

# LA GALLERIA



Se generalmente le caratteristiche dell'ambiente di lavoro, per esempio, in relazione alla sua salubrità, al microclima o all'illuminazione dei vari spazi, sono importanti per valutare i rischi per la salute dei lavoratori, questi fattori di rischio diventano ancor più rilevanti in ambienti particolari come gallerie, caverne o pozzi.

- ***Il termine galleria si riferisce a ogni corridoio sotterraneo indipendentemente dalle dimensioni della sezione trasversale e della lunghezza.***



- *In base alle funzioni a cui la galleria è destinata si possono distinguere:*
  - gallerie stradali;
  - gallerie ferroviarie;
  - gallerie per acque;
  - gallerie minerarie;
  - gallerie per gasdotti e oleodotti;
  - gallerie per fognature;
  - gallerie militari;
  - gallerie o caverne per centrali elettriche e simili.



- *In base alle condizioni topografiche si usa distinguere:*
  - gallerie di montagna;
  - gallerie di pianura;
  - gallerie sottofluviali o sottolacustri;
  - gallerie sottomarine.



In relazione alle caratteristiche geologiche dei terreni attraversati, le forme e le dimensioni delle sezioni variano anche all'interno di una stessa galleria.

Per ottimizzare la scelta della sezione della galleria è necessario uno studio geologico da svolgersi sia in fase di progetto sia in fase di esecuzione della galleria.



In fase di progetto lo studio comprende:

- **studio geologico dettagliato** di una striscia di terreno la cui larghezza dipende dalle caratteristiche geologiche locali. Lo studio va effettuato lungo il tracciato preliminare della galleria;
- **costruzione di una serie di profili geologici teorici trasversali e longitudinali**, relativi al tracciato preliminare della galleria, allo scopo di individuare il tracciato più favorevole;



- **costruzione di profili definitivi tramite prospezioni geofisiche, sondaggi geologici;**
- **ricostruzione delle condizioni idrogeologiche prevedibili lungo il tracciato reale della galleria;**
- **ricostruzione del profilo geotermico (per le grandi gallerie);**
- **previsioni di eventuali emanazioni gassose.**



I dati geologici raccolti in fase di progetto ed in fase esecutiva servono a provvedere agli apprestamenti tecnici necessari per la realizzazione dell'opera: macchinari, utensili ed attrezzature più adatte all'esecuzione dei lavori.

Servono, inoltre, alla predisposizione dei materiali necessari per le armature ed all'attuazione di tutte le precauzioni e i dispositivi necessari per eventuali venute di acqua o emanazioni gassose.



# Classificazione delle rocce

La classificazione delle rocce, oltre a permettere valutazioni di natura geologica, ha una stretta relazione tecnologica con i metodi di scavo e consente una prima valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

Inoltre una corretta classificazione è un elemento importante per la progettazione del rivestimento galleria.

***Per metodi di scavo si intendono le operazioni di abbattimento del materiale dal fronte secondo precisi schemi di avanzamento.***



# Stabilità delle strutture in roccia

- La valutazione e la determinazione delle condizioni di stabilità delle strutture in roccia è un problema geomeccanico di notevole importanza.
- Lo strumento per affrontare per via analitica questi problemi è la **meccanica delle rocce**.



Il problema fondamentale da risolvere è **conoscere la risposta della struttura in roccia** in termini di sollecitazioni o di deformazione ai carichi ad essa applicati.

I carichi possono essere imposti, ad esempio quelli dovuti a costruzioni superficiali, oppure indotti ovvero derivanti dalla redistribuzione delle tensioni attorno ad uno scavo sotterraneo o anche superficiale.



I **calcoli di stabilità** sono complessi e per di più le informazioni sulle proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso sono, in linea generale, piuttosto incerte.

Nell'analisi a rottura viene determinato il carico di totale di collasso della struttura assumendo un prefissato meccanismo di rottura.

Il carico di rottura determinato deve essere poi confrontato con il carico reale della struttura.

Il meccanismo di rottura fa generalmente riferimento alla resistenza allo scorrimento della roccia.



# Stabilità degli scavi in sotterraneo

Il massiccio roccioso inalterato è soggetto a uno stato di **tensione** dovuto principalmente al peso del terreno ed eventualmente a spinte di natura tettonica.

Lo scavo di una galleria o di un pozzo comporta una redistribuzione delle tensioni attorno allo scavo stesso.

Questa redistribuzione deve compensare le tensioni non più trasmesse a seguito dell'effettuazione dello scavo.



Durante questo processo di redistribuzione le rocce tendono verso una nuova condizione di equilibrio subendo delle deformazioni che comportano una riduzione della sezione dello scavo.

Nel caso che le deformazioni delle rocce non superino, almeno per il tempo in cui non si è provveduto con armature, il **limite elastico della roccia**, lo scavo può rimanere per lungo tempo senza sostegno.



Se alla deformazione elastica si sovrappone quella plastica, si producono fessurazioni e ne risulta una disgregazione della roccia attorno allo scavo.

La manifestazione esterna di questi stati di deformazione consiste in un **abbassamento del tetto dell'opera** e nella **formazione di fessure** dapprima invisibili e poi crescenti con il tempo.



L'allargamento delle fessure provoca il distacco di parti di roccia di grandezza variabile in funzione delle caratteristiche geomeccaniche della roccia stessa.

Le rocce a comportamento prevalentemente elastico danno luogo a rotture per frattura, mentre quelle a comportamento plastico danno luogo ad un flusso continuo della roccia.



Uno stato avanzato di disgregazione può provocare il franamento di grandi masse di roccia. In questi casi è necessario provvedere con armature.

La variazione dello stato di tensione, che provoca la deformazione delle rocce in vicinanza di uno scavo, si limita ad una certa regione che può essere chiamata zona d'influenza dello scavo.

Nella zona d'influenza possono distinguersi due ulteriori zone:

- una confinante con lo scavo detta di *rilassamento delle tensioni*;
- l'altra di pressione nella quale lo stato di tensione è più elevato di quello originario.



Esaminiamo il caso più semplice di una galleria scavata in una roccia a comportamento linearmente elastico.

Un'ultima ipotesi è quella della geometria piana del problema che risulta pienamente soddisfatta vista la prevalenza di una dimensione (la lunghezza) rispetto alle altre due dello scavo.



# Sezione della galleria

- Le **dimensioni e la forma di una galleria sono dipendenti dalle sagome di ingombro dei mezzi di trasporto che la percorrono**, oltre che dalla tipologia e dalle condizioni di carico dei terreni attraversati.
- Per le **gallerie ferroviarie** si avranno sezioni di galleria ad un solo binario e sezioni di galleria a doppio binario. All'interno delle rispettive sezioni sono iscritte le sagome di ingombro dei vagoni ferroviari.



Per le **strade** ordinarie la sezione di galleria può variare sensibilmente sia in rapporto ai tipi di terreno attraversato sia in relazione alla larghezza del piano stradale. L'altezza deve essere di almeno cinque-sei metri.

Nei **tracciati autostradali** vige la tecnica di costruire gallerie affiancate, cioè gallerie distinte per ogni senso di marcia. Tali gallerie sono intercomunicanti mediante by-pass, o cunicoli di collegamento fra le due corsie.



Per quanto riguarda la **spinta dei terreni**, la sezione avrà una linea di contorno tale che i rivestimenti di calotta, dei piedritti, e del piano di galleria, possano sopportare le sollecitazioni del terreno che insistono sul rivestimento.

Nelle gallerie si forma intorno alla sezione di scavo un corpo disgregato che esercita pressioni sul rivestimento mediante una curva naturale immaginaria che, per terreni resistenti, ha la forma di una ellisse.

Per i terreni argillosi la curva assume la forma approssimativa di un cerchio generando un campo tensionale di tipo idrostatico.



# Metodi di scavo

Le metodologie di scavo sono molto diverse e con esse le relative tecnologie.

Tuttavia comune ad ogni tecnica di scavo è il complesso di operazioni eseguite in sotterraneo che si possono riassumere in:

- ***scavo***
- ***consolidamento***
- ***smarino***



## 1) Tecnica dello scavo

In generale i lavori per l'esecuzione di una galleria si iniziano con l'escavazione di un cunicolo di avanzata nella parte superiore della sezione (in calotta) o nella parte inferiore. Il cunicolo continua per tutta la lunghezza del tracciato ed ha anche uno scopo esplorativo.

Quando lo scavo del cunicolo è sufficientemente progredito si procede allo scavo stesso estendendolo alle altre parti della sezione.



Necessario aggiungere che, prima di iniziare lo scavo vero e proprio, si eseguono, quando le condizioni del terreno lo richiedano, le operazioni di ***preconsolidamento*** che hanno lo scopo di permettere che le operazioni di scavo procedano con sufficiente grado di sicurezza, con un accettabile controllo sull'acqua e sui detriti, cause di possibili crolli della roccia all'interno della galleria.

Le tecniche per ottenere quanto sopra indicato sono diverse e si possono brevemente così riassumere: *drenaggio attraverso well-point; elettrosmosi basata sul principio dell'elettrolisi ed utilizzata nel caso di argille; iniezioni di miscele solidificanti nel caso di terreni permeabili e molto porosi (Jet Grouting); infilaggio di tubi di acciaio e infine congelamento con azoto liquido.*



- **Lo scavo con esplosivo**

L'**esplosivo** costituisce il mezzo per l'abbattimento economico delle **rocce dure**.

Tuttavia il suo campo di applicazione si estende, in alternativa ai mezzi meccanici, anche alle rocce di media durezza.

L'abbattimento delle rocce viene effettuato con mine.

*Per mina s'intende il foro eseguito sul fronte di scavo riempito parzialmente di esplosivo e per la restante parte di materiale sterile d'intasamento.*



I fori delle mine vengono eseguiti con carri di perforazione. *Particolari dispositivi consentono di comunicare l'accensione all'esplosivo.*

Nelle grandi gallerie stradali e ferroviarie ogni volata può comprendere fino ad un centinaio di mine: nello scavo della galleria del monte Bianco ogni volata comprendeva 120 – 150 fori da mina con diametro di 40 mm, profondi 4 metri ed un foro centrale da 203 mm di diametro.

Il problema dell'avanzamento in galleria con l'utilizzo degli esplosivi è legato, dal punto di vista strettamente tecnico, al fatto che **il fronte di taglio si presenta con una sola faccia libera**, per cui è necessario crearne una seconda con l'aiuto di un vuoto situato generalmente al centro della sezione.



## 2) Tecnica del consolidamento

Lo scavo di una galleria altera, come già detto, lo stato tensionale dell'ammasso roccioso.

Lungo il profilo della sezione agiscono delle tensioni che possono portare al collasso locale della struttura. Per questo motivo si deve intervenire ancora una volta in relazione alle caratteristiche geomeccaniche della roccia che si sta attraversando.



I **sistemi di sostegno** più correntemente usati sono:

- ***sostegno con calcestruzzo proiettato (spritz-beton);***
- ***sostegno con tiranti;***
- ***sostegno con centine provvisorie;***
- ***trattamenti speciali.***



Lo **spritz-beton** è un procedimento per contenere le azioni delle tensioni agenti sul profilo della sezione di scavo, rivestendolo immediatamente con calcestruzzo armato, proiettato sulle pareti di contorno, ed a presa accelerata.

Aperto un tratto di galleria di lunghezza variabile si procede, previa spruzzatura del vano di scavo per uno spessore di pochi centimetri, al montaggio della centina reticolare di armatura, delle armature secondarie in tondino di ferro e della rete elettrosaldata che verranno incorporate nel getto di calcestruzzo, proiettato e a presa accelerata.



La presa del getto, grazie all'accelerante, inizia nel giro di pochi secondi e dopo un'ora circa il rivestimento diventa solido e può sopportare le successive operazioni.

Il sistema di sostegno con tiranti consiste nel mettere in opera un dispositivo che permette di evitare la decompressione della roccia immediatamente dopo le operazioni di scavo.



A tal fine si procede all'esecuzione di una serie di fori disposti secondo uno schema tipico per ogni sezione e si introducono poi, in ciascuno di essi, dei tiranti metallici o di altri materiali che vengono bloccati con l'aiuto di dispositivi ad espansione o sigillati con malta a presa rapida o resine.



Lo smarino ovvero il trasporto all'esterno del materiale di risulta dello scavo, in particolare nelle gallerie a grande sezione, 80-100 m<sup>2</sup>, è un'operazione complessa ed è quella che impegna **il periodo di tempo più lungo nell'intero ciclo** della volata. Va infatti considerato che la roccia abbattuta subisce un aumento di volume apparente di circa una volta e mezzo il volume che aveva in situ.

Su tale volume apparente va dimensionato l'intero ciclo di smarinaggio.

Le operazioni di smarino si suddividono in due fasi:

– ***il carico***

– ***il trasporto e scarico.***



Il **carico** del marino viene effettuato con escavatori, pale cariatrici ed autocaricatori.

La motorizzazione di queste può essere anche ad aria compressa.

La scelta del sistema di trasporto del marino dipende da alcuni fattori quali la lunghezza della galleria, la sua sezione, la distanza della discarica in cui depositare il materiale di risulta.



Di norma per i lavori di ingegneria civile vengono utilizzati mezzi gommati, dumpers, aventi il cassone ribaltabile, lasciando il sistema a rotaia con scartamento ridotto per i lavori di tipo minerario.

Il caricamento sui dumpers avviene generalmente per mezzo di pale cingolate a scarico frontale o laterale azionate da motore ad aria compressa o diesel.

