilibrio di un ammasso terroso dobbiamo necessariamente fare riferimento ai tre fondamentali parametri geotecnici: **angolo d'attrito interno** (φ), **coesione** (C) e **contenuto idrico o pressioni neutre** (u).

| Tipologia di terreno | Angoli φ di declivio naturale per terre | | |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| | Asciutte | Umide | Bagnate |
| Rocce dure | 80° ÷ 85° | 80° ÷ 85° | 80° ÷ 85° |
| Rocce tenere | 50° ÷ 55° | 45° ÷ 50° | 40° ÷ 45° |
| Pietrame | 45° ÷ 50° | 40° ÷ 45° | 35° ÷ 40° |
| Ghiaia | 35° ÷ 45° | 30° ÷ 40° | 25° ÷ 35° |
| Sabbia grossa | 30° ÷ 35° | 30° ÷ 35° | 25° ÷ 30° |
| Sabbia fine (non argillosa) | 25° ÷ 30° | 30° ÷ 40° | 20° ÷ 30° |
| Sabbia fine (argillosa) | 30° ÷ 40° | 30° ÷ 40° | 10° ÷ 25° |
| Terreno vegetale | 35° ÷ 45° | 30° ÷ 40° | 20° ÷ 30° |
| Terreno argilloso | 40° ÷ 50° | 30° ÷ 40° | 10° ÷ 30° |

Tutti abbiamo osservato che un cumulo di sabbia o ghiaia è formato da granuli indipendenti che, nel reciproco contatto, sono influenzati, oltre che dalla gravità, solamente dalla forza di attrito φ : la pendenza naturale del cumulo è infatti strettamente connessa con l'angolo di attrito interno, fino ad identificarvisi.



Diverso è il caso di materiali come le argille le quali, oltre che dall'attrito sono unite da forze intermolecolari, alle quali si dà il nome di coesione.

Tali forze permettono la formazione di ammassi, i cui elementi costituenti non sono indipendenti tra loro ma più o meno intimamente legati.

Questa caratteristica fa sì che la pendenza di un cumulo in argilla non coincida con l'angolo di attrito ma dipenda anche dalla coesione.

| Valori medi di angolo di attrito (f_i) e coesione (c) per varie terre | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Terre | F_i (deg) | C (kg./cmq) |
| <i>Ghiaia</i> | $34^\circ - 37^\circ$ | 0 |
| <i>Sabbia</i> | $30^\circ - 35^\circ$ | 0 - 0,01 |
| <i>Marne</i> | $16^\circ - 30^\circ$ | 0,01 - 0,02 |
| <i>Argilla sabbiosa</i> | $16^\circ - 22^\circ$ | 0,02 - 0,05 |
| <i>Argilla plastica</i> | $11^\circ - 17^\circ$ | 0,05 - 0,10 |
| <i>Argilla normale consolidata</i> | $10^\circ - 12^\circ$ | 0,20 - 1,00 |
| <i>Argilla sovraconsolidata</i> | - | 1,00 - 10,00 |

È noto, inoltre, che, per lavorare un terreno con minor fatica, è necessario bagnarlo, in quanto il contenuto d'acqua influenza anch'esso il comportamento geotecnico del materiale.

Se consideriamo un ammasso di terra limitato da un piano orizzontale e scaviamo una trincea, ad esempio per realizzare una strada, si può constatare che, in presenza di terreni incoerenti, il fronte

di scavo, per pendenze superiori a ϕ , crolla, mentre, in terreni coesivi, se l'altezza non supera un certo valore h_c , lo scavo si sostiene da sé, altrimenti crolla.

Per impedire il crollo del fronte si deve realizzare un'opera di sostegno che contrasti la spinta della terra.

Si distinguono due diversi tipi di spinta: si parla di **spinta attiva** quando è la **terra che spinge sul muro** ed è il classico caso delle opere di sostegno; quando, invece, è **un'opera che spinge sulla terra**, come nel caso di una spalla di un ponte ad arco che si scarica sul terrapieno o di una pala infissa per spostare il terreno, siamo in presenza di **spinta passiva**.

Le due spinte non sono uguali, anzi quella passiva assume valori notevolmente superiori.

Dunque, **se la spinta è attiva**, un elemento di terreno sarebbe sottoposto a **trazione** orizzontale, altrimenti, se è **passiva**, un elemento di terreno sarebbe sottoposto a **compressione** orizzontale.

Tenuta dei fronti di scavo

La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione deve essere valutata in sede progettuale in modo rigoroso; è necessario quindi effettuare tutte le indagini preliminari di natura geologica e geotecnica e le relative elaborazioni, cui si è già accennato nei capitoli precedenti.

Infatti, è possibile dare allo scavo un'inclinazione (definita Inclinazione di sicurezza, scarpa, angolo di scarpa) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo e non vi sia pericolo di crollo.

Detta inclinazione di sicurezza è determinata dalle caratteristiche della parete di scavo; tra quelle di maggiore interesse vanno ricordate:

- le condizioni geologiche (presenza di discontinuità quali, ad esempio, fratture e/o intercalazioni di livelli litologicamente differenti) e idrogeologiche (eventuale presenza e condizioni di circolazione delle acque sotterranee);
- le caratteristiche geometriche (altezza);
- le caratteristiche geotecniche del terreno (angolo di attrito interno, coesione);
- le condizioni al contorno dello scavo (presenza di sovraccarichi in prossimità della parete di scavo, quali costruzioni, edifici, ecc.).

Le metodiche di valutazione della stabilità di un versante (sia esso naturale o artificiale) tengono conto di questi fattori.

In via del tutto preliminare si può comunque evidenziare che:

- la presenza di discontinuità (fratture, diaclasi, giunti, ecc.) agisce a sfavore della stabilità;

- le condizioni di saturazione del terreno diminuiscono il valore della resistenza interna del materiale;
- la presenza di falde idriche sospese nell'ambito del versante, analogamente alla presenza di costruzioni o ingombri di qualsivoglia natura in prossimità del limite della parete di scavo, costituiscono sovraccarichi che agiscono a sfavore della stabilità;
- l'aumentare dell'altezza agisce a sfavore della stabilità, per inclinazioni superiori al valore dell'angolo di attrito interno, come precisato nel paragrafo successivo.

In ogni caso all'aumentare dell'angolo di attrito interno del materiale e della sua coesione aumenta l'angolo di scarpa e, conseguentemente, la stabilità del versante.

Valutazione delle condizioni di stabilità dei terreni

Si riportano alcuni esempi applicativi, con riferimento alla diversità intrinseca del tipo di terreno dove dovrà essere effettuato lo scavo.

Terreni granulari (non coesivi)

La stabilità in questi terreni dipende direttamente dalle caratteristiche geotecniche e può essere ricondotta, indipendentemente dall'altezza dello scavo, al valore dell'angolo di attrito interno del materiale non coesivo.

Definito il Fattore di Sicurezza (FS) di una parete di scavo come:

$$FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$$

dove:

φ = angolo di attrito interno del materiale

β = inclinazione della parete di scavo

per valori di FS maggiori o uguali a 1 lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno.

Terreni coesivi

Nei terreni coesivi si può superare l'inclinazione dell'angolo d'attrito, in virtù della maggiore resistenza interna del materiale, per la presenza di forze di coesione tra le particelle.

Anzi, queste condizioni vengono convenzionalmente definite mediante le notazioni " $\varphi = \varphi_u = 0$; $c = c_u > 0$ ", per indicare che il terreno reagisce alle tensioni indotte essenzialmente grazie alla coesione interna, poiché le forze di attrito risultano inibite dalle sovrappressioni neutre.

Ciò risulta particolarmente evidente nei terreni argillosi, dove è possibile, per un tempo limitato, realizzare pareti verticali in grado di autosostenersi.

In tal caso il fattore di controllo della stabilità è costituito dall'altezza della parete verticale.

Tale valore può essere velocemente calcolato con la seguente relazione:

$$H_c = 4 c / \gamma_n$$

dove:

H_c = altezza critica

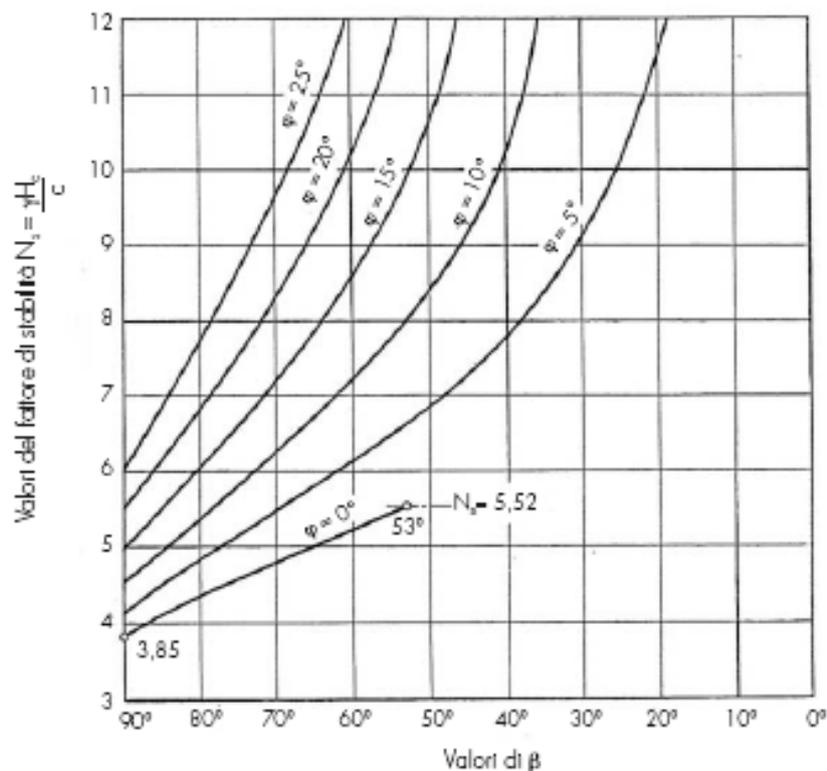
c = coesione

γ_n = densità naturale del terreno

Terreni dotati di attrito e coesione

Nel caso più generale, in cui la reazione dei terreni è funzione sia dell'attrito interno che della coesione, è possibile ricorrere ad uno strumento definito "Curve di Taylor".

Il valore della scarpa e della relativa altezza critica dello scavo possono essere ricavati con l'ausilio del grafico di seguito illustrato, che pone in relazione l'angolo di scarpa con un coefficiente adimensionale N_s (Fattore di Stabilità) in dipendenza dei valori dell'angolo di attrito interno (φ) del materiale.



Il Fattore di Stabilità N_s , in tal caso correlato al valore approssimativo dell'angolo di attrito interno del terreno, permette di risalire all'altezza critica dello scavo, ossia alla massima altezza consentita con un determinato angolo di scarpa (β), secondo la relazione:

$$H_c = N_s c / \gamma_n$$

dove:

c = coesione del materiale;

γ_n = densità naturale del materiale;

H_c = altezza critica dello scavo.

In altri termini, con tale grafico è possibile verificare speditivamente la stabilità a breve termine di una parete di taglio, note le principali caratteristiche geotecniche dei materiali.

| Tipo di Roccia o Terreno | Max pendenza consentita (H/V) Per scavi profondi meno di 6,10 mt. | |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Roccia Stabile | Verticale | 90° |
| Terreno Tipo A * | ¾ : 1 | 53° |
| Terreno Tipo B | 1 : 1 | 45° |
| Terreno Tipo C | 1 ½ : 1 | 34° |

* Per scavi di breve periodo (massimo 24 ore di scavo aperto) la massima pendenza consentita per terreni di Tipo A con profondità max di scavo di 3,67 mt. è di ½ : 1 (63°)

Si rileva come il caso particolare, relativo ai terreni solo coesivi ($\varphi = 0^\circ$), di una parete verticale ($\beta = 90^\circ$) porta a determinare sul grafico un valore di N_s pari a 3,85 ossia prossimo a 4, di cui all'esempio del paragrafo precedente.

| Consistenza | Molto soffice | Soffice | Media | Elevata |
|------------------|---------------|-------------|-------------|---------|
| C_u (t/mq.) | 2,00 | 2,00 – 4,00 | 4,00 – 8,00 | > 10 |
| H critica (m.) | 1,50 | 1,50 – 5,00 | 3,00 – 5,00 | ≈ 8 * |

ORGANIZZAZIONE DEI LAVORI DI SCAVO E MOVIMENTAZIONE TERRE

Prima di avviare le operazioni di scavo, l'impresa deve procedere ad una serie di attività preliminari, come evidenziato in precedenza, per le quali innanzitutto occorrerà:

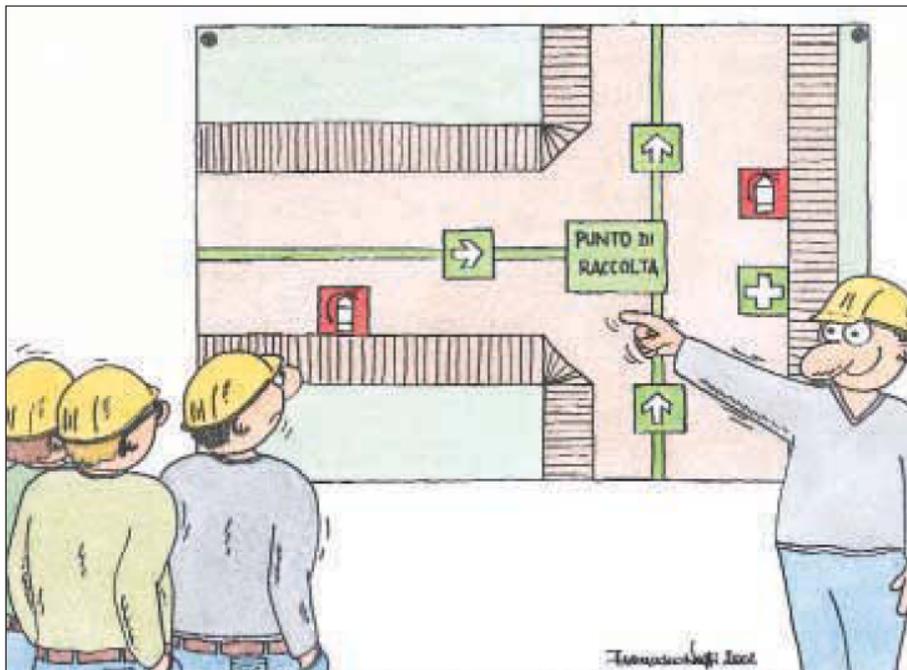
- effettuare un **sopralluogo** per individuare:
 - l'esatta collocazione di tutte le **utenze sotterranee** del luogo di scavo;
 - le **condizioni al contorno** (edifici, strade, alberi ecc.) che possono determinare situazioni di rischio;

- valutare l'effettivo **rischio specifico** riferito a:
 - possibili situazioni legate a **fattori ambientali ed umani**;
 - presenza di **atmosfera pericolose** o presunta mancanza di ossigeno nello scavo;
 - presenza di **canalizzazioni di servizio**;
 - condizioni difficoltose di **accesso ed uscita dallo scavo**;
- redigere un **piano operativo** di sicurezza specifico;
- stilare, ove previsto, un apposito **progetto per le armature** di sostegno;
- programmare un **piano di formazione** ed informazione per i lavoratori.

Gestione della sicurezza e delle emergenze

Il datore di lavoro, inoltre, prima dell'inizio dell'attività di scavo, deve predisporre un piano per la gestione di eventuali situazioni di emergenza connesse alle peculiarità del cantiere.

E' importante che le indicazioni da seguire in caso di emergenza siano immediatamente visibili e di facile comprensione.



Per la gestione di eventuali emergenze devono anche essere individuati sia il responsabile che la relativa "squadra".

Per la **particolare pericolosità dei lavori di scavo**, il responsabile tecnico, durante i controlli, deve avere cura di rinnovare le seguenti importanti raccomandazioni che costituiscono una buona base conoscitiva per prevenire il verificarsi di eventi dannosi.

1. **Nessuno può stabilire** con assoluta certezza che uno **scavo** sia **sicuro** e che non occorra predisporre nessun tipo di armatura.
2. **Infortuni mortali o estremamente gravi** si possono verificare **anche se il lavoratore non è completamente sommerso** dal terreno. Lavoratori seppelliti solo fino alla cinta sono purtroppo deceduti in conseguenza della forte pressione esercitata sul corpo dal terreno.
3. Gli **scavi** eseguiti **vicino a precedenti scavi** sono particolarmente **pericolosi** in quanto il terreno possiede scarsa compattezza.
4. La **presenza di acqua** aumenta la possibilità che lo scavo possa **franare**. L'incremento della **pressione dell'acqua nel terreno** può essere il fattore determinante per eventuali smottamenti delle pareti di scavo.
5. L'**argilla** può essere estremamente **pericolosa** se asciugata dal sole. Grandi blocchi di terreno possono franare dalle pareti della trincea dopo essere stati stabili per lunghi periodi di tempo.
6. Le **pareti gelate** di uno scavo non devono essere considerate come alternative alle strutture di sostegno.
7. Quando necessita, **lo scavo** dovrebbe essere considerato **alla stregua di uno spazio chiuso** in cui controllare e verificare che i lavoratori non siano sottoposti a sostanze atmosferiche pericolose.
8. Le **strutture di sostegno** degli scavi devono sempre tener conto dei **carichi addizionali** determinati dal **peso del terreno accumulato ai bordi della trincea**, del traffico **veicolare**, di **altre strutture** adiacenti, ecc.
9. Quando un lavoratore o una parte di una macchina o attrezzatura edile si trova ad una distanza inferiore a 5 metri da una linea elettrica interrata o aerea occorre contattare l'azienda erogatrice al fine di poter proseguire i lavori.
10. Le **opere di sostegno** vanno sempre realizzate secondo gli **schemi predisposti** dal **responsabile tecnico** competente.
11. I montanti, pannelli, puntoni utilizzati per le **opere di sostegno** devono sempre essere **dimensionati** in funzione delle **condizioni del suolo**, della profondità e della larghezza della trincea, nonché delle condizioni specifiche di carico presenti.
12. **Nessun lavoratore** deve **operare in trincea** al di fuori dell'**armatura di sostegno**.

INTERAZIONE AMBIENTALE

In base a quanto esposto nel precedente capitolo, prima di iniziare i lavori, il responsabile tecnico

dell'attività dovrà effettuare un'attenta analisi della zona di scavo al fine di individuare tutte le misure di sicurezza da porre in essere.

Il tecnico utilizzerà in questa fase il piano di sicurezza predisposto, ove previsto, e comunque dovrà tenere conto dei diversi fattori ambientali (naturali e/o antropici) di seguito elencati.

Condizioni meteorologiche

Le caratteristiche di tenuta del terreno possono variare in rapporto alle condizioni atmosferiche, che modificano il contenuto di acqua e di aria presenti nel terreno stesso.

Le prescrizioni individuate nel piano di sicurezza devono essere verificate alla luce dell'effettiva situazione meteorologica: piogge persistenti, gelo, prolungata siccità, presenza di acqua nello scavo, ecc..

Ad esempio, in presenza di terreno gelato, non potendo verificare preliminarmente l'effettiva compattezza del terreno, si devono predisporre comunque le relative misure di protezione.

Stesse precauzioni vanno prese in presenza di alternanza di cicli di gelo e disgelo, che influiscono negativamente sulle forze di coesione.

Occorre inoltre tenere ben presente che condizioni climatiche severe (forte umidità, caldo torrido, siccità) incidono negativamente su tutte le attività svolte dai lavoratori nell'ambito dello scavo, causando stress psicofisico e pericolosi cali di attenzione.

Scavi in presenza di acque

Qualora negli scavi ci sia o possa verificarsi un accumulo di acqua, le precauzioni da prendere variano in funzione della situazione specifica e possono prevedere:

- armature particolari per evitare franamenti delle pareti dello scavo;
- sistemi adeguati per l'eliminazione delle acque o per il controllo del livello;
- uso di opportuni dispositivi di protezione individuali.

Se lo scavo interrompe il naturale drenaggio del terreno, ove possibile, occorre predisporre canalizzazioni e/o barriere o altri adeguati mezzi per impedire l'allagamento dello scavo.

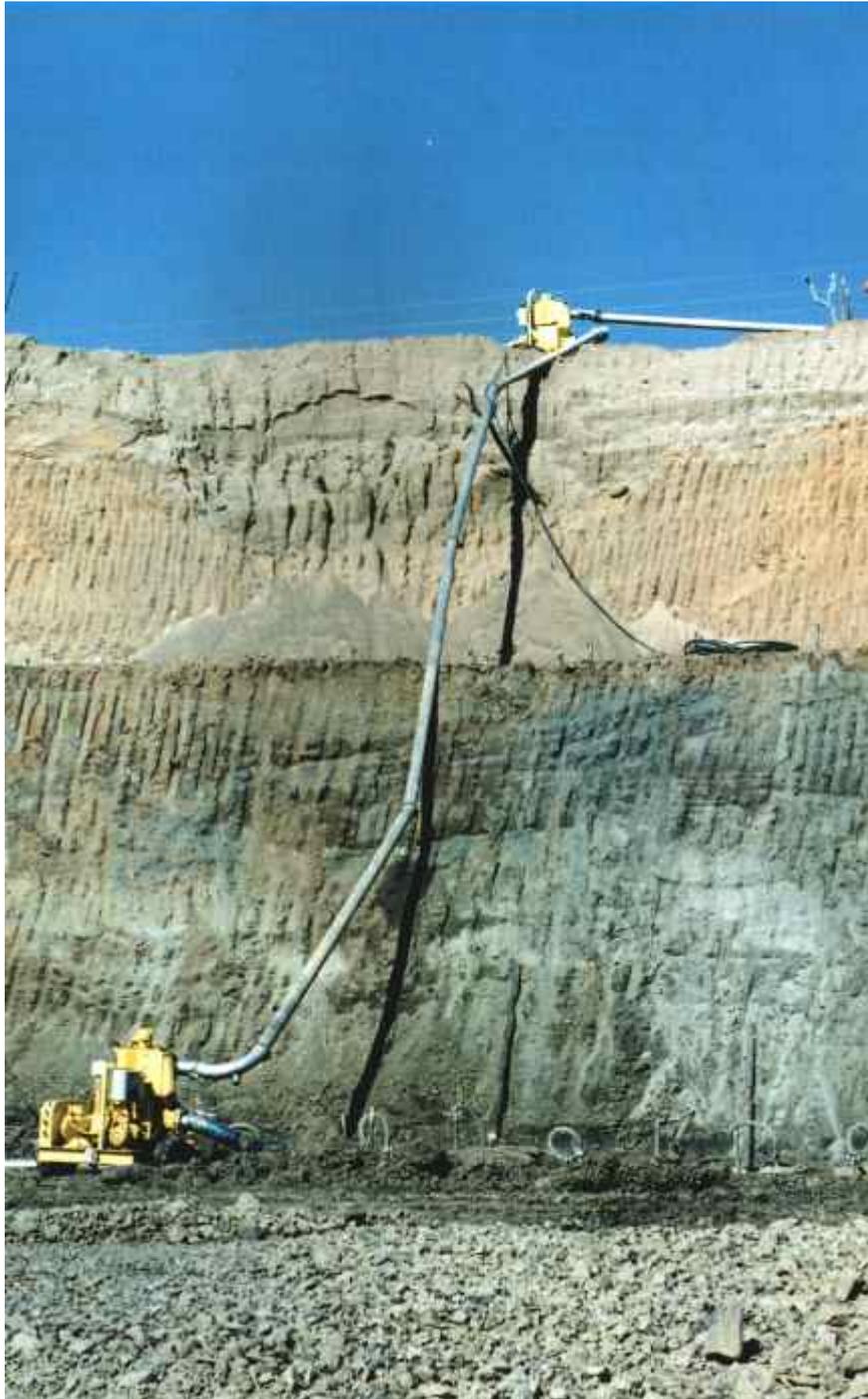
Per la captazione preventiva delle acque di falda, che potrebbero invadere la superficie di splateamento o il fondo di trincee, si possono utilizzare i wellpoints, particolari tipi di pompe autoadescanti che aspirano acqua dal suolo mediante punte filtranti infisse a percussione.

WELL POINT

Generalmente per impianto wellpoint si intende un insieme di collettori di aspirazione orizzontali cui

sono collegati, mediante particolari raccordi flessibili, dei tubi di sollevamento verticali che portano all'estremità un filtro (wellpoint) per l'aspirazione dell'acqua.

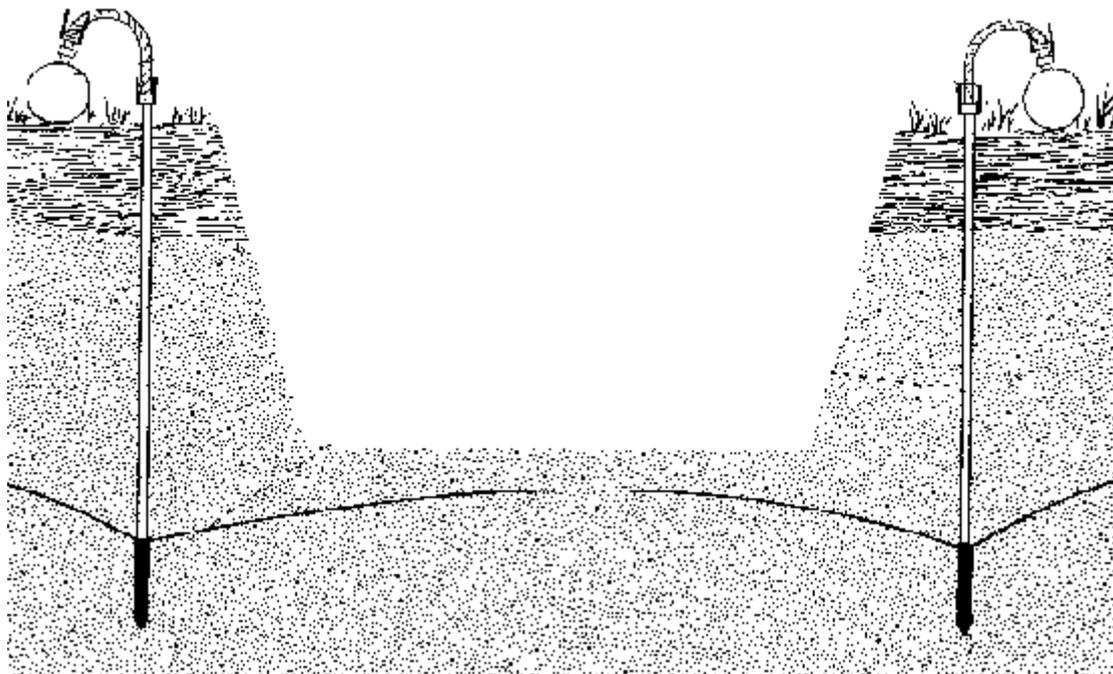
Una o più pompe con depressore assicurano, con un funzionamento continuo ed ininterrotto, l'emungimento dell'acqua di falda. Il drenaggio con questo sistema viene utilizzato in tutti quei terreni che sono permeabili per porosità, come ghiaie, sabbie, limi ed argille. Il principio di funzionamento si basa sulla deviazione del flusso di falda in direzione di elementi filtranti messi in depressione dalla pompa.



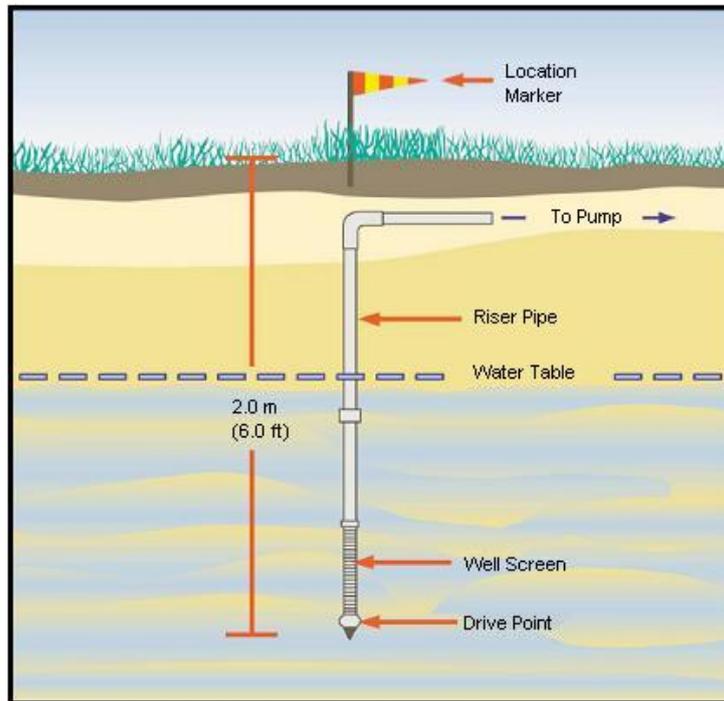
L'impianto wellpoint si divide in :

- **Gruppo aspirante:** una pompa autoadescante ad alto grado di vuoto in grado di aspirare l'acqua fino a prevalenze elevate. Le pompe possono essere azionate da motori elettrici o diesel, a seconda delle necessità del cantiere; per quelle elettriche sono a disposizione, a richiesta, dei gruppi elettrogeni di emergenza.
- **Collettore di aspirazione:** tubazione usata per collegare i wellpoints alla pompa. Le varie barre sono unite tra loro con un sistema rapido di giunti sferici in grado di evitare possibili perdite o trafileamenti che comprometterebbero il rendimento dell'impianto wellpoint.
- **Wellpoints:** punte aspiranti caratterizzate da una serie di filtri metallici (o di materiale plastico) che hanno una funzione fondamentale nell'aspirazione della massima entità d'acqua per unità di tempo, senza l'asportazione di particelle solide dal terreno.
- **Tubazione di scarico:** l'acqua aspirata, va allontanata dallo scavo. Per distanze ragguardevoli si prevedono delle pompe supplementari di "rilancio" in relazione alla portata da evacuare ed alla prevalenza da raggiungere.

L'impianto Wellpoint, una volta entrato in funzione, provocherà un abbassamento della falda freatica creando cono di influenza raffigurato in una porzione di terreno drenato a forma di cono rovesciato.



A seconda della stratigrafia del terreno e del tipo di scavo i Wellpoints, termine che letteralmente significa punta da pozzo, possono essere posti in opera con modalità diverse: ad anello chiuso, ad "U", lineare laterale, lineare centrale, laterale a rotazione, a gradoni, esterno a paratie.



| Disposizione dell'impianto | Descrizione | Utilizzo |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Impianto ad "anello chiuso" | < Collettori perimetrali su tutti i lati | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi in terreni molto permeabili • Scavi in terreni stratificati • Scavi con lati maggiore di 40 m • Scavi con profondità maggiore di 4 m |
| Impianto ad "U" | Collettori con sviluppo su tre lati | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi con profondità minore di 3,50 m • Scavi con altezza minore di 20 - 3 |
| Impianto lineare laterale | Collettori con sviluppo laterale parallelo al lato più lungo | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi con profondità minore di 3 m • Scavi trincea con profondità minore di 4 m • Scavi con il lato minore con lunghezza inferiore ai 10 - 15 m |
| Impianto lineare centrale | Collettore su linea centrale parallelo ai lati lunghi dello scavo | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi di fondazione a plinti • Scavi entro paratie • Scavi con lati con lunghezza maggiore di 60 - 80 m |
| Impianto lineare laterale a rotazione | Collettore laterale allo scavo con parziale rotazione in avanti senza interruzione di pompaggio | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi di fognature • Scavi per acquedotti • Scavi per gasdotti |
| Impianto a gradoni | Collettore installato su più anelli concentrici a diversa quota | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi con profondità maggiore di 5 - 6 m |
| Impianto esterno a paratie | Collettore con sviluppo perimetrale esterno alla paratie | <ul style="list-style-type: none"> • Scavi con ingombri interni • Scavi con spinta idraulica laterale elevata |

Per la progettazione di un impianto di drenaggio è di capitale importanza l'individuazione del **modello idraulico del sottosuolo** che può essere ricostruito con la verifica delle seguenti caratteristiche:

- **Condizioni stratigrafiche** dei terreni interessati rilevate fino ad una profondità almeno doppia rispetto a quella di scavo
- **Permeabilità dei terreni** interessati rilevati mediante prova in situ
- Interdipendenza della falda acquifera con le condizioni idrologiche circostanti (corsi d'acqua, condotte, drenaggi permanenti, etc.) e con la logistica del cantiere.

L'impianto "wellpoint verticale" tradizionale può rispondere adeguatamente alle problematiche legate all'abbassamento della falda freatica in **terreni sabbiosi** con limi ed argille ed anche in presenze di **ghiaie di esigua pezzatura** (in questo caso si useranno le "sondine" in sostituzione dei wellpoints)

Per interventi in cui si richiedono forti avanzamenti giornalieri (acquedotti, gasdotti, etc.) si ricorre al "wellpoint orizzontale". Il pompaggio dell'acqua di falda avviene, in questo caso, attraverso una tubazione in pvc stesa da una posadreni fino alla profondità di 5 - 6 m dal piano di transito del cingolato.

Il limite d'impiego di tale sistema è rappresentato, come per il wellpoint tradizionale, principalmente da terreni ghiaiosi, o comunque a granulometria elevata.

Il sistema dei **pozzi filtranti** diventa, in questi tipi di terreno a forte conducibilità idraulica, quasi una soluzione obbligata.

I pozzi solitamente raggiungono un diametro di 800 - 1000 mm. e si spingono, di norma, per gli utilizzi alternativi al sistema wellpoint, fino a 5 - 6 m, quelli superficiali, ed a 10 - 11 m quelli profondi.

Per i primi basterà disporre di un normale mezzo meccanico cui verrà collegata una benna mordente, mentre per gli altri va utilizzata un'apposita macchina a rotazione per l'asportazione dei materiali di risulta e di una camicia metallica, all'interno della quale si posizioneranno gli elementi in cls.

L'impianto wellpoint rappresenta la soluzione più economica e più semplice per l'esecuzione degli scavi in presenza d'acqua, ma nella progettazione va tenuto presente che bastano poche variazioni nei parametri stratigrafici e idrogeologici dei terreni a determinare una sua esclusione o una sua integrazione con altri metodi.

I limiti teorici di drenaggio con il sistema wellpoint sono riportati nella seguente tabella.

| Tipo di suolo | Ghiaia <i>Gravel</i> | | | Sabbia <i>Sand</i> | | | Limo <i>Silt</i> | Argilla <i>Clay</i> |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
| | Gros. <i>Coarse</i> | Med. <i>Med.</i> | Fine <i>Fine</i> | Gros. <i>Coarse</i> | Med. <i>Med.</i> | Fine <i>Fine</i> | | |
| Diametro dei grani in mm | 20 | 6 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,05 | | 0,005 |
| Determinazione della granulometria | SETACCIATURA <i>SIEVING</i> | | | | | | SEDIMENTAZIONE <i>SEDIMENTATION</i> | |
| Coefficiente di permeabilità K | 10 | | 10 ⁻¹ | | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁷ 10 ⁻⁸ |
| Classificazione | Molto permeabile <i>High permeability</i> | | | Permeabile <i>Medium permeability</i> | | Poco permeabile <i>Low permeability</i> | | Impermeabile <i>Impermeable</i> |
| Drenaggio | Sistema wellpoint a vuoto <i>Vacuum wellpoint system</i> | | | Sistema wellpoint a gravità <i>Gravity feed wellpoint system</i> | | | | |

I principali limiti pratici al drenaggio con il sistema wellpoint sono:

- 1) presenza di terreni ghiaiosi a grossa granulometria e ad elevata permeabilità;
- 2) presenza di terreni rocciosi con permeabilità per fessurazione;
- 3) spazi limitati che richiedono un contenimento meccanico delle pareti di scavo per ragioni di sicurezza;
- 4) profondità di scavo superiori ai 10-14 metri;
- 5) condizioni idrogeologiche e idrologiche particolari che determinano una insufficiente resa dell'impianto.

1. Scavi in terreni ghiaiosi

Quando la pezzatura della ghiaia supera i 5-10 cm di diametro le punte wellpoint non sono utilizzabili a causa della resistenza opposta dalla ghiaia all'infissione.

Malgrado siano state eseguite prove con vibratorii, compressori e battipali meccanici, non si è arrivati ad una metodologia di infissione standard che possa essere utilizzata in più tipi di ghiaie.

Un altro limite all'utilizzo del sistema wellpoint è rappresentato dal fatto che in natura i terreni ghiaiosi, nella maggior parte dei casi, hanno una matrice più fine generalmente limosa o argillosa.

In presenza di tali matrici i normali filtri wellpoint, costituiti da una doppia reps in acciaio, tendono all'intasamento non appena si inizia il pompaggio.

Nelle ghiaie dilavate (senza matrice fine e quindi senza diminuzione di permeabilità) la capacità limite dell'impianto wellpoint è insufficiente rispetto alla potenzialità della falda che è soggetta a forte alimentazione a causa di elevate sottopressioni.

Il numero dei filtri wellpoint da usare diventerebbe praticamente illimitato con tutti i risvolti negativi conseguenti.

In particolare si può riassumere che l'impianto wellpoint non è utilizzabile:

- quanto la pezzatura delle ghiaie supera 5-10 cm di diametro;
- quando la matrice delle ghiaie è costituita da limi o argille;
- quando le ghiaie sono dilavate e la falda è sottoposta a forte alimentazione.

2. Scavi in terreni rocciosi

È noto che il sistema wellpoint per richiamare l'acqua sfrutta la differenza di pressione che si viene a creare tra il filtro e la pressione atmosferica gravante sulla superficie di falda.

In pratica la condizione indispensabile per la sua efficacia è che i terreni abbiano una continuità di vuoti (permeabilità per porosità) e quindi esista attraverso di essi un flusso acquifero o la possibilità che esso ci sia.

I terreni rocciosi possono non avere questo requisito, in quanto spesso sono costituiti da formazioni impermeabili fessurate per fratturazione o dissoluzione, e il flusso d'acqua può circolare attraverso vie che non è possibile individuare.

È evidente in questi casi l'impossibilità di creare una zona di influenza; qualsiasi intercettamento sarebbe puramente casuale e non si avrebbe alcuna garanzia di successo nell'utilizzazione dell'impianto wellpoint.

3. Scavi in spazi limitati

L'abbassamento della falda con il sistema wellpoint provoca una stabilizzazione delle pareti di scavo, ma questo può avvenire solo quando le scarpate hanno un'inclinazione, funzione dell'angolo di attrito caratteristico del terreno, tale da soddisfare positivamente la verifica di stabilità.

Quando per mancanza di spazi o per ragioni di sicurezza non è possibile rispettare l'inclinazione necessaria delle scarpate, bisogna intervenire con metodi complementari che abbiano la funzione di sostentamento meccanico dello scavo.

I metodi più comunemente usati allo scopo sono le paratie in calcestruzzo e i palancoi.

Si ricorda che questi sistemi da soli non possono risolvere i problemi relativi alla presenza della falda (se non raggiungono profondità tali da interessare qualche strato impermeabile) in quanto contrastano le spinte idrauliche laterali ma non impediscono il rifluimento dal fondo.

In questi casi diventa molto importante il calcolo della portata di rifluimento.

4. Scavi profondi

Per l'esecuzione di scavi in presenza di falda acquifera a profondità superiore ai 10-14 m

generalmente non si ricorre al sistema di drenaggio tipo wellpoint anche se i terreni di scavo teoricamente si prestano al suo utilizzo. Alcune delle ragioni sono le seguenti:

- il movimento terra necessario per la posa dei vari stadi di impianti wellpoint, con la necessità di rispettare scarpate di scavo molto ampie, assumerebbe proporzioni tali da diventare spesso inaccettabile;
- i consumi e le manutenzioni dei vari stadi di impianti wellpoint determinano, soprattutto per grandi scavi, condizioni logistiche, operative ed economiche di cantiere così pesanti da diventare improponibili;
- i rischi collegati alla sicurezza degli scavi diventerebbero, man mano che si procede verso il fondo, troppo elevati.

Infatti non è consigliabile, se non a seguito di indagini tecniche molto approfondite, fare affidamento sicuro sulla efficienza degli stadi wellpoints molto profondi in quanto la probabilità che si verifichino inconvenienti aumenta proporzionalmente con la profondità e lo stato dei lavori sarebbe ad un punto tale da rendere i danni derivanti praticamente insormontabili.



Nella pratica si è visto che nei depositi alluvionali caratterizzati da sabbie di non elevate permeabilità, l'errore nello stimare la portata di emungimento, sulla base della sola esperienza pratica acquisita, rimane entro limiti accettabili per almeno un 70% degli interventi di drenaggio.

Questa corrispondenza ha contribuito a diffondere la **convinzione**, smentita tutti i giorni dagli inconvenienti rilevati nei cantieri, che il drenaggio con il sistema wellpoint **sia una tecnica priva di difficoltà e quindi non necessiti di particolare attenzione nella progettazione**.

Gli **inconvenienti** determinatisi per una **insufficienza dell'impianto wellpoint** vengono spesso risolti meccanicamente mediante l'uso addizionale di filtri e pompe senza l'accortezza di risalire sperimentalmente alle cause dell'insufficienza rilevata.

L'indagine sperimentale nello specifico campo del drenaggio con il sistema wellpoint è estremamente limitata ma lo stesso si può dire per tutti gli altri sistemi di drenaggio e la mancanza di una ricerca specifica è dovuta in parte anche allo scarso interesse dimostrato dalle ditte specializzate che tendono a fornire solo i dati relativi ad esperienze positive.

In ogni caso, ogni qual volta si ravvisi il rischio di presenza d'acqua, unitamente a difficoltà di drenaggio a gravità, sarà indispensabile prevedere l'impiego di sistemi di pompaggio carrellati di adeguata portata, possibilmente azionati da motori diesel.

Nell'eventualità di allagamento dell'area di scavo occorre attivare la procedura di emergenza, con la sospensione dei lavori, l'immediato allontanamento dei lavoratori e l'attivazione dei sistemi di smaltimento delle acque da parte degli addetti all'emergenza.

Dopo l'intervento della squadra di emergenza, i lavori potranno riprendere solo successivamente alla verifica effettuata da un tecnico competente.

Presenza di canalizzazioni di servizio

La presenza di reti di servizio può provocare gravi incidenti, quando si fa uso di utensili o macchine di scavo, ossia nella quasi totalità dei contesti operativi presi in considerazione.

Nel caso specifico in cui i lavori di scavo devono essere effettuati in prossimità di gasdotti o linee elettriche sotterranee, occorre comunicarlo all'azienda erogatrice e ottenere le necessarie autorizzazioni.

Pertanto, lo scavo deve essere avviato solo quando le aziende di servizio hanno comunicato l'effettiva collocazione delle canalizzazioni (energia elettrica, gas, acqua, telecomunicazioni, ecc.).

Quando non è possibile stabilire l'esatta posizione delle canalizzazioni, neanche mediante sistemi elettronici di rilevamento, il lavoro deve essere fatto con cautela e, quando possibile, con scavo manuale.

Per garantire la salubrità dell'aria nella trincea e la sicurezza dei lavoratori dal rischio incendio o esplosione, si dovrà disporre all'occorrenza di strumenti di rilevazione di gas nocivi od esplosivi.

Se in fase di lavorazione si danneggiano cavi, tubazioni, ecc., i lavoratori devono allontanarsi rapidamente dalla zona di scavo ed il responsabile tecnico è tenuto ad avvertire immediatamente le aziende di servizio e sospendere il lavoro fino al sopralluogo di controllo effettuato dalle stesse aziende fornitrici.

Successivamente, onde proseguire i lavori di scavo in sicurezza, tutte le canalizzazioni sotterranee individuate dovranno essere protette da barriere, schermi e quant'altro occorra per non danneggiarle.

Scavi in prossimità di strutture edilizie esistenti

Quando la stabilità di edifici adiacenti, muri o altre strutture può essere compromessa dalle operazioni di scavo, occorre predisporre opportuni sistemi di protezione quali armature, puntelli, ecc., che garantiscano sia la sicurezza dei lavoratori addetti che la stabilità delle strutture stesse.



In via generale non deve essere consentito lo scavo sotto il livello di fondazione delle strutture edilizie o di muri di sostegno, quando ciò possa comportare situazioni di rischio.

Tali lavori si possono effettuare quando:

- viene realizzato un sistema di supporto o di puntellamento in grado di garantire la sicurezza dei lavoratori e la stabilità della struttura adiacente;
- lo scavo interessa una roccia stabile;

- un tecnico competente certifichi, sulla base di uno studio geotecnico, che lo scavo è ad una distanza tale da non comportare rischi alla stabilità delle strutture adiacenti.

Stesse considerazioni vanno fatte quando si realizzano scavi sotto marciapiedi, pavimenti, ecc..

TIPOLOGIE PRINCIPALI DI SCAVO

In edilizia si definisce scavo qualunque asportazione di rocce e/o terra dalla collocazione originaria necessaria alla creazione di splateamenti, cavità, ecc. di forme e dimensioni opportune, necessari per la realizzazione di opere ingegneristiche.

Gli scavi si distinguono in:

- scavi a cielo aperto
- scavi in galleria o in cunicolo

Gli scavi a cielo aperto si suddividono in:

- **scavi di sbancamento** (o splateamento o in sezione ampia o sterri) sono quelli in cui la superficie orizzontale è preponderante rispetto alla profondità dello scavo, e tale sezione è sufficientemente ampia da consentire l'accesso ai mezzi di trasporto sino al fronte di scavo (accesso diretto o a mezzo di rampe provvisorie), in modo che il materiale scavato venga caricato direttamente sui mezzi di trasporto con un solo paleggiamento.

In genere si ricorre a questi tipi di scavo aperto quando è necessario eseguire scavi su vasta superficie quali quelli per lo spianamento o sistemazione del terreno su cui dovranno sorgere le costruzioni, per tagli di terrapieni e per la realizzazione di fondazioni a platea.



- **scavi a sezione ristretta o obbligata**: si intendono di solito gli scavi aventi la larghezza uguale o inferiore all'altezza, eseguiti a partire dalla superficie del terreno naturale o dal fondo di un precedente scavo di sbancamento, sempre che il fondo del cavo non sia accessibile ai mezzi di trasporto.

Più in particolare:

- per scavi a **sezione obbligata** si intendono quelli incassati in cui tutte e due le dimensioni orizzontali sono inferiori alla profondità (scavi di fondazione) per i quali, essendo il fondo del cavo inaccessibile ai mezzi di trasporto, occorrono due paleggiamenti per l'allontanamento dei materiali scavati: il primo per l'innalzamento dal piano di scavo al piano di carico e il secondo dal piano di carico sul mezzo di trasporto.

In genere si ricorre a questo tipo di scavo per la realizzazione delle fondazioni a plinto o a trave rovescia;

- per scavi a **sezione ristretta** o in trincea si intendono quelli continui (correnti) di sezione trasversale ristretta per i quali, non essendo consentito ai mezzi di trasporto per il carico dei materiali l'accesso frontale al fondo del cavo, si rendono necessari due paleggiamenti come per lo scavo a sezione obbligata.

In genere questi tipi di scavo vengono utilizzati per la posa di tubazioni, sottoservizi, ecc.



Nel caso in cui la profondità sia notevolmente superiore alla superficie orizzontale dello scavo si parla di scavo di pozzi.

A seconda della natura del terreno e del volume di terra da scavare i mezzi utilizzati per le opere di scavo possono essere:

- mezzi manuali;
- mezzi meccanici (macchine escavatrici);
- esplosivi.

Scavi in galleria

Gli scavi in galleria sono parte integrante della vita quotidiana delle popolazioni dei paesi più industrializzati, ed il loro utilizzo aumenta con il crescere delle necessità della società moderna.

Lo scavo in galleria viene utilizzato tutte le volte in cui per motivi tecnico economici non è possibile utilizzare lo scavo a cielo aperto.

Con lo scavo in galleria si realizzano:

- gallerie di traffico
 - gallerie ferroviarie
 - gallerie stradali e autostradali
 - gallerie di scorrimento pedonale
 - gallerie per la navigazione
 - gallerie per la metropolitana
- gallerie convettive
 - condotte forzate per centrali idroelettriche
 - acquedotti
 - fognature
 - gallerie di trasporto in impianti industriali
- gallerie minerarie

Attualmente esistono diverse tecnologie no dig, le più utilizzate per la realizzazione di gallerie di grande sezione si basano sull'uso di frese ad attacco puntuale oppure di frese TBM.



Le tecnologie no-dig (dall'inglese no-digging - "senza scavo") o trenchless permettono la posa in opera di tubazioni e cavi interrati o il recupero funzionale, parziale o totale, o la sostituzione di condotte interrate esistenti senza ricorrere agli scavi a cielo aperto, evitando le manomissioni di superficie (strade, ferrovie, aeroporti, boschi, fiumi e canali, aree ad alto valore ambientale, piazze storiche, ecc.) eliminando così pesanti e negativi impatti sull'ambiente sia naturale che costruito, sulle strutture superficiali e sulle infrastrutture di trasporto.

Applicazioni

I principali settori in cui le tecnologie no-dig trovano applicazione sono:

- le nuove installazioni di servizi interrati (reti di trasporto e distribuzione del gas e degli oli combustibili, acquedotti, fognature, reti di telecomunicazione, reti di distribuzione dell'energia elettrica, ecc.);
- la sostituzione o manutenzione di condotte o cavidotti interrati;
- la difesa ambientale attraverso la bonifica di siti inquinati (discariche, siti soggetti ad inquinamento da percolati, ecc.) e l'isolamento di siti potenzialmente inquinati (impianti e depositi industriali, aree di stoccaggio di sostanze inquinanti, discariche, ecc.);
- la difesa del suolo (stabilizzazione di pendii in frana, consolidamenti localizzati del sottosuolo, ecc.)

Rientrano tra le tecnologie no-dig anche i sistemi di mappatura del sottosuolo basati sull'impiego di dispositivi georadar.

In relazione all'installazione, sostituzione o manutenzione di condotte interrate le principali tecnologie no-dig sono:

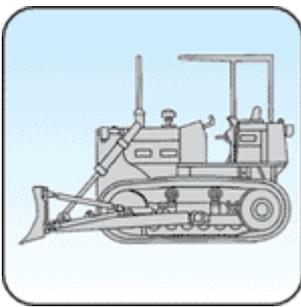
- per nuove installazioni: il directional drilling, il pipe-jacking (microtunneling e TBM) e il pipe ramming;
- per la sostituzione di condotte esistenti (relining sostitutivo): il pipe bursting, il pipe splitting
- per il rinnovamento di condotte esistenti (relining riabilitativo): il Cured In Place Pipe o CIPP il Cement Mortar Lining o CML[2], il close fit lining e il loose fit lining (lo spliining), lo spray lining, lo spiral lining.
- per la manutenzione ordinaria di condotte esistenti: rimozione di occlusione e depositi, video ispezione, riparazioni localizzate.

Tra le meno invasive, perché capace di riabilitare tubazioni esistenti senza la sostituzione delle stesse, si segnala il CIPP (acronimo inglese per Cured In Place Pipe cioè tubo in resina reticolato sul posto) la cui tecnologia è fatta propria dal sistema Forever Pipe.

PRINCIPALI TIPI DI MACCHINE MOVIMENTO TERRA

Per macchina movimento terra si intende una macchina destinata ad essere adibita a lavori di scavo, carico, trasporto, spianamento di materiali (roccia, sabbia, terra ecc). Secondo la funzione che esse svolgono, si dividono in:

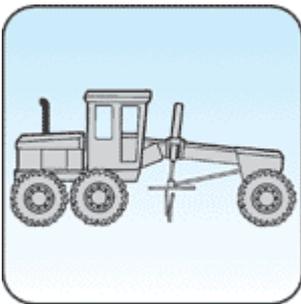
Macchine adibite esclusivamente alla movimentazione del materiale



Apripista (Bulldozer)

Sono macchine cingolate dotate nella parte anteriore di una grande lama (dozer), la quale affondata nel terreno da due pistoni idraulici, con il moto del mezzo spinge, sposta, livella il materiale di risulta.

Sono sempre meno utilizzate, in quanto sostituite dai caricatori (pale gommate o cingolate)



Motorgrader

E' un livellatore di materiale di finitura molto preciso e veloce.

Viene usato per stendere il materiale "bianco" nella costruzione delle strade, cioè l'ultimo strato di ghiaia prima della asfaltatura.

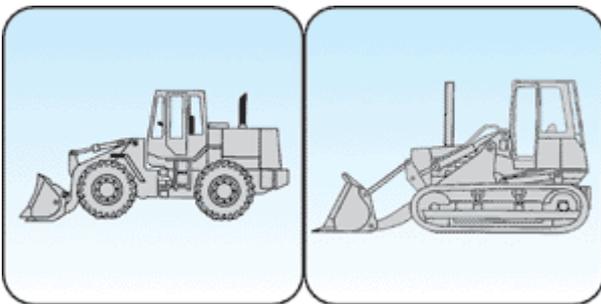
Viene usato anche per lavori di livellamento, taglio canali, profilature di scarpate ecc.



Scraper

Sono degli speciali autocarri che si caricano da soli avendo il cassone sospeso tra i due assi. Mentre la macchina avanza, il cassone si abbassa sul terreno con un "tagliante" ed il materiale va a riempire il cassone. Sono macchine ideali per spostare grandi quantità di materiale su brevi distanze.

Macchine per il caricamento del materiale e la scavo



Caricatori

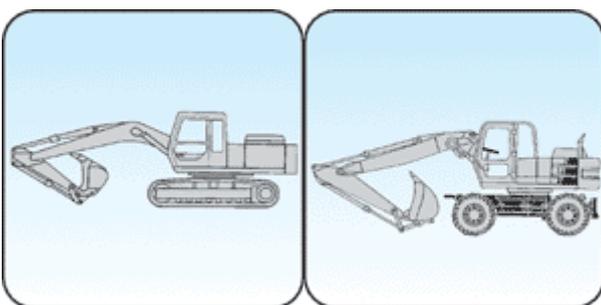
Sono le cosiddette pale gommate o cingolate.

Le pale gommate vengono utilizzate per il carico del materiale smosso (es. sabbia, ghiaia, terra). Sono agili e veloci e possono, se abilitate, percorrere le strade pubbliche.

Vengono impiegate principalmente nelle cave e negli impianti di produzione inerti.

Le pale cingolate sono più lente ma hanno maggior potere "penetrante" nel terreno con i denti della benna. Queste pale vengono utilizzate per scavare, spandere, stendere materiale e possono essere dotate nella parte anteriore del "ripper".

Il ripper è un dente che penetra nel terreno coeso per spaccare roccia, terreni particolarmente compatti ecc.



Escavatore

L'escavatore idraulico é l'incontrastato "re" delle macchine movimento terra.

È la macchina movimento terra piú versatile e importante oggi in commercio, con una quota di impiego di oltre il 50% rispetto alle altre macchine.

L'escavatore idraulico puó essere cingolato o gommato. In questo ultimo caso, se abilitato puó circolare sulle strade pubbliche (ved. fig. n. 6 - 7).

Con l'escavatore idraulico si eseguono scavi di sbancamento, carico di materiale, scavi in sezione ristretta per fondazioni, canalizzazioni, sistemazioni idrauliche, formazioni di scarpate, argini fluviali, ecc.

Se dotato di particolari accessori puó posare manufatti, come armature, tubazioni ecc.

Al posto della benna possono essere montate speciali attrezzature da lavoro come pinze idrauliche per il cesoiamento di manufatti in ferro, calcestruzzo, ecc. e se dotati di cabina "blindata" possono essere adibiti a demolizione di fabbricati.

Possono essere dotati di "martellone" per demolizioni di grandi masse di roccia e manufatti stradali, come pilastri, fondazioni ed altri.



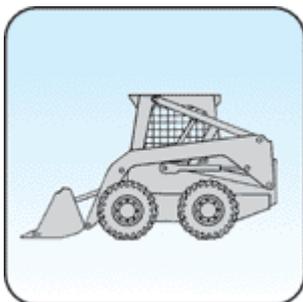
Terne

Le Terne rappresentano un segmento particolare delle macchine movimento terra.

Nascono in origine all'applicazione su trattori agricoli di una benna di caricamento nella parte anteriore e di un braccio dotato di un piccolo cucchiaio, montato posteriormente.

Sono macchine molto versatili e vengono utilizzate in lavori di piccola entità, in spazi circoscritti, in agricoltura ad esempio per l'esecuzione di canalizzazioni, pulizia canali, fosse, scavi non molto profondi, sistemazioni forestali e agricole, ecc.

Ogni cantiere edile o stradale ha la necessità di macchine di supporto versatili come una terna



Miniescavatori (Bobcat)

Sono macchine di piccole dimensioni e di ridotte capacità di scavo.

Sono però molto efficienti e di facile uso e costruite per lavorare in spazi ristretti come ad esempio nei lavori di giardinaggio, piccole canalizzazioni, riempimenti, nelle zone densamente abitate (centro città ecc).

Hanno particolarità costruttive uniche come ad esempio il Bobcat che è una pala caricatrice, priva di ruote sterzanti. La sua manovrabilità avviene frenando le ruote in gomma come nei mezzi cingolati.

Macchina per il trasporto materiale



Dumper:

Essi vengono utilizzati nell'ambito di un cantiere sia edile che stradale e sono adibiti esclusivamente al trasporto di materiale.

Sono molto robusti, possono spostarsi sui terreni accidentati e non pavimentati e sono dotati di cassone ribaltabile. In genere non possono circolare sulle strade pubbliche.

Ne esistono di svariate dimensioni; con cassoni enormi per il trasporto di grandi quantità di materiale usati nelle cave o nelle costruzioni per grandi opere di genio civile, oppure piccoli, adibiti principalmente nei lavori edili civili



Autocarri - articolati:

Gli autocarri sono utilizzati per il trasporto di terra, ghiaia, sabbia, in quanto sono omologati per circolare sulle strade pubbliche. Sono dotati di cassone ribaltabile anche di grandi dimensioni (mc 20) e sono ormai indispensabili nei lavori edili tradizionali e per lavori stradali

I lavori in sottterraneo

I lavori in sottterraneo comprendono i lavori di costruzione di gallerie stradali e ferroviarie, di derivazione, la costruzione di serbatoi in roccia ed, infine, la costruzione di edifici interrati.

Per la costruzione di gallerie e di manufatti completamente immersi nel terreno e che si realizzano mediante scavo in sottterraneo è prescritta una relazione geologica.

Per lo studio e la scelta del tracciato del manufatto e per la raccolta dei dati base del progetto è necessario tenere conto della situazione geologica, geotecnica, morfologica ed idrogeologica, della profondità e della lunghezza del manufatto da eseguire.

Qualora nella fase di realizzazione dell'opera si verifichino situazioni impreviste o comunque non evidenziate nella fase di studio iniziale, queste vanno tenute in debito conto negli interventi successivi.

Il progetto di manufatti sotterranei contiene i seguenti punti:

- la previsione dei metodi di scavo, delle opere provvisoriale e dei mezzi occorrenti per l'intercettazione delle acque sotterranee;
- la previsione degli effetti che gli scavi avranno sulla stabilità dei manufatti già esistenti nella zona d'influenza degli scavi stessi;
- la valutazione sull'eventuale presenza di gas tossici od esplosivi e sulla ventilazione occorrente nel corso dei lavori;
- lo studio degli strumenti necessari per verificare la stabilità delle strutture e del terreno;

La scelta dei metodi di scavo deve tenere conto delle proprietà geotecniche del terreno e dell'eventuale presenza di falde idriche.

I lavori in sottterraneo sono disciplinati dal Decreto del Presidente della Repubblica del 20 marzo 1956, n. 320, „Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro in sottterraneo" e successive disposizioni normative.

Le norme si applicano ai lavori eseguiti in sottterraneo per la costruzione, la manutenzione e la riparazione di gallerie, caverne, pozzi e opere simili, mentre non rientrano nel campo di applicazione delle suddette norme le miniere, le cave e torbiere ed i comuni pozzi idrici, disciplinati da altre disposizioni di legge.

Scavi ed armature

I sistemi di scavo nei lavori in sottterraneo devono essere adeguati alla natura del terreno in cui sono effettuati e devono essere adottati, se necessario, sistemi preventivi di consolidamento e di sostegno, al fine di impedire franamenti e caduta di materiale (art. 13).

Le opere provvisorie devono essere controllate giornalmente da personale esperto e mantenute in buone condizioni, fino alla messa in opera del rivestimento definitivo.

Quando l'abbattimento del terreno viene eseguito per mezzo di mine, il lavoro di messa in opera delle armature deve sempre essere preceduto dalla rimozione o dal consolidamento, da eseguirsi con mezzi appropriati e con ogni cautela, dei massi resi instabili dall'esplosione ma ancora in posto nelle pareti e nella calotta dello scavo, nonché da un accurato controllo dello stato di sicurezza del tratto da armare.

Anche là dove i terreni non presentino pericoli di franamento o di caduta devono essere comunque effettuati dei controlli periodici, allo scopo di provvedere tempestivamente al ripristino dei requisiti di sicurezza in singoli punti (art.15).

La natura del terreno determina inoltre la scelta del tipo di armatura da utilizzare, nonché le sue dimensioni e la disposizione (art.16).

Trasporti in galleria

Per evitare l'investimento o la caduta di persone durante il trasporto in galleria con mezzi meccanici sono specificate misure particolari.

Il trasporto delle persone in sotterraneo con mezzi meccanici avviene con veicoli muniti di sedili e di tettoia. E' vietato salire e scendere su convogli in moto.

L'agganciamento dei carrelli deve essere effettuato mediante attacchi di sicurezza (art. 27). Nel caso in cui le gallerie siano percorse da mezzi di trasporto e non vi sia sufficiente spazio affinché i lavoratori, occupati all'interno delle gallerie stesse, possano trovare riparo addossandosi alle pareti, devono essere previste delle nicchie a distanza non maggiore di 30m l'una dall'altra.

Là dove ciò non fosse possibile devono essere previsti dei mezzi di segnalazione acustica, per indicare il divieto di passaggio delle persone durante il transito del convoglio (art. 29).

Ventilazione e limitazione della temperatura interna

Contro l'inquinamento dell'ambiente di lavoro sono stabiliti i valori per il volume d'aria da immettere nel sotterraneo e per la temperatura ambiente.

All'interno delle gallerie l'aria deve essere mantenuta respirabile ed esente da inquinamento mediante sistemi di ventilazione atti ad eliminare i gas, le polveri e i vapori pericolosi e nocivi.

Ogni lavoratore deve avere a disposizione 3m cubi di aria fresca (art. 30).

A tal fine in ogni cantiere devono essere collocate delle apparecchiature di controllo per la determinazione di gas nocivi o pericolosi nell'atmosfera; deve inoltre essere controllata periodicamente la qualità dell'aria all'interno dell'ambiente di lavoro ed i risultati di tali controlli devono essere conservati presso il cantiere a disposizione degli ispettore del lavoro (art. 32).

All'interno dei posti di lavoro in sotterraneo la temperatura deve essere mantenuta al di sotto del limite massimo dei 30 gradi centigradi (art. 33).

L'eliminazione dei gas, dei fumi e della polvere prodotti dall'utilizzo di esplosivi deve avvenire per mezzo di ventilazione artificiale, al fine di consentirne il rapido allontanamento dal luogo di lavoro (art. 34).

Evacuazione delle acque

Contro la stagnazione di acqua devono essere predisposte le opportune misure per l'evacuazione della stessa.

Contro improvvise irruzioni d'acqua i lavoratori addetti devono essere muniti di adeguati mezzi di protezione personale.

Durante i lavori in sotterraneo devono essere adottate misure idonee al fine di eliminare il pericolo di derivante da acque sorgive ed il loro ristagno sul pavimento dello scavo: ciò deve avvenire mediante lo scavo di cunette o di cunicoli di scolo, l'esecuzione dei drenaggi, l'utilizzazione di pompe e di rivestimenti (art. 36).

Nel caso in cui siano state accertate forti presenze di acqua in prossimità delle zone di scavo è necessario procedere nel seguente modo:

- esecuzione di trivellazioni preventive di spia;
- sospensione dei lavori in caso di pericolo nei luoghi sprovvisti di vie di scampo (art. 39).

Impiego degli esplosivi

Per evitare il pericolo di scoppio sono indicate specifiche misure di sicurezza da osservare durante il trasporto degli esplosivi in sotterraneo e le modalità per il brillamento.

Nei lavori in sotterraneo possono essere utilizzati solamente quegli esplosivi e mezzi di accensione riconosciuti e registrati nell'apposito elenco approvato con Decreto del Ministero del Lavoro e per la Previdenza Sociale (art. 42).

Gli esplosivi non devono essere depositati all'interno delle gallerie o in prossimità degli altri luoghi di impiego in misura eccedente il fabbisogno di ogni squadra (art. 45).

Una volta effettuato lo sparo delle mine, è consentito l'accesso al cantiere solo quando il gas e le polveri prodotte dall'esplosione siano stati eliminati e si sia potuta acquisire la certezza che nessuna mina è rimasta inesplosa (art. 48).

Prima di introdurre nei fori da mina le cartucce innescate, le linee elettriche entranti in sotterraneo devono essere interrotte con coltelli sezionatori sistemati all'esterno (art. 49).

Difesa contro le polveri

Contro l'inalazione delle polveri sono indicate le misure di sicurezza e le modalità per l'uso ed il controllo delle maschere protettive.

Nei lavori eseguiti in sotterraneo devono essere utilizzati sistemi di lavorazione, macchine ed impianti che producono la minore quantità possibile di polveri (art. 53).

Quando si procede alla bagnatura delle pareti di scavo, per impedire la diffusione nell'aria delle polveri, devono essere impiegati spruzzatori od inaffiatori e non getti violenti d'acqua (art. 54).

Anche la perforazione delle rocce deve essere eseguita mediante l'utilizzo di macchine munite di dispositivo per l'aspirazione delle polveri (art. 55).

Il materiale di scavo deve essere inumidito prima di essere rimosso dal luogo di lavoro (art. 59).

La concentrazione delle polveri nell'aria deve essere controllata periodicamente da esperti (art. 63). Se necessario è d'obbligo far uso di maschere di protezione (art. 64).

Illuminazione

Viene fissato il livello minimo di illuminazione nei sotterranei e l'obbligatorietà dei mezzi di illuminazione portatili individuali.

I lavoratori impegnati in sotterraneo devono essere dotati di mezzi di illuminazione personali (art. 67); inoltre i luoghi devono essere adeguatamente illuminati (art. 66) e garantire un livello medio di illuminazione non inferiore a 30 lux (art. 69).

Contro i pericoli d'incendio e scoppio sono specificate determinate misure di sicurezza non esclusa quella del controllo sulla persona all'atto dell'entrata in sotterraneo.

Le macchine, le apparecchiature e le condutture elettriche, i mezzi di segnalazione ed i locomotori a batteria devono essere di tipo antideflagrante (art. 73).

Per ciò che concerne le misure preventive contro le fiamme, il riscaldamento e le scintille, si rammenta che è vietato eseguire operazioni che producono fiamme o riscaldamento pericolosi; è vietato altresì usare motori termici e i locomotori a nafta; utilizzare fiammiferi o altri mezzi di accensione ed usare scarpe con i chiodi.

E' vietato inoltre fumare (art. 75).

E' indispensabile evitare attriti ed urti fra materiali ferrosi, che possano produrre scintille (art. 76).

E' indispensabile procedere inoltre al controllo della quantità di gas nocivi presenti nell'ambiente di lavoro in sottosuolo, in relazione alla natura del terreno o della zona circostante (art. 78).

Qualora la presenza di gas nocivi o infiammabili nell'aria sia superiore all'1% in volume rispetto all'aria, e qualora non sia possibile eliminarlo per mezzo della ventilazione, è necessario procedere allo sgombrò immediato dei lavoratori dal luogo di lavoro (art. 79).

Servizi igienico-assistenziali

Per il benessere dei lavoratori devono essere predisposti idonei alloggiamenti con arredi, servizi igienici muniti di acqua calda e fredda, acqua potabile, mense e locali di soggiorno.

Sul cantiere deve essere assicurata l'assistenza sanitaria ai lavoratori, anche mediante un mezzo di trasporto per il trasferimento al più vicino posto di pronto soccorso del lavoratore che abbia bisogno di cure urgenti (art. 95).

I cantieri fino a 100 lavoratori devono essere dotati di una cassetta di automedicazione (art. 96); i cantieri con almeno 500 lavoratori devono essere dotati di un locale di pronto soccorso e di un'infermeria (art. 97).

Servizi sanitari e di salvataggio

Per assicurare il pronto intervento nei casi di infortunio deve essere istituito il servizio di pronto soccorso e deve essere assicurata la reperibilità di un medico.

Per le operazioni di soccorso e salvataggio devono essere istituite squadre ben addestrate, munite di attrezzature specifiche e con adeguato numero di elementi di riserva: gli elementi di tali squadre vengono scelti tra lavoratori volontari appartenenti al personale in servizio.

Nei cantieri che occupano almeno 150 lavoratori e in quelli dove, indipendentemente dal numero degli occupati, vi sia presenza di gas infiammabili o esplosivi, deve essere organizzata una squadra di salvataggio (art. 99).

Pericoli connessi all'esecuzione dei lavori in sottosuolo.

I pericoli connessi all'esecuzione di lavori in sottosuolo sono determinati da diverse cause: ne riportiamo di seguito le principali

- **Utilizzo di macchinari**

I macchinari utilizzati per i lavori in sotterraneo sono solitamente macchinari assai complessi; i macchinari normalmente impiegati per l'esecuzione dello scavo sono:

- escavatore cingolato o macchina simile per il sollevamento e la manovra degli utensili di scavo (benne, scalpelli, ecc.)
- fresa multipla: si tratta di una macchina di notevoli dimensioni per la frantumazione della roccia ed il relativo trasporto
- macchina perforatrice: per la preparazione dei fori da mina;

Vengono inoltre impiegate le seguenti attrezzature ausiliarie:

- escavatori o gru di servizio,

- pale e muletti per la preparazione di piani di lavoro e le piste d'accesso,
- eventuali compressori.

Poiché molti infortuni sono connessi all'utilizzo dei macchinari sopra descritti è necessario istruire il personale addetto e fornire loro alcune fondamentali istruzioni di comportamento corretto:

- istruire il personale per una corretta esecuzione delle movimentazioni;
- uno o due aiuti devono coordinare l'operatore durante il movimento dell'escavatore, tenendosi a distanza di sicurezza dalle macchine ed in continuo contatto visivo con l'operatore;
- rispettare la distanza di sicurezza tra macchina e ostacoli fissi e tra macchina, personale e ostacoli fissi;
- utilizzare, quando necessario, il segnale acustico dell'escavatore;
- tutto il personale non direttamente interessato al lavoro deve sempre mantenersi al di fuori del raggio di azione della macchina e dell'area di possibili cadute di materiale;
- evitare brusche manovre di avvio o di arresto;
- è vietato durante la perforazione sostare o transitare tra i cingoli dell'escavatore a causa della mancanza di visibilità diretta da parte dell'operatore sulla macchina;
- l'aiuto operatore deve mantenersi al di fuori dell'area di eventuale caduta di oggetti dall'alto e comunque deve essere dotato di elmetto;
- gli automezzi che si avvicinano alla zona di lavoro per essere direttamente caricati dall'escavatore, devono disporre di un segnale acustico automatico sulla retromarcia, affinché il loro avvicinamento all'area di lavoro sia sempre segnalato.
- la dislocazione ed il tipo delle macchine ed attrezzature di cantiere vanno studiate preventivamente per ridurre il più possibile il rumore, isolando o allontanando il più possibile i macchinari rumorosi;
- quando possibile, i macchinari utilizzati devono essere insonorizzati;
- per rumorosità superiore agli 85 dB (art. 193, comma 1, lettera b) del decreto legislativo del 9 aprile 2008, n. 81) tutto il personale al lavoro nella zona interessata dal rumore deve usare i mezzi protezione per l'udito;
- prevedere e, se possibile, limitare le operazioni che provocano la concomitanza di più lavorazioni „rumorose“.

- infine, la manutenzione e la cura dei macchinari deve essere eseguita da personale esperto.

Violazioni più frequenti alle disposizioni di legge

- Mancata notifica dei lavori all'ufficio sicurezza del lavoro;
- illuminazione carente delle gallerie;
- mancata costruzione dei rivestimenti provvisori di pari passo con l'avanzamento dello scavo;
- mancato impiego dei mezzi personali di protezione;
- impianto elettrico non a norma;
- impianto di aspirazione e ventilazione insufficiente;
- mancato rilevamento di gas nocivi o pericolosi nell'atmosfera (anidride carbonica, ossido di carbonio, gas nitrosi e idrogeno solforato);
- mancato controllo della composizione dell'aria da parte di esperti, con tenuta dell'apposito registro;
- presenza di rumore (decreto legislativo del 9 aprile 2008, n. 81, titolo VIII, capo II, art. 188 - art. 198);
- mancata verifica della polverosità dell'aria-ambiente e tenuta del registro da parte di esperti;
- mancato impiego dei segnalatori di temporali.

INTERVENTI SU FENOMENI FRANOSI

Con il termine frana si indicano tutti i fenomeni di movimento o caduta di materiale roccioso o sciolto, a causa dell'effetto della forza di gravità su di esso.

Le frane possono dare luogo a profonde trasformazioni della superficie terrestre, e a causa della loro alta pericolosità, in alcune aree abitate, devono essere oggetto di attenti studi e monitoraggi.



Per frana o dissesto è da intendersi qualsiasi situazione di equilibrio instabile del suolo, del sottosuolo o di entrambi, compreso fenomeni di intensa erosione superficiale, o fenomeni franosi che interessano i pendii in profondità, tali movimenti sono controllati dalla gravità.

I fattori o le cause che producono una frana o un movimento di massa sono molteplici si distinguono in tre tipi:

- **cause predisponenti** (ovvero proprie dell'ambiente naturale): natura del terreno, litologia, giacitura, andamento topografico, acclività dei versanti, clima, precipitazioni, variazioni di temperature, idrogeologia ecc.;
- **cause preparatrici**: disboscamento, piovosità, erosione dell'acque, variazione del contenuto d'acqua, azioni antropiche ecc;
- **cause provocatrici**: abbondanti piogge, erosione dell'acque, terremoti, scavi e tagli ecc;

Interventi di prevenzione

Per evitare di innescare i movimenti franosi è necessario porre attenzione alle aree a rischio ed osservare alcuni accorgimenti:

- evitare costruzioni sul coronamento del corpo di frana o comunque nella sua parte superiore, in quanto questo appesantisce il terreno sottostante e lo rende instabile facilitandone lo scivolamento;

- evitare di effettuare sbancamenti o scavi nella parte inferiore del corpo della frana perché questo elimina una parte consistente del terreno resistente alla frana.

In ogni caso all'atto della progettazione di un'opera in prossimità di un pendio è necessaria la valutazione della stabilità globale del pendio stesso.

Uno dei metodi utilizzato per proteggere le strutture e la popolazione a valle di un pendio roccioso a rischio di frana sono reti, rilevati e barriere paramassi, interventi passivi in grado di frenare i blocchi in movimento ed evitare che questi raggiungano le strutture sottostanti.

Per aumentare il **fattore di sicurezza** in un'area a rischio frana si possono progettare interventi attivi di vario tipo.

Fondamentalmente si distinguono questi interventi in interventi che diminuiscono gli sforzi di taglio che il materiale deve mobilitare per mantenersi in equilibrio ed interventi che aumentino le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale.

Interventi per la riduzione del rischio frana

Gli interventi principali per ridurre la resistenza a taglio mobilitata, e quindi per far sì che ci sia sempre una differenza accettabile tra questi e la resistenza a taglio massima del materiale, sono:

- Sbancamenti: opere di scavo eseguite a monte della massa di terreno a rischio; in fase di progettazione e decisione di questi interventi bisogna sempre tenere in considerazione che uno sbancamento se da un lato aumenta il fattore di sicurezza a valle dell'intervento lo diminuisce a monte;
- Riprofilature: riduzione dell'inclinazione del pendio per mezzo dell'allontanamento di materiale e quindi costruendone artificialmente il profilo (che può essere con angolazione costante o a gradoni);
- Allontanamento di massi pericolanti: si può pensare di intervenire su un versante allontanandone le parti più pericolose e più difficilmente stabilizzabili, come dei blocchi pericolanti, facendo però attenzione che l'intervento per rimuoverli non sia di danno al resto del versante (come può avvenire facilmente ad esempio utilizzando dell'esplosivo);
- Riduzione dell'erosione al piede del versante da parte dei corsi d'acqua: questi interventi sono finalizzati a ridurre l'effetto dannoso che ha l'erosione nei confronti della stabilità del pendio.
- Opere di sostegno al piede del versante, cioè la costruzione di rilevati in grado di sorreggere il pendio sovrastante; questi rilevati possono essere rigidi o flessibili a seconda del comportamento che hanno in relazione alle deformazioni;
- Sistemazioni idraulico-forestali, che si dividono in:

- rimboschimento: dal momento che gli apparati radicali delle piante sono in grado di conferire al terreno maggiore coesione e resistenza agli sforzi di taglio, è possibile utilizzare questa tecnica per prevenire fenomeni franosi;
- opere di drenaggio superficiale, cioè quelle opere in grado di allontanare l'acqua piovana che andrebbe ad erodere il terreno; alcuni esempi sono le canalette superficiali (canali disposti lungo la linea di massima pendenza sul corpo della frana) e i fossi di guardia (fossi longitudinali alla frana posti immediatamente sopra la parte superiore);
- opere di drenaggio profondo, in grado di allontanare l'acqua nel sottosuolo; interventi di questo tipo sono trincee, pozzi e gallerie drenanti.

In caso di terreni rocciosi si può intervenire anche con tiranti, bulloni o chiodi infissi nella roccia che quindi possano sostenere la massa.