

# CH 13 - L'armatura delle rocce mediante gli innovativi ancoraggi meccanici CT-Bolt™

## 1. SCOPO DEL PRESENTE LAVORO

Un gran numero di approcci teorici sono stati proposti, così come molti test di laboratorio, al fine di espandere le conoscenze in merito al comportamento degli ancoraggi da roccia. Comunque, le variazioni della Natura, normalmente regolate dalle condizioni geologiche e geomeccaniche presenti in ogni Cantiere, non possono venire accuratamente simulate né in laboratorio né mediante modelli matematici. Lo scopo di questo estratto è di presentare le conclusioni maturate dopo avere valutato il comportamento di diversi ancoraggi installati nell'ammasso roccioso su dati reali ricavati da prove in situ e compararli alle analisi numeriche ed ai test di laboratorio.

La gran parte di questo lavoro è stato effettuato studiando condizioni di rocce dure (in Norvegia ed in Italia) ma alcuni dati provengono dalla Miniera di carbone di Svea e sono relativi a rocce sedimentarie tenere. I test di laboratorio in calcestruzzo potrebbero anch'essi essere equiparati per analogia a campioni rappresentativi di rocce tenere, se si analizzano i valori delle tensioni tangenziali.

I risultati di queste prove forniranno una base migliore per una appropriata progettazione dei rinforzi mediante sistemi di ancoraggio in condizioni differenti di roccia.

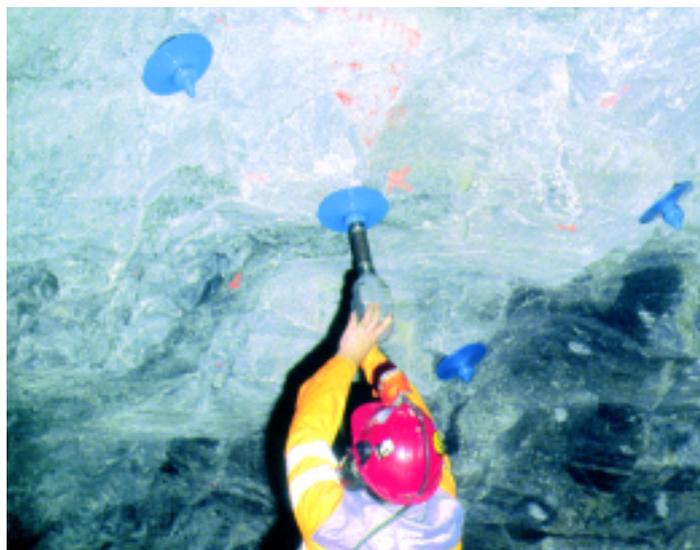
## 2. INTRODUZIONE TEORICA

### 2.1 La curva di reazione del terreno

Il principale obiettivo nella progettazione di un sistema di consolidamento della roccia è di aiutare l'ammasso roccioso ad autosostenersi, per cui viene definito rinforzo della roccia. Questo termine descrive le interazioni tra la matrice rocciosa e gli elementi di rinforzo installati. L'elemento di rinforzo lavora nell'intorno della roccia mediante un'azione di contenimento dei movimenti di blocchi distinti di roccia. I movimenti dei blocchi sono confinati principalmente dall'azione di intersezione degli ancoraggi attraverso le spazature tra i blocchi stessi.

Le deformazioni e le tensioni create nell'intorno di uno scavo sono il risultato delle interazioni tra la roccia e l'elemento di supporto; varie sono le formule che studiano analiticamente questo fenomeno.

Il calcolo dell'interazione viene frequentemente risolto considerando una galleria avente sezione circolare immersa in un campo di tensioni idrostatiche e che presenta curve di



interazione terreno-supporto.

Queste curve comprendono la curva di reazione del terreno e la risposta della curva al supporto (*Figura 1*).

La curva di reazione del terreno,  $f(m, p)$ , descrive come la superficie del tunnel si deforma ( $m$ ) per differenti pressioni ( $p$ ) indotte sulla superficie senza l'installazione di supporti della roccia. Normalmente, una qualche deformazione avviene nell'intorno retrostante il fronte di scavo; inoltre esiste sempre una certa distanza dal fronte al sostegno più vicino al fronte. In questa zona una deformazione iniziale  $v_0$  (che non può essere monitorata) si manifesterà in ogni caso prima che l'azione del supporto faccia il suo effetto.

Una volta che il supporto è stato installato ed è in pieno contatto con la roccia, il supporto stesso incomincia a deformarsi elasticamente come mostrato in *Figura 2*.

La deformazione elastica massima che può essere accettata dal sistema di supporto e la massima pressione di quasi-ultimo è definita come il carico di snervamento del sistema supporto. In funzione delle caratteristiche del supporto, dell'ammasso roccioso e delle tensioni indotte, il sistema si deformerà elasticamente, rispondendo così al fenomeno di contrazione della galleria.

L'equilibrio viene ottenuto se il supporto è installato nei

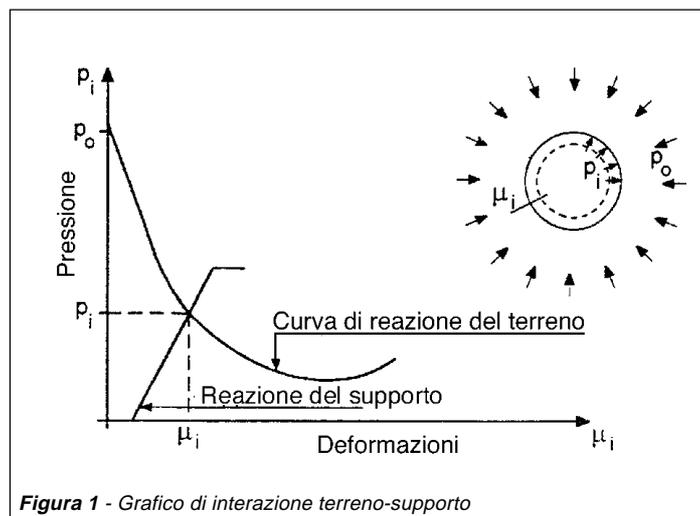
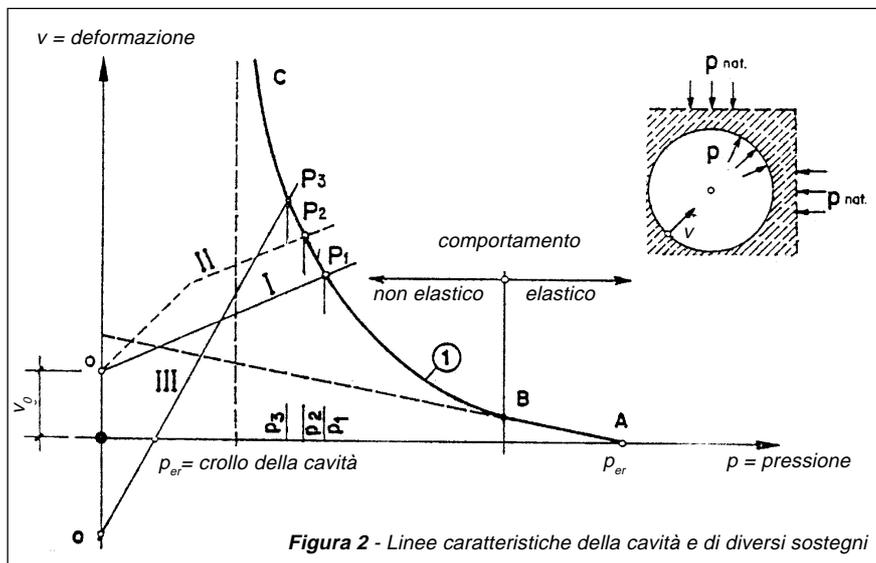


Figura 1 - Grafico di interazione terreno-supporto



tempi corretti e la curva di reazione del supporto interseca la curva di reazione del terreno. Se il supporto viene installato troppo tardi, l'ammasso roccioso potrebbe già essersi deformato al punto che il decomprimersi dello stesso sia già in una fase avanzata. Anche ed inoltre, se la capacità del supporto è troppo limitata, possono avvenire rotture o snervamenti del sistema: le due curve non si intersecheranno. Se le due curve si intersecano nei pressi della zona inferiore della curva di reazione del terreno, significa che un carico minore viene assorbito dal sistema di supporto e l'ammasso roccioso si autososterrà per un limite superiore. Questi meccanismi mostrano l'importanza della fase di installazione del supporto al fine di interagire in modo ottimale con l'ammasso roccioso. Il sistema di supporto ottimale deve pertanto essere installato considerando i seguenti punti:

- Tempo di installazione
- Adeguata resistenza del supporto.
- Adeguata rigidità del supporto.

L'utilizzo della curva terreno/reazione del supporto rappresenta un corretto approccio al problema; comunque, deve essere considerata una concettualizzazione del fenomeno molto complesso dell'interazione ammasso roccioso/supporto, piuttosto che uno strumento pratico di progettazione.

Ciò nonostante, queste considerazioni di base mostrano che quando all'ammasso roccioso viene permesso di deformarsi ne consegue un minor carico sul supporto, se le deformazioni stesse non procedono troppo velocemente. Qualche volta potrebbe essere solo necessario applicare un leggero confinamento alle zone di roccia superficiali instabili al fine di ottenere la stabilità richiesta. Questa tipologia di supporto può essere ottenuta mediante l'utilizzo di ancoraggi da roccia, da soli o in combinazione con reti (elettrosaldate o intrecciate, per uso minerario) o solo applicando uno spessore di spritz beton che può essere in grado di garantire il necessario confinamento della zona superficiale.

## 2.2 Rotture dei sistemi di supporto della roccia

Fallimenti dei sistemi di supporto della roccia possono

frequentemente essere attribuiti alle caratteristiche dell'ancoraggio stesso. Le motivazioni possono essere:

- Scelta sbagliata di un sistema di ancoraggio per una determinata applicazione.
- Non appropriata scelta della direzione del foro.
- Fori troppo lunghi o troppo corti (punto critico per i bulloni ancorati puntualmente a resina).
- Non adeguata iniezione della miscela cementizia.
- Resine scadute (o non correttamente tenute a deposito) e non corrette procedure di installazione (es. tempo di miscelazione).
- Forte aggressività delle acque nel caso di ancoraggi non protetti (Figura 3).
- Fase di disaggio non appropriatamente eseguita (Figura 4).

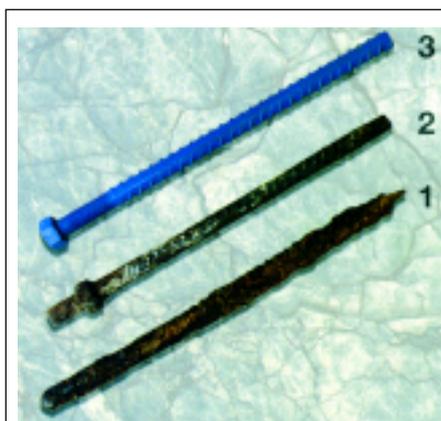


Figura 3 - La figura evidenzia l'aspetto di tre ancoraggi sottoposti ad un test di corrosione accelerata in una camera "a nebbie di sale" (Standard ASTM B-1117) durata 12 mesi (ca. 9.000 ore):

- N° 1: Ancoraggio non protetto
- N° 2: Ancoraggio galvanizzato in profondità
- N° 3: Ancoraggio galvanizzato in profondità e ricoperto di vernice epossidica

Il grafico mostra il numero di unità meccaniche di disgiuntura comparate al numero di incidenti accaduti in Svezia tra il 1983 ed il 1995.

## 2.3 Fattori caratterizzanti

La progettazione di un sistema di rinforzo in roccia mediante ancoraggi è frutto, prima di tutto, di un'analisi accurata dei fenomeni geologici e geomeccanici dell'intorno dello scavo che deve essere

lavorato ed in secondo luogo dello scopo dello scavo stesso. I seguenti fattori devono perciò venire presi in considerazione:

1. Stato tensionale generale.
2. Condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso.
3. Condizioni idrogeologiche dell'ammasso roccioso.
4. Piani di rottura, di faglia e di scorrimento.
5. Pressioni di confinamento richieste.
6. Tempo di azione del sistema di supporto.
7. Esperienze maturate in zona o in zone limitrofe o assimilabili.
8. Scopo dello scavo.
9. Caratterizzazione del supporto primario.
10. Caratterizzazione del supporto secondario.
11. Sicurezza.
12. Geometria di scavo.
13. Considerazioni pratiche di efficienza del Cantiere.
14. Disponibilità degli accessi.

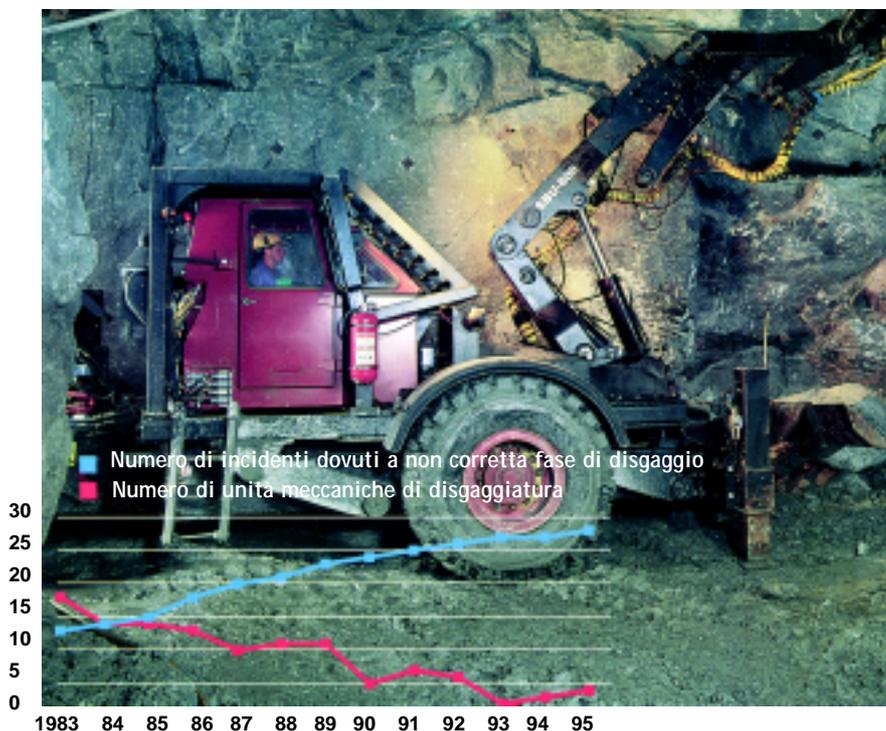


Figura 4 - Scaler SBU, unità di disgiungimento mineraria

15. Tecnologie produttive.

16. Costi e disponibilità.

La determinazione della "chiodabilità" o meno delle rocce è una scienza a sé e molto spesso non si può ricevere una risposta conclusiva; le prove pratiche rimangono il miglior sistema.

Per prima cosa è importante verificare le caratteristiche delle rocce, in modo particolare le caratteristiche che possono interessare il consolidamento mediante ancoraggi. Questa conoscenza viene di solito dall'esperienza diretta di anni di lavoro, ma esistono alcuni principi generali che debbono essere considerati.

In sintesi, le caratteristiche fisiche che rendono più difficoltosa, per cui ove è necessario una progettazione più dettagliata, un'operazione di consolidamento mediante ancoraggi sono:

- 1) Fratture, faglie e piani di minore resistenza di qualunque genere.
- 2) Alterazione dovuta a variazioni di temperatura e di umidità.
- 3) Fragilità e natura cristallina.
- 4) Alto grado di stratificazione o laminazione.
- 5) Grandi dimensioni granulometriche.
- 6) Formazioni con bassa resistenza alla compressione.
- 7) Formazioni argillose, rocciose e di scisto, permeate d'umidità.
- 8) Formazioni di origine argillosa (in matrici rocciose a blocchi), quando sono umide, perché l'umidità può ingenerare fenomeni di gonfiamento, rendendo il materiale plastico.

Si troveranno invece minori difficoltà quando la formazione degli ammassi rocciosi sarà:

- 1) Massiva ed omogenea.

- 2) Non cristallina e, quindi, non fragile.
- 3) Senza estesi piani di minore resistenza.
- 4) Con grani fini fortemente cementati.

#### 2.4 Contenuti fondamentali del progetto

Sulla base degli elementi precedenti devono essere determinate le caratteristiche generali del sistema di bullonatura o di chiodatura, e deve essere definito il programma degli ancoraggi di prova; sulla base dei risultati andranno infine stabilite le caratteristiche definitive del sistema.

I dati e gli elementi che il progetto deve fornire, in funzione delle classi riscontrate, sono:

- la tipologia di ancoraggio e la sua prevista durata di funzionamento;
- il meccanismo di azione del sistema di ancoraggio;
- la forza teorica di utilizzazione equivalente e le sue componenti;
- il numero e l'interasse;
- la posizione e l'inclinazione dei singoli ele-

menti;

- la lunghezza degli ancoraggi;
- il diametro di perforazione;
- le tolleranze di esecuzione;
- le caratteristiche del materiale impiegato per la connessione dell'ancoraggio al terreno ed in particolare, la sua resistenza a compressione;
- le misure di protezione nei riguardi della corrosione;
- la lunghezza del tratto considerato di fondazione (Figura 5);
- l'eventuale ubicazione e le caratteristiche degli ancoraggi;
- nel caso di ancoraggi pretensionati, l'eventuale forza nominale di pretesatura;
- l'analisi delle situazioni conseguenti alla perdita di efficienza di uno o più ancoraggi.

### 3. PRINCIPI GENERALI DEGLI ANCORAGGI PER ROCCE

La chiodatura è uno dei metodi più comuni di sostegno degli ammassi rocciosi, sia per applicazioni Minerarie che nell'ambito dell'Ingegneria Civile.

La progettazione del sistema di supporto deve ovviamente tenere conto delle caratteristiche della roccia in relazione ai suoi meccanismi deformativi, ma non di meno deve considerare le modalità nelle quali l'ancoraggio stesso reagisce. Qualora si introduca un nuovo tipo di ancoraggio, basato su principi di funzionamento diversi dai convenzionali, risulta possibile riconsiderare l'argomento e verificare se esistono nuovi campi di utilizzo, specialmente in quelle situazioni ove l'impiego degli ancoraggi tradizionali avrebbe potuto non essere soddisfacente.

Quando viene effettuato uno scavo in roccia, la redistribuzione delle forze all'interno dell'ammasso genera stati deformativi; in prossimità della superficie dello scavo, il processo di deformazione può portare al rilascio di blocchi isolati da fratture o stratificazioni. Tali blocchi, se non trat-



Figura 5 - Utilizzo di ancoraggi combinati CT-Bolt per il rinforzo di pareti verticali (Sydney, Sito Olimpico)

tenuti, possono in seguito innestare un collasso di tutta la volta.

La funzione principale di un sistema di ancoraggi è quindi di fornire un controllo dei fenomeni deformativi e di sostenere i prismi di roccia ormai disarticolati.

Ciò contribuisce a mantenere le forze di interconnessione dell'ammasso roccioso e, in definitiva, la sua qualità geomeccanica.

Nello scegliere l'ancoraggio più opportuno al progetto specifico, un'attenzione particolare va posta a come l'ancoraggio riesce a mantenere le interconnessioni all'interno dell'ammasso roccioso o, in altre parole, a come genera la propria capacità portante. Gli ancoraggi resistono al carico tramite due meccanismi: adesione (Figura 6) e frizione (Figura 7).

Un ancoraggio a resine, per esempio, resiste agli sforzi a trazione grazie all'adesione della resina stessa che agisce come "collante" tra ancoraggio e roccia.

Al contrario gli elementi a frizione resistono alla trazione per mezzo di forze frizionali tra roccia e bullone di ancoraggio. A secondo del tipo di ammasso roccioso un meccanismo d'ancoraggio potrà risultare più o meno vantaggioso considerando inoltre le particolari condizioni dello specifico Cantiere.

Vanno infatti esaminati anche gli aspetti tecnici quali: la facilità d'installazione, la sicurezza di rispettare nell'esecuzione i parametri progettuali, nonché i risvolti economici. Riassumendo la chiodatura della roccia in sotterraneo viene comunemente utilizzato per:

- bloccare distacchi gravitativi di cunei rocciosi;
- creare in calotta un arco di roccia portante in ammassi fratturati e non;
- sostenere strati rocciosi disomogenei;
- prevenire o stabilizzare l'instabilità a carico di punta in rocce laminate;
- controllare le convergenze in terreno spingente;
- stabilizzare il fronte in terreno fortemente spingente;
- rinforzare la fascia di rottura nelle zone sovrassollecitate e soggette a decompressioni.



Figura 6 - Principio del meccanismo ad adesione:

1) Adesione puntuale mediante bulbo in resina bicomponente (e successivo riempimento a malta; la molla serve per garantire la miscelazione della resina).

2) Adesione puntuale mediante testa ad espansione (e successivo riempimento a malta)



Figura 7 - Principio del meccanismo a frizione (Split Set)

Esistono vari tipi di ancoraggi:

- bulloni attivi ancorati meccanicamente;
- barre e cavi passivi ad aderenza continua;
- barre e cavi pretesi ed iniettati;
- chiodi ancorati per attrito (Split Set e Swellex).

Dal punto di vista tecnico la scelta dipende da:

- 1) natura dell'interazione ancoraggio-terreno;
- 2) rapidità d'installazione;
- 3) rapidità dell'azione di sostegno;
- 4) contributo nella fase di sostegno primario;
- 5) contributo nella fase di sostegno secondario;
- 6) possibilità di controllo della qualità;
- 7) sensibilità alle vibrazioni conseguenti allo sparo delle volate;
- 8) resistenza alla corrosione.

#### 4. CT-BOLT

Il CT-Bolt (Combination Tube Bolt, chiamato anche C-TUBE) è un prodotto innovativo, lanciato da pochi anni dalla Ingersoll Rand, ora Orstal Stal, sui mercati mondiali (la lista referenze è già molto estesa; i primi paesi utilizzatori sono stati Scandinavia, Australia, USA e Italia (Figura 8)). È un ancoraggio resistente alla corrosione che viene installato seguendo il principio geomeccanico del temporaneo ed immediato supporto della roccia mediante una testa ad espansione ed in seguito iniettato per conferirgli le caratteristiche di un ancoraggio permanente.



do all'acqua il contatto con l'acciaio (Figura 10), e ne aumenta le caratteristiche di aggrappo garantendo un effetto antifrizione allo scivolamento, unico.

**Importante:** se si vuole procedere alla fase di spritz beton prima dell'iniezione è possibile installare apposite semplici cannule (costituite da tubetti in plastica di iniezione e sfiato che si accoppiano con i fori praticati sulla testa e nella piastra di ancoraggio) attraverso le quali compiere l'operazione in un secondo tempo (programmare così una campagna di iniezione quando è più comodo per le esigenze di Cantiere).

Il C-TUBE è corredato di un corpo semisferico che manifesta due funzioni: sopporta e distribuisce il carico sulla piastra di ancoraggio e serve da camera di iniezione. Il materiale di iniezione viene pompato nel bulbo

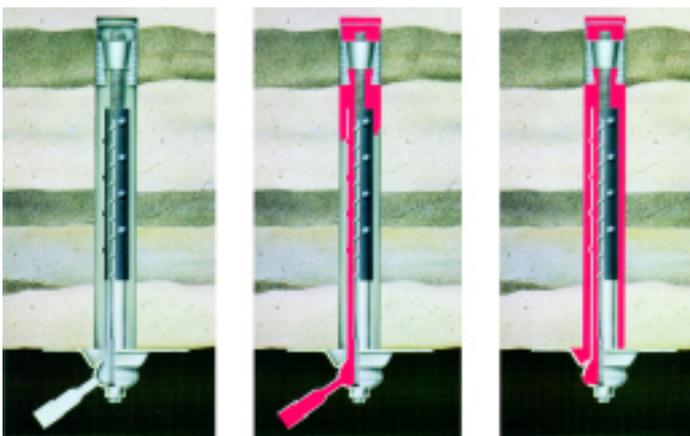


Figura 9 - Principio di funzionamento del CT-Bolt

- N° 1: Il CT-Bolt viene inserito nel foro (diam. da 45 a 51 mm); pretensionata la testa ad espansione si fornisce così un supporto immediato tramite l'apporto della piastra di ancoraggio.
- N° 2: Il CT-Bolt viene iniettato tramite la testa di miscelazione ed iniezione.
- N° 3: La malta rifluisce e sfoga dal foro praticato sulla piastra.

Il C-TUBE presenta rilevanti differenze tecniche, prestazionali e di costo (dell'elemento e della sua posa) dalle altre tipologie di ancoraggi. Una guaina rigida in polietilene, frapposta tra la barra in acciaio e la roccia, garantisce l'impermeabilità eliminando l'azione corrosiva dell'acqua e, nello stesso tempo, viene utilizzata come condotto di iniezione (Figura 9).

La forma particolare della guaina agisce inoltre come centratore continuo del bullone all'interno del foro, impedendo

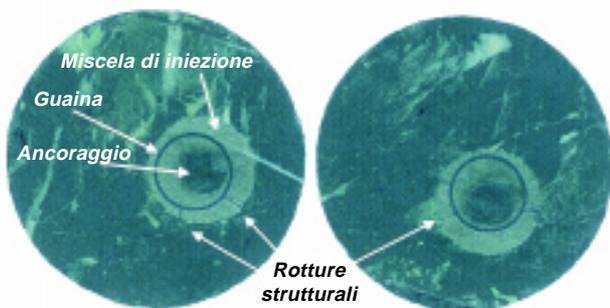
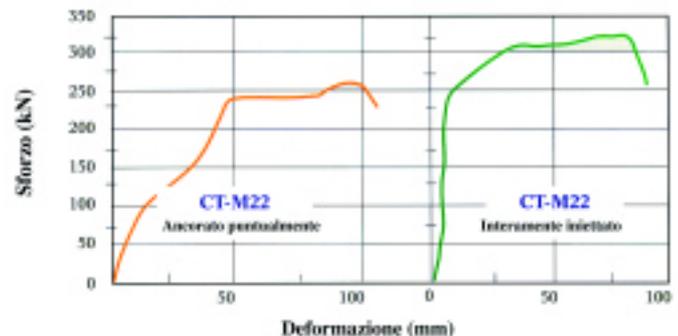
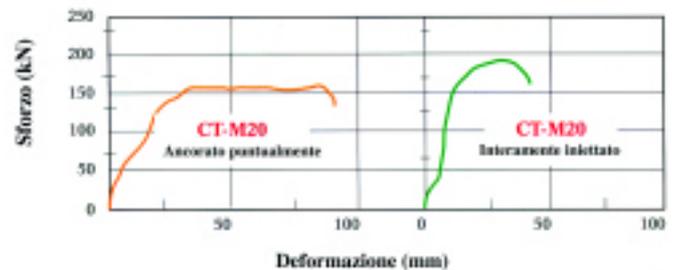


Figura 10 - L'acqua non riesce a penetrare attraverso le fratture della miscela cementizia grazie alla guaina di protezione (di iniezione e di distribuzione del carico).

Modello	φ barra	Carico di rottura per ancoraggio puntuale	Carico di rottura per ancoraggio iniettato
C-TUBE M20	18,6 mm	150 kN	180 kN
C-TUBE M22	21,6 mm	250 kN	318 kN
Lunghezze standard:		da 1,5 m a 8,0 m (oltre a richiesta)	
Diametro di perforazione:		da 45 a 51 mm	

Figura 11 - Curve sforzo/deformazione per i C-Tube CT-M20 e CT-M22, diametro di perforazione 45-48 mm.



Tipo	Materiale	Carico di snervam.	Carico di rottura
CT-M20	Barra a.m.	120 kN (120 kN)*	150 kN (150 kN)*
CT-M22	Barra a.m.	200 kN (250 kN)*	250 kN (318 kN)*
* Portata dopo l'iniezione			

di miscelazione ed attraversa la guaina in polietilene; all'estremità superiore lo stesso rifluisce tra la guaina e la roccia fino a sfiatare dalla piastra di ancoraggio.

Il C-TUBE viene pertanto prima ancorato mediante una testa ad espansione, in grado di reggere un carico variabile fino a 25 ton, ed in seguito iniettato definitivamente; l'effetto di incapsulamento del chiodo gli conferisce caratteristiche di durabilità uniche così come di resistenza alle sollecitazioni. Il C-TUBE è corredato di una piastra di ancoraggio semisferica a cupola a doppia curvatura. La filettatura del C-TUBE viene ottenuta rullando a freddo la barra e mantenendo di conseguenza praticamente un uguale diametro resistente in modo che il sistema ancoraggio non presenti punti deboli di rottura.

Il C-TUBE viene proposto in due versioni per le esigenze dell'Ingegneria Civile del Sottosuolo (ne esistono altre versioni per il campo minerario).

Le curve caratteristiche medie sono riportate in **Figura 11** (in funzione della resistenza della matrice rocciosa si sono riscontrati mediamente valori più elevati). Le caratteristiche degli acciai sono definite nella **Tabella** sottostante.

Modello	φ barra	Tipologia acciaio	Resistenza allo snervamento	Resistenza a rottura	Allungamento %
C-TUBE™ M20	18,6 mm	K500TE	500 - 540 MPa	700 - 730 MPa	3%
C-TUBE™ M22	21,6 mm	BS 7861	650 - 665 MPa	815 - 830 MPa	2%

#### 4.1 Caratteristiche della piastra di ancoraggio ed influenza sul sistema di supporto

Le condizioni dell'ammasso roccioso possono variare in un ampio spettro di possibilità; ciò implica che i problemi di stabilità possono essere differenti anche in zone molto vicine, per cui è importante definire parametri operativi in grado di soddisfare esigenze di varia natura mediandoli al meglio in funzione delle caratteristiche al contorno al fine di ottenere il rapporto costo/sicurezza migliore possibile.

L'esperienza ha dimostrato che i sistemi di ancoraggio, per essere efficaci, devono venire progettati in combinazione

con opportuni sistemi di supporto della superficie dell'ammasso roccioso; l'effetto di tali accorgimenti consente un confinamento della roccia fratturata migliorando ed ottimizzando le prestazioni dell'intero sistema di ancoraggio. Per cui, il Progettista si dovrà impegnare, oltre che sulla scelta dell'opportuno ancoraggio in funzione dell'ammasso roccioso, anche sulla scelta del opportuno supporto superficiale. Il principale supporto superficiale del sistema ancoraggio è la piastra di distribuzione del carico. Un gran numero di piastre di ancoraggio (**Figura 12**) si è reso disponibile sul mercato negli anni passati: piastra quadrata (la prima), circolare, triangolare in varie versioni, rettangolare, circolare semisferica, con una sfera pressata ed un foro scanalato e, l'ultima conosciuta, semisferica con sezione a cupola a doppia curvatura. Nella pratica moderna quasi tutte le tipologie di ancoraggi sono tensionati o pretensionati ad un carico più o meno elevato e non vi è dubbio che sotto un gran numero di condizioni la tipologia di piastra scelta riveste un ruolo estremamente importante. Il principio di tensionare o pretensionare un ancoraggio è legato alla ricerca di un effetto di compattamento degli strati e blocchi di roccia tra l'anima dell'ancoraggio e la piastra di supporto; per cui, per prevenire slittamenti o movimenti dell'ammasso

roccioso si suppone che le caratteristiche della piastra siano analoghe a quelle dell'ancoraggio (almeno sino a quando il sistema lavora puntualmente).

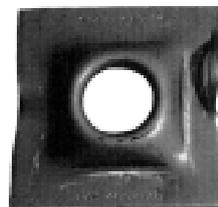
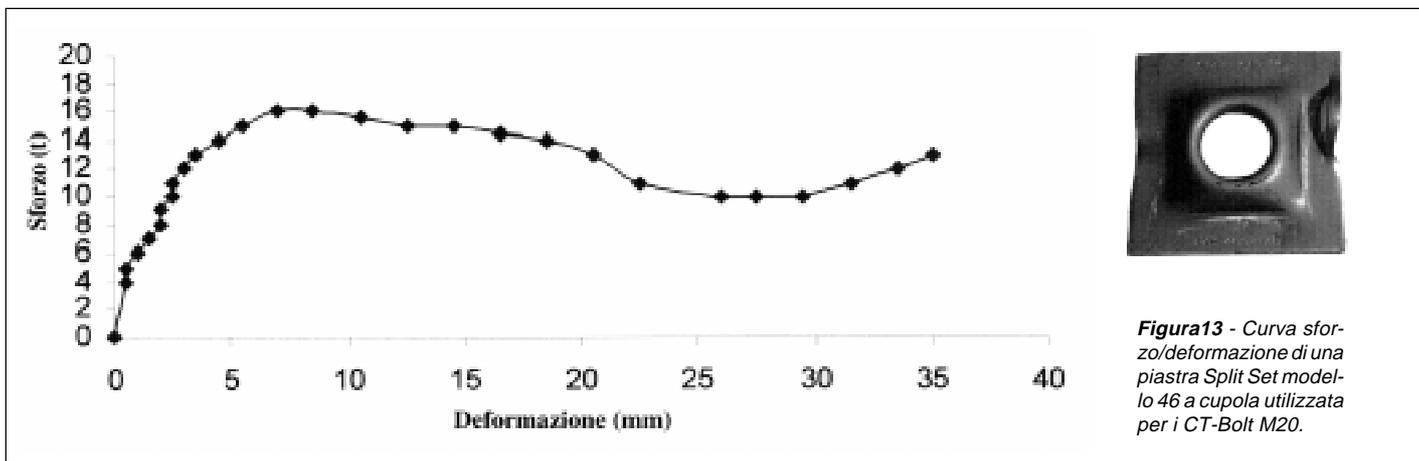
Piastre aventi angoli ritorti verso l'esterno hanno dimostrato che possono fornire un segnale di rottura ad esempio scheggiandosi. Piastre piatte possono fornire

segnali mediante la rottura della roccia sotto la loro superficie di contatto. Piastre troppo sottili avranno la tendenza ad insinuarsi all'interno del foro praticato nella roccia piegando la loro superficie verso l'esterno. Un gran numero di test ha dimostrato che la migliore capacità portante è data dalla forma circolare semisferica a cupola; durante la posa in opera la superficie concava viene posizionata a contatto contro la roccia e durante la fase di tensionamento del bullone tutta la superficie periferica insiste sull'ammasso roccioso fornendo un buon contatto su una superficie limitata. Inoltre, poiché difficilmente la superficie dell'ammasso roccioso risulterà piana (caso in cui si possono utilizzare piastre piatte) l'ancoraggio facilmente presenta un disassamento rispetto alla piastra; la possibilità di scaricare assialmente il carico sulla superficie semisferica della piastra stessa garantisce (per certi angoli di disallineamento dall'asse piastra/ancoraggio) un comportamento ugualmente ottimale. Un gran numero di test ha evidenziato comportamenti inaspettati per alcune zone specifiche di elementi ancorati puntualmente. Dopo il normale comportamento tensione-deformazione, il carico decresce improvvisamente prima di incrementarsi nuovamente. Questo comportamento è dovuto alle caratteristiche della piastra di ancoraggio, causato dalla piastra semisferica a cupola, avente una sola curvatura.

La piastra si comporta come una molla di Belleville (a tazza), presentando uno sviluppo tensione-deformazione normale sino ad un certo carico ove collassa. Questo comportamento potrebbe essere fatale nel caso di un blocco sospeso da tale

**Figura 12** - Differenti tipologie di piastre ed accessori per l'ancoraggio delle rocce.





**Figura 13** - Curva sforzo/deformazione di una piastra Split Set modello 46 a cupola utilizzata per i CT-Bolt M20.

piastra quando il peso del blocco è vicino al carico limite della piastra stessa. Se il carico del blocco aumenta la piastra crollerà ed il blocco scenderà fino al momento in cui lo stesso carico viene riguadagnato. Questo fenomeno potrebbe indurre una velocità al blocco rendendolo non più stabilizzabile con il risultato di un rilascio.

Investigazioni sulla caduta di alcuni blocchi nella miniera di Lefdal Olivine ha confermato che proprio questa ne era la causa [Stjern 1992]: la rondella emisferica ha penetrato la piastra dopo la rottura iniziale ed il blocco si è sfilato dall'ancoraggio.

Il Produttore della piastra dopo essere stato informato di questo fatto ha modificato la geometria della stessa inserendo una doppia curvatura oltre a migliorare la qualità dell'acciaio: l'evento non si è più ripetuto.

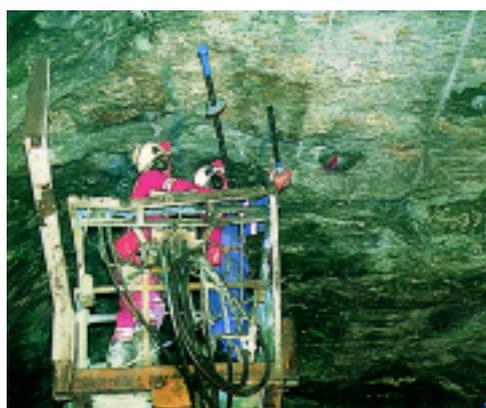
Il CT-Bolt utilizza piastre di ripartizione del carico emisferiche a cupola, la cui caratteristica deformativa sotto sforzo è evidenziata dalla **Figura 13**. Sulla scorta di queste osservazioni e sui test effettuati su un gran numero di campioni, si può concludere che le piastre di ancoraggio migliori generalmente sono quelle più rigide.

Nei casi ove si prevedono elevati carichi deformativi la capacità di snervamento dovrebbe essere ottenuta dal chiodo e non dalla piastra di ancoraggio.

Quando sussiste il pericolo di cedimenti con scoppio di roccia (ad elevate profondità, sono fenomeni di detensione esplosivo) si utilizzano grandi piastre triangolari aventi lati fino a 60 cm di lunghezza; questa configurazione permette che una grande porzione di superficie di roccia venga coperta dalle piastre, pur mantenendo una spaziatura standard degli ancoraggi. Detto sistema, sotto i rischi di scoppio geologico sopra accennato, è risultato essere molto efficace; è l'unico caso ove non si consiglia l'utilizzo di piastre emisferiche a cupola.

#### 4.2 Installazione

Un concetto di estrema importanza per rendere efficiente



**Figura 14** - Installazione manuale di un ancoraggio CT-Bolt

un sistema di ancoraggio è il corretto disaggio delle pareti e della volta dopo la fase di scavo; uno dei più comuni motivi di incidenti in galleria dopo una fase di scavo all'esplosivo è proprio dovuto da una impropria operazione di pulizia degli ammassi rocciosi da blocchi e lastre pericolanti. Impropria è spesso anche l'operazione di scavo mediante un'attrezzatura meccanica di disaggio che potrebbe indurre fenomeni di instabilità in ammassi stabili (vedi

**Figura 4**). La posa in opera di un ancoraggio CT-Bolt viene, nella pratica nostrana, solitamente effettuata manualmente (**Figura 14**), sono comunque disponibili sistemi di installazione automatica (vedi § 4.3). Per quanto riguarda l'iniezione con malte cementizie sono 4 le pratiche utilizzabili:

1. Riempimento del foro mediante un tubo di iniezione che viene inserito sino in fondo al foro stesso e che viene spinto verso l'esterno dalla pressione della malta.
2. Applicazione sull'ancoraggio stesso di due tubi in materiale plastico aventi uno la funzione di tubo di iniezione e l'altro di sfiato dell'aria.
3. Utilizzo di malte preconfezionate ed additivate in "salsicciotti" (aventi un rivestimento poroso che viene immerso in acqua prima dell'inserimento delle stesse nel foro).
4. Applicazione di una guaina concentrica all'ancoraggio (sistema CT-Bolt) che permette l'iniezione nella zona anulare compresa tra ancoraggio e guaina ed il reflusso della malta a rifiuto tra la guaina e la roccia.

L'ultimo sistema è praticamente l'unico che può garantire, in tutte le situazioni, il completo intasamento per cui scongiurare la presenza di sacche di aria o il contatto fisico dell'acciaio con la roccia.

La sigillatura della piastra deve essere prevista nel caso di utilizzo di malte liquide; un prodotto tixotropico a basso rapporto A/C è chiaramente preferibile e garantisce migliori prestazioni strutturali all'intero sistema (soprattutto nel caso di ancoraggi installati subverticalmente). Per una disa-

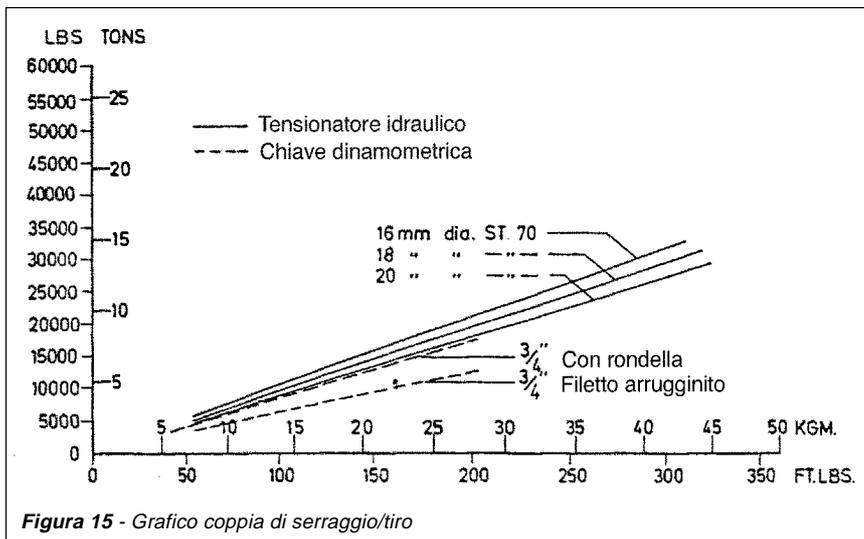


Figura 15 - Grafico coppia di serraggio/tiro

mina più approfondita in merito ai risultati tecnici di laboratorio ed in situ si rimanda a paragrafi successivi. È chiaro che il corretto diametro del foro rappresenta un fattore fondamentale per l'efficacia dell'ancoraggio. Una volta inserito l'elemento, fatta aderire la piastra alla roccia sarà necessario ruotare il dado al fine di ottenere la coppia di serraggio progettuale.

La coppia raccomandata dovrebbe avere un valore compreso tra 135 e 340 Nm o 4,5 kN di carico al di sopra o al di sotto del 50% del limite di snervamento della capacità di ancoraggio [Peng 1978]. Un grafico utilizzabile per determinare il valore della coppia di serraggio è quello riprodotto in Figura 15. Il sistema migliore per pretensionare un ancoraggio è sicuramente il tensionatore idraulico che è in grado di tirare il bullone senza produrre torsioni, per cui evitare i fenomeni di frizione. Un sistema più pratico è l'uso di una chiave dinamometrica o di un avvitatore pneumatico provvisto di dinamometro (Figura 16).

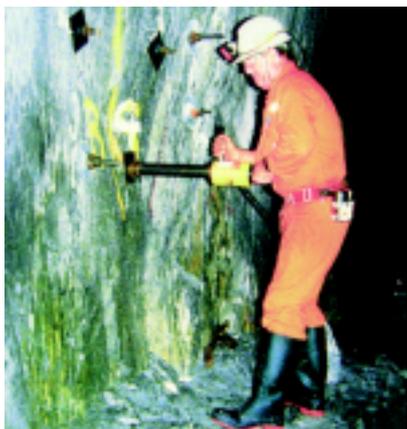


Figura 16 - Fase di tensionamento di un CT-Bolt mediante avvitatore pneumatico

### 4.3 Perforazione per l'installazione degli ancoraggi

Sicuramente la figura del bullonatore automatico rappresenta la macchina più frequentemente nominata nella fase operativa di bullonatura; esso viene utilizzato sistematicamente in Finlandia

ed in Australia (viene imposto per legge per motivi di sicurezza). Esistono, però, numerose altre attrezzature che compongono il corollario di equipaggiamento necessario per la corretta posa in opera della varietà di tipologie esistenti di supporti puntuali.

I tipi principali di sistemi di perforazione, unitamente alle piattaforme elevabili e ai sistemi di sollevamento e prote-

zione, utilizzabili sono:

A. Jumbi in grado di eseguire sia la perforazione che la bullonatura; essi possono essere dotati di uno, due e tre bracci. Molto spesso vengono utilizzate per questo lavoro le attrezzature progettate per la costruzione di normali gallerie o per miniere.

Talvolta la slitta può essere del tipo ad allungamento telescopico per ridurre la lunghezza totale di ingombro.

B. Jumbi per la perforazione di fori lunghi finalizzati all'impiego di speciali ancoraggi di notevole lunghezza. Tali gruppi sono normalmente dotati di un braccio portante un cestello od una piattaforma di lavoro per il maneggio delle aste di perforazione; anche gli ancoraggi possono essere installati utilizzando il medesimo jumbo.



Figura 17 - Installazione automatizzata di un CT-Bolt

C. Attrezzature speciali idonee all'esecuzione del ciclo completo di chiodatura. Le tecniche finora usate con macchine automatiche rendevano incerti e problematici i centraggi tra: foro eseguito dalla perforatrice - eventuale cartuccia di malta da inserire - ancoraggio da infilare; infatti era molto difficile inserire ancoraggi con diametro solo di qualche millimetro inferiore al foro eseguito in roccia fratturata,

cioè di scarsa consistenza e quindi instabile. Spesso, a causa degli spostamenti necessari per cambiare la slitta di perforazione con quella di lancio malta o di inserimento ancoraggio, veniva a mancare l'allineamento tra foro e chiodo con conseguente impossibilità d'inserimento dell'ancoraggio; il problema è stato praticamente risolto mediante un sistema nel quale le slitte sono fisse, cioè non si muovono più rispetto al foro (Figura 17).

Per quanto riguarda l'installazione automatica dei CT-Bolts si possono utilizzare tutti e 3 i sistemi succintamente descritti.

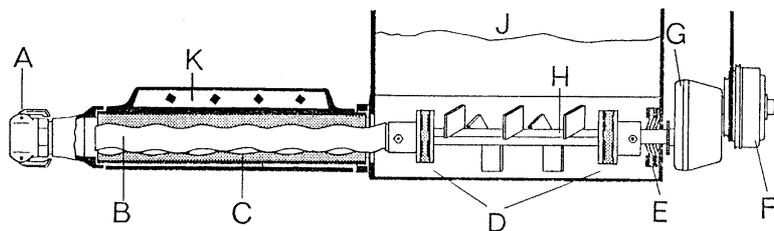
### 4.4 Macchine per la cementazione

Una miscelazione corretta ed un ottimale rapporto acqua/cemento sono le condizioni fondamentali per una buona cementazione.

Il problema dell'intasamento dei fori mediante malte, per la tenuta del sistema di ancoraggio, può essere risolto da un miscelatore di tipo colloidale, costituito da un contenitore sul cui fondo viene installata una camera di miscelazione e una turbina ad albero verticale, capace di ruotare sul suo asse.

Nel contenitore vengono introdotti acqua, sabbia e cemento o miscele preconfezionate aventi caratteristiche tixotropiche;

Figura 18 - Pompa di iniezione a verme con statore regolabile (Putzmeister)



A	Giunto rapido culotta	H	Agitatore
F	Sistema di trasmissione a cinghia	J	Tramoggia
B	Verme	E	Guarnizione albero
G	Riduttore	K	Serraggio regolabile
C	Statore regolabile		

la miscela è aspirata nella camera di miscelazione e viene veicolata dal sistema di pompaggio (a verme [Figura 18] o a pistoni) e scaricata attraverso un tubo all'interno del foro. La turbina del miscelatore può essere realizzata in acciaio indurito per ottenere la massima resistenza all'usura. Le dimensioni delle particelle della miscela non dovrebbero superare i 4 mm.

A titolo d'esempio si può dire che 40 litri di acqua, 100 kg di cemento e 120 kg di sabbia vengono miscelati in 15/20 secondi.

Per una maggiore rapidità di lavoro, il miscelatore può essere munito di un dispositivo taglia-scacchi.

#### 4.5 Il comportamento di un CT-Bolt in materiali scistosi

Una serie di test compiuti sui CT-Bolts nella miniera di Cannington (NO Queensland, Australia), condotti secondo gli standard ISRM [Brown, 1978] hanno fornito interessanti riscontri sul comportamento degli ancoraggi in presenza di ammassi rocciosi ad elevata scistosità.

Gli elementi sono stati inizialmente ancorati puntualmente ed in seguito iniettati usando un rapporto A/C pari a 0,4. Tutti i test sono stati compiuti dopo due giorni di maturazione della malta.

La Figura 19 mostra come le caratteristiche di resistenza in materiali scistosi, comparando i dati con le formazioni di pegmatite e zinco, sono notevolmente migliorate dopo la fase di iniezione grazie all'azione di bloccaggio della malta. I valori di resistenza, per deformazioni nell'ordine dei 20 mm, per un CT-Bolt avente diametro 18,6 mm, sono passate da ca. 8 ton a ca. 23 in materiali scistosi (e da ca. 15 ton a 25 ton per la pegmatite e la roccia zincifera).

#### 4.6 Voce di Capitolato Tecnico

Il CT-Bolt può venire generalmente specificato nei seguenti modi:

- "Ancoraggio da roccia interamente incapsulato, iniettato con malta cementizia avente un effetto di immediato supporto e protezione permanente alla corrosione".

- "Ancoraggio da roccia che può venire meccanicamente ancorato per un supporto immediato e può essere successivamente iniettato per diventare un ancoraggio permanente protetto dalla corrosione".

Più specificatamente:

#### C-TUBE # Modello M20

Ancoraggi da roccia, realizzati con barre in acciaio ad elevate caratteristiche meccaniche (tensione di snervamento > 500 N/mm<sup>2</sup>, tensione di rottura > 700 N/mm<sup>2</sup>) ad aderenza miglio-

riata, di sezione circolare, del diametro minimo di 18 mm, avente elevato limite allo snervamento (> 120 kN) ed elevato limite alla rottura (> 150 kN) ancorata meccanicamente mediante testa ad espansione per un supporto immediato, che possano essere in seguito iniettati mediante idonee malte cementizie per assumere la funzione di ancoraggi strutturali e definitivi aventi elevate caratteristiche di resistenza alla rottura (> 18 ton). Gli ancoraggi devono essere difesi meccanicamente dalla corrosione mediante guaina in idoneo materiale (tipo polietilene) in grado di inibire il passaggio dell'acqua e devono essere provvisti di un sistema di centraggio al fine di preservarli dal contatto con la roccia e permettere una equidistribuzione della malta di iniezione.

Gli ancoraggi devono essere corredati di idonea piastra di ripartizione del carico (del tipo semisferica a cupola) atta a sopportare tensioni asimmetriche.

Le filettature devono presentare simili caratteristiche meccaniche dell'anima dell'intero ancoraggio in modo che l'intero sistema abbia caratteristiche di resistenza omologhe.

#### C-TUBE # Modello M22

Bulloni di ancoraggio, realizzati con barre in acciaio ad elevate caratteristiche meccaniche (tensione di snervamento > 650 N/mm<sup>2</sup>, tensione di rottura > 880 N/mm<sup>2</sup>) ad aderenza migliorata, di sezione circolare, del diametro minimo di 21 mm, avente elevato limite allo snervamento (> 200 kN) ed elevato limite alla rottura (> 250 kN) ancorata meccanicamente mediante testa ad espansione per un supporto immediato, che possano essere in seguito iniettati mediante idonee malte cementizie per assumere la funzione di ancoraggi strutturali e definitivi aventi elevate caratteristiche di resistenza alla rottura (> 32 ton). Gli ancoraggi devono es-

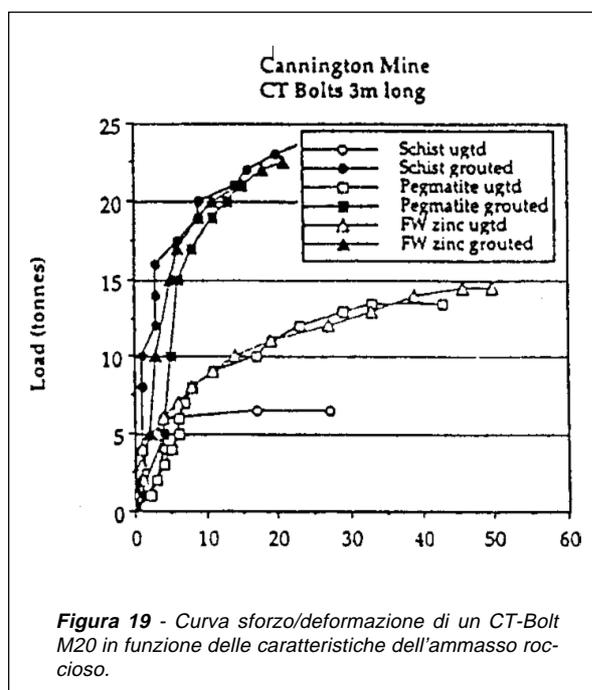


Figura 19 - Curva sforzo/deformazione di un CT-Bolt M20 in funzione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

sere difese meccanicamente dalla corrosione mediante guaina in idoneo materiale (tipo polietilene) in grado di inibire il passaggio dell'acqua e devono essere provvisti di un sistema di centraggio al fine di preservarli dal contatto con la roccia e permettere una equidistribuzione della malta di iniezione. Gli ancoraggi devono essere corredati di idonea piastra di ripartizione del carico (del tipo emisferica a cupola) atta a sopportare tensioni asimmetriche. Le filettature devono presentare simili caratteristiche meccaniche dell'anima dell'intero ancoraggio in modo che l'intero sistema abbia caratteristiche di resistenza omologhe.

### C-TUBE # Doppia protezione contro la corrosione

- Bulloni come definiti sopra e galvanizzati.
- Bulloni come definiti sopra e ricoperti di un film di resina epossidica.

## 5. TEST IN LABORATORIO SUGLI ANCORAGGI DA ROCCIA

### 5.1 Motivazione del presente lavoro di laboratorio

Il lavoro di laboratorio, del quale portiamo alcune conclusioni, è stato effettuato per i seguenti motivi:

- Prove al taglio ed alla trazione non sono mai state effettuate sotto uguali condizioni al contorno nello stesso materiale.
- Le prove di taglio sono normalmente state effettuate su ancoraggi in scala e non su ancoraggi di lunghezza e dimensione standard.
- Le precedenti prove di taglio sono state eseguite su piani di scorrimento naturali (eccetto che per Azuar e altri [1979], su ancoraggi in scala) manifestando difficoltà nell'estrapolare il contributo dell'ancoraggio sul valore totale della resistenza al taglio.
- Il numero della tipologia di ancoraggi provati da ogni Autore è stato di norma molto limitato (eccetto che per Haas [1975] e Stillborg [1990]).
- Nuovi ancoraggi che si sono affacciati sul mercato non sono stati mai esaustivamente provati.

Inoltre, è nostra opinione che i risultati forniti da prove dirette espressi in unità ingegneristiche di misura come carico (kN) e deformazione (mm) sono più facili da comprendere che equazioni matematiche che ne descrivono il comportamento. Le equazioni matematiche includono spesso diversi fattori correttivi funzione del materiale dell'ancoraggio, della malta di iniezione, dell'ammasso roccioso e delle condizioni di carico.

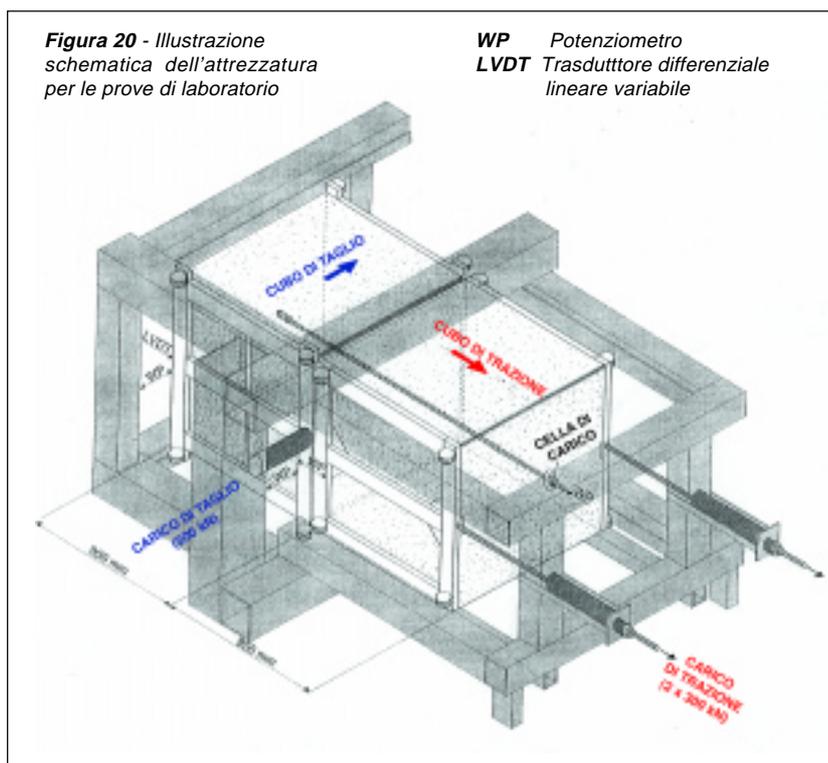
I fattori correttivi possono essere facilmente trovati per test di laboratorio ma devono confrontarsi nelle applicazioni in situ, potendo sussistere la possibilità di non corrette stime del comportamento dell'ancoraggio stesso.

A fronte delle considerazioni prima esposte, lo scopo di questa campagna di prove di laboratorio è stato quello di

valutare e quantificare le risposte alle sollecitazioni dei più comuni tipi di ancoraggi utilizzati nel campo dell'Ingegneria Mineraria e Civile.

### 5.2 Attrezzatura progettata per le prove di laboratorio e strumentazione

L'attrezzatura è stata appositamente progettata al fine di investigare il comportamento carico-deformazione degli ancoraggi soggetti a carichi di trazione e di taglio nell'intor-



no di un piano di scorrimento, sotto ben determinate e controllate forze. In sintesi l'ammasso roccioso è stato simulato da due blocchi in calcestruzzo ad elevata resistenza aventi la possibilità di muoversi sia lateralmente che normalmente al piano di scorrimento, come è mostrato in *Figura 20*. Le pareti dei blocchi in calcestruzzo hanno dimensioni di 0,95 m; questa lunghezza rende possibile il test sul sistema completo costituito dagli elementi di ancoraggio e dalle piastre.

L'attrezzatura è progettata per sviluppare una forza di taglio di 500 kN e una forza a trazione di 600 kN, valori sufficienti a portare a rottura gli ancoraggi che vengono normalmente utilizzati. La geometria dei blocchi fornisce la possibilità di un riutilizzo degli stessi ruotando il blocco stesso; per le prove a trazione è stato possibile utilizzare fino a 5 volte lo stesso lato, mentre per le prove a taglio solo 3 (l'ancoraggio deve essere inserito nel verso della direzione del carico). È stato possibile eseguire test multipli sulla macchina grazie all'installazione di cuscinetti sulle guide lungo tutti i lati dei blocchi, prevenendo anche movimenti rotatori causati dagli ancoraggi installati eccentricamente.

Il sistema di carico idraulico consiste in due martinetti che tirano il cubo di trazione ed un pistone che spinge il cubo di taglio. La portata d'olio viene controllata manualmente mediante una valvola; manometri sono stati utilizzati per il controllo manuale e per il sistema automatico di acquisizione dati. L'attrezzatura è stata strumentata per registrare tutti i dati completi sforzo-deformazione per gli ancoraggi provati; la strumentazione di base registra la pressione idraulica, il carico e la deformazione. Una cella di carico è stata utilizzata per misurare il valore del carico di pretensionamento e lo sforzo sulla piastra durante le prove. Inoltre sono stati installati alcuni trasduttori al fine di monitorare gli spostamenti della piastra e dell'ancoraggio. Sia trasduttori differenziali lineari variabili (LVDT) che potenziometri elettrici (WP) sono stati utilizzati per misurare gli spostamenti. Il gioco sulle facce dei cubi fino al momento di contatto a pressione lungo il telaio dell'attrezzatura è stato monitorato dai LVDT.

Due potenziometri elettrici hanno tenuto sotto controllo gli spostamenti dei cubi; questi ultimi sono stati anche utilizzati per misurare gli eventuali piccoli movimenti rotatori che avrebbero potuto crearsi tra il telaio ed i cubi.

Sono stati installati anche alcuni estensimetri al fine di registrare misure per ottenere dettagliate informazioni sulla distribuzione del carico.

In qualche caso gli estensimetri sono stati accoppiati in configurazione a ponte a quattro assi ortogonali con derivatori di precisione come blocchetti di riscontro fittizi; il circuito a ponte non viene utilizzato frequentemente a causa della sensibilità alla temperatura ma, in questa campagna prove che dura al massimo 10 minuti, si è potuto assumere condizioni di temperatura stabili.

Tutti i trasduttori sono connessi ad un amplificatore digitale che trasmette i dati ad un elaboratore dotato di un programma di acquisizione espressamente progettato; il sistema di acquisizione ha fornito la possibilità di un monitoraggio in tempo reale e l'immagazzinamento dei dati su file dedicati.

Per le prove al taglio le superfici dei giunti sono state coperte di teflon al fine di minimizzare il loro stesso contributo al taglio.

### **5.3 Procedure per le prove di laboratorio**

Gli ancoraggi monitorati dagli estensimetri sono stati calibrati sotto sforzo di trazione normale; il carico è stato aumentato a gradini di 10 kN fino a circa il 60% del valore di snervamento.

I fattori di calibrazioni per ogni estensimetro sono stati calcolati ed utilizzati in seguito per analizzare i risultati dalla prova vera e propria.

La velocità di variazione della deformazione è stata controllata da un indicatore di velocità; il valore è di 5 mm/min sia per le prove a trazione che per le prove a taglio.

La velocità di variazione della deformazione in questo range non influenza il comportamento dell'acciaio [Langseth e al. 1991].

Per tutti gli ancoraggi iniettati è stata utilizzata una malta speciale preconfezionata (Rescon Nonset 50); le prove sono

sempre state effettuate dopo 3 giorni di maturazione a 20° di temperatura costante.

Test hanno dimostrato che la malta in oggetto, dopo 3 giorni di maturazione, sviluppa ca. il 70% della sua resistenza. La malta viene confezionata aggiungendo 6,75 litri di acqua per un sacco da 25 kg di materiale secco, fornendo un rapporto A/C pari a 0,33. Dopo una fase di miscelazione in betoniera, avente la durata minima di 3 minuti, il materiale è stato pompato nel foro.

Gli elementi sono stati installati secondo le normali procedure di Cantiere per ogni specifico ancoraggio. Per quanto riguarda i normali ancoraggi iniettati il tubo di iniezione è stato infilato in testa al foro assicurando un completo riempimento. Dopo la fase di iniezione l'elemento è stato installato a spinta. Questa procedura è stata utilizzata per ancoraggi a cavo a due trefoli, ancoraggi a barra piana e barre filettate. Per i CT Bolts il sistema è stato iniettato dal foro che è ricavato nella testa di miscelazione emisferica, attraverso la guaina in PVC sino a riempimento del foro ed a sfogo dalla piastra.

Per i bulloni a tubo la miscela è stata iniettata dal foro all'interno del tubo sino a riempimento e sfogo dalla piastra. I cubi in calcestruzzo ad alta resistenza hanno presentato una  $\sigma_c$  di 65 MPa, per minimo 28 giorni di maturazione. Test condotti dal prefabbricatore hanno fornito, a 28 giorni, resistenze medie di 76,8 MPa, con una deviazione standard di 4,9 MPa (minimo valore 68,3 MPa, massimo valore 85,0 MPa).

I fori sono stati eseguiti utilizzando carotatrici rotoperkusive. Fori scavati a percussione sono stati utilizzati per gli ancoraggi a frizione.

Gli elementi iniettati a resina sono stati anch'essi testati nei fori scavati a percussione poiché la resina manifestava tendenza allo scivolamento nei fori carotati. Il diametro dei fori è stato eseguito secondo le prescrizioni delle Case Produttrici; per gli ancoraggi senza particolari specifiche sono stati eseguiti fori aventi diametro da 45 mm.

### **5.4 Tipologia degli ancoraggi testati**

Sono stati presi in considerazione le tipologie più comuni di ancoraggi che vengono utilizzate nel campo dell'Ingegneria Mineraria e Civile. Sono stati testati elementi analoghi per ogni gruppo, dando per assunto che ancoraggi simili dovrebbero manifestare più o meno simili risposte a prescindere dai Produttori.

Ogni ancoraggio è stato provato al taglio ed a trazione almeno con due prove rispettivamente. Quando i risultati per test analoghi hanno deviato considerevolmente, si è provveduto a ripeterli al fine di avere una chiara caratterizzazione del comportamento di quel specifico elemento. Un numero totale di 120 prove è stato eseguito al fine di pervenire ai risultati soddisfacenti che ci si era prefissato.

Gli ancoraggi sono stati definiti in tre classi:

**CMC** (Continuously Mechanically Coupled) ancoraggi completamente iniettati: elementi accoppiati meccanicamente ed in modo continuo inseriti in una matrice (normalmente miscele a base di cemento o resine) in grado di riempire la corona circolare tra l'elemento e la parete del foro. La matrice trasferisce il carico dalla roccia all'elemento. Gli elementi di rinforzo utilizzati insieme alle matrici vengono spesso prodotti in differenti sezioni e tipologie ove le interazioni

**Tabella 21** - Differenti tipologie di ancoraggi testati durante il campo prove

ID	TIPOLOGIA DI ANCORAGGIO	Φ MM	PRODUTTORE	TIPO DI ANCORAGGIO	CAT
<b>ELEMENTI ANCORATI PUNTUALMENTE</b>					
1P	Circolare liscia	20	Orsta Stalindustri as	Testa ad espansione	DMFC
2P	Circolare ad aderenza migliorata	20	Galvanostans A/S	Resina	DMFC
3P	Circolare ad aderenza migliorata	18,6	Orsta Stalindustri as	Resina	DMFC
4P	Gewistag a filettatura continua	20	Dywidag	Testa ad espansione	DMFC
5P	Circolare ad aderenza migliorata	20	Galvanostans A/S	Testa ad espansione	CMC
<b>ELEMENTI ANCORATI LUNGO TUTTO IL FUSTO A RESINA E A MALTA</b>					
6C	Circolare ad aderenza migliorata	18,6	Orsta Stalindustri as	Completamente iniettati	CMC
7C	Circolare ad aderenza migliorata	25	Orsta Stalindustri as	Completamente iniettati	CMC
8C	Dywidur in vetroresina	22,5	Dywidag	Completamente iniettati	CMC
9C	Chiodo in legno	35	Faggio	Completamente iniettati	CMC
10C	Circolare ad aderenza migliorata	20	McBolt and Plate Inc.	Completamente iniettati	CMC
11C	Cavo doppio a 7 trefoli	12,7	Fundia Hjulsbro AB	Completamente iniettati	CMC
12C	Gewibar a filettatura continua	20	Dywidag	Completamente iniettati	CMC
<b>ANCORAGGI PROGETTATI PER UN SUPPORTO DI FASE PRIMARIA E DI FASE SECONDARIA</b>					
13P	Ancoraggio a tubo, Φ <sub>int</sub> 15 mm	24	Orsta Stalindustri as	Testa ad espansione	DMFC
14P	Ancoraggio a tubo, Φ <sub>int</sub> 15 mm	24	Orsta Stalindustri as	Testa ad esp. + malta	CMC
15P	CT-Bolt liscio	18,6	Ingersoll Rand	Testa ad espansione	DMFC
16P	CT-Bolt liscio	18,6	Ingersoll Rand	Testa ad esp. + malta	CMC
17P	CT-Bolt ad aderenza migliorata	18,6	Ingersoll Rand	Testa ad espansione	DMFC
18P	CT-Bolt ad aderenza migliorata	18,6	Ingersoll Rand	Testa ad esp. + malta	CMC
<b>ANCORAGGI A FRIZIONE</b>					
19F	Standard Swellex	26	Atlas Copco	Frizione	CFC
20F	Yielding Swellex	26	Atals Copco	Frizione	CFC
21F	Split Set SS 46 Stabilizer	46	Ingersoll Rand	Frizione	CFC

## 5.5 Risultati e commenti alle prove di laboratorio

In questo paragrafo vengono riassunte le principali conclusioni derivanti dai test selezionati. La resistenza al taglio trovata dalla prova di taglio puro effettuata mediante l'attrezzatura a ghigliottina (quest'ultima non è stata descritta ma riteniamo sia intuitivo il suo funzionamento) può essere definita come la capacità minima al taglio dell'ancoraggio provato. Questa affermazione è provata dal fatto che:

- nessuna roccia può avere una rigidità maggiore dell'acciaio temprato utilizzato per la prova;
  - ogni dilatazione tra le superfici di scorrimento è stata prevenuta da guide mobili;
  - l'adattatore utilizzato non ha permesso alcuna flessione (situazione normale nella realtà).
- I valori ottenuti mediante la prova con l'attrezzatura a ghigliottina sono inferiori a quelli definiti dai test a tutto campo; ciò può venire spiegato dal fenomeno di rottura della matrice cementizia e/o della sede in calcestruzzo che induce nell'ancoraggio fenomeni di flessione attivando anche, a rottura a taglio, sforzi a trazione. Estensimetri allocati a varie distanze dal giunto hanno mostrato, per gli ancoraggi interamente iniettati, fenomeni di flessione fino

geometriche tra l'elemento e la matrice crea un effetto di accoppiamento meccanico.

**DMFC** (Discrete Mechanical and Friction Coupled) ancoraggi puntualmente ancorati: questa tipologia di ancoraggi trasferisce le tensioni tra l'ammasso roccioso e l'elemento a due punti discreti ben definiti; alla piastra ed ad un qualche punto lungo il foro.

Il trasferimento interno del carico è limitato in una ben definita porzione (corta) dell'elemento; vengono definiti ancoraggi ancorati puntualmente (per esempio mediante una testa ad espansione o un bulbo finale in resina).

**CFC** (Continuos Friction Coupled) ancoraggi a frizione: questi ultimi si comportano in maniera simile ai CMC. L'elemento di rinforzo viene installato a diretto contatto con l'ammasso roccioso.

Il trasferimento degli sforzi avviene tramite la frizione tra l'elemento e la parete del foro.

I tipi differenti di ancoraggi testati ed il loro relativo numero di identificazione è mostrato in *Figura 21*.

a 150 mm dai piani di scorrimento. Anche il fatto che i piani di scorrimento fossero rivestiti con un film avente 1 mm di spessore può aver facilitato la flessione dell'anima. In pratica, ciò significa che la resistenza al taglio dell'ancoraggio è nel range del 80-100% del valore della resistenza a rottura finale, in funzione delle condizioni al contorno (solitamente il massimo carico a taglio accettabile è limitato a 0,6 del valore a rottura a trazione; regola derivata dai materiali ideali in uno stato bidimensionale di stress che obbedisce alle condizioni di taglio di Von Mises).

È stato dimostrato che le barre con le filettature nelle zone terminali hanno la tendenza a rompersi nelle filettature stesse prima che l'anima raggiunga il carico di snervamento.

Alcuni degli ancoraggi si sono rotti con allungamenti della barra del solo 1% (contro prescrizioni del 6%).

Barre continuamente filettate, come ad esempio la Gewibar, a filettatura rullata a freddo (come per i CT-Bolt) e barre lisce hanno mostrato i valori di elongazione maggiore (> 8%).

Da un punto di vista della stabilità e della sicurezza è

importante che i Costruttori di ancoraggi producano materiali con valori di resistenza costanti lungo tutto l'elemento; non ha senso prescrivere una determinata elongazione sotto un preciso carico se la filettatura collassa prima del carico di snervamento della barra per un allungamento molto lontano da quello della stessa.

Prove su elementi ancorati puntualmente hanno mostrato che lo spostamento iniziale è maggiormente provocato dagli effetti deformativi della piastra e dallo spostamento dell'ancoraggio; la deformazione addizionale è governata dalla resistenza allo snervamento dell'anima dell'ancoraggio.

Il pretensionamento di un elemento ancorato puntualmente rappresenta una fase cruciale al fine di prevenire spostamenti sproporzionati della piastra e dell'ancoraggio; normalmente una coppia di serraggio di 50 kN è sufficiente per evitare questo fenomeno.

Gli ancoraggi combinati (con barra liscia o ad aderenza migliorata: CT-Bolt) hanno mostrato grandi variazioni nella curva caratteristica sforzo-deformazioni rispetto agli elementi ancorati puntualmente (supporto primario) ed iniettati in seguito (supporto secondario). Le caratteristiche della deformazione a taglio sono risultate considerevolmente differenti con medie di spostamenti al massimo carico rispettivamente di 40 e 90 mm per gli ancoraggi iniettati e per quelli ancorati puntualmente. Le deformazioni sotto carico di trazione sono state paragonabili tra gli elementi ancorati puntualmente e quelli iniettati. La barra ad aderenza migliorata CT-Bolt ha mostrato considerevoli variazioni tra i due casi a riguardo sia della rigidità iniziale che della deformazione a carico massimo.

Le prove a trazione (condotte sia mediante l'attrezzatura prima descritta che mediante pull test classico con il CT-Tube incamiciato in un tubo in metallo) hanno verificato che la guaina in polietilene rappresenta l'elemento legante tra la malta di iniezione, la barra e la roccia, garantendo la rottura del sistema solo al valore del carico di rottura della barra (non si sono evidenziati fenomeni di slittamento [Figura 22]).

Diametri differenti del foro di introduzione non hanno avuto significative influenze sulla risposta del carico a trazione. Inoltre, la malta di iniezione testata (Nonset 50) maturata 24 ore e 3 giorni ha mostrato analoghe caratteristiche dopo 7 giorni di maturazione.

Prove sulle piastre di ancoraggio posizionate obliquamente rispetto all'asse dell'ancoraggio hanno mostrato che inclinazioni sotto i 75° (tra la piastra e l'ancoraggio) dovrebbero essere evitate, al fine di limitare significative

deformazioni in condizioni di carico.

Le caratteristiche a taglio degli ancoraggi provati



**Figura 22** - Pull test su un CT-Bolt iniettato: rottura della barra al suo valore di carico limite (non sussistono fenomeni di slittamento della guaina)

con l'attrezzatura a ghigliottina sono state di ca. il 80% dei "dati di targa" corrispondenti.

Dovendo trovare il miglior ancoraggio utilizzabile in formazioni rocciose comuni, aventi deformazioni da basse a moderate, è nostra opinione che la barra ad aderenza migliorata iniettata sia la configurazione ottimale. Ci sono numerose ragioni per poter affermare quanto detto:

- primo - l'alta resistenza al taglio insieme all'istantanea capacità di lavorare per effetto perno;
- secondo - la capacità di sopportare aperture dei piani di scorrimento di 20-30 mm prima del collasso dell'anima;
- terzo - la capacità di ridurre le dilatazioni dei piani di scorrimento legando entrambe le zone della discontinuità (con elevata rigidità);
- finalmente - la barra iniettata lavora normalmente senza bisogno della piastra di ancoraggio e questa situazione non mobilita carichi particolari nelle zone filettate.

### 5.6 Nota tecnica sul comportamento di un ancoraggio a frizione ed un ancoraggio iniettato

Secondo i risultati delle prove è possibile valutare una nota tecnica comparativa tra gli ancoraggi a frizione Swellex (il marchio Swellex è un marchio registrato dall'Atlas Copco Co.) e gli ancoraggi puntuali eventualmente iniettati CT-Bolt; questo argomento può essere un interessante spunto di riflessione quando si deve valutare la portanza di un sistema di ancoraggio in funzione dell'ammasso roccioso che si deve sostenere.

Pur essendo che il materiale con cui sono costruiti gli ancoraggi a frizione presenta un carico di rottura standard che va dalle 10 alle 20 - 24 ton, rimane il fatto che difficilmente questo carico può venire sfruttato dall'ancoraggio in caso di apertura dei piani di scorrimento proprio perché, essendo un elemento a frizione, tenderà a scivolare sotto sforzo. Analizzando i dati comparativi di uno Yielding Standard Swellex e di un CT-Bolt M20 ancorato puntualmente e iniettato, dai grafici si può notare:

1. Yielding Swellex, carico minimo a rottura 80 kN; le prove a rottura condotte in laboratorio, sotto condizioni riprodotte l'ammasso roccioso, dimostrano la sua tendenza a scivolare già a ca. 84 kN (Figura 23 e Figura 24, nella pagina seguente, che mostra il comportamento di uno Standard Swellex avente carico di rottura pari a 100 kN, il quale però collassa); anche se fosse in grado di reggere maggior carico, pertanto, ci sarebbero forti probabilità di non poter sfruttare le caratteristiche dell'acciaio con cui esso stesso è costruito.
2. CT-Bolt M20, ancorato puntualmente: a rottura tiene più di 150 kN (Figura 25) senza alcun fenomeno di slittamento; il CT-Bolt M20, iniettato completamente: a rottura tiene più di 180 kN di carico (Figura 26) (la tipologia M22 presenta caratteristiche ben superiori).

La comparazione della risposta a taglio è chiara dai grafici.

## 6. PROVE SULLE MISCELE CEMENTIZIE DI INIEZIONE

L'utilizzo di miscele cementizie ha lunga pratica sia nel campo minerario che in quello civile.

Lo scopo di questo lavoro è stato di investigare il comportamento meccanico di miscele speciali (tipo il prodotto della

Rescon) a confronto con cementi Portland normali (OP = Ordinary Portland) o Portland a Rapido Indurimento (RP = Rapid Portland).

Lo scopo principale di una miscela cementizia di iniezione è di facilitare il meccanismo di trasferimento del carico dall'ammasso roccioso all'ancoraggio; per questo motivo la capacità di ancoraggio è anche funzione delle condizioni di maturazione.

La funzionalità di una miscela è dipendente da numerosi fattori quali:

- Pompabilità.
- Capacità di mantenere buone caratteristiche meccaniche in caso di aumento del rapporto A/C.
- Consistenza, stabilità e abilità nel rimanere nel foro.
- Stabilità della miscela senza effetti di separazione.
- Espandibilità.
- Sviluppo della resistenza ad una determinata temperatura entro un tempo desiderato.

Le ricerche sulle miscele sono maggiormente concentrate sui metodi standard di rilevazione dei calcestruzzi, ma raramente studiano l'interazione tra la miscela e l'elemento di supporto.

Parametri come la capacità di ancoraggio in funzione del tempo, dell'espansione e consistenza della miscela, stabilità alla variazione del quantitativo di acqua sono molto più importanti delle proprietà classiche della miscela quali la resistenza a compressione uniaassiale o la resistenza alla fessurazione.

In questa fase di test sono state utilizzate diverse miscele con differenti rapporti A/C. Il rapporto A/C è stata determinata mediante due differenti consistenze; il primo affinché la miscela avesse la proprietà di rimanere verticalmente nel foro e l'altro più fluido. La versione più densa rimaneva incollata alla mano ruotando il palmo, l'altra no.

Le due consistenze sono state misurate tramite un cono alto 120 mm.

La consistenza adatta (n° 1) presentava un abbassamento di 40 mm, l'altra di ca. 80 mm.

La miscela è stata mescolata in betoniera, aggiungendo l'acqua prima dell'introduzione del materiale secco e mescolando per 5 minuti al fine di garantire

l'omogeneità della miscela.

La miscela Rescon Nonset 50 ha dimostrato ottime caratteristiche di lavorabilità e pompabilità.

### 6.1 Capacità di ancoraggio

La capacità di ancoraggio è un modo realistico di mostrare come la miscela cementizia si comporta legata ad una barra ad aderenza migliorata, in situ. La resistenza a taglio della miscela è stata calcolata assumendo che la rottura avvenga come rottura a taglio lungo le protuberanze della barra. La miscela è stata colata in un cilindro in acciaio; il campione è stato mantenuto a due temperature: 5° C (umidità relativa 86%) e 20° C (55% umidità relativa). I test sono stati eseguiti dopo 12 e 24 ore e 3, 7 e 28 giorni di maturazione. Sono stati testati tre campioni per ogni ciclo di temperatura. Il test è stato eseguito mettendo in trazione la filettatura della barra ad un carico costante di 30 kN/m fino a rottura, momento nel quale è stato registrato il massimo carico.

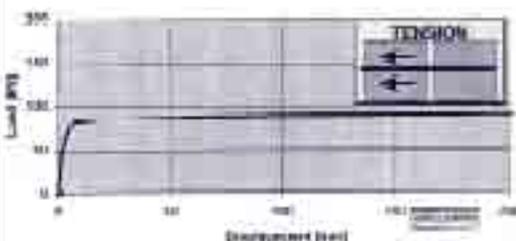
### 6.2 Alcune riflessioni

I test hanno mostrato una relazione qualitativa tra la capacità di ancoraggio, la resistenza alla fessurazione e alla compressione in funzione della temperatura e della quantità di acqua.

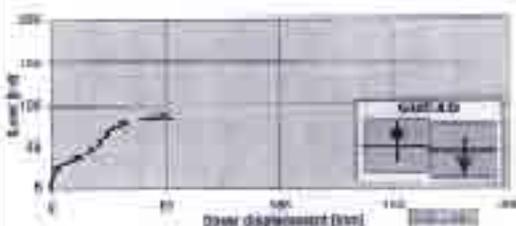
Figura 23 - Yielding Swellex



Geometria dell'ancoraggio



Comportamento a trazione

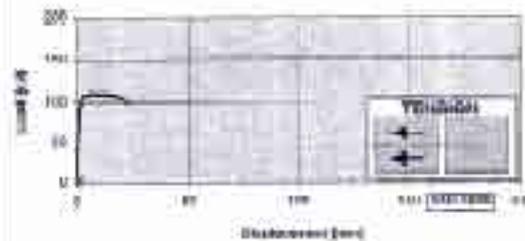


Comportamento a taglio

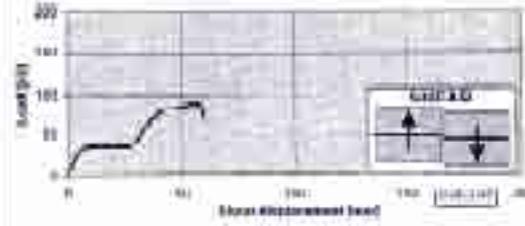
Figura 24 - Standard Swellex



Geometria dell'ancoraggio



Comportamento a trazione



Comportamento a taglio

La capacità di ancoraggio è sufficiente per tutte le miscele maturate a più di 7 giorni, con 70 kN minimi di capacità (lunghezza del tratto iniettato uguale a 100 mm) in funzione delle condizioni di maturazione. Per una normale barra ad aderenza migliorata da 20 mm, solo 200 mm di tratto iniettato è sufficiente a produrre snervamento nell'ancoraggio sotto sforzo. Comunque, come prima descritto, la capacità di ancoraggio deve essere valutata in proporzione al possibile carico per condizioni ben determinate. Le usuali misure di convergenza in situ indicano che il valore maggiore di deformazione avviene durante le prime 24 ore dopo lo scavo [Dahlo e al. 1991].

In una situazione di utilizzo di barre iniettate vicino al fronte di scavo, la scelta della miscela di iniezione riveste una importanza estrema. A 12 ore (5° C) la capacità di ancoraggio varia da 0 a 38 kN (il valore max è stato riscontrato dalla malta tixotropica Rescon) per tutte le miscele provate.

L'umidità relativa è variata nei due campi di temperatura ove i campioni sono stati immagazzinati.

Normalmente, l'umidità relativa durante la maturazione di una miscela a base di cemento crea variazioni nell'essiccazione con influenza sulle resistenze. Comunque, in questo caso, i campioni sottoposti a pull out possono essere considerati stagni contro fenomeni di essiccazione a causa

della loro stessa geometria; infatti sono stati resi stagni nella parte terminale e la parte superiore (25 mm) della miscela è servita come guarnizione mantenendo attiva la lunghezza di immersione. Infine, visto i tempi relativamente corti di maturazione (24 ore) la possibilità di evaporazione è stata molto limitata.

Lo spessore della camicia dei tubi influenza il confinamento della miscela; il confinamento calcolato per i tubi in acciaio è stato comparato al confinamento che ci si sarebbe potuto aspettare da un ancoraggio inserito in un ammasso roccioso. La rigidità radiale ( $K_r$ ) dei tubi in acciaio è stata calcolata mediante l'equazione di Timoshenko e Goodyear.

### 6.3 Conclusioni

La scelta della miscela di iniezione deve essere effettuata considerando le condizioni attuali sotto le quali la miscela viene utilizzata; la scelta è molto importante se la miscela di iniezione deve essere utilizzata in applicazioni quali i supporti primari.

L'utilizzo della corretta consistenza mostra variazioni non significative nella capacità di ancoraggio tra le miscele iniettate se utilizzato come supporto secondario. La capacità di ancoraggio è influenzata considerevolmente dalla temperatura di maturazione, mostrando la necessità di eseguire pull

out test in situ per valutare

l'effetto della temperatura reale. Le proprietà di targa della miscela, come la resistenza alla compressione uniassiale e la resistenza a fessurazione, sono di interesse relativo; la resistenza a compressione non dovrebbe essere utilizzata come una misura della capacità di ancoraggio.

Comunque, con la stessa tipologia di miscela la capacità di ancoraggio aumenta con l'aumentare della resistenza a compressione o con il diminuire del rapporto A/C. Ciò implica che la resistenza a compressione può essere utilizzata come un parametro di controllo di qualità e produzione per una determinata miscela.

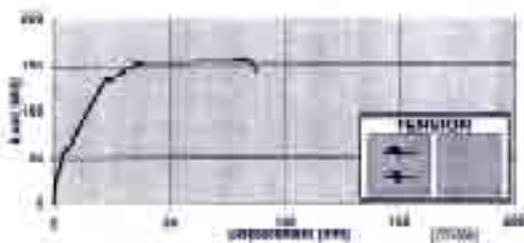
Cementi normali sono più sensibili alla variazione dell'acqua rispetto a miscele speciali, se confrontate con la capacità di ancoraggio.

Il test ripetuto su un campione precedentemente testato mostra che le miscele di cemento possiedono una caratteristica autorigenerante; ciò significa che le miscele che sono soggette a carichi di rot-

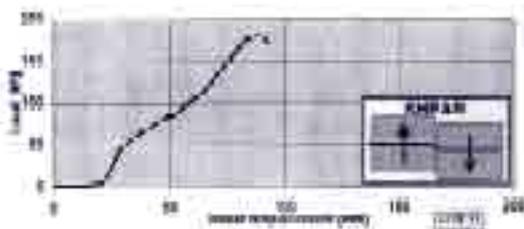
Figura 25 - CT - Bolt M20 Puntuale



Geometria dell'ancoraggio

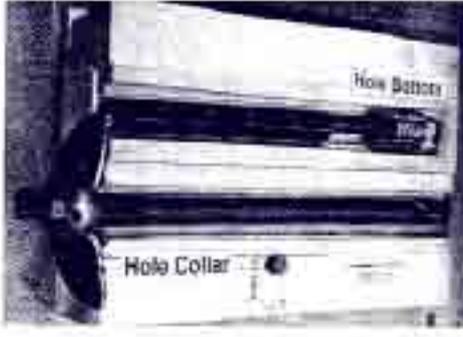


Comportamento a trazione

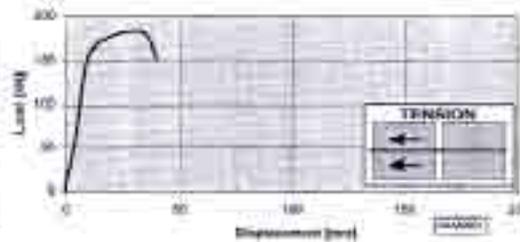


Comportamento a taglio

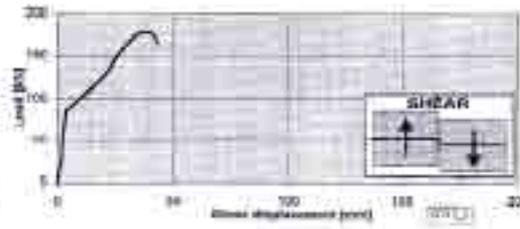
Figura 26 - CT - Bolt M20 Iniettato



Geometria dell'ancoraggio



Comportamento a trazione



Comportamento a taglio

tura durante le prime fasi di maturazione continuano a maturare e recuperano le resistenze.

## 7. INFLUENZA DELLE ESPLOSIONI SUI SISTEMI DI ANCORAGGIO INIETTATI

Non sono state effettuate molte ricerche sulla risposta di sistemi di ancoraggio interamente iniettati quando sottoposti a carichi dinamici.

Nel passato si è supposto [Jorstad 1967] che non fosse consigliabile utilizzare tale pratica vicino al fronte di scavo (quando si utilizzano tecniche di drill & blast) ipotizzando danni alla malta cementizia indotti dalle vibrazioni delle esplosioni; ciò ha portato ad una pratica che consigliava l'utilizzo di ancoraggi iniettati solo ad una distanza di 30-50 m dal fronte di scavo [Beitnes 1993].

Non è mai stato sviluppato un criterio di progettazione per definire la distanza minima o il livello massimo di esplosione e la relativa velocità di picco delle particelle (PPV Peak Particle Velocity).

Alcune esperienze pratiche sono state sviluppate nelle miniere di Boliden (Svezia) ove ancoraggi interamente iniettati, installati nell'area di lavoro, non hanno dimostrato rilevanti perdite di capacità [Krauland 1993]; Stillborg [1984] ha dimostrato che non ci sono state riduzioni di caratteristiche in un consolidamento mediante cavi armati quando sottoposti ad una PPV di 500 mm/s; anche Littlejohn e al. [1987] hanno studiato l'influenza delle vibrazioni sugli ancoraggi iniettati a resina.

Il risultato maggiore è stato che la distanza dalla sorgente di esplosione può essere ridotta ad 1 metro senza danni rilevanti alle funzioni di ancoraggio dell'elemento.

### 7.1 Cantiere prova e procedure di prova

Il test è stato effettuato nella miniera di zinco e rame di Grong, situata nella regione di Nord Trondelag, al centro della Norvegia.

La sperimentazione è stata effettuata in una discenderia non profonda in un'area non influenzata da vibrazioni indotte dalle esplosioni.

Temperatura roccia 8,5° C	Pirite	Pietra verde
Densità in mucchio	37,1 kN/m <sup>3</sup>	27,0 kN/m <sup>3</sup>
Resistenza alla compressione uniassiale	135 MPa	94 MPa
Modulo di Yung	143 GPa	40 GPa
Coefficiente di Poisson	0,21	0,10
Velocità di propagazione del suono	6.320 m/s	2.600-3.330 m/s (in situ)

La *Tabella* mostra le proprietà della roccia nel luogo di prova. La sezione della galleria è di 6 x 6 m. L'ammasso roccioso era competente e la volta non supportata prima dell'inizio del test.

L'ammasso roccioso nella zona di sparo era costituito da pietra verde mentre pirite nella zona di chiodatura. Sono stati installati sistemi di ancoraggio (barre ad aderenza migliorata, 20 mm di diametro) a 4 differenti distanze dalla sorgente di esplosione al fine di valutare l'effetto di differenti magnitudini di vibrazione. I differenti tempi di matu-

razione della malta cementizia sono stati ottenuti installando gli ancoraggi in tempi differenti prima dell'evento esplosione; i 7 differenti tempi di installazione variavano in un range da 65 a 9 ore prima dell'esplosione. Sono stati condotti anche test preliminari di pull out sugli ancoraggi installati per trovare la capacità di ancoraggio della malta al fine di valutare il livello di maturazione per tempi differenti. Sono state effettuate esplosioni preliminari al fine di verificare il modulo in banco dell'ammasso roccioso ed è stata calcolata la distanza da ogni gruppo di ancoraggi dalla zona di esplosione. Il test è stato progettato al fine di raggiungere vibrazione nell'ordine dei 1.000 mm/s per gli ancoraggi più vicini e 100 mm/s per quelli più lontani. Le 4 distanze dal punto di esplosione erano 3,4 m (A), 6,8 m (B), 13,2 m (C) e 22,0 m (D). Gli ancoraggi sono stati installati in fori verticali in calotta aventi diametro di 51 mm, in gruppi di 4, con 3 ancoraggi preparati per un pull test e 1 per un carotaggio; in totale sono stati installati 112 unità di ancoraggio in calotta. Dopo l'esplosione gli ancoraggi sono stati provati mediante un pull test al fine di verificarne la capacità di ancoraggio; il tempo di maturazione della malta cementizia, quando soggetta a pull test, è stato di ca. 72 ore.

Inoltre, un ancoraggio per ogni gruppo è stato carotato e preparato in laboratorio; dai campioni sono state ricavate delle sezioni e dopo essere state lucidate sono state verniciate con liquido fluorescente.

Queste sezioni sono state illuminate da una lampada a raggi ultravioletti (UV) al fine di trovare le tracce delle rotture indotte dalle vibrazioni.

La miscela cementizia utilizzata per i test è stata un prodotto speciale per l'iniezione di ancoraggi (Trondheim Mortelverk), con un contenuto in cemento pari al 47%.

La miscela è stata preparata aggiungendo acqua dentro alla vasca di miscelazione ed in seguito la malta (5-6 min. di miscelazione); il rapporto A/C è stato pari a 0,42 (5,7 litri di acqua per un sacco da 25 kg).

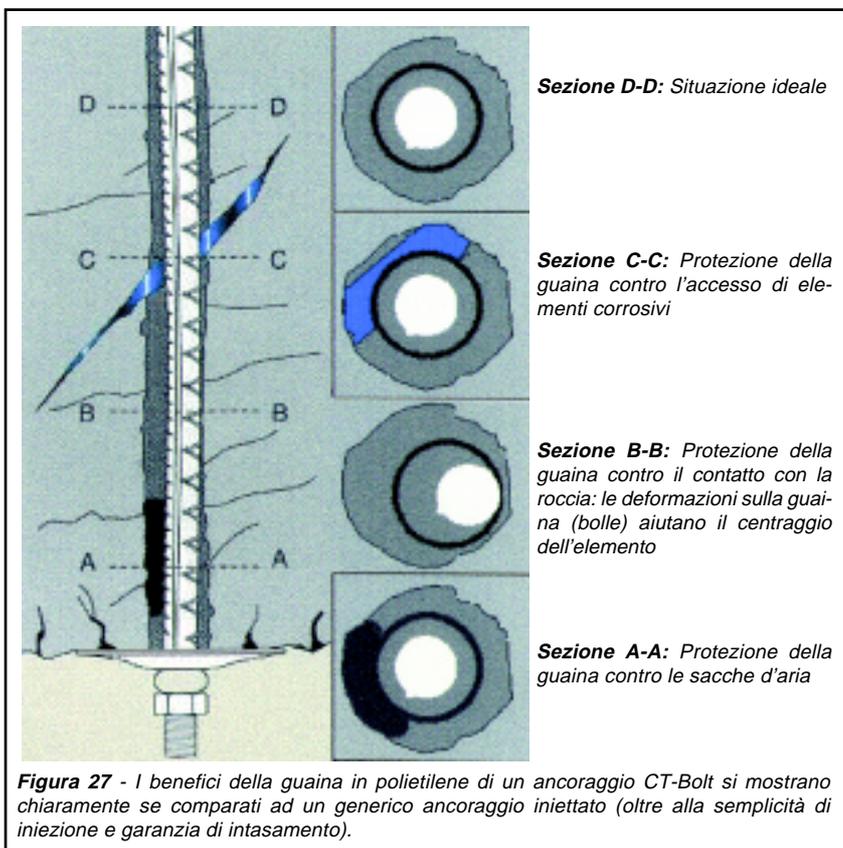
Gli ancoraggi sono stati iniettati mediante un tubo di iniezione infilato nella parte terminale del foro e sospinto indietro fino al crollare dalla pressione della malta stessa; alla fine l'ancoraggio è stato inserito all'interno del foro riempito.

Tre sacchi di prodotto preconfezionato sono stati miscelati contemporaneamente per assicurare una sufficiente quantità di malta e per garantire l'omogeneità della prova per gli ancoraggi facenti parte lo stesso gruppo.

### 7.2 Alcune riflessioni sulla corrosione degli ancoraggi

In generale si può dire che la capacità di ancoraggio non viene influenzata dalle vibrazioni da esplosione anche ad una PPV di 1.000 mm/s; inoltre, il tempo di maturazione della malta non mostra un periodo ove è più sensibile a questo fenomeno. Ciò è anche confermato dagli studi effettuati da Andrieux [1994]. Il suo lavoro, eseguito nella miniera sperimentale di Val d'Or (Quebec, Canada), ha mostrato che non sono state rilevate fratture fresche nell'ammasso roccioso ad una distanza maggiore di 1,5 m da un foro fortemente caricato (ANFO) da 57 mm, ove corrisponde una PPV di 850-1.000 mm/s.

Questi risultati sono realistici se comparati ad una carica normale per un lavoro civile di drill & blast, dove il peso di



esplosivo per detonatore raramente supera i 32 kg. Inoltre, un'esplosione standard in un tunnel dovrebbe indurre vibrazioni minori rispetto ai test eseguiti, a causa della geometria della volata che presenta un piano libero di sfogo, situazione non occorsa nei presenti test.

Le malte di iniezione vengono solitamente utilizzate per proteggere dalla corrosione gli elementi di ancoraggio.

La protezione viene fornita dall'ambiente alcalino che il cemento crea attorno all'acciaio e dall'azione della malta che impedisce il flusso libero dell'acqua lungo lo stelo dell'ancoraggio. Comunque, gli studi sulle sezioni levigate ed osservate ai raggi ultravioletti indicano che la pasta cementizia può essere più permeabile di quanto assunto in precedenza.

Piani di rottura sia lungo l'interfaccia malta/roccia e rotture che corrono radialmente verso l'ancoraggio provocano un meccanismo tale che l'acqua possa venire in contatto con l'acciaio creando per cui un ambiente più favorevole ai danni dovuti alla corrosione.

Investigazioni precedentemente effettuate in situ così come i campioni ricavati durante il presente esperimento mostrano che l'ancoraggio può essere installato eccentricamente nel foro. Un'allocazione eccentrica nel foro rende lo spessore protettivo teorico della malta più sottile e porta, come risultato, ad un più breve accesso all'acqua.

Questo fenomeno fa nascere un dubbio circa l'abilità della malta a provvedere alla protezione contro la corrosione per un sistema di supporto. Considerando la protezione alla corrosione fornita dalla malta, ulteriori altri fattori devono essere presi in considerazione. Primo, la corrosione dipende dalla presenza di acqua e di ossigeno [Svendenius 1984] ciò implica che ci deve essere un eccesso di acqua (flusso)

lungo l'ancoraggio. Inoltre, il livello di pH così come le componenti saline dell'acqua giocano un ruolo decisivo sulla velocità di corrosione [Andersen 1978].

In aggiunta, le condizioni alcaline nella malta si possono dissipare lungo il tempo ed il grado di protezione alla corrosione potrebbe ridursi sempre più.

Questi interrogativi non fanno parte dello scopo di questo articolo, ma è certo che una protezione meccanica, tipo la guaina in polietilene dei CT-Bolt in aggiunta ad una malta altamente resistente all'aggressione chimica, sarebbe una garanzia (Figura 27).

### 7.3 Conclusioni

Tutti i risultati dimostrano che le caratteristiche meccaniche dei sistemi di ancoraggio completamente iniettati soggetti ad esplosioni in prossimità della loro installazione non sono influenzati dalle vibrazioni.

Bulloni vicino al fronte di sparo non dimostrano riduzione nella capacità di ancoraggio se comparati a quelli installati più lontano. Ciò suggerisce che i sistemi di ancoraggio iniettati possono essere utilizzati vicino al fronte di scavo senza effetti dannosi sul comportamento dell'elemento stesso.

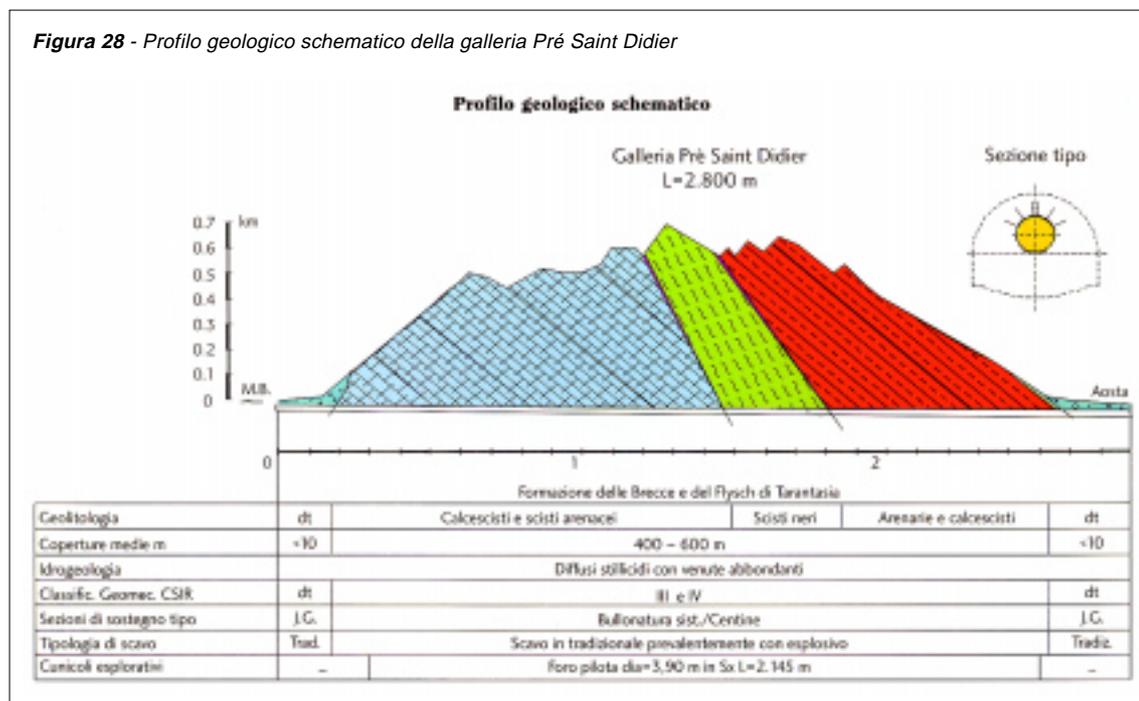
L'ampiezza delle vibrazioni ed anche le quantità di esplosivo per periodo di detonazione sono simili alle condizioni di scavo in una galleria civile. Comunque, supporti interamente iniettati non possono essere utilizzati come supporto primario sul fronte di scavo per rinforzare blocchi di roccia o cunei considerati instabili, a causa del fatto che la malta necessita normalmente diverse ore per entrare in azione; da qui l'esigenza di avere anche la possibilità di un ancoraggio puntuale (vedi CT-Bolt). Doppie prove di pull test in tempi differenti hanno mostrato una capacità rigenerativa della malta anche dopo aver rilevato importanti deformazioni sugli ancoraggi.

Questo effetto è stato osservato per malte che hanno raggiunto 48 ore di maturazione (a 8° C). Praticamente ciò significa che se sono avvenute rotture a causa di esplosioni o altri fenomeni deformativi durante il periodo iniziale di maturazione, la pasta cementizia riprenderà a maturare ed a riguadagnare resistenza. Analisi dalle sezioni levigate agli UV di campioni non hanno mostrato fratture che sarebbero potute essere indotte dall'esplosione o da altri fenomeni deformativi.

La malta è però stata intersecata da rotture distribuite causate da un fenomeno di ritiro (invisibili ad occhio nudo); questo fenomeno forma una rete radiale ed assiale all'interno del sistema di ancoraggio.

Questi estesi piani di rottura ed il fatto che l'anima dell'ancoraggio è normalmente installata eccentricamente nel foro fa nascere alcune considerazioni in merito alla capacità di protezione alla corrosione da parte della pasta cementizia. Non è lo scopo di questo lavoro investigare queste questioni, ma è indubbio che un sistema provvisto di centratori (tipo le "bolle" sulla guaina in polietilene dei CT-Bolts) possa essere di grande aiuto (vedi Figura 27).

**Figura 28** - Profilo geologico schematico della galleria Prè Saint Didier



(Figura 28) appartenenti alla Formazione delle Breccie e dei Flysch di Tarantasia, litologicamente costituiti da calcescisti e scisti arenacei con intercalazione di gneiss, micascisti, breccie calcaree, calcari e scisti sericitico grafitici. La scistosità rappresenta il motivo principale dell'assetto strutturale del complesso roccioso, poiché in corrispondenza della stessa si colloca anche la discontinuità principale.

Questa situazione geostutturale ha condizionato prevalentemente il comporta-

## 8. LE PROVE CT-BOLT NEL CANTIERE DI MORGEX, GALLERIA PRÉ SAINT DIDIER

La presente relazione illustra le modalità di esecuzione delle prove di sfilamento effettuate su chiodi da roccia CT-Bolt ancorati ad una parete in ammasso roccioso della galleria autostradale Prè Saint Didier, presso il cantiere dell'Impresa C.M.B. di Carpi sito a Morgex, Valle d'Aosta. Sono inoltre riportati i risultati ottenuti.

### 8.1 Geologia e geotecnica della galleria Prè Saint Didier

Il tracciato autostradale Monte Bianco-Aosta ha uno sviluppo complessivo di circa 32 km e rappresenta un importante

**Figura 29** - Imbocco galleria e pompa di iniezione



adeguamento strutturale dell'esistente arteria di comunicazione internazionale tra l'Italia ed il Nord Europa; per la realizzazione dell'opera viaria, allo scopo di contenere quanto più possibile le interferenze con il delicato contesto ambientale entro cui viene a porsi l'infrastruttura, il tracciato è stato volutamente inserito, per circa l'80% del suo sviluppo, in sotterraneo. La galleria è inserita in ammassi rocciosi

mentamento dello scavo. Sono state registrate contenute cavità, di natura carsica, all'interno delle discontinuità tettoniche, peraltro frequentemente presenti. Le consistenti venute d'acqua, localizzate prevalentemente lungo piani di faglia, hanno determinato, su tutto lo scavo del cunicolo pilota effettuato, portate complessive stabilizzate in circa 80-100 l/sec. L'ammasso risulta caratterizzato da una resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  compresa tra i 30 e i 125 MPa. Nell'ambito di tutte le zone attraversate, mediamente, il cunicolo pilota eseguito ha interessato ammassi compresi entro le classi III e IV di Bieniawski.

### 8.2 Il campo prova

#### Ubicazione e data

Gli ancoraggi sono stati inseriti il 7/7/1999, a progressiva ca. 1.000 m in canna lato monte lato imbocco Morgex, in presenza dei Tecnici dell'Impresa Costruttrice, della Direzione Lavori e di Esponenti di diversi Studi di Progettazione.

**Figura 30** - Tubo di prova per la verifica della miscela e del comportamento ad intasamento del CT-Bolt



#### Tipologia degli ancoraggi utilizzati

Sono stati utilizzati CT-Bolt M20 della lunghezza di 4 m con testa ad espansione Orsta Stal M51-30. I risultati aspettati erano: resistenza allo sfilamento nell'ordine delle 15 ton (per ancoraggio puntuale), resistenza a rottura nell'ordine delle 18 ton (per ancoraggi iniettati) [vedi § 4].

#### Composizione malta di iniezione

Si è utilizzata una malta preconfionata in sacchi da 25 kg prodotta dalla Mapei, ad elevate pre-



Figura 31 - Consistenza della malta di iniezione



Figura 32 - Particolare della testa ad espansione



Figura 33 - Installazione manuale del Ct-Bolt

stazioni meccaniche, tixotropica, con leggero effetto espansivo, costituita da leganti cementizi altamente resistenti all'aggressione chimica.

Per ogni sacchetto di malta si è aggiunto 5 litri di acqua limpida, mantenendo perciò un rapporto di ca. il 20% di acqua sul peso della malta.

**Tipologia della pompa di iniezione**

Si è utilizzata una pompa a pistoni pneumatica Bunker BIA2. La pompa non ha avuto problemi nel pompare la miscela preconfezionata, ma si è visto che è troppo poco performativa per un lavoro massivo di iniezione. In precedenza erano state effettuate prove con miscele di cemento mescolate in

Cantiere con bassi rapporti di acqua ma consistenti in maniera analoga al prodotto tixotropico; l'attrezzatura ha avuto alcuni problemi di pompaggio.

**Prove in situ**

Durante l'esecuzione della prova in situ, il martinetto agiva sulla estremità sporgente della barra (intestata al filetto) e trovava contrasto sulla testa di miscelazione ed iniezione. Le forze corrispondenti allo sfilamento iniziale delle barre ancorate puntualmente, stimate in maniera visiva facendo riferimento al movimento del pistone, sono risultate essere nell'ordine delle 14 ton. Le barre non sono state portate a rottura.

**Le prove di sfilamento a maturazione avvenuta**

Le prove di sfilamento sono state effettuate dopo 28 giorni di maturazione della malta su tre ancoraggi C-Tube M20. Le prove di sfilamento sono state eseguite utilizzando un martinetto oleodinamico RCH 302 avente carico di collaudo pari a 20 ton, il cui pistone è dotato di foro passante in grado di consentire l'alloggiamento della testa dell'ancoraggio. L'area efficace del martinetto è di 46,4 cm<sup>2</sup>.

I risultati sono riportati in Figura 37.

- Le prove effettuate hanno confermato i dati di targa medi sugli ancoraggi provati.
- Lo sfilamento a ca. 18 ton è probabilmente avvenuto poiché il pretensionamento della testa ad espansione non è

Figura 34 - Serraggio del Ct-Bolt



Figura 35 - Particolare della piastra semisferica a cupola



Figura 36 - Prove di sfilamento



stato effettuato mediante una opportuna chiave dinamometrica bensì manualmente; ciò sottolinea l'importanza di utilizzare gli strumenti corretti per ottenere i risultati prefissati.

La testa ad espansione Orsta Stal M51-30 presenta un carico di rottura del filetto interno pari a 30 ton (è la stessa utilizzata per il modello M22) per cui, a logica, o l'ammasso roccioso non ha presentato sufficiente resistenza a compressione nella zona di aderenza o il serraggio non è stato effettuato con il precarico di ca. 4-5 ton come da specifiche.

- Si è dimostrato come la testa ad espansione non abbia più influenza sulla capacità di ancoraggio una volta iniettato il sistema.

- Per analogia con i dati ricavati per gli M20, si può affermare che la resistenza di un CT-Bolt M22 varia dalle 25 alle 32 ton in funzione

dell'installazione (puntualmente ancorato - interamente iniettato), valori d'altro canto riscontrabili dai calcoli sulle tensioni a rottura delle due tipologie di acciaio in funzione delle sezioni nominali di stress (M20 284/245 mm<sup>2</sup>, M22 370/303 mm<sup>2</sup>).

Figura 37 - Certificato Laboratorio Prove Materiali Tecnoval Srl

Certificato n. 08/4372 del 13/09/1999		Allegato n. 2	
Committente	S.P.E.A. S.p.A.		
Impresa	A.t.i. C.M.B. s.c.r.l. - C.C.C. s.c.r.l. - ROZZI C. & c.S.p.A.		
Dir. dei Lavori	dott. Ing. Alberto Selleri		
Cantiere	Autostrada Monte Bianco - Aosta		
	Tratto Courmayeur (Entraves) - Morgex		
	Galleria Pre Saint Didier		
Data di prova	13/09/99		
<b>Determinazione in situ della resistenza all'estrazione di ancoraggi in roccia</b>			
Prova n°	2		
Tipo di ancoraggio	C Bolt		
Cilindro tipo	RCH 302		
Area effettiva	46,4 [cm <sup>2</sup> ]		
Tipologia	Tirante iniettato senza testa di ancoraggio meccanica		
Carico di collaudo	20 t		
Esito della prova	Strappo della parte metallica in corrispondenza della parte filettata		
<b>Esito della prova</b>			
Ora		Carico [t]	
inizio	fine	applicato	residuo*
11.08	11.13	5	4,5
11.13	11.18	10	9,6
11.18	11.23	15	14,5
11.23	11.23	17	
Si appo barra			
(*) Carico residuo = Carico misurato 5 minuti dopo l'applicazione			
Lo Sperimentatore Dott. Ing. Sandro Arnold		Il Direttore del Laboratorio Dott. Ing. Umberto Ventosi	

