

# Il IV Congresso Internazionale di Meccanica delle Rocce

## Sessioni III e IV: il progetto delle opere in sotterraneo ed i movimenti di superficie conseguenti allo scavo.

P. SEMBENELLI \*

SOMMARIO: Si riportano i contributi più interessanti emersi in alcune sessioni dell'ultimo Convegno Internazionale di Meccanica delle Rocce.

### Tema 3 - **Progettazione di opere in sotterraneo in relazione ai metodi esecutivi moderni**

La riunione sul III Tema si è tenuta nella mattinata del 6 settembre sotto la presidenza del Prof. L. MULLER. Relatore generale l'Ing. D. PRADER del Politecnico di Zurigo.

La Relazione generale, pregevole per chiarezza e completezza, si sofferma soprattutto sulle gallerie ed in primis sullo scavo meccanico a sezione piena (mole).

i) Due sono le considerazioni fondamentali che la Relazione sottolinea:

— la incertezza e la difficoltà delle correlazioni tra dati di laboratorio relativi alle rocce da scavare e risultati della vera e propria operazione di scavo;

— la differenza tra efficacia puntuale della mola e l'efficienza complessiva del lavoro di scavo.

Incertezze e difficoltà di correlazioni derivano soprattutto dalla differenza, anche notevole, esistente tra spinta lorda esercitata dalla mola e spinta netta sugli scalpelli. In laboratorio penetrazione e lavoro dello scalpello si rapportano naturalmente alla spinta netta mentre in galleria si può misurare solo la spinta lorda.

In pratica la penetrazione degli scalpelli nella roccia risulta, con buona approssimazione, variare come una funzione lineare della spinta lorda. La penetrazione per una spinta data è determinata dalla resistenza della roccia anche se alcune esperienze sembrano indicare che

la penetrazione non dipenda solamente dalla qualità della roccia, ma anche da altri fattori.

L'efficienza complessiva dello scavo è influenzata molto dalle discontinuità della roccia (giunti).

Passando ad altri aspetti dello scavo con mole, il relatore ha citato l'abrasività della roccia come fattore di influenza determinante nel costo dello scavo ed ha toccato il problema delle vibrazioni della macchina.

ii) Per lo scavo meccanico a sezione parziale (rippers) la Relazione si limita ad indicare l'arrivo sul mercato di macchine sempre più potenti. Sarà necessario un certo periodo di lavoro con queste nuove attrezzature prima di poter trarre delle conclusioni.

iii) Sull'argomento dello scavo con esplosivi, il Relatore indica la disponibilità sul mercato di esplosivi di nuovo tipo ad azione differenziata e si sofferma sulla sicurezza e sugli effetti delle esplosioni sulle strutture vicine. La norma DIN 4150 viene citata come riferimento per problemi di questo tipo.

iv) Sull'argomento del sostegno degli scavi, la Relazione insiste sulla pratica più recente di eseguire misure di convergenza lungo le generatrici della galleria a differenti distanze dal fronte e in tempi successivi. Le misure di convergenza sono considerate il metodo migliore per calcolare i rivestimenti e per capire il comportamento della roccia.

Per quanto riguarda i supporti, si sottolinea l'importanza che il tipo di supporto scelto sia compatibile con il metodo di scavo, soprattutto nei tempi.

v) Il problema delle grandi caverne è trattato alla fine della Relazione senza commenti di particolare rilievo.

\* Dr. Ing. Piero SEMBENELLI, ELC - Elettroconsult, Milano.

Alla Relazione Generale seguono 3 conferenze.

ALAN MUIR WOOD (Sir W. Halcrow and Partners - Londra), illustra risultati di suoi recenti studi su modelli sottolineando la necessità di usare modelli nei quali vengono riprodotte le discontinuità della roccia (giunti) ma che per il resto siano il più semplici possibili.

Dagli studi di Alan Muir Wood emerge l'importanza prevalente delle deformazioni rispetto agli sforzi, importanza che egli illustra con una serie di relazioni tra sollecitazioni, convergenze e tempo.

Wood sottolinea infine l'utilità di seguire nelle prove di laboratorio percorsi di sollecitazione vicini a quelli della roccia in sito e la necessità di strumentare gli scavi più delicati.

J. MARC PANET (Lab. Central des Ponts et Chaussées, Parigi) parla delle esperienze fatte alla galleria del Frejus ove sul solo versante francese furono eseguite 40.000 misure di convergenza su sezioni spaziate 12 m. L'influenza dello scavo al fronte si estende molto di più di quanto non suggeriscano i modelli. Ancora 70 m dietro al fronte, la ripresa dello scavo dopo una sospensione dei lavori, riattiva le convergenze in modo molto evidente.

Sempre in tema di convergenze reali Panet ricorda i modelli a convergenza differita che tengono conto della consolidazione o del rigonfiamento di rocce marno-argillose e dei cambi di volume dovuti non solo alle variazioni degli sforzi principali ma anche alla componente deviatorica.

STEN BRAENNFORS (Impresa Skanska - Svezia) espone con ampiezza di dettagli e ottimi esempi la problematica ed il punto di vista dell'esecutore.

Parla in primo luogo dell'acqua che gioca un ruolo fondamentale nei lavori in galleria. Generalmente le predizioni riguardanti l'acqua sono insoddisfacenti e per mancanza di informazione e per confusione che gli estensori delle relazioni tecniche fanno tra: fatti, interpretazioni e semplici ipotesi personali.

Sten Braennfors smorza l'entusiasmo da molti manifestato per le mole, rivalutando i metodi di scavo tradizionali che, a loro volta, hanno subito miglioramenti importanti in questi ultimi tempi. A rendere lo scavo con mezzi tradizionali più competitivo di quanto non si tenda a credere vi sono anche le possibilità offerte da nuovi esplosivi a fratturazione contenuta.

Parlando dei supporti Sten Braennfors auspica l'adozione di sostegni temporanei che possano poi divenire parte del rivestimento definitivo e invita a considerare la roccia come il principale elemento strutturale in galleria.

Come costruttore, infine, egli parla dei rapporti contrattuali e dei ruoli del Progettista, del Costruttore e del Committente proponendo l'adozione di « Target Price Contracts » per tutti i lavori in sotterraneo di una certa importanza.

Segue una discussione molto aderente ai temi toccati dal Rapporto Generale cui partecipano 18 congressisti, tra i quali spiccano per interesse SCHATZMAN che riferisce delle discenderie del Gottardo e LOUIS che illustra un metodo di prerivestimento sottile eseguito in avanzamento sul fronte di scavo.

#### Tema 4 - **Movimenti di superficie conseguenti a operazioni di scavo**

La riunione sul IV Tema si è tenuta nel pomeriggio del 6 settembre sotto la presidenza del Prof. A. SILVERIO. Relatore Generale il Prof. M. A. KANJI del Politecnico di San Paolo.

La Relazione è ampia e ricca di riferimenti bibliografici.

i) Essa mette in evidenza due fatti:

— che il metodo costruttivo è il fattore di gran lunga più importante nel determinare i movimenti di superficie;

— che la strumentazione e l'esecuzione di misure accurate durante gli scavi sono il miglior modo di verificare il livello di sicurezza e la bontà dei calcoli precedentemente fatti.

ii) Preliminare a qualsiasi discorso e valutazione è un'ottima conoscenza non solo delle linee generali ma anche dei dettagli della roccia. Le prove di laboratorio sono il naturale completamento dello studio in campo. Nella loro esecuzione le tecniche semplici e classiche non sembrano più sufficienti.

Alle prove su campioni di roccia intatta si vanno aggiungendo prove sulle discontinuità (giunti e materiale di riempimento). Queste ultime sono di fatto le informazioni determinanti nelle calcolazioni, soprattutto se queste sono condotte con metodi sofisticati (FEM).

Fa piacere ricordare che le due Memorie collettive presentate dall'AGI sono ripetutamente citate dal Relatore.

iii) Una parte consistente della Relazione tratta delle variazioni del campo deformazioni-sollecitazioni attorno alla galleria, indotte dallo scavo con esempi da casi reali e da studi su modelli. Viene illustrato con chiarezza il formarsi contemporaneo di zone tese e compresse sul contorno dello scavo.

iv) Sono quindi discussi e confrontati due metodi per il calcolo approssimato degli assestamenti superficiali dovuti allo scavo di una galleria a poca profondità.

Può essere utile riportare lo schema del calcolo (figg. 1 e 2).

v) Dopo l'aspetto relativo agli assestamenti viene esaminato il problema delle sollecitazioni.

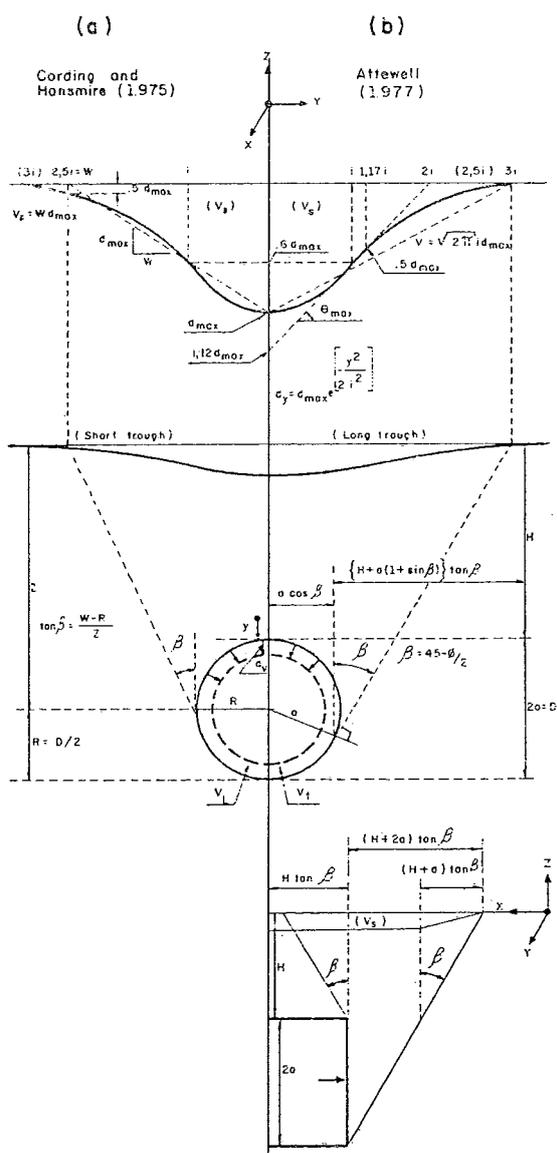


Fig. 1. - Teorie semplificate per il calcolo dei cedimenti in superficie.

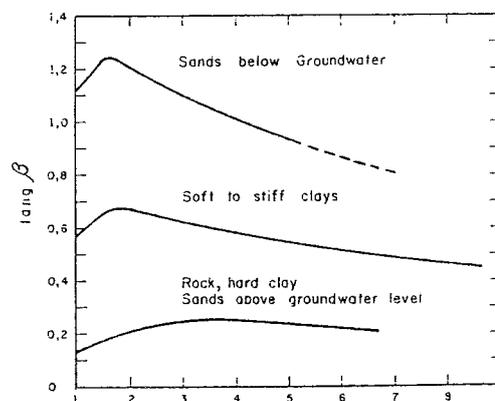


Fig. 2. - Valori di  $\beta$  in funzione di  $Z/2R$  da osservazioni in sito [PECK, 1969].

ni. Il Relatore esamina differenti valori del Fattore di Sovraccarico (OFS Overload Factor =  $\gamma Z/S_u$ ) concludendo che per OFS inferiori a 2 non sono richiesti sostegni e gli assestamenti sono modesti, per OFS tra 2 e 4 i sostegni divengono necessari e per OFS 5-6 la rottura è quasi inevitabile e gli assestamenti comunque importanti.

vi) L'asportazione di porzioni considerevoli di un intero orizzonte minerario non si scosta qualitativamente dallo scavo di una galleria. I dati relativi a miniere sono molti ma spesso anche discrepanti.

vii) La Relazione tocca infine il problema delle scarpate e sottolinea l'interesse ed il potenziale dell'analisi probabilistica del problema raccomandando tuttavia che, qualora la si adotti, sia accompagnata da un calcolo convenzionale e dal relativo valore del Fattore di Sicurezza convenzionale.

Alla Relazione seguono 3 conferenze. JOSÉ JIMENEZ SALAS (Centro Studi Esperienze - Madrid) illustra due casi di subsidenza in Spagna. Nel primo caso, l'estrazione di un banco di 2.5 m a 200 m di profondità su un fronte largo 140 m fece misurare assestamenti decrescenti verso la superficie anche se la larghezza del fronte era supercritica. In parallelo, negli strati più superficiali, furono misurati movimenti corrispondenti ad una situazione di taglio puro.

Il secondo caso citato si riferisce alla metropolitana di Madrid ove le misure eseguite corrispondevano a quanto calcolabile assumendo un modulo del terreno di  $E = 12$  MPa mentre le prove di laboratorio danno  $E = 40$  MPa. La contraddizione è stata superata con un calcolo

a elementi finiti e un modello a moduli decrescenti verso la galleria riprodotto l'effetto di disturbo prodotto dallo scavo.

Jimenez Salas concludendo, suggerisce che, per deformazioni piccole il disturbo è modesto, il comportamento del terreno è circa lineare, e le ipotesi elastiche ancora valide; per scavi a piccole profondità le deformazioni sono grandi, il disturbo forte e il terreno si comporta decisamente come un mezzo plastico.

OSKAR STEFFEN (Steffen-Robertson-Kirsten, Sud Africa) legge la comunicazione dello scomparso Prof. JENNINGS.

Il testo riferisce di uno sfornellamento esteso fino in superficie e sui lavori eseguiti per il suo risanamento.

Successivamente presenta un caso di rottura di una scarpata in argilla scagliosa in corrispondenza del portale di una miniera. Da questi due esempi Steffen trae due insegnamenti per le scarpate: la rottura avviene quando i movimenti cessano di essere elastici e la posizione della piezometrica è di importanza fondamentale.

Steffen conclude illustrando l'efficacia di una strumentazione molto semplice ma installata tempestivamente e seguita costantemente da persone responsabili, capaci di seguire gli eventi, di interpretarli e di prendere le necessarie misure.

PIERO SEMBENELLI (ELC-Elettroconsult - Italia) parla dei movimenti secondari che avven-

gono più spesso di quanto si creda durante i grandi scavi. Per movimenti secondari intende movimenti che esulano dalle ipotesi e dai meccanismi di solito adottati come atti a rappresentare il comportamento della massa rocciosa.

Sembenelli cita 3 casi: lo spostamento orizzontale di vari centimetri di un blocco di roccia in uno scavo alto circa 100 m in colate basaltiche orizzontali; l'apertura diffusa di giunti minori di una formazione marnosa con immersione 35° circa; la rottura per carico di punta di lastroni di quarzite quasi verticali in uno scavo alto circa 300 m.

Segue una discussione vivace e ricca di contributi cui partecipano per ragioni di tempo solo 12 congressisti. Tra di essi merita ricordare BARTON che ricorda l'importanza delle sollecitazioni orizzontali nella previsione degli assestamenti dovuti a scavi in galleria; PITEAU che illustra un caso reale affrontato con metodo probabilistico; EINSTEIN e LONDE che, separatamente, fanno delle considerazioni importanti sulle incertezze connesse con i fenomeni naturali e sulla inevitabile imprecisione del calcolo.

#### SUMMARY

The main contributions to the III and IV Sessions of the IV International Congress on Rock Mechanics, held in Montreux in 1979, are briefly summarized.