

Note tecniche

SULL'ADOZIONE DELLA BULLONATURA A SOSTEGNO DEGLI SCAVI ALL'APERTO E IN SOTTERRANEO

Da diversi anni si è andata sviluppando ed estendendo al di fuori dell'ambiente dei lavori in miniera, ove ha avuto origine, una nuova tecnica per il sostegno degli scavi in galleria, indicata col termine generico di « bullonatura ».

Essa si inquadra nel processo di continua trasformazione che stanno subendo i sistemi costruttivi in genere, in relazione alla crescente meccanizzazione dei cantieri di lavoro, all'introduzione in essi di criteri industriali di lavorazione a catena e alla sempre maggiore incidenza del costo della mano d'opera rispetto a quello dei materiali ferrosi.

Il principio su cui si basa tale tipo di sostegno consiste nell'immaginare che al di sopra dello scavo si formi un duplice arco naturale in senso trasversale e longitudinale con freccia massima uguale alla distanza fra l'ultima armatura e il fronte dello scavo. Infiggendo dei bulloni di lunghezza almeno doppia della freccia dell'arco naturale (Fig. 1) questi risul-

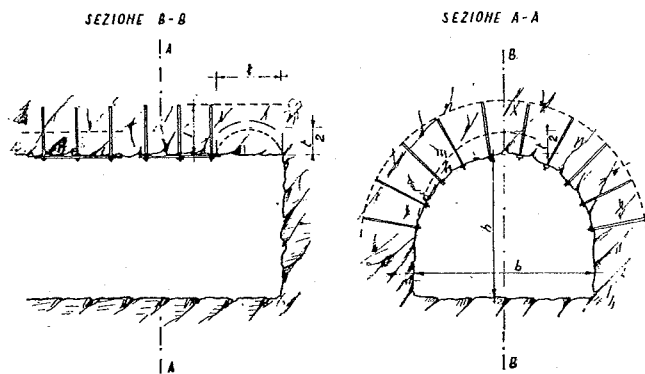


Fig. 1 - Bullonatura della roccia - Arco di scarico.

teranno ancorati alla roccia non dissestata e costituiranno tanti punti di sostegno per la volta [1] e [2].

Secondo altri autori [3] e [4], la statica della bullonatura può essere studiata per analogia con le travi in cemento armato, considerando gli strati di roccia immediatamente sovrastanti il tetto dello scavo come una trave incastrata in cui i bulloni debbano assolvere le stesse funzioni dei ferri nel cemento armato. Pur restando tale teoria lontana dalla realtà per la scarsa approssimazione della roccia all'ipotesi di solido omogeneo, isotropo, elastico, tuttavia può fornire una guida per una razionale disposizione dei bulloni.

Infine il comportamento di questi ultimi può essere in parte assimilato a quello delle biette o bulloni di collegamento, in una trave inflessa composta da più strati sovrapposti, aventi l'effetto di aumentare il

momento di inerzia della trave nel rapporto $\frac{1}{n^2}$ essendo n il numero degli strati interessati dal collegamento.

Rimandando ai trattati specifici circa la statica della bullonatura e i vari tipi di bulloni finora adottati, in quanto segue saranno illustrate alcune interessanti estensioni della bullonatura a sostegno di scarpate rocciose e quale mezzo ausiliario di scavo in galleria.

Un primo esempio [5] è quello riguardante il consolidamento della parete rocciosa sovrastante la camera delle valvole al cantiere della diga Hoover (1).

La superficie di detta parete, pressoché verticale, si presentava in condizioni di equilibrio precario per la presenza di una faglia che isolava dalla retrostante roccia sana una crosta della estensione di circa m^2 2.000, dello spessore massimo, al centro, di circa m 6 e del volume di circa m^3 4.600.

Già all'epoca della costruzione dell'edificio delle valvole, negli anni 1934-35, erano stati presi dei provvedimenti mediante iniezioni di cemento nella faglia e protezione con asfalto della superficie superiore.

Successive ispezioni negli anni dal 1945 al 1952 mostrarono un notevole deterioramento delle protezioni adottate e riproposero il problema di dover rimuovere il materiale pericolante o attuare un suo integrale consolidamento: fu scelta tale seconda soluzione quale la più economica e la meno interferente con l'esercizio della centrale.

Dopo un accurato rilievo della zona da consolidare furono perforati n . 351 fori del diametro di mm 90, a un interasse di circa m 2,50 lunghi circa 4 metri oltre la faglia in direzione ad essa perpendicolare. Il rilievo della faglia, dopo alcuni tentativi di perforazione con sonde a rotazione che consentivano la estrazione di carote, venne eseguito a mezzo di un apparecchio ottico di introspezione avendo realizzato la perforazione con martelli a percussione.

Entro ogni foro venne allogata una barra di acciaio del diametro di mm 50, filettata a un'estremità e ricoperta di carta ad eccezione degli ultimi metri per impedire l'aderenza con la malta.

Sistemati i bulloni, i fori vennero riempiti con boiaccia di cemento (rapporto acqua/cemento 0,8/1,00) con una aggiunta del 0,005% di polvere di alluminio.

Dopo 28 giorni furono messe in tensione alcune barre sperimentali serrando un dado all'estremità fi-

(1) Diga Hoover - Impianti idroelettrici del Boulder-Canyon - Stati Arizona - Nevada - U.S.A. - Bureau of Reclamation.

lettata, applicando una coppia torcente di 23 kgm, e interponendo delle capsule tensiometriche.

Successivamente, mediante dei martinetti idraulici, furono provate le barre a trazione e venne constatata una diminuzione della compressione iniziale delle capsule: pertanto la coppia torcente standard venne portata a 40 kgm, valore questo che consentiva la applicazione di una trazione di 28.500 kg pari a 1.400 kg/cm² senza che le capsule denunciassero perdite di tensione.

Dopo il serraggio dei bulloni furono eseguiti dei fori a interasse di m 2,25 lungo la verticale e m, 4,50 in orizzontale per la zona di monte, mentre nella metà a valle della crosta rocciosa fu adottato un interasse di m 4,50 in entrambe le direzioni. Detti fori furono iniettati con una miscela di acqua e cemento (rapporto 3:1) a pressioni inferiori alle 2 atmosfere; in totale furono consumati 100 qli di cemento.

Quale operazione terminale furono forati 40 fori Ø 65 mm a scopo di drenaggio.

Un analogo problema di consolidamento di una parete rocciosa si presentò durante lo scavo delle fondazioni della stazione di pompaggio alla diga Grand Coulee (2).

Anche qui il consolidamento venne effettuato mediante 46 barre composte ciascuna da 8 ferri quadri di mm 32 di lato e di 2 ferri quadri da mm 25 fra di loro saldati, introdotte in fori del diametro di cm 15, forati per mezzo di sonda a rotazione con taglienti a pastiglie di diamante. La lunghezza media dei fori era di m 12, la massima di m. 18.

Dopo la posa in opera delle barre, il foro veniva chiuso con un tappo di cemento armato e iniettato con boiaccia di cemento con rapporto acqua: cemento 0,71:1,00 alla pressione di circa 1,5 atm.

Nella miscela veniva aggiunto anche il 0,004% di alluminio in polvere per ridurre il ritiro. In totale furono iniettati 200 q.li di cemento.

Terminata la cementazione dei bulloni fu eseguita una serie di fori del diametro di mm 48 nei quali venne iniettata una miscela cementizia (rapporto acqua: cemento 3,33:1,00) alla pressione massima di 28 atm.

A causa delle numerose fessure, che provocavano il refluo in superficie della boiaccia, l'iniezione venne eseguita mediante l'impiego di pistoncino posto alla minima profondità necessaria per eliminare

(2) Diga Grand Coulee: elemento principale del progetto di utilizzazione del bacino del Columbia - Stato di Washington - U.S.A.

l'inconveniente. Durante il corso delle iniezioni furono tenute costantemente sotto controllo, mediante installazione di calibri, le fessure più importanti, ma non venne rilevato alcun movimento.

Un'interessante applicazione della bullonatura in sotterraneo è stata realizzata in Francia durante la costruzione di una galleria facente parte dell'impianto idroelettrico di St. - Pierre - Cagnet sul fiume Drac [6].

La galleria, della sezione di m² 45 e della lunghezza di m 2.282, si svolgeva attraverso calcari del lias stratificati in banchi sub-orizzontali della potenza di circa m 1,00, con interposto un leggero strato di argilla, fessurati da numerose diaclasi perpendicolari ai piani di stratificazione.

Le difficoltà incontrate nel sostegno della volta in sede di scavo di allargo della intera sezione e i forti sovrappessori che si verificavano per la particolare conformazione della roccia, suggerirono di adottare un ancoraggio della volta mediante bulloni: la novità dell'applicazione consisteva nel realizzare la bullonatura prima dello scavo di allargo.

Dal cunicolo di avanzamento in calotta furono eseguiti, in sezioni a interasse di m 1,00, n. 12 fori del diametro di 40 mm e della lunghezza di circa m 4,50 in modo da oltrepassare di m 2,00 il limite previsto

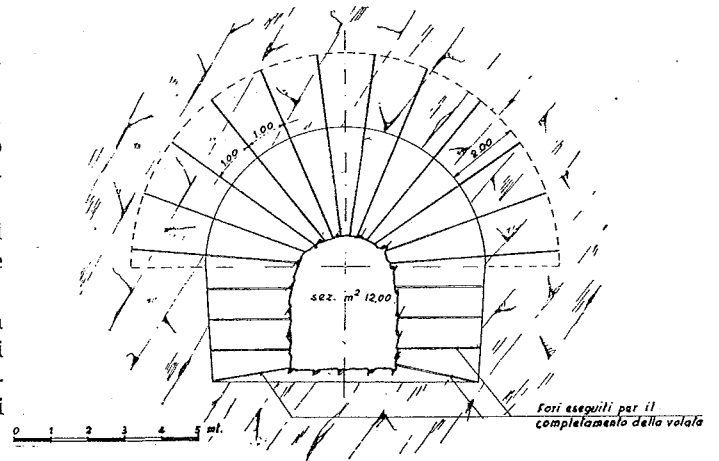


Fig. 2 - Sezione trasversale galleria St. Pierre-Cagnet.

di scavo; otto fori supplementari furono eseguiti nello strozzo (Fig. 2).

Negli ultimi due metri dei 12 fori venne infilato un ferro omogeneo del diametro di mm 12, legger-

TABELLA 1

Oneri di esecuzione	Zona non bullonata ml 342	Zona bullonata ml 658	Economie
Scavo m ²	55,44	50,54	4,90
Legname di armatura m ³	1,905	0,710	1,195
Centine metalliche tonn	0,645	0,400	0,245
Sabbia per iniezioni m ³	6,820	4,510	2,310
Cemento per iniezioni tonn	3,400	2,250	1,150
Incidenza mano d'opera per lo scavo di allargo ore/m ³	3,02	1,78	1,24

Galleria St. Pierre Cagnet: confronto economico fra il sistema esecutivo normale e quello mediante bullonatura.

mente ondulato, in modo da andare a forzare nel foro: l'estremità filettata di detto ferro era protetta con manicotto di gomma.

Per mezzo di un otturatore vennero iniettati i due metri terminali dei fori di calotta con una miscela di cemento e sabbia nel rapporto 1:2 e alla pressione di 15 atm.

Dopo un conveniente periodo di stagionatura le zone di foro rimaste libere furono caricate con esplosivo e fatte brillare elettricamente volate per lunghezze da 5 a 15 metri, cioè di circa 450 m³.

A parte alcune difficoltà incontrate nella perforazione, eliminate con l'adozione di una perforatrice ad aria compressa Montabert R 26 montata su piattina con servo sostegno e coulisse di guida, il sistema ha dato degli ottimi risultati che sono stati riassunti

un criterio quantitativo di valutazione della efficacia dei bulloni [8].

Sono stati presi in esame bulloni del tipo a cuneo e bulloni del tipo a testa d'espansione.

Premesso che il bullone ideale ai fini di un ottimo sostegno dello scavo è quello che resiste fino al carico di rottura dell'acciaio con uno slittamento minimo dell'ancoraggio, furono eseguite una serie di misure degli spostamenti della testa del bullone sotto valori crescenti del carico applicato. La differenza fra lo spostamento sotto un determinato carico della testa del bullone e quello residuo a carico zero è stata assunta come misura dello « slittamento dell'ancoraggio ».

Per i bulloni a cuneo, chiamando « lunghezza di infissione » la misura dello spostamento della testa

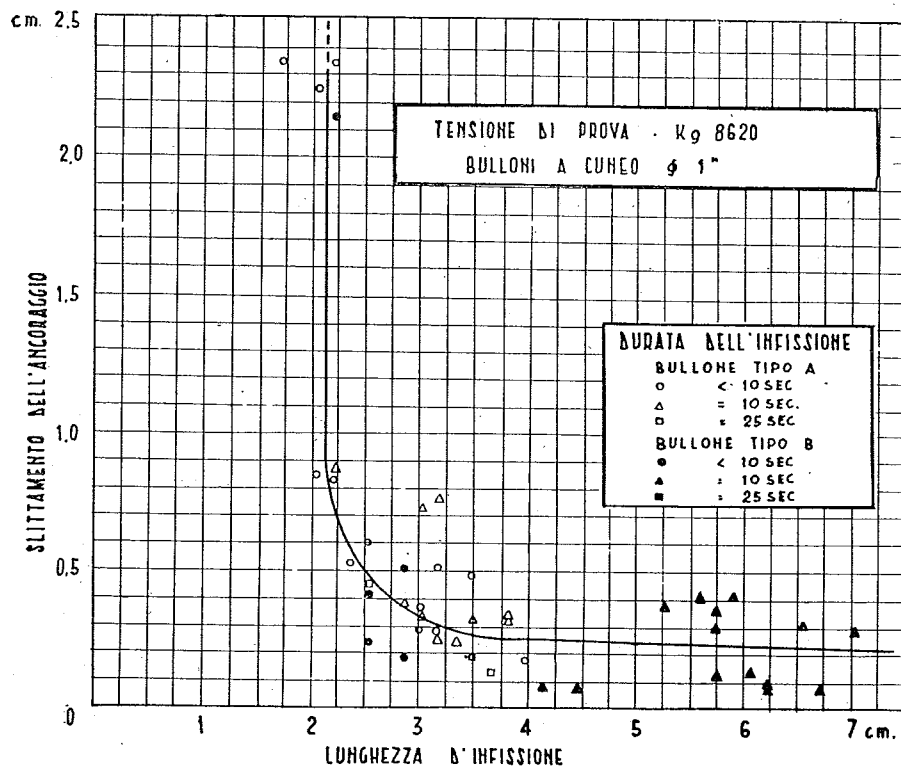


Fig. 3 - Slittamento dell'ancoraggio in funzione della lunghezza di infissione (nelle arenarie).

nella tabella 1 e ha consentito inoltre un risparmio di tempo di 37 giornate lavorative.

Contro tali economie esiste l'onere della bullonatura, che valutato in ragione di L. 3.000 per ml di bullone rappresenta una maggiore spesa di L. 36.000 per ml di galleria, cioè un onere largamente compensato solo dai minori sovrappessori.

Si è già riferito su un esperimento da noi eseguito di tale sistema [7] nel quale si è giunti a conclusioni analoghe a quelle dei relatori francesi; in particolare è stato confermato il concetto che il sistema, ove la natura del terreno lo consenta, è ottimo solo per gallerie di sezione superiore ai mq 40.

Merita un cenno infine una serie di prove eseguite negli Stati Uniti dal « Bureau of Mines » per fissare

del bullone per effetto del forzamento preliminare del cuneo, si è constatato che, per lunghezze d'infissione superiori a un determinato valore, lo slittamento dell'ancoraggio è pressoché costante ed eguale al minimo valore in pratica ottenibile: montando in grafico i valori degli slittamenti dell'ancoraggio in funzione delle lunghezze d'infissione per due tipi di bulloni a cuneo del diametro di 1" e per due tipi diversi di roccia (arenaria e scisti) si sono ottenute due curve nelle quali il valore limite della lunghezza d'infissione al di là del quale le curve sono praticamente orizzontali è risultato di mm 32 (Fig. 3 e Fig. 4): per tali tipi di roccia e di bulloni basterà quindi realizzare lunghezze d'infissione maggiori di 32 mm per ottenere un buon ancoraggio.

Per i bulloni a testa d'espansione le prove, con-

dotte su diversi tipi di bulloni in modo sistematico, hanno mostrato che lo spostamento del bullone è logicamente funzione crescente della tensione applicata, ma è praticamente indipendente dalla tensione di posa entro un campo abbastanza vasto (tensione di posa variabile da 900 a 3.600 kg per bulloni da 3/4").

Per i bulloni a testa d'espansione del diametro di

E' da augurarsi che con il diffondersi delle applicazioni, vengano eseguite prove sistematiche che possano fornire una guida e soprattutto delle indicazioni di carattere quantitativo su una tecnica che viene finora realizzata secondo criteri empirici basati unicamente sulla esperienza e la sensibilità dell'operatore.

Dott. Ing. Mario Beomonte

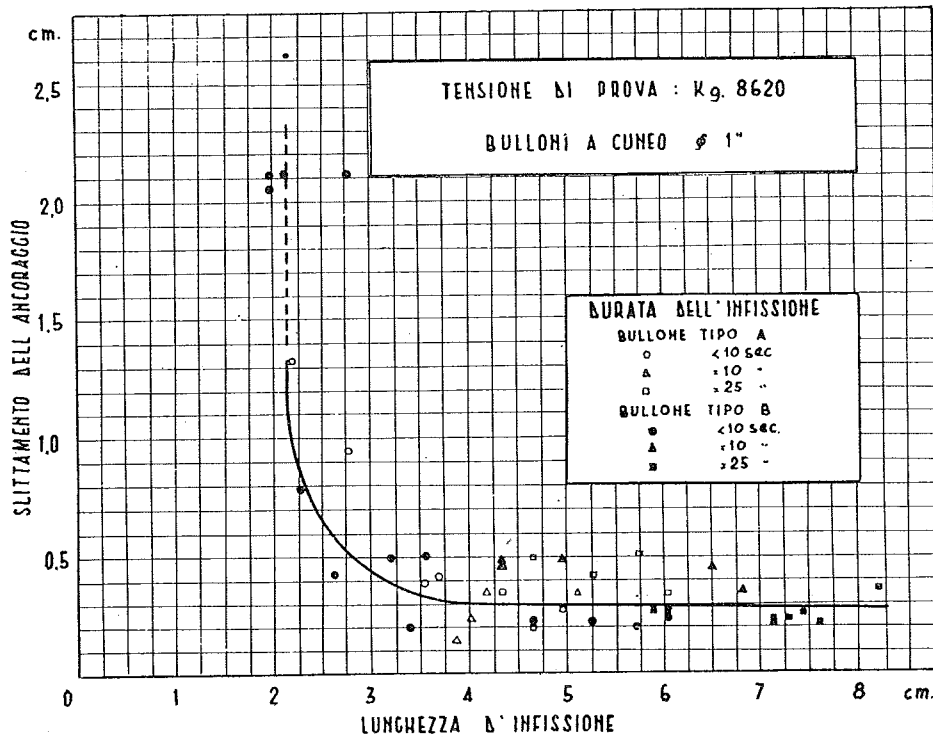


Fig. 4 - Slittamento dell'ancoraggio in funzione della lunghezza di infissione (negli scisti).

3/4" e 5/8" si è infine ricavata una curva media dei valori degli sforzi totali di trazione che si possono immaginare sopportati da un bullone in funzione degli spostamenti della testa, misurati questi ultimi preliminarmente in sede di forzamento del bullone entro il foro.

La curva è stata determinata per bulloni infissi secondo la migliore tecnica, in roccia sana paragonabile a un ottimo tetto di miniera atto ad essere bullonato: essa ha quindi un valore orientativo.

Dovendo infine misurare la tensione alla quale serrare i bulloni, è stata eseguita una serie di prove per stabilire una relazione fra la tensione trasmessa a un bullone e il momento torcente applicato per il serraggio, in modo da poter poi misurare questo ultimo, operazione molto semplice, in sede di serraggio del bullone.

Le prove condotte per vari tipi di bulloni hanno mostrato una dipendenza quasi lineare; anzi per bulloni da 3/4" a testa d'espansione e per valori del momento torcente inferiori a 30 kgm la relazione è $T = 131 M$ ove T è la tensione e M il momento in kgm.

Bibliografia

- [1] L. B. RABCEWICZ - *Bolted supporty for tunnels* - Water Power - aprile-maggio 1954.
- [2] C. LOTTI - *Sulla costruzione delle gallerie in roccia con particolare riguardo al sostegno della volta ed al rivestimento* - Geotecnica n. 6 - novembre-dicembre 1956.
- [3] O. JACOBI - *Zur statik des Ankerbaus* - Bergfreiheit - gennaio 1952, pagg. 9-16.
- [4] T. SEGUITI - *La bullonatura del tetto* - L'industria Mineraria - marzo-maggio 1953.
- [5] A. W. SIMONDS - *L'emploi des boulons d'ancrage pour stabiliser les pentes rocheuses* - Revue de l'industrie minière - n. 8 - agosto 1957.
- [6] P. VOLUMARD et A. BASTIDE - *Ancrage du toit avant abattages à St. Pierre-Cognet* - Revue de l'industrie minière n. 8 - agosto 1957.
- [7] M. BEOMONTE e E. TARONI - *Su alcuni sistemi di ancoraggio della roccia per il sostegno della volta nella costruzione di una galleria* - Geotecnica n. 6 - novembre-dicembre 1958.
- [8] A. J. BARRY, L. A. PANEK, E. THOMAS - *La boulonnage du toit aux Etats-Unis* - Revue de l'industrie minière - n. 8, agosto 1957.