

59 - L'UOMO e LE GALLERIE solo per pensionati sfaccendati coraggiosi

Antonio Dal Prà geologo giugno 2023

Il caldo torrido di questa estate, cominciato troppo presto, ha sconvolto inaspettatamente i miei programmi mentali e i miei normali intendimenti e mi sono trovato a scrivere una strana Geoillazione, la 59esima, su un argomento inusitato, certamente estraneo ai gusti dei miei normali lettori. Le gallerie... A chi vuoi che interessino le gallerie... Non piacerà a nessuno o solo a qualcuno di molto sfaccendato o di insana curiosità. Ma mi spingevano lontani ricordi dei miei lavori professionali, perché qualche galleria l'ho studiata anch'io. Dal punto di vista geologico naturalmente.

Ricordo quando, da giovine assistente all'Università, il mio Prof. su incarico di ENEL mi affidò la redazione dei profili geologici preliminare delle gallerie in cascata di derivazione idraulica Lago di S. Croce-Lago Morto-Lago del Restello, lungo l'antica valle del Piave. E l'ENEL mi diede come accompagnatore un vecchio partigiano locale, che conosceva tutti i sentieri del Col Visentin, dove aveva combattuto e dove dovevo svolgere i rilievi geologici.

Ho studiato anche un tracciato in galleria del famoso passante di Mestre-Venezia: poi è stata scelta saggiamente una soluzione in superficie con una terza corsia. Un tracciato sotterraneo sarebbe stato disastroso: interamente in terreni sciolti sotto falda, una frana continua!

Interamente in roccia erano invece un tracciato che ho esaminato per la galleria autostradale Malo-Valle dell'Agno, terminata pochi mesi fa e un altro per l'Alta Velocità Ferroviaria sotto i Colli Berici tra Verona e Vicenza. Su quest'ultimo ricordo le proteste dei gestori di un campo da golf sopra le colline, perché temevano che il passaggio veloce dei treni in galleria sotto i loro prati disturbasse le operazioni dei giocatori intenti a correr dietro ad una pallina per buttarla dentro le buche.

Questa strana Geoillazione mi ha fatto divertire a scriverla, come mi sono divertito a buttar giù tutte le precedenti, senza pensare ai gusti altrui. E naturalmente la invierò ai soliti amici e conoscenti, attendendo con curiosità i loro insulti e i loro micidiali commenti.

L'animale uomo, uno dei tanti animali che scorrazzano sulla terra, ha invaso con le sue strutture enormi aree sulla superficie del nostro pianeta: con città, ferrovie, strade, dighe, laghi artificiali, terre coltivate, e una infinità di altre costruzioni. Ma, essere ingordo e mai contento, invaso da frenesie continue di guadagno e in perenne lotta con i suoi simili, si è intrufolato anche nel sottosuolo come le talpe, cercando nuovi spazi per vivere, per difendersi, per estrarre materiali utili, per muoversi con velocità sempre maggiori da una parte all'altra.

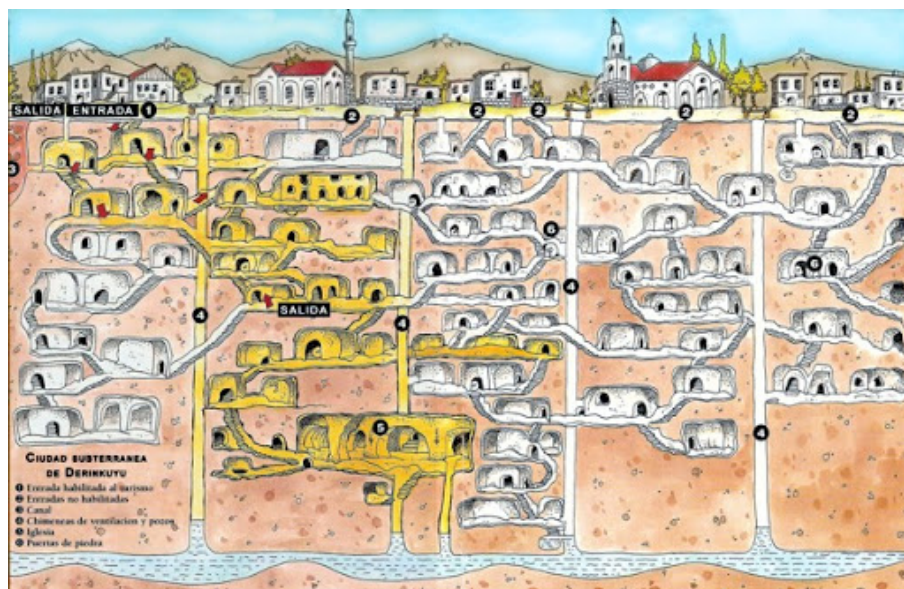
Ha cominciato a scavare nel sottosuolo fin dall'antichità, da molti secoli, anche in epoche preistoriche. Sono state scoperte da tempo molte strutture sotterranee antiche, realizzate per necessità diverse in varie parti del pianeta, che rappresentano fantastici esempi di ingegneria del mondo passato, capolavori di manodopera quando le macchine di escavazione e gli esplosivi da mina non esistevano. Alcune di esse, ancora oggi, rappresentano enigmi irrisolti per la qualità e la precisione delle loro finiture.

Città e villaggi sotterranei, con caverne e gallerie a più piani sovrapposti sono state frequentemente scoperte nel sottosuolo di territori dove si sono sviluppate antiche civiltà. Presupposti fondamentali erano, oltre la necessità di rintanarsi sottoterra per una qualche ragione, anche e soprattutto che il

sottosuolo fosse costituito da rocce tenere, facilmente scavabili con attrezzi manuali, e che fossero sufficientemente stabili , non franose, per mantenere lo scavo aperto nel tempo.

Molto famose sono le città scavate nel sottosuolo della Turchia: tra Nevsehire e Kayseri (l'antica Cesarea) sono stati individuati oltre 200 insediamenti trogloditici, tutti con due o più piani sovrapposti, scavati in tufi vulcanici, rocce tenere da scavare e sufficientemente stabili. Le due città sotterranee turche più famose sono Kaymakli e Derinkuyu, in Cappadocia. L'utilizzo principale di queste città era quello di proteggere la popolazione dalle varie invasioni, guerre e persecuzioni religiose che si sono succedute

Il primo a descrivere queste città fu il vecchio simpatico Senofonte, storico e filosofo ateniese (IV secolo a.C.) : nella sua Anabasi scrive che la gente dell'Anatolia aveva scavato città sotterranee per viverci con famiglie, animali domestici e vettovaglie necessarie alla sopravvivenza. La prima costruzione risale al VII-VIII secolo a. Cr., ampliata poi in età bizantina e successivamente



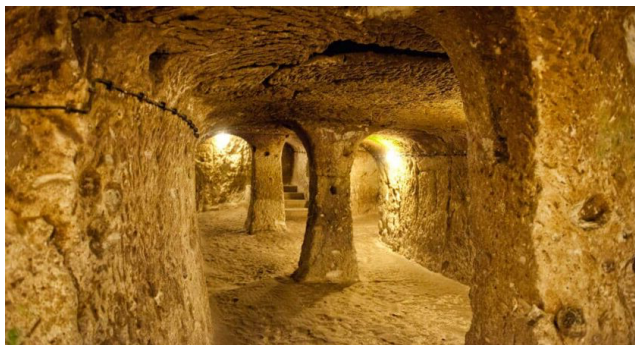
Disegno della città sotterranea di Derikkuyu

Kaymakli è un incredibile villaggio troglodita dell'Anatolia Centrale , risalente al periodo tra il VI e X secolo a. Cr., che si sviluppa in un intreccio di tunnel labirintici, stretti cunicoli, grandi spazi adibiti a vari utilizzi. La città si snoda su 8 differenti livelli , che scendono fino a 43 m sotto il piano di campagna. L'aerazione era assicurata, come in tutti gli insediamenti della Cappadocia, da un pozzo centrale , da cui si dipartivano i vari cunicoli. Considerate le dimensioni, è stato stimato che al suo interno potevano vivere circa 30.000 persone, anche per molti mesi consecutivi. Era collegata con km di tunnel con la città sotterranea di Derinkuyu.

Derinkuyu è stata scoperta nel 1963 durante lavori di scavo. Raggiunge 85 m di profondità con 20 livelli finora esplorati. Una metropoli di un intricato sistema di cunicoli e grotte risalente al settimo secolo a.Cr. Era in grado di ospitare da 30.000 a 50.000 persone. Dotata di pesanti porte di pietra per impedire l'accesso agli invasori, di un grande camino di aerazione e di un pozzo di acqua potabile. Comprende una moltitudine di locali adibiti a cucine, camere da letto, magazzini, una scuola, un tempio, una cantina per la preparazione del vino e dell'olio, e varie stalle per il bestiame.



Kaymakli



Derinkuyu

In Iran, nella provincia di Isfahan, si trova una città sotterranea costruita circa 1.500 anni fa. E' composta da tre piani di tunnel, camere, condotti per l'acqua e aria, magazzini, profonda fino a 18 m, risalente al 224 d.C.

Roma ha il sottosuolo crivellato di gallerie e caverne anche a più piani, aperte da ebrei e cristiani, nelle rocce tufacee, a partire dal II secolo d. Cr., per realizzare catacombe e rifugi.



Roma catacombe.

Il sottosuolo di Napoli è attraversato da una estesa e fitta rete di cunicoli, gallerie, cavità, acquedotti e spazi scavati e utilizzati dall'uomo durante la storia della città a partire da vari secoli prima di Cristo e fino alla fine della Seconda Guerra Mondiale.

Insomma cavità sotterranee aperte anticamente dall'uomo nel sottosuolo per vari usi non sono rare. Soprattutto nei territori dove si sono sviluppate le grandi civiltà. Ma evidentemente si tratta di strutture che non hanno potuto spingersi a grandi profondità ed estensione per le modalità di scavo, allora possibili solo con strumenti rudimentali, e fortemente condizionate dal tipo di roccia costituente il sottosuolo. Solo rocce tenere e non franose consentivano l'apertura di cunicoli e caverne di dimensioni rilevanti.

Il cambiamento assai importante nell'uso del sottosuolo è cominciato solo di recente, con l'avvento dell'esplosivo e delle mine, che hanno consentito di abbattere e penetrare qualsiasi tipo di roccia. Esempi rilevanti dell'intrusione nel sottosuolo dell'uomo con l'uso di mine si sono avuti con la Prima Guerra Mondiale, durante la quale lungo la linea del fronte sull'arco alpino, sulle Prealpi e sulle Dolomiti, è stata costruita nelle rocce del sottosuolo ogni sorta di strutture difensive, di postazioni di artiglieria, di depositi, di ripari e alloggi per i soldati.



Caverne della Grande Guerra sul fronte alpino

A cominciare dall'800 con le mine e poi con l'uso delle macchine a motore sono state aperte gallerie e caverne dovunque, in ogni condizione geologica del sottosuolo: lunghissime gallerie di valico stradali e ferroviarie, gallerie per le metropolitane, gallerie subacquee, caverne per le centrali idroelettriche, per rifugi militari, per depositi di materiali pericolosi, per rifugi antinucleari. Negli ultimi due secoli si è scavato dappertutto.



Perforatrici per i fori da mina sul fronte di scavo

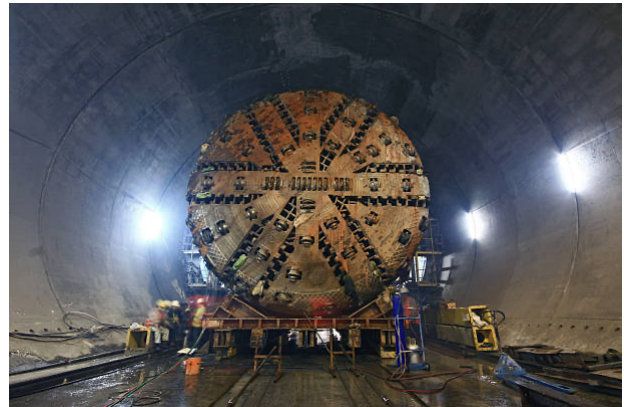


Fori da mina predisposti per la volata



Perforatrice per fori da mina

E poi arrivarono le **frese**, le mostruose talpe meccaniche, grandi operatrici rotanti a motore, che consentono di macinare la roccia incidendola e trapanandola, senza l'uso di esplosivi. Vengono usate per gallerie di lungo tracciato. Hanno la forma di grossi cilindri che avanzano con la sezione pari a quella della galleria, lunghe anche oltre 100 m, che consentono la meccanizzazione completa dello scavo, dall'asporto all'esterno della roccia frantumata fino alla posa del rivestimento di sostegno e stabilizzazione del tunnel. Una delle più grandi frese conosciute è la Talpa Martina, pare la più grande del mondo, capace di scavare 13 m al giorno con picchi di anche 24 m.

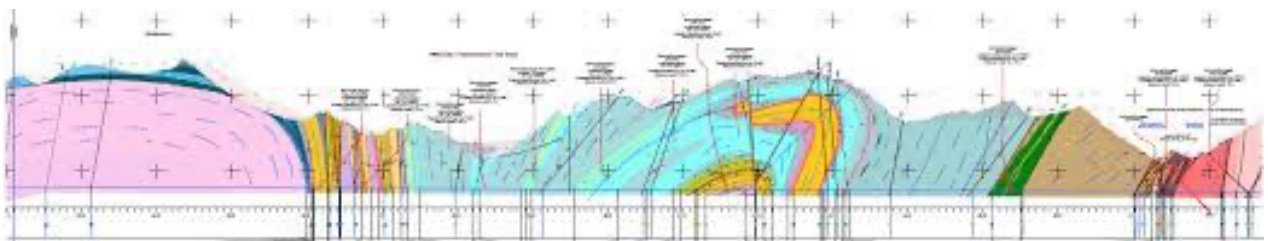


Alcune frese moderne utilizzate per lo scavo di grandi gallerie

Le Alpi sono attraversate da grandi gallerie ferroviarie tra le più lunghe del mondo, a partire dalla metà dell'800. La galleria ferroviaria del Frejus, del 1871, tra Italia e Francia, è lunga oltre 13 km. Fu un'opera di ingegneria di portata storica. La galleria del San Gottardo, inaugurata nel 2016, lunga 15 km, collega il Ticino alla Svizzera. La galleria del Sempione, lunga oltre 19 km, la prima canna finita nel 1906, la seconda nel 1921, sotto una copertura massima di 2145 m, collega l'Italia con la Svizzera. La galleria di base del Brennero, in costruzione, sarà lunga 64 km, con una copertura di roccia di 1700 m. L'apertura è prevista nel 2028. Collega l'Italia con l'Austria. La galleria del Terzo Valico, lunga 37 km, sarà completata nel 2026. In Liguria, supera il valico dei Giovi. La Grande Galleria dell'Appennino, terminata nel 1934, si sviluppa per 18 km.

Importanti opere in sotterraneo sono anche i vari tunnel autostradali che sottopassano Alpi e Appennini:

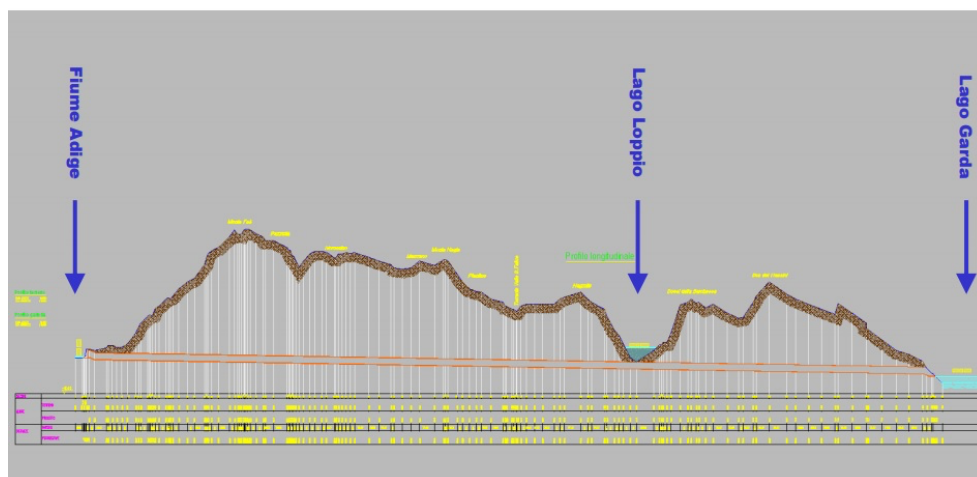
La galleria del Frejus, tra Italia e Francia, è lunga oltre 12 km, aperta nel 1980. Con la seconda canna in costruzione. Il tunnel del Monte Bianco, tra Italia e Francia, con una copertura massima di 2480 m, è lungo 11 km. Aperto nel 1965. La galleria del Gran Sasso, lunga 10 km, a due canne, ciascuna a due corsie, aperta nel 1984, attraversa l'Appennino in Abruzzo. La galleria di Sant'Antonio-Cepina, lunga 8 km, aperta nel 2000, attraversa le Alpi in Lombardia, sulla strada statale dello Stelvio.



Sezione geologica di parte del tracciato del tunnel Monte Bianco : si nota la complessità geologica

Famosa e rilevante opera di ingegneria è la galleria Adige-Garda, tra Mori e Torbole in Trentino, grande canale idraulico scolmatore di 8 m di diametro, che collega il fiume al lago. Lunga circa 10 km, costruita tra il 1939 e il 1959. Serve per laminare le grandi piene dell'Adige riversando in Garda una portata che può arrivare a 500 mc/s, proteggendo Verona dalle alluvioni

LA GALLERIA ADIGE - GARDA ED IL LAGO DI LOPPIO
SEZIONE LONGITUDINALE DELLA GALLERIA





Imbocco della galleria sull'Adige a Mori



Sbocco della galleria sul Garda a Torbole

In Italia ci sono più di 4700 impianti per la produzione di energia idroelettrica, concentrati soprattutto nell'Arco Alpino. In molti casi, a valle dei serbatoi di accumulo sottesi dalle dighe, le centrali idroelettriche con le grandi turbine sono collocate in grandi caverna artificiali scavate nel cuore della montagna, anche con dislivelli di più di 1000 m dalla diga, a cui sono collegate da cunicoli e pozzi aperti in roccia. Le caverne che alloggiano le turbine sono grandissime cavità di decine e decine di metri di altezza e larghezza, collegate all'esterno da tunnel di accesso di grande diametro.



Caverne in roccia per centrali idroelettriche

In molti paesi sono stati costruiti bunker e rifugi militari, antiaerei e antiatomici sotterranei, in caverne artificiali di grandi dimensioni. Uno dei più imponenti si trova nel sottosuolo della città di Lucerna in Svizzera (Querschnitt), costruito nel 1976 durante la famosa Guerra Fredda per proteggere fino a 20.000 persone da attacchi nucleari. E' impostato su 7 piani.

Un chiaro esempio dell'uso del sottosuolo con spazi ricavati mediante lo scavo in profondità sotto la superficie sono le Metropolitane, presenti in molte città e in varie parti del mondo. Sono costituite da tunnel ferroviari di grande diametro e da ampie cavità per le stazioni, scavate decine di metri sotto il suolo. Le maggiori si trovano, in ordine, a: Pechino, Tokyo, Shanghai, Canton, Mosca, Delhi. Bellissima per le opere d'arte presenti nelle sue numerose stazioni è quella di Mosca, su 14 linee, per 447 km quasi tutti in galleria, profonda fino a 62 m, trasporta una media di 2.4 miliardi di persone/anno. La metropolitana di New York, su 472 stazioni e 26 linee ha una lunghezza di poco meno di 400 km, per 1.7 miliardi di persone/anno.



Metropolitana sotterranea di Mosca

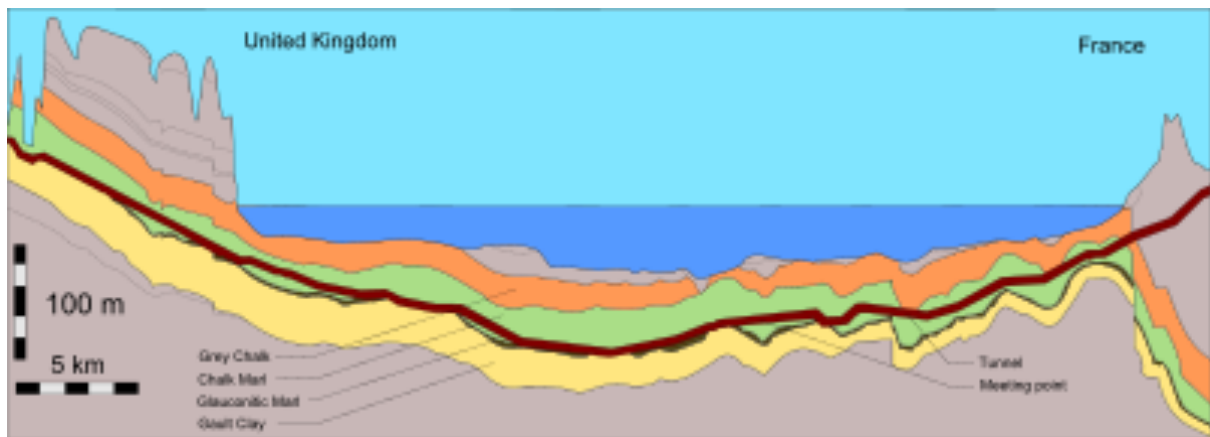


Metropolitana sotterranea di Pechino

In Italia sono attive metropolitane : a Milano, iniziata nel 1964, per 102 km ; a Roma del 1955 per 60 km ; a Napoli per 2.3 km ; a Torino per 15 km ; a Brescia per 13 km ; a Genova per 7 km.

L'uomo moderno si è avventurato anche nella costruzione di grandi gallerie sottomarine. Un esempio molto noto è il famoso Eurotunnel della Manica, galleria ferroviaria a tre canne che congiunge Calais in Francia con Cheriton nel Kent inglese. Lungo 50 km fu iniziato nel 1988, aperto nel 1994. Passa sotto il fondo del Canale della Manica. Corre per circa 37 km sotto il mare. Scavato interamente in rocce calcaree, per la maggior parte corre a circa 40 m al di sotto del fondo marino. Furono impiegati 15 mila lavoratori per 7 anni. Furono adoperate frese meccaniche a piena sezione, in grado di combinare in sequenza le operazioni di scavo, di asportazione del materiale e di posa del rivestimento con uno strato di cemento impermeabile. Nel 2018 sono transitati circa 11 milioni di passeggeri. Il trasporto merci supera i 20 milioni di tonnellate/anno.

In Giappone è stato aperto nel 1988 il tunnel ferroviario sottomarino di Seikan , lungo 53 km, ad una sola canna e due binari. Con 23 km sotto il livello del mare. Collega l'isola di Honshu a quella di Hokkaido passando sotto lo stretto di Tsugaru.



Profilo geologico del tracciato dell'Eurotunnel della Manica



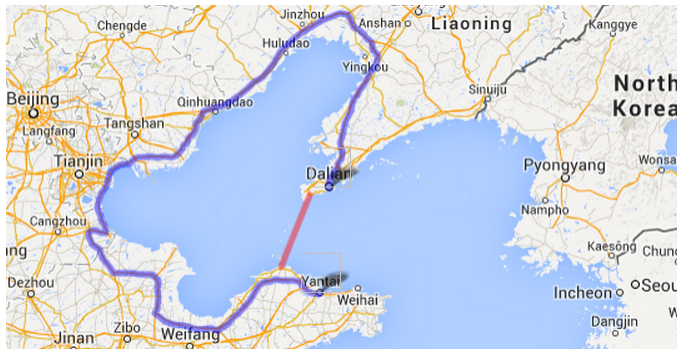
Tunnel sottomarini in Norvegia

La Norvegia, ricca di fiordi che la suddividono, ha costruito varie gallerie stradali subacquee per velocizzare e facilitare il traffico, attraversando l'ammasso granitico che costituisce il sottosuolo della penisola: il Tunnel di Capo Nord lungo 6.8 km, il Tunnel di Bemlafjord lungo 7.8 km, la galleria di Eiksund lunga 7.7 km.

In Cina il lago di Taihu, nella provincia di Jangsu, è sottopassato da un tunnel autostradale lungo 10.8 km e alto 7,25 m.

Negli Stati Uniti il tunnel stradale sottomarino più lungo è quello di Brooklyn Battery, che collega la zona di Brooklyn con il Battery Park di Manhattan.

La costruzione delle gallerie non è così facile come si potrebbe pensare. Costi, tempi di esecuzione, metodi di scavo, difficoltà da superare sono molto differenti da un caso all'altro e dipendono in modo fondamentale dalle condizioni geologiche del sottosuolo lungo il tracciato e nei suoi contorni. E' bene ricordare che il sottosuolo non ha quasi mai carattere di uniformità geologica, ma le variazioni sono la norma. Nel sottosuolo se ne possono incontrare di tutti i colori, tra condizioni molto favorevoli alla costruzione di gallerie e situazioni disastrose, difficilissime da superare.



Tunnel sottomarino in Cina

Ora tento di raccontarvi in breve , con parole povere, come si arriva al progetto di una galleria. Fate bene attenzione però : sono informazioni tecniche noiose con effetto simile ai più noti sonniferi. Quindi potete fermarvi qui e abbandonare. Solo i curiosi e i coraggiosi, pensionati e nullafacenti, possono proseguire, a loro rischio e pericolo.

Cominciamo.

La progettazione di una galleria si basa sempre su uno studio **geologico preliminare e uno definitivo** del tracciato, svolto con rilevamenti geologici in superficie, prospezioni geofisiche, sondaggi meccanici ; e coinvolge varie discipline della geologia tecnica, come la geotecnica, la geomeccanica, l'idrogeologia. Gli studi geologici devono evidenziare il tipo e i caratteri tecnici delle varie formazioni rocciose che lo scavo potrà incontrare, le condizioni di stabilità allo scavo nei vari tipi di roccia, le condizioni idrogeologiche in relazione alle venute d'acqua, la temperatura nei vari punti di avanzamento, la eventuale presenza di gas pericolosi, la probabilità di decompressioni pericolose della roccia (autoclasi), lo smaltimento dei materiali di scavo, la ricerca dei materiali inerti per i calcestruzzi, gli effetti ambientali dello scavo nel territorio in relazione alla circolazione e alla intercettazione di acque sotterranee con riferimento a sorgenti e laghi e alla stabilità del suolo soprastante lungo il tracciato.



Crolli di massi di roccia in galleria

Tutte queste conoscenze , raccolte con gli studi geologici, condizioneranno la fattibilità dell'opera e la scelta del tracciato definitivo più favorevole (che può non essere il più corto tra i due punti da collegare), il preventivo di spesa, i tempi di esecuzione, i metodi di scavo.

Uno studio geologico non approfondito può condurre a situazioni disastrose in corso d'opera.

Normalmente i principali problemi che più comunemente si presentano sono relativi alla stabilità dello scavo e alle venute d'acqua, che spesso sono connesse. Ma i problemi possono essere molteplici e diversi, che talora possono essere accentuati nei casi di gallerie molto lunghe o ad elevata profondità, di scavi di grandi dimensioni, di gallerie parietali o poco profonde e vicine alla superficie del suolo.

Dal punto di vista statico, della stabilità dello scavo, i differenti materiali che si devono attraversare si comportano in modo diverso. Alcuni franano e devono essere sostenuti, altri si deformano lentamente e tendono a chiudere lo scavo sviluppando forti spinte, altri ancora si autosostengono e talora non richiedono rivestimenti di sostegno.

Difficili da attraversare sono i materiali sciolti, incoerenti, come le alluvioni ghiaiose, i detriti di falda, le morene. Sono materiali tipicamente franosi soprattutto in calotta, dove si formano scavarnamenti e fornelli. In scavi prossimi alla superficie, il franamento della calotta può raggiungere il suolo soprastante e provocare sprofondamenti e danni alle strutture esistenti (fabbricati, strade, ecc.)

La situazione diventa ancora molto più difficile se questi materiali sono sotto falda, saturi d'acqua, per il loro carattere di grande mobilità e fluidità, che li spinge ad invadere e inondare lo scavo con colate detritiche fluide. Il loro grado di franosità è elevatissimo e richiedono metodi di avanzamento speciali.



Armatura di gallerie in terreni franosi

Un discorso a parte meritano i terreni plastici, materiali con elevati contenuti di argilla e bassa capacità di rigonfiamento, come morene, argilloscisti, argille, limi lacustri, rocce silicatiche argillificate di alterazione (da tufi, porfiriti, basalti, filladi, marne, ecc.). Questi materiali tendono ad avanzare lentamente e plasticamente verso l'interno dello scavo e a chiudere la cavità, sotto l'effetto del peso dei materiali circostanti. Quando questi tipi di formazioni geologiche argillose contengono abbondante argilla montmorillonitica (fillosilicato di alluminio e magnesio) la situazione diventa ancora peggiore : infatti mostrano grandi capacità rigonfianti con notevole aumento di volume per assorbimento d'acqua nel loro reticolo cristallino. Attraversate da uno scavo, tendono a chiudere l'apertura da tutte le direzioni della sezione, esercitando spinte fortissime che proseguono per tempi molto lunghi.

Per contro, gli ammassi di rocce massicce , compatte e poco fratturate , come i calcari, le dolomie, i graniti, i basalti i porfidi , le arenarie, gli ortogneiss , si lasciano attraversare con scavi a piena sezione e generalmente non richiedono armature. I rivestimenti finali sono leggeri o con solo strato di spritz-beton (gunite). O anche mancanti per lunghi tratti. In ogni caso i tracciati di gallerie in rocce coerenti, anche se stratificate o scistose, o interessate da sistemi non esasperati di fratture,

sono di norma da preferire nettamente a tracciati in terreni sciolti, incoerente o acquiferi, o a tracciati in terreni argillosi plastici o rigonfianti.

Si dice che una galleria di 10 km in calcari può risultare meno costosa di una galleria di 1 km in argille.

Un inconveniente talora pericoloso che può verificarsi durante lo scavo in ammassi rocciosi massicci, non stratificati e poco fratturati è l'**Autoclasi** : si tratta di fenomeni di decompressione violenta dell'anello di roccia attorno allo scavo, che si manifestano con il distacco improvviso, brusco e rumoroso come uno scoppio , di scheggioni di roccia dai piedritti e dalla calotta, con spessori di alcuni cm o qualche dm e superfici di anche qualche decina di m². Lo scavo infatti può produrre uno scarico improvviso di tensione nell'ammasso roccioso, una rapida decompressione , che provoca il distacco violento di lastroni di roccia.



Armature dello scavo in rocce argillose spingenti

Quando gli ammassi rocciosi sono fratturati la stabilità dello scavo dipende dal grado di fratturazione. In zone di faglia , di fasce di cataclasiti , di forti disturbi tettonici , la roccia può risultare frantumata ed assumere caratteri di materiali sciolti incoerenti, conferendo allo scavo instabilità e franosità.

Nelle rocce stratificate, come calcari, arenarie e nelle rocce scistose, la stabilità dello scavo dipende anche dalla giacitura dei giunti di stratificazione. Inclinazioni sfavorevoli, rivolte verso la sezione di scavo può determinare il distacco e lo scivolamento di massi rocciosi. Soprattutto in calotta, ma anche dai piedritti. Anche le pieghe tettoniche possono esercitare una certa influenza ai fini statici dello scavo.

Le venute d'acqua in galleria rappresentano uno degli inconvenienti più temuti dai costruttori e talora uno dei più pericolosi. Nelle rocce coerenti (graniti, calcari, porfidi, arenarie , gneiss, ecc.) l'acqua sgorga concentrata dalle fessurazioni (giunti di strato, fratture tettoniche , zone di faglia) . L'irruzione può ostacolare notevolmente i lavori di avanzamento, per la necessità di allontanare portate talora rilevanti (anche di mc/s). Le più temute sono le rocce carsiche per le rilevanti portate puntuali che possono fornire e per le elevate pressioni che possono avere le venute.



Chiodature e armature in rocce franose

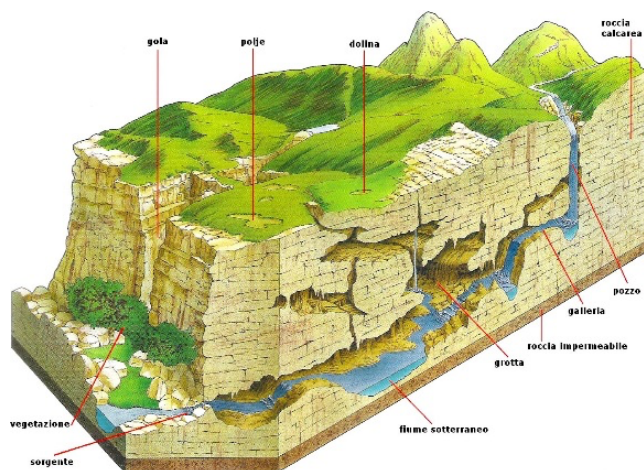


Venute d'acqua in galleria

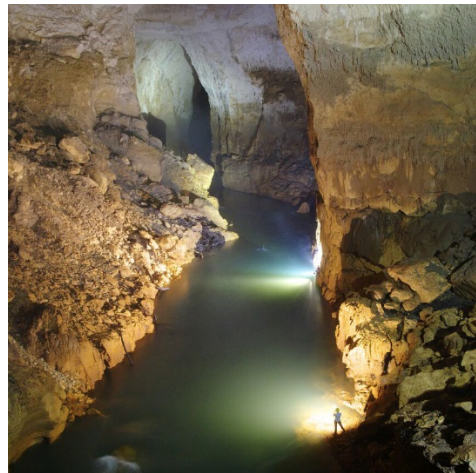
Le difficoltà maggiori per la presenza d'acqua sotterranea si incontrano nell'attraversamento di materiali sciolti, incoerenti e saturi d'acqua (detriti di falda, alluvioni, morene). L'acqua fuoriesce da ogni parte e soprattutto determina condizioni di instabilità eccezionali, specialmente nei terreni sabbiosi, per la fluidità che essi assumono e quindi per la tendenza di invadere lo scavo con grande mobilità. Tra l'altro occorre adottare provvedimenti e accorgimenti costruttivi che permettano il drenaggio e l'evacuazione delle acque incontrate lungo il tracciato.

L'intercettazione di acque sotterranee in galleria e il loro drenaggio all'esterno vanno attentamente valutati in fase di progetto, per verificare il loro rapporto con sorgenti in superficie o con laghi e corsi d'acqua, che potrebbero subire modificazioni importanti.

In fase di studio geologico occorre anche arrivare ad una stima delle temperature che si incontreranno lungo il tracciato dello scavo. Temperature elevate rappresentano un rilevante problema. Valori superiori ai 25-30° sono dannosi alla salute degli operatori. In tali casi occorre predisporre ventilazioni forzate, con un rilevante aggravio economico soprattutto in gallerie molto lunghe e prive di finestre.



Schema di circolazione carsica in massiccio calcareo



Deflussi carsici

Le temperature incontrate in alcune gallerie : galleria appenninica Bologna-Firenze 63° con una copertura di 2.000 m ; galleria del Sempione nelle Alpi 55° con una copertura di 2.200 m; galleria del S. Gottardo nelle Alpi 30° con una copertura di 1.750 m; galleria del Frejus nelle Alpi 30° con una copertura di 1.600 m; galleria del monte Bianco nelle Alpi 22° con una copertura di 2.500 m.

Ma i possibili guai nella costruzione delle gallerie non sono finiti. Durante lo scavo si possono infatti incontrare anche gas pericolosi, che diventano micidiali se sono improvvisi e non previsti. La loro presenza richiede l'adozione di provvedimenti particolari e rende il lavoro disagiata, con notevole aggravio economico. Un accurato studio geologico preliminare può consentire di prevedere la loro presenza poiché i gas pericolosi sono collegabili a particolari tipi di rocce che la galleria attraverserà o che si trovano nelle vicinanze.

Il più frequente e pericoloso è il **metano** CH₄. Infiammabile, ed esplosivo quando è in miscela con l'aria a formare il famigerato grisou (5-14% di CH₄). Si incontra , oltre che nelle miniere di carbone, anche in vari tipi di rocce che contengono livelli di carboni fossili o abbondanti resti carboniosi o bituminosi (filladi carboniose, marne e calcari carboniosi o bituminosi).

Spesso associata al metano e quindi nelle stesse formazioni geologiche (rocce contenenti sostanze organiche vegetali) si può trovare l'**anidride carbonica** (la ben nota CO₂) gas soffocante. Si può incontrare anche in rocce effusive recenti o nei loro terreni di copertura, avendo origine da fenomeni di emanazione gassosa post-eruttiva.

Nelle rocce carboniose si può incontrare anche l'**ossido di carbonio**, molto più pericoloso della CO₂. Velenosissimo, più leggero dell'aria, con una concentrazione di 0.05% è mortale se respirato per 20-30 minuti, con concentrazioni di 0.1 % è letale in brevissimo tempo..

Più raro ma non meno pericoloso è l'**acido solfidrico** o idrogeno solforato (H₂S), dall'inconfondibile odore di uova marce. E' molto tossico e pericoloso per gli occhi: E' combustibile ed esplosivo in miscele maggiori del 6% con l'aria. E' letale se respirato per breve tempo quando la sua concentrazione raggiunge lo 0.2%. Con concentrazioni di 0.05% risulta mortale in un tempo di 20-30 minuti di inalazione. Insomma è meglio evitarlo. Viene collegato con emanazioni vulcaniche e con la putrefazione di sostanze organiche, ma anche con l'azione dell'acqua su solfuri e soprattutto con la riduzione batterica dei solfati, componenti fondamentali delle rocce gessose e delle anidriti..

In terreni vulcanici o prossimi ad essi si può incontrare l'**anidride solforosa** SO₂, per emanazioni posteruttive. Più pesante dell'aria, dall'odore pungente e soffocante, diviene rapidamente letale con concentrazioni dello 0.05%. Questo gas è estremamente tossico.

Contro la presenza di questi gas pericolosi si prende tutta una serie di precauzioni. Tra i più efficaci rimane un efficiente impianto di aerazione e ventilazione. Si usano detectors specifici per la loro segnalazione. Evidentemente ha moltissima importanza la previsione del loro possibile incontro durante lo scavo, sulla base degli studi geologici preliminari al progetto, che mette in evidenza nel profilo del tracciato le formazioni geologiche sospette.

Insomma, durante la realizzazione di uno scavo nel sottosuolo, per gallerie, caverne o altro, si possono incontrare varie situazioni geologiche difficili, che sono dispendiose, pericolose e talora disastrose, soprattutto se non sono state previste e non sono stati predisposti i rimedi del caso.

Nelle situazioni geologiche difficili e per garantire sicurezza vengono prese varie precauzioni ed interventi specifici in funzione del problema da superare, che sono di competenza degli ingegneri di progetto e di direzione lavori.



Posa di gunite armata (spritz beton)



Lavori di sostegno e armature in galleria

In casi particolari si adoperano metodi di avanzamento speciali, per superare tratte molto difficili, caratterizzate da condizioni geologiche molto sfavorevoli, generalmente dipendenti dalla presenza di materiali sciolti incoerenti sotto falda. Nell'attraversamento di tratti costituiti da questi materiali, i terreni sono fluenti ed estremamente mobili, e tendono ad invadere il foro. Si deve allora ricorrere a interventi speciali, come il preconsolidamento con iniezioni di sostanze stabilizzanti, o il congelamento dell'acqua di impregnazione con fluidi frigoriferi, oppure l'uso dello scudo metallico e aria compressa.

Evidentemente esistono varie tecniche per superare situazioni difficili, tecniche che si sono evolute e perfezionate, fino a consentire la costruzione di gallerie in qualsiasi situazione geologica.

Ma quanto ci si impiega a costruire una galleria? Dipende da molti fattori, soprattutto geologici, e dai lavori di armamento (sostegno) e rivestimento dello scavo, e non dalla resistenza dei materiali all'abbattimento. La velocità di avanzamento a galleria finita è molto minore nelle rocce argillose spingenti e plastiche, ma tenere allo scavo, e nei materiali incoerenti acquiferi, piuttosto che nelle rocce dure e resistenti. Infatti l'attraversamento di queste ultime richiede normalmente scarsi interventi di armatura e rivestimenti leggeri, e quindi tempi di esecuzione relativamente brevi.



Congelamento sottosuolo metropolitana Milano



Impianto di congelamento sottopasso lago di Fortezza

Le velocità medie indicative di avanzamento giornaliero ad opera finita per gallerie a grande sezione con metodi di scavo tradizionali, escluse le frese, variano da 10-15 m/giorno (rocce tenere, non franose,) fino a meno di 1 m/giorno (rocce incoerenti, spingenti e materiali sotto falda).

Solo in tracciati interamente contenuti in rocce coerenti, poco fratturate e non acquifere, le velocità di avanzamento, e quindi i costi, sono legati alla resistenza che le rocce oppongono allo scavo. Questa resistenza dipende da vari fattori: la composizione mineralogica (i minerali hanno differente durezza), la struttura geologica (pieghe, faglie), la giacitura di strati e fratture, il grado di fratturazione e alterazione. L'avanzamento dello scavo può essere più rapido in rocce dure ma con caratteri di uniformità di composizione litologica e di struttura geologica, piuttosto che in rocce relativamente tenere ma in condizioni variabili, tali da costringere a continui mutamenti dei sistemi di lavoro.

Naturalmente esistono decine e decine di libri che trattano della Geologia delle Gallerie e che evidenziano la notevolissima importanza delle conoscenze geologiche preliminari per impostare un buon progetto. Come si è evidenziato nelle pagine precedenti, dalla situazione geologica prevista lungo il tracciato dipendono la fattibilità, i costi, i tempi, i metodi di scavo, i sistemi di armamento e rivestimento definitivo. E anche la possibilità di determinare i preventivi di spesa e le gare di appalto.

Lo studio geologico del tracciato di una galleria è un lavoro molto impegnativo per i geologi, che richiede esperienza e capacità non indifferenti, con l'utilizzo di tutti i metodi di indagine sia indirette che dirette, per arrivare al maggior dettaglio possibile. Quando le ricerche preliminari non consentono di raggiungere le necessarie conoscenze e si temono inconvenienti geologici, la costruzione della galleria viene preceduta dallo scavo di un cunicolo esplorativo di piccolo diametro e da fori spia con perforatrici dal fronte di avanzamento.

Bene o male, siamo arrivati al termine.

Credo che pochissimi siano riusciti a resistere fino in fondo alla lettura noiosissima di questa geoillazione sulle gallerie. A questi pochi eroi mi viene da domandare se ritengono che l'uomo si sia accontentato di invadere il sottosuolo aggredendolo con ogni mezzo.

Macchè! L'animale uomo, nella sua irrefrenabile e arrogante voglia di muoversi, di agitarsi, di tentare, di scoprire, sta già pensando di invadere i fondi marini. E non si fermerà qui. Ha cominciato a buttare l'occhio anche nello spazio, verso la Luna, verso Marte. Stiamo a vedere.