

Emergenza Valtellina - frana di Val Pola

Gallerie idrauliche di by-pass

In questa nota, dopo aver descritto gli aspetti generali, costruttivi ed operativi del progetto di diversione delle acque del Fiume Adda in corrispondenza della frana di val Pola, saranno confrontati i risultati ottenuti dalle macchine fresatrici utilizzate per gli scavi.

In conclusione saranno analizzati secondo i criteri del «Metodo RS» i parametri di avanzamento e di funzionamento delle macchine fresatrici ricavando le caratteristiche geomeccaniche di resistenza dell'ammasso roccioso e confrontando i risultati con altre esperienze su gallerie recentemente eseguite in Italia.

P. Lunardi*

Premessa

La mattina del 28 luglio 1987 dal versante destro del Fiume Adda in località Val Pola si staccavano 40 milioni di metri cubi di roccia (diorite e granodiorite) che crollando nella valle sottostante interrompevano per 2,5 Km i collegamenti viari ed idraulici (Figg. 1, 2).

Ai tecnici della «Commissione Valtellina», istituita immediatamente dietro ordinanza del Ministero della Protezione Civile, spettava il compito, oltre a quello di evitare ulteriori danni a persone e cose, di affrontare e risolvere tre temi:

1) *la condizione di stabilità della nicchia di frana* la cui conoscenza era indispensabile per l'accessibilità sull'accumulo di frana e sullo specchio di acqua che andava creandosi a monte, ai fini di una rapida esecuzione degli interventi necessari per affrontare l'emergenza;

2) *le condizioni di stabilità dell'accumulo di frana* che per le sue dimensioni (2300 m di lunghezza e mediamente 70



Fig. 1 - Vista generale dell'area interessata dalla frana

m di altezza e 200 di larghezza) potevano apparentemente non destare troppe preoccupazioni, anche a fronte delle spinte idrostatiche che si andavano incrementando. La stabilità dell'accumulo era ovviamente legata alla natura granulometrica ed alla permeabilità del materiale detritico e in definitiva alla

sua tenuta in condizioni di saturazione ed alla erodibilità in caso di trascinamento;

3) *l'eliminazione dell'acqua* che stava formando un lago a monte dell'accumulo di frana e che in poco tempo avrebbe potuto creare un invaso da 18 milioni di metri cubi.

* Docente di Consolidamento del suolo delle rocce
Facoltà Ingegneria Università di Firenze.
Vice Presidente Commissione Valtellina

Il primo tema fu affrontato creando una rete di monitoraggio, che basata su misure topografiche, deformometriche, microsismiche ed ottiche, concepita e realizzata entro il 20 agosto 1987 (ISMES), che risolse il problema della praticabilità del fondovalle.

Il secondo tema venne affrontato a breve termine simulando su un modello a fondo mobile in scala 1:250, realizzato dal Cris-Enel nel tempo record di 10 giorni, la tracimazione del lago sull'accumulo frana in condizioni di granulometria e di portate variabili (Fig. 3).

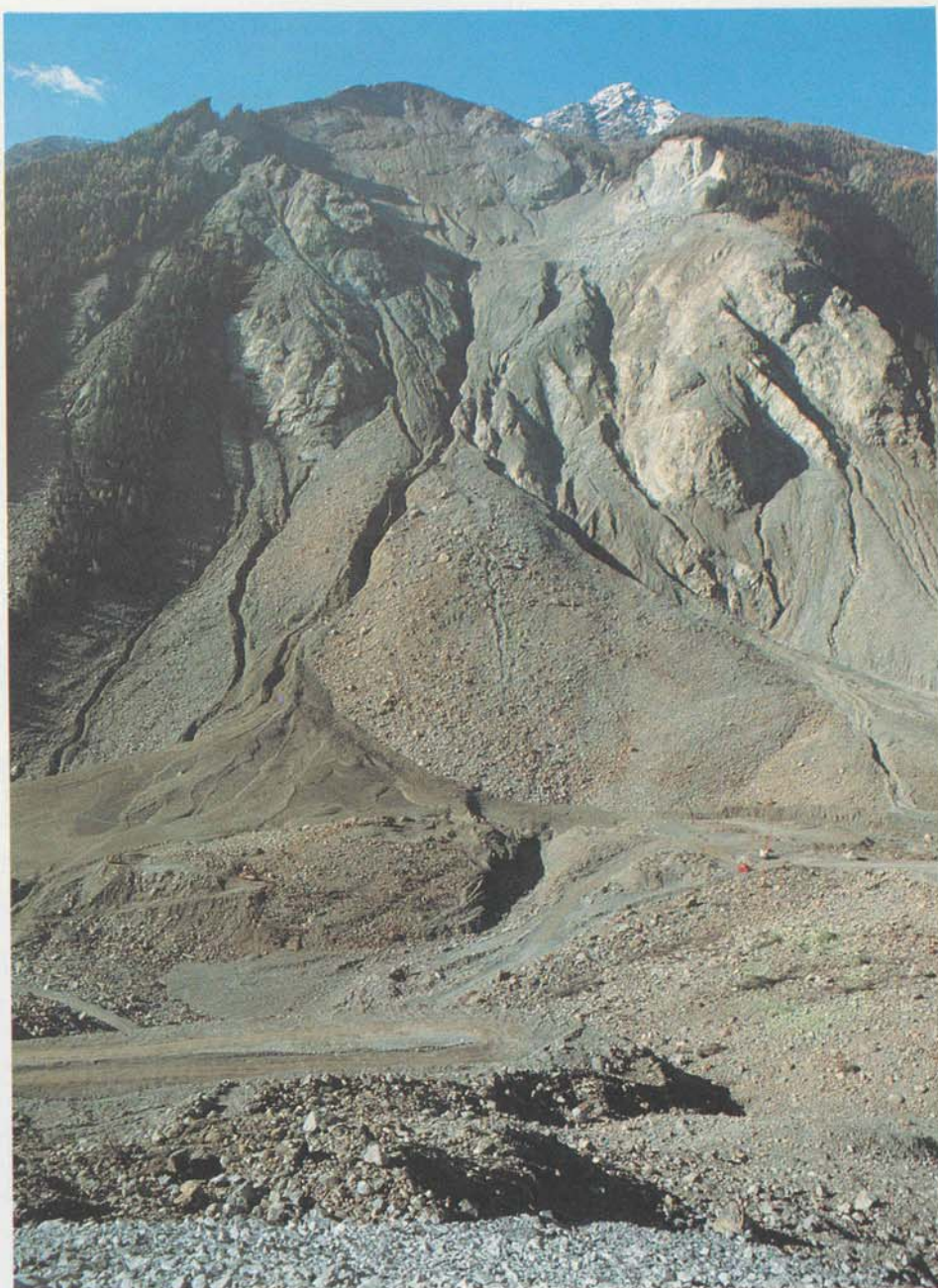
A lungo termine la stabilità dell'accumulo frana viene garantita da una stabilizzazione del paramento di valle tra quota 1.070 e quota 1.000 mediante un sistema di briglie a pianta arcuata fondate su terreno consolidato con jet grouting, realizzata entro l'Aprile 88 (Consorzio Corivalt tra le Imprese Logidiani, Cogefar, Cariboni e Pizzarotti) nel quadro di una regimazione idraulica dell'accumulo che comprende anche un nuovo canale di tracimazione.

Il terzo tema fu risolto affidando, a breve termine, lo svuotamento dell'acqua, in caso di deboli precipitazioni durante il mese di Agosto, a tre stazioni di pompaggio per una portata complessiva di 13.5 metri cubi/secondo (Condotte, Aem, Snamprogetti), oppure, in caso di forti precipitazioni, ad una operazione di «tracimazione controllata» che doveva anche servire da verifica per la tenuta dell'accumulo di frana.

A lungo termine lo svuotamento del lago è stato risolto con la costruzione di due gallerie idrauliche di by-pass (Fig. 4), che funzionando da scarichi di fondo del lago, potranno garantire lo smaltimento di piene del fiume Adda per portate fino a 400 mc/sec circa. La realizzazione delle due gallerie di by-pass con annesse opere di presa e restituzione, all'oggetto di questa nota, avvenuta in tempi record tra il novembre 1987 e l'aprile 88 (Raggruppamento di Imprese Italstrade, Torri, Magri e Poscio), potrà garantire, per le 25.000 persone a valle della frana, la completa risoluzione del problema acqua, nell'ambito dell'emergenza Val Pola, prima delle piogge e del disgelo di primavera.

Descrizione dell'opera e delle caratteristiche idrauliche

Il progetto generale di sistemazione dell'area interessata dalla frana di Val Pola prevede la diversione del Fiume



Adda tramite la realizzazione di due gallerie idrauliche, una policentrica di circa 6,00 m di diametro, l'altra circolare con diametro di 4,20 m (vedi Fig. 5).

Nel seguito, per brevità, quando vorremo riferirci alle due gallerie chiameremo la prima $\varnothing$ 6,00 m e la seconda $\varnothing$ 4,20.

Esse si sviluppano in sinistra orografica del fiume e corrono affiancate con un interasse variabile tra 20-30 m, la lunghezza della $\varnothing$ 6,00 è di 2.854 m c.a., quella della $\varnothing$ 4,20 di 2.898 m c.a.

Il loro tracciato planimetrico è riportato in Fig. 5, mentre altimetricamente hanno una pendenza costante

($i=0,0252$ per $\varnothing$ 6,00 e $i=0,0238$ per $\varnothing$ 4,20) e coperture variabili fra 200 e 300 m.

All'imbocco di monte di ciascuna galleria è stata realizzata un'opera di presa (Fig. 6), per prelevare l'acqua del lago artificiale formatosi a seguito della frana. Essa è costituita da manufatti in calcestruzzo dotati di griglia a maglie larghe con fondo a quota 1078,00 per la $\varnothing$ 6,00 e a quota 1075,00 per la $\varnothing$ 4,20 (Fig. 7).

Quest'opera è completata da un tratto di galleria di circa 25 m funzionante in pressione che si immette in un pozzo circolare di circa 15 m di diametro.

Il pozzo della $\varnothing$ 4,20 ha sommità a

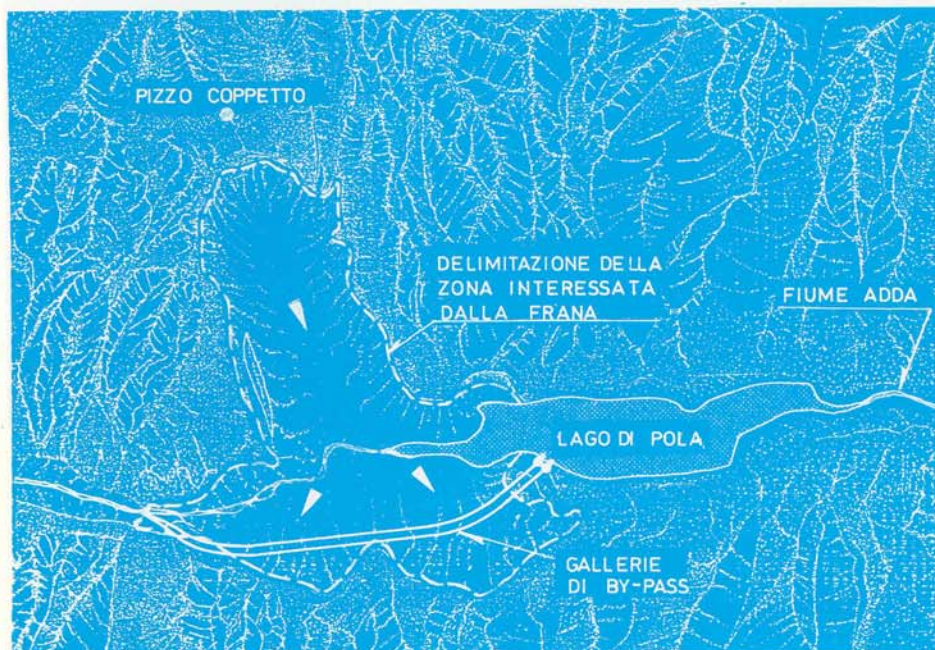


Fig. 2 (a sinistra) - Corpo frana

Fig. 3 (in alto) - Modello di simulazione della tracimazione

Fig. 4 (sopra) - Corografia

quota 1107,00, il pozzo della $\varnothing$ 6,00 avrà durante la fase operativa di scavo la stessa quota di sommità che sarà però riportata al termine dei lavori a 1094,50.

A valle delle gallerie naturali un tratto di galleria artificiale, unico per le due gallerie, planimetricamente divergente, accompagna l'acqua entro un pozzo cilindrico di diametro interno di 25.00 m che funziona da dissipatore pri-

ma di immetterla nel canale di raccordo e di restituzione delle acque al Fiume Adda (Fig. 8).

Tutte le opere sono state progettate tenendo conto della massima funzionalità idraulica. Nei pozzi di monte le gallerie naturali sono precedute da un tratto di raccordo sagomato in modo da garantire il funzionamento a pelo libero delle gallerie stesse, il pozzo della $\varnothing$ 6,00 avrà il profilo del bordo superiore sagomato in modo da poter funzionare da sfioratore di sicurezza nel caso di ostruzione dell'opera d'imbocco; mentre per il pozzo dissipatore di valle, sono previste delle luci di fondo che consentono l'allontanamento dell'eventuale ma-

teriale di trasporto e garantiscono il passaggio ad un regime di corrente lenta prima della restituzione dell'acqua in alveo del fiume Adda.

Una verifica sperimentale del complesso delle opere previste dal progetto è stata fatta tramite un modello idraulico (Fig. 9). Considerati i fenomeni da indagare, il modello è stato realizzato in similitudine di Froude in scala di 1:40, impiegando, a seconda delle opere, materiali diversi quali acciaio, materiali plastici e legno.

La portata d'acqua utilizzata per l'alimentazione del modello è stata di 50 l/sec in modo da poter simulare una portata reale massima di 500 m³/sec.

Durante lo svolgimento delle prove, la funzionalità di ogni singolo elemento (opera di dissipazione, opera di presa e pozzi, gallerie, opera di restituzione in alveo) è stata verificata per diversi valori di portata, ciò ha permesso una completa taratura di tutto il sistema e l'individuazione di alcune modifiche necessarie per un funzionamento ottimale.

Quadro geologico - geotecnico

Il versante in sinistra orografica del fiume Adda, interessato dalla realizzazione delle gallerie idrauliche di bypass è costituito da rocce eruttive intrusive appartenenti alla formazione del «Gabbro di Sondalo» (Ciclo magmatico Alpino - Cenozoico) e alla formazione dello «Gneiss del Monte Tonale» (Archeozoico).

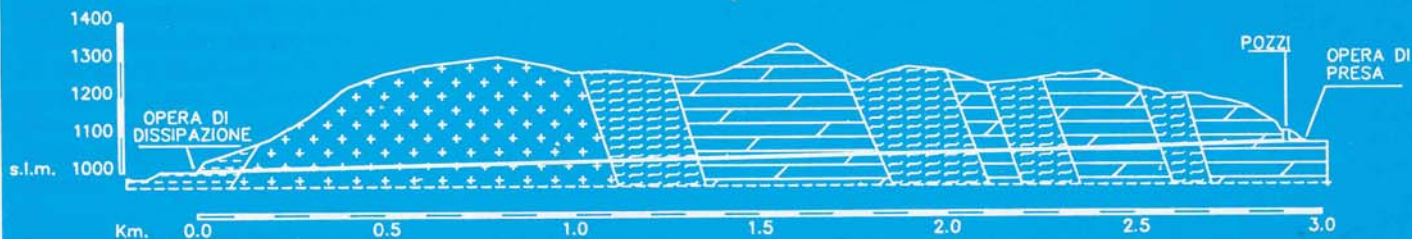
Più precisamente, come confermato in seguito anche dallo scavo, i principali litotipi presenti lungo il tracciato sono (Fig. 5):

- gabbri anfibolici, olivinici e noritici a grana medio-fine, generalmente scuri e massicci, di estrema compattezza e resistenza che rappresentano le facies fondamentali del corpo intrusivo di Sondalo e sono principalmente presenti nella parte di valle del tracciato delle gallerie.
- dioriti biotitiche e/o granatifere, in genere a grana più grossolana dei gabbri caratterizzata da possibili intercalazioni anche di notevole potenza, di gneiss incassanti.
- gneiss granatifero, incassante all'interno della massa intrusiva in genere metamorfizzato per contatto, con intercalazioni di calcari dolomitici.

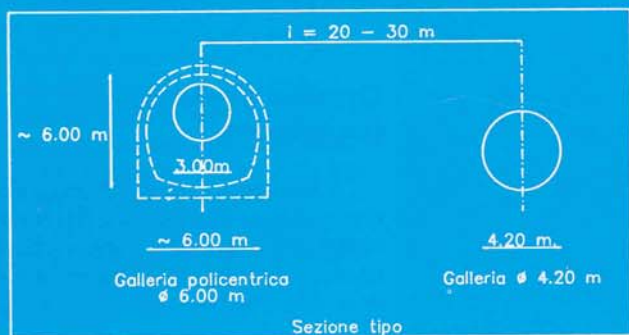
Descriviamo adesso con maggior dettaglio l'effettiva successione litologi-

EMERGENZA "VALTELLINA" - FRANA DI "VAL POLA"
GALLERIE IDRAULICHE DI BY-PASS

Profilo longitudinale



Planimetria



Legenda



ca che le macchine fresatrici utilizzate per gli scavi hanno incontrato in fase d'avanzamento, da Sud verso Nord.

In entrambe le gallerie si è riscontrata la stessa sequenza litologica con alcuni lievi sfasamenti riconducibili ad episodi strutturali di origine tettonica.

Durante i primi 1.100 ÷ 1.200 m lo scavo è avvenuto quasi completamente in gabbro sano e compatto (Fig. 10), con l'esclusione di 3 zone (attorno alle progr. 300, progr. 500 e progr. 750), comuni ad entrambe le gallerie, ove è stato necessario a causa dell'intensa fratturazione mettere in opera pannelli modulari in acciaio a sostegno delle pareti di scavo.

La zona tra le progr. 1.150 ÷ 1.300, caratterizzata litologicamente da gneiss incassante, è quella che ha dato i maggiori problemi per quanto riguarda la stabilità del cavo. In questo tratto l'elevata fratturazione ha imposto d'intervenire con opere di contenimento provvisorie importanti (fig. 11); questa zona

segna il passaggio dal gabbro alle dioriti. Da progr. ≈ 1.300 fino alla fine della galleria lo scavo ha interessato quasi essenzialmente le dioriti se si escludono alcune bande di gneiss granatifero di cui una abbastanza estesa fra le progr. 1.800 e 2.100.

Le dioriti si sono rivelate in genere meno fratturate dei gabbri e praticamente non hanno richiesto nessuna opera di sostegno in fase di scavo.

È interessante la corrispondenza fra le situazioni geolitologiche delle due gallerie evidenziata dalla presenza su entrambe le canne, nella stessa posizione, due punti singolari; un filone di materiale carbonatico metamorfizzato in marmo (≈ progr. 1.260) ed una sorgente (≈ progr. 1.580).

Il rilievo continuo e di dettaglio eseguito in fase di scavo (reso possibile dal sistema di scavo meccanizzato) ha permesso di definire con esattezza l'incidenza dei tre litotipi lungo il tracciato:

Fig. 5 - Caratteristiche geometriche e geologiche delle gallerie di by-pass

— Gabbro	35%
— Diorite	35%
— Gneiss inc.	25%
— Altri	5%

L'area ove si inseriscono le due gallerie idrauliche di by-pass è strutturalmente caratterizzata da tre sistemi principali di lineamenti tettonici con direzione NW - SE, E - W, N - S.

Il primo sistema, rilevato anche in galleria, è il prevalente ed è ben evidenziato dalla morfologia di superficie, il secondo sistema è diffuso su tutta l'area sotto forma di fratturazioni subverticali, tipica rappresentazione di questo sistema è la Valle delle Pressure.

Il terzo sistema, con direzione N-S, disloca i precedenti ed è maggiormente presente nella parte di valle del tracciato.

La presenza d'acqua in galleria è risultata molto modesta, in genere sotto

forma di stillicidio con punte di umidità diffusa nelle zone caratterizzate da una fratturazione più intensa.

Aspetti costruttivi ed operativi

Il complesso delle opere facenti parte del progetto di diversione delle acque del fiume Adda in corrispondenza della frana di Val Pola comprende (da monte verso valle):

- opere di presa e pozzi d'accesso
- gallerie idrauliche in naturale
- galleria artificiale di raccordo
- opera di dissipazione
- opera di restituzione in alveo

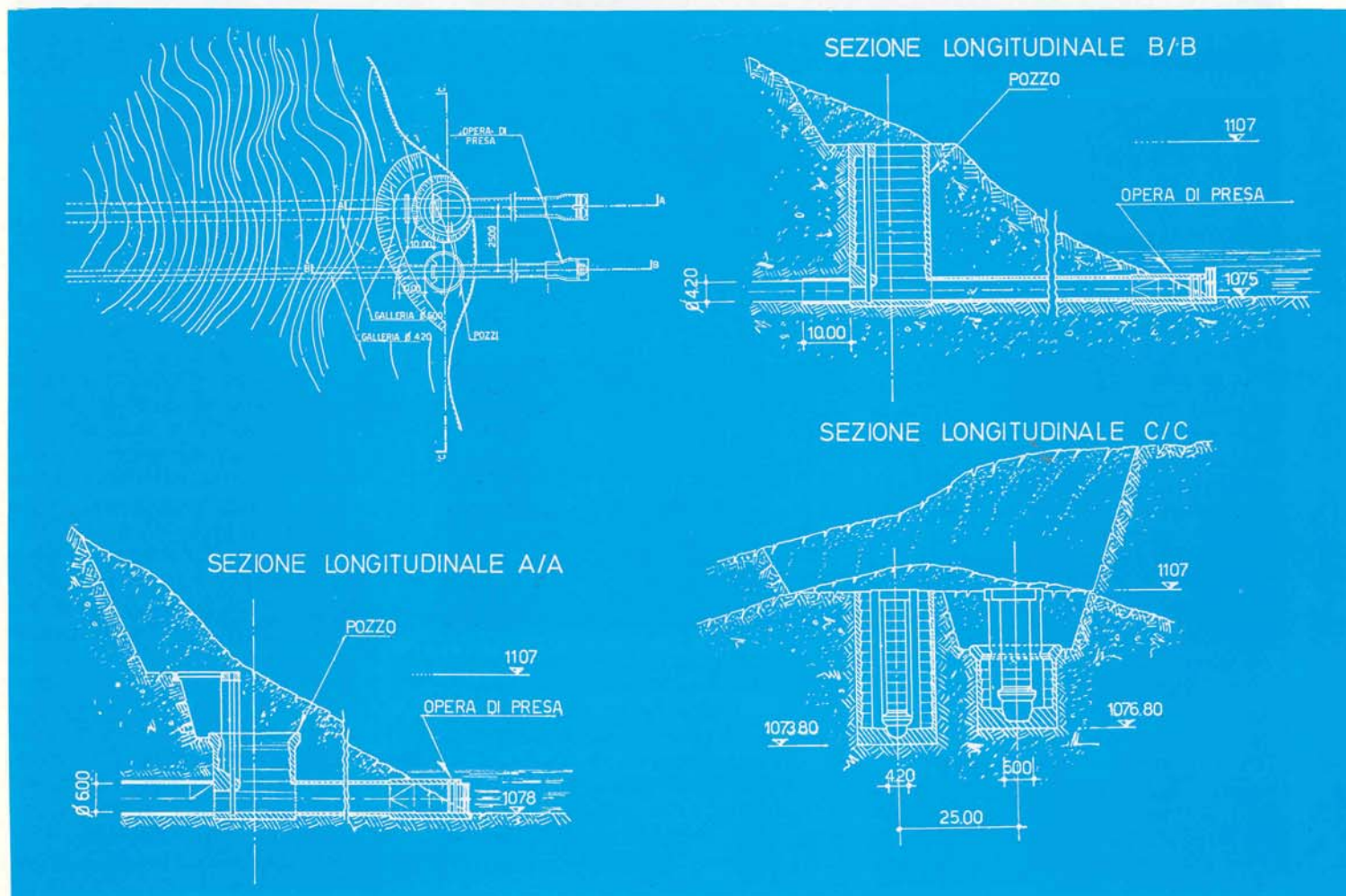
Il carattere di emergenza delle opere da realizzare ha reso necessario l'impegno continuo delle maestranze con tre turni di lavoro, sette giorni su sette.

I lavori sono iniziati nel mese di Ottobre dello scorso anno con l'esecuzione, a monte, dei pozzi d'accesso realizzati per sottomurazione di anelli in cal-



Fig. 6 (sopra) - Realizzazione dell'opera di presa a monte

Fig. 7 (sotto) - Planimetria e sezione dell'imbocco di monte



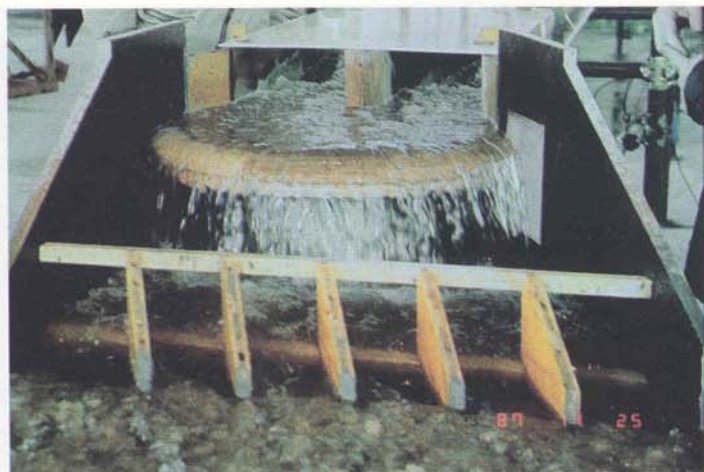
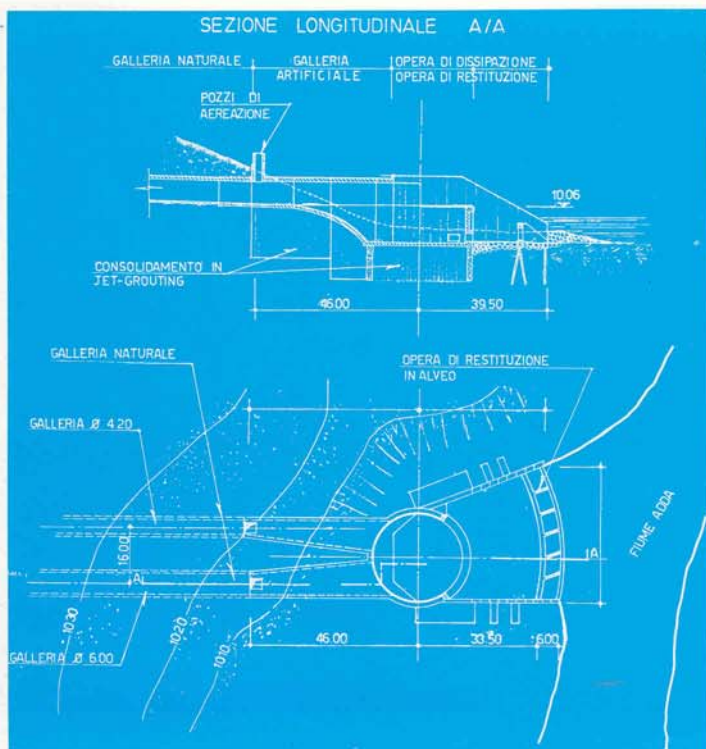


Fig. 8 (a sinistra) - Planimetria e sezione dell'imbocco di valle

Fig. 9 (in alto a destra) - Modello idraulico - Vista dell'opera di resa in alveo

Fig. 10 (in basso) - Galleria Ø 4,20. Zona di «Gabbro» con intrusione

Fig. 11 (a destra) - Galleria Ø 6,00. Zona fratturata con pannelli di contenimento

Fig. 12 (a destra in basso) - Fase di scavo dei pozzi d'accesso

cestruzzo armato di altezza di ≈ 2 m (Figg. 12, 13).

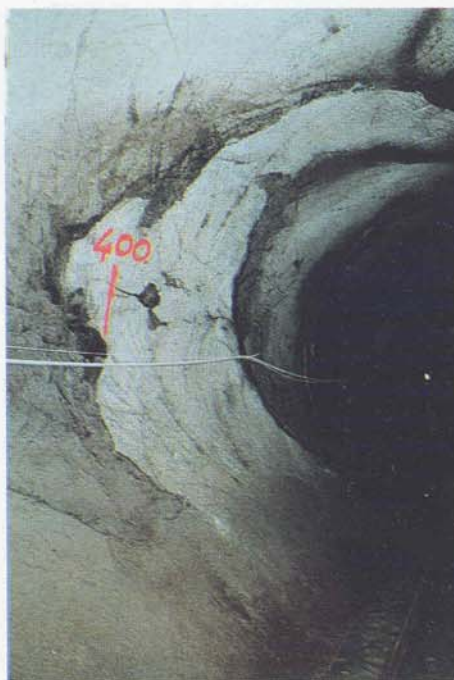
Contemporaneamente a valle si procedeva alla preparazione degli imbocchi delle due gallerie di by-pass e delle opere di sottofondazione della galleria artificiale di raccordo, dell'opera di dissipazione e dell'opera di restituzione in alveo (Fig. 14).

L'attacco di valle delle gallerie ha interessato per circa 170 m un conoide detritico.

Per quanto riguarda l'avanzamento oltre il deposito detritico l'esigenza di avere operativa e funzionante prima del periodo di disgelo almeno una delle due gallerie (in modo da poter regimare possibili ondate di piena) e le buone caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso interessato dal tracciato hanno spinto il Consorzio incaricato dei lavori di adottare due macchine fresatrici ad attacco integrale e continuo; una Wirth TBS IIE di 4,20 m di diametro e una Wirth TB IE di 3,00 m di diametro (le caratteristiche meccaniche ed elettriche principali delle due macchine sono riportate in Fig. 16).

La prima fresa ha scavato, in un'unica soluzione, la galleria circolare Ø 4,20, la seconda ha eseguito un foro pilota all'interno della sezione definitiva della Ø 6,00 che sarà in una seconda fase, soggetto ad alesaggio con l'impiego di esplosivi.

Dagli imbocchi di valle, inizialmente, si è dovuto scavare in tradizionale,



con l'ausilio di mezzi meccanici e previa realizzazione nella zona di calotta di un arco di terreno preconsolidato per superare un tratto di detrito e raggiungere il substrato roccioso.

Data la natura del terreno il consolidamento in avanzamento è stato eseguito mediante colonne suborizzontali in jet-grouting lunghe 10 m ed armate con tubi d'acciaio.

In questo modo si sono realizzati 161,00 ml di galleria Ø 4,20 e 176,00 ml di galleria Ø 6,00 prima di raggiungere il contatto detrito-roccia e iniziare lo scavo con le macchine fresatrici.

Contemporaneamente dal lato di monte, completati i pozzi, per sveltire i tempi di esecuzione, si è proceduto con lo scavo verso valle andando incontro alle macchine fresatrici (Fig. 17). L'avanzamento in questo caso è stato di tipo tradizionale: impiego di esplosivo con volate successive e «sfondi» di circa 4 m.

In questo modo si sono realizzati 370,00 ml di galleria Ø 4,20 e 185,00 ml di galleria Ø 6,00.

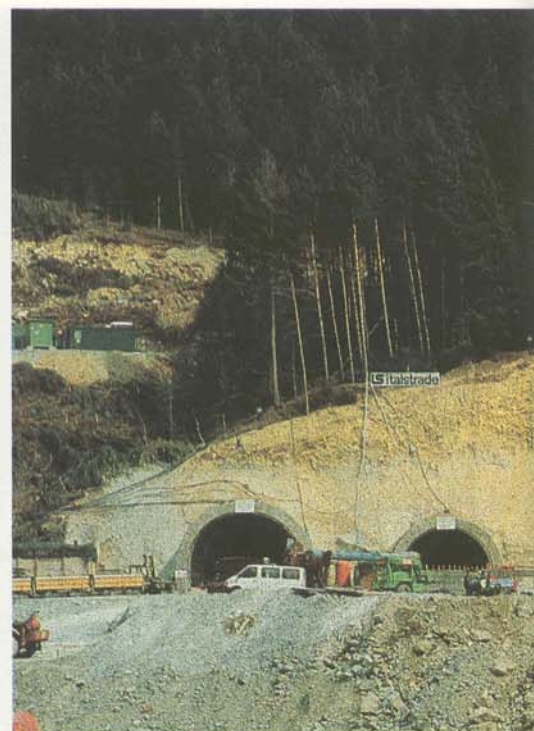
Le Figg. 18, 19, evidenziano le differenze di profilatura fra l'avanzamento con l'esplosivo e l'avanzamento con fresa. In quest'ultimo il minimo disturbo recato all'ammasso roccioso in fase di scavo ha permesso di minimizzare i sovraprofilati. L'uso dell'esplosivo, invece, ha esaltato i sistemi di fratturazione preesistenti nell'ammasso favorendo la formazione di sovrasspessori.

Attualmente siamo in una fase transitoria di funzionamento del sistema di diversione previsto; infatti l'acqua defluisce solo dalla galleria Ø 4,20 garantendo il mantenimento della quota dell'acqua nel lago entro i limiti previsti.

Sono in fase di organizzazione i lavori per l'allargamento del foro pilota della galleria Ø 6,00 e si stanno completando le opere definitive di sbocco in modo da terminare, entro breve tempo, l'intera opera prevista dal progetto.

Prima di porre in esercizio la galleria Ø 4,20, si è provveduto a rivestirla





nelle tratte ove situazioni singolari della fratturazione e delle caratteristiche chimico fisiche della matrice, dell'ammasso e del materiale di riempimento delle fratture suggerivano di operare una protezione delle superfici di scavo per garantire la piena funzionalità della galleria durante il deflusso dell'acqua.

Sono stati eseguiti due tipi di intervento: uno nelle tratte che già durante lo scavo con la fresa avevano richiesto la messa in opera di opere di contenimento, l'altro per le altre tratte non blindate ma ritenute a rischio.

Nel primo caso, i blindaggi realizzati, sono stati integrati con la messa in opera di chiodi ad aderenza continua (numero = 8 l = 2,50 m i = 1,50 m) cementati con la malta antiritiro eseguito sul «perimetro bagnato» della galleria e con uno strato di circa 8 cm di spritz beton armato con rete elettrosaldata.

Nel secondo caso l'intervento è consentito nella messa in opera dei soli chiodi ad aderenza continua (numero = 6 l = 2,50 m i = 2,00 m) e nella realizzazione sul «perimetro bagnato» di uno strato di spritz beton di $\approx$ 5 cm armato con rete elettrosaldata.

Complessivamente il primo tipo di intervento è stato eseguito per circa 195 m ed il secondo per circa 180.

Analisi dei risultati

In Fig. 20 sono evidenziati i tipi di avanzamento adottati per le due galle-

CARATTERISTICHE DELLE FRESE		
Fresa Wirth	TBS II 390/420 E	TB I 262/300 E
Diametro della testa fresante	4200 mm	3000 mm
Velocità di rotazione	9 t/mn	11.4 t/mn
Motori elettrici della testa	4x145 Kw	3x100 Kw
Coppia di rotazione massima	560 KNm	238 KNm
Spinta massima della testa	7000 KN	4300 KN
Avanzamento massimo	1200 mm	1000 mm

rie e i diagrammi delle produzioni medie ottenute nei diversi tratti.

Per quanto riguarda lo scavo realizzato con il metodo tradizionale risultano evidenti, a parità di tipo d'avanzamento, i minori valori di produzione media giornaliera della galleria $\varnothing$ 6,00 rispetto alla $\varnothing$ 4,20.

Questo è pienamente giustificato se si considera la maggior sezione di scavo (circa 24 mq per la $\varnothing$ 4,20 e circa 51 mq per la $\varnothing$ 6,00) e quindi i maggiori tempi occorrenti per le singole lavorazioni necessarie per l'avanzamento (l'esecuzione dei preconsolidamenti, la preparazione delle volate, lo smarino, la

posa del rivestimento di prima fase, ecc.).

Riteniamo opportuno a questo punto esaminare il comportamento delle macchine fresatrici (si ricorda che la fresa $\varnothing$ 4,20 è stata utilizzata per lo scavo a piena sezione della galleria idraulica circolare, mentre la fresa $\varnothing$ 3,00 è stata utilizzata per realizzare un foro pilota entro la sezione definitiva della galleria policentrica $\varnothing$ 6,00).

L'analisi e le elaborazioni delle registrazioni continue dei parametri di funzionamento e di avanzamento della fresa («Metodo RS», Lunardi 1986) consente di avere una documentazione precisa ed oggettiva di ciò che la macchina

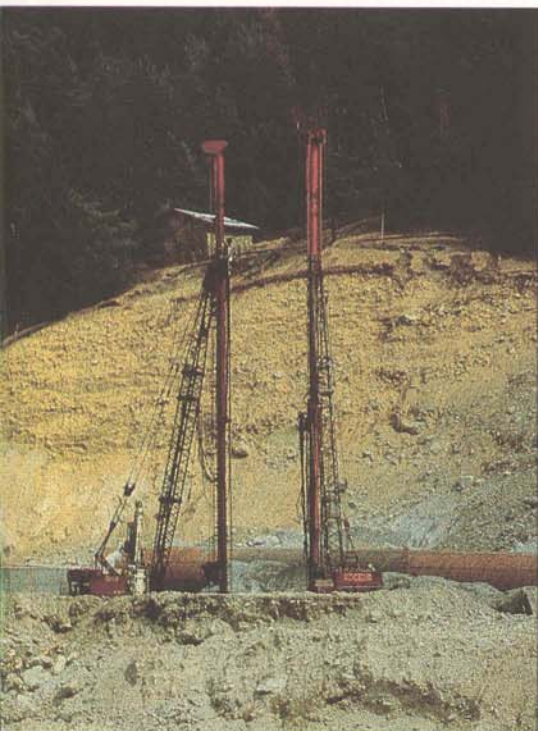
Fig. 13 (a sinistra) - Vista generale dei pozzi dell'imbocco di monte

Fig. 14 (al centro) - Vista dell'imbocco di valle

Fig. 15 (a destra) - Le due frese in fase di montaggio

Fig. 16 (a lato) - Caratteristiche tecniche delle frese

Fig. 17 (in basso a destra) - Vista dell'imbocco della galleria $\varnothing$ 4,20 dai pozzi d'accesso.



incontra in fase di scavo.

La Fig. 21 riporta per entrambe le macchine il quadro riassuntivo delle seguenti grandezze; (i valori riportati rappresentano la media dei valori puntuali su segmenti di scavo di 25 m).

- velocità d'avanzamento istantanea
- spinta alla testa fresante
- assorbimento elettrico della testa fresante
- energia specifica di scavo (questo parametro rappresenta l'energia spesa per abbattere un metro cubo di roccia).

Per la galleria Ø 4,20 la velocità d'avanzamento risulta in genere compresa fra i 1,5 e 2,5 m/h.

Solo per le zone caratterizzate da una maggiore fratturazione e da una più intensa tettonizzazione si hanno valori più elevati di velocità con i massimi pari a 3,5 ÷ 4 m/h nella banda di gneiss incassante molto fratturato presente fra le progr. 1.100 e ≈ 1.300.

Per quanto riguarda la spinta alla testa si hanno valori compresi fra 400 ÷ 500 t con un minimo di circa 300 t per la zona di gneiss maggiormente fratturata.

I valori di assorbimento si sono in genere mantenuti costanti lungo il tracciato, compresi fra 500 e 600 Kw, si nota comunque un assorbimento minore nella parte finale, litologicamente caratterizzata dalle dioriti, rispetto a quella iniziale caratterizzata dai gabbri.



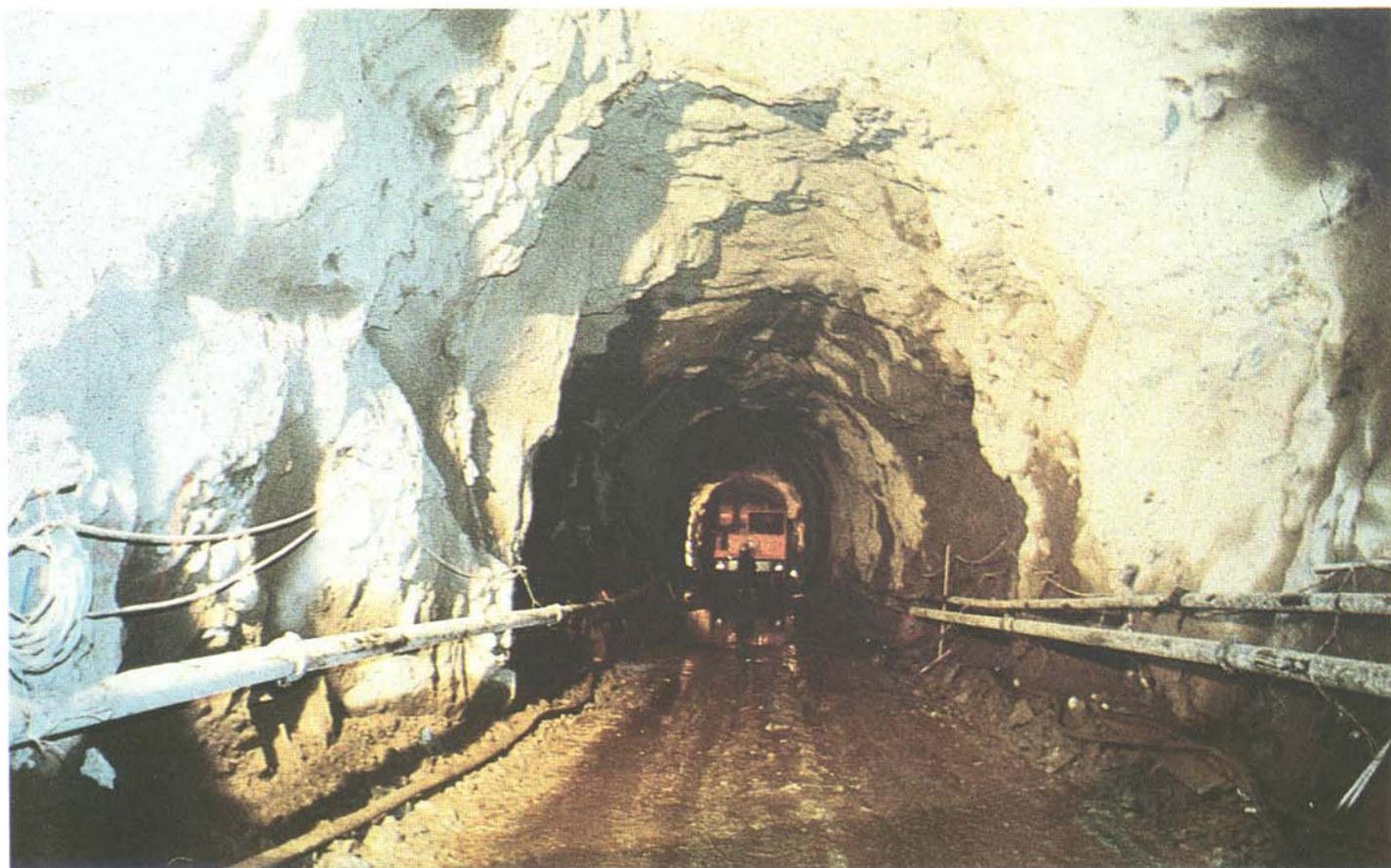
L'energia specifica è in genere compresa in un campo di valori variabili tra 15 e 25 Kw/mc; anche in questo caso si ha un minimo pari a ≈ 10 ÷ 12 Kw/mc nella zona di gneiss incassanti (progr. 1100 ÷ 1300) mentre si ha un notevole picco, circa 30 ÷ 35 Kw/mc fra le progr. 600 ÷ 700.

Esaminiamo adesso la galleria Ø 6,00 m dove ha lavorato la fresa Ø 3,00.

La velocità di avanzamento, come rilevabile anche in Fig. 21, non presenta sostanziali differenze rispetto alla Ø 4,20. Infatti i valori sono in genere compresi fra 1,5 e 2,5 m/h con punte di 3,5 ÷ 4 m/h nella zona maggiormente fratturata.

La spinta alla testa risulta invece mediamente costante attorno alle 300 t con un minimo di 100 ÷ 150 attorno alle progr. 1330. L'assorbimento è stabile at-





EMERGENZA "VAITELLINA" — FRANA DI "VAL POLA"

DIAGRAMMI DI PRODUZIONE

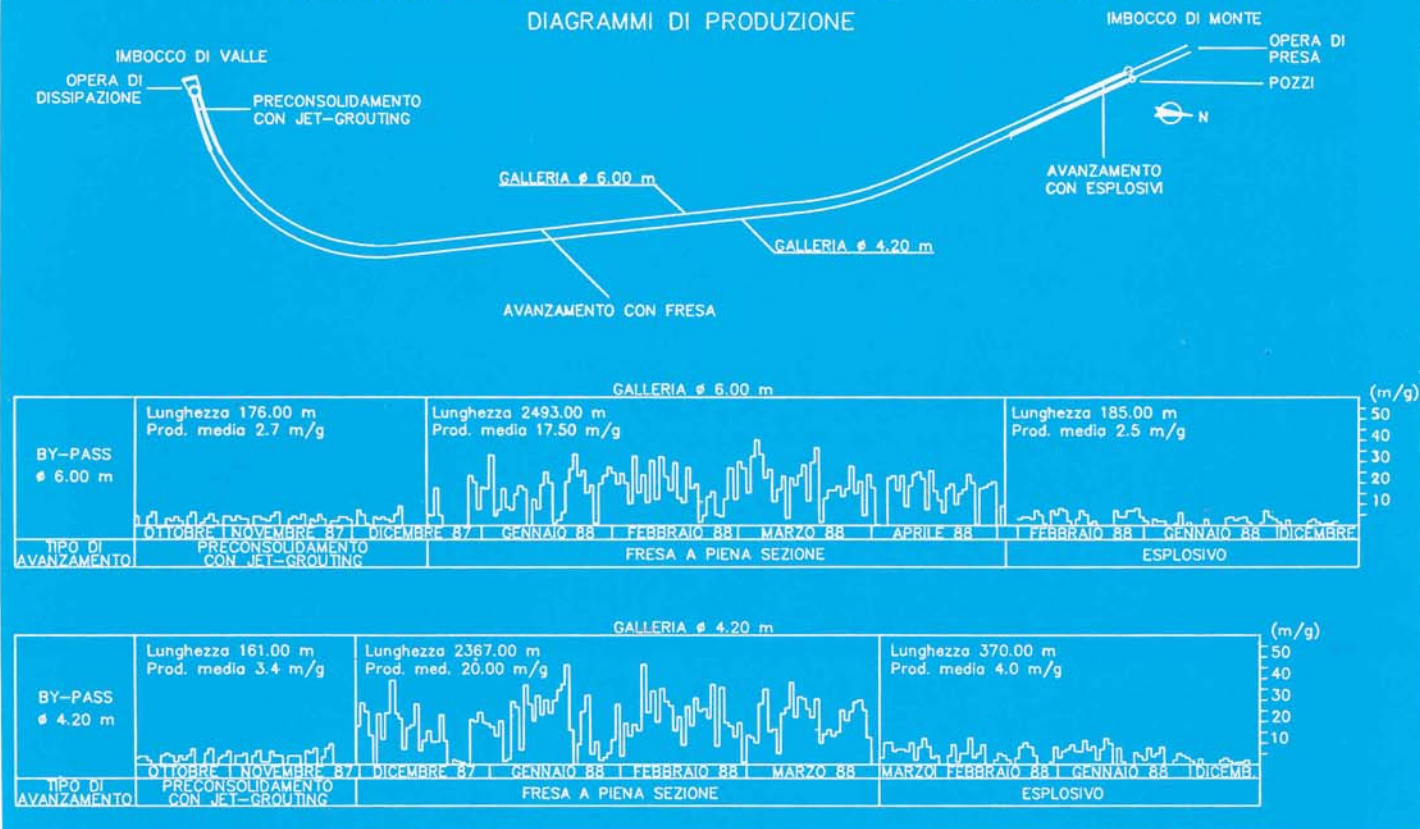


Fig. 18 (a sinistra) - Profilatura ottenuta con avanzamento con l'esplosivo

Fig. 19 (in basso a sinistra) - Profilatura ottenuta con l'avanzamento con fresa

Fig. 20 (sopra) - Tipologie di avanzamento e diagrammi di produzione

torno al valore di 250 Kw con un minimo di circa 150 Kw.

L'energia specifica è in genere compresa fra i 15 e i 25 Kwh/mc con un valore medio significativo di 20 mc. ed un minimo di 10-12 mc.

Da quanto sopra emergono alcune interessanti osservazioni:

1 - nella realizzazione delle gallerie le macchine di scavo sono state quasi sempre usate ai limiti della loro potenzialità, (cfr. Tabella) a causa dell'elevate caratteristiche intrinseche di resistenza dell'ammasso da scavare;

2 - pur essendo usate ai limiti, e nonostante fossero macchine con caratteristiche geometriche e di potenza notevolmente diverse hanno dato risultati molto simili per velocità istantanea d'avanzamento e energia specifica di scavo. Questo è un riscontro del corretto dimensionamento da un punto di vista costruttivo delle macchine.

3 - il picco nel grafico dell'energia specifica della Ø 4,20 è da imputarsi quasi sicuramente ad una situazione locale legata alle caratteristiche mineralogiche della roccia che possiede, in questa zona, un'estrema durezza che non ha trovato riscontro in nessun'altra parte delle gallerie;

4 - è evidente che le macchine fresatrici possono essere utilizzate come «elemento sensibile» atto a differenziare le zone a diversa resistenza geomeccanica, pur nei limiti e con le precisioni proprie della grande scala.

Infatti, osservando i grafici dell'energia specifica di scavo sia della Ø 4,20 che della Ø 3,00 sono distinguibili due ampie tratte di caratteristiche pressoché uguali (leggermente migliori quelle della prima zona rispetto alla seconda) separate da una fascia avente caratteristiche decisamente peggiori.

Tale differenziazione ha un riscontro reale su entrambe le gallerie, infatti i primi 1000 m di scavo sono caratterizzati dai gabbri, in genere sani e poco fratturati, mentre la tratta oltre progr. 1400 interessa le dioriti, anch'esse in genere sane e poco fratturate.

La fascia compresa fra progr. 1000 e 1400 comprendente gneiss incassanti ol-

tre a gabbri e dioriti, è quella che ha subito i maggiori disturbi tettonici. Qui si riscontra maggiore fratturazione, e qui è stato messo in opera il 75% di tutte le strutture di contenimento provvisorie in fase di scavo.

Quest'ultima osservazione ci permette di richiamare l'attenzione sull'importanza che può avere un'attento studio dei parametri di funzionamento e d'avanzamento di una macchina fresatrice.

Già da alcuni anni, applicando il «Metodo RS» del foro pilota (Lunardi 1986) a numerosi progetti di gallerie ferroviarie attualmente in esecuzione, si è cercato di verificare il criterio secondo il quale l'energia specifica di scavo, calcolata come potenza impiegata dai motori della testa fresante per abbattere un metro cubo di roccia, è legata funzionalmente, con l'approssimazione della grande scala, alla resistenza intrinseca dell'ammasso (σ_{gd}). In Fig. 22, è riportata la resistenza d'ammasso, calcolata secondo i criteri del «Metodo RS», per le gallerie idrauliche di by pass lungo tutto il loro sviluppo. I diagrammi che si ottengono per le due gallerie sono molto simili, le resistenze risultano essere in genere variabili mediamente fra i 600 e gli 800 Kg/cm².

PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO ED AVANZAMENTO DELLE FRESE (Metodo RS)

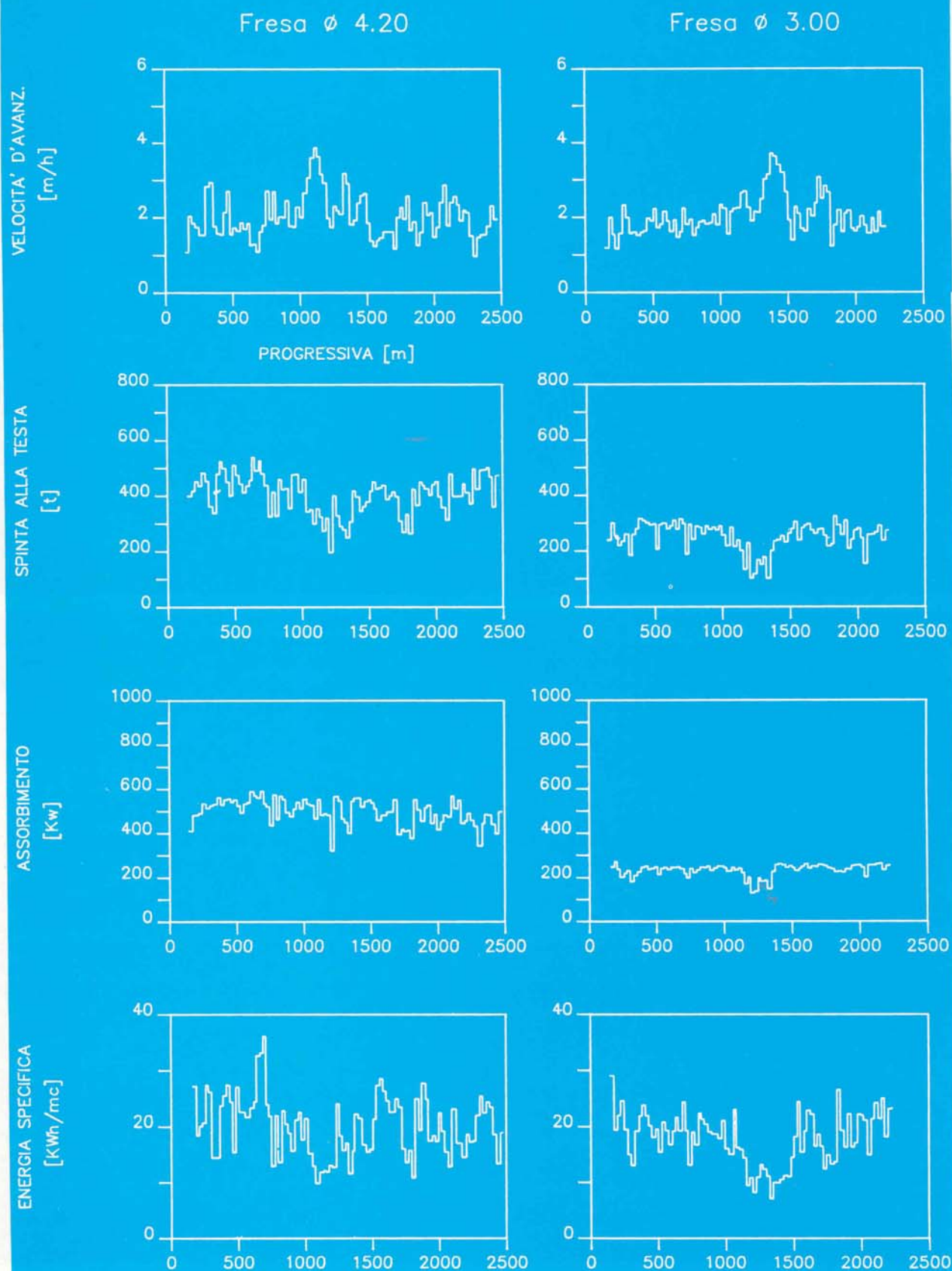


Fig. 21 - Quadro riassuntivo della resistenza d'ammasso determinata con il «Metodo RS»

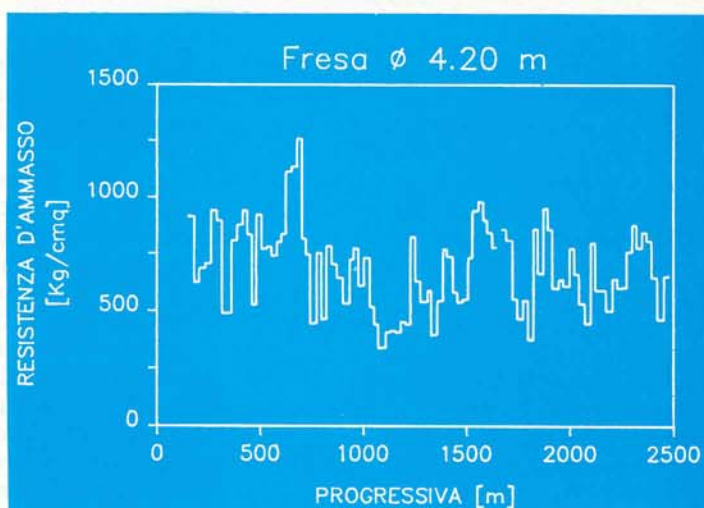
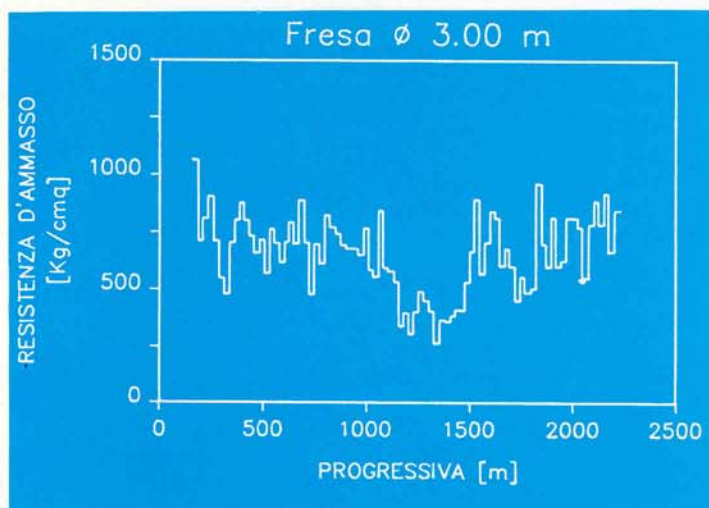


Fig. 22 - Quadro riassuntivo dei parametri d'avanzamento e di funzionamento delle frese elaborati con il «Metodo RS»

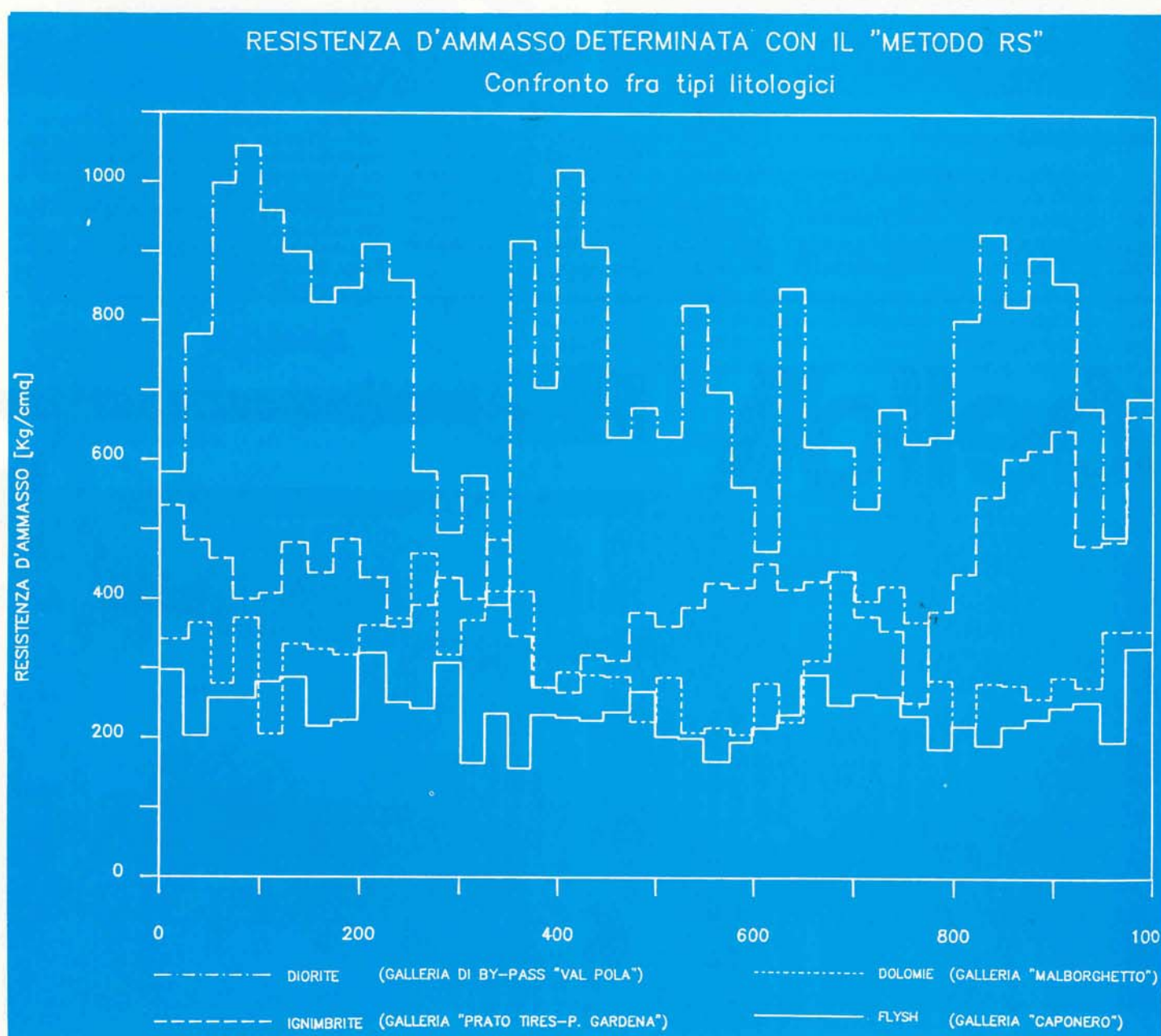


Fig. 23 - Confronto fra tipi litologici

Questi risultati confermano la validità del criterio adottato, d'altronde già verificato in altre gallerie.

Il dato nuovo emerso è che il criterio adottato sembra non risentire affatto dell'«effetto scala» dovuto alla fresa, cioè che nella grande scala l'energia specifica di scavo è un dato intrinseco della roccia costituente un certo ammasso roccioso e non è funzione della macchina che esegue lo scavo.

Un interessante confronto, che in prima approssimazione conferma la validità della proposta di utilizzare la fresa come «elemento sensibile» all'interno dell'ammasso roccioso è riportato in Fig. 23 dove compare, per quattro tipi litologici diversi, ignimbrite, dolomia, flysch e gabbro, riferiti ad un tratto campione di 1000 m l'andamento dei valori di resistenza d'ammasso σ_{gd} calcolati attraverso i parametri caratteristici della fresa.

Conclusioni

L'apertura delle gallerie di by-pass nel quadro dell'emergenza «Frana di Val Pola» rappresenta, dopo l'operazione della tracimazione controllata dell'agosto '87 il momento più importante, in

quanto risolve in maniera definitiva il problema della sicurezza per le popolazioni residenti a valle della frana di Val Pola.

Il sistema by-pass che, ad opera ultimata, sarà in grado di garantire uno smaltimento di oltre 400 m³ sec. è stato realizzato in tempi record grazie ad attente scelte progettuali e ad un'adeguata organizzazione di cantiere, che ha coinvolto in maniera significativa anche l'imprenditoria locale. Tali fattori hanno permesso di rispettare, secondo quanto previsto dai programmi, l'appuntamento con le piene primaverili.

Il progetto consente anche una pluralità di utilizzazioni, in funzione di ulteriori finalizzazioni delle opere.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia tra i protagonisti di questo lavoro:

La Regione Lombardia, e particolarmente:

On. Bruno Tabacchi, Presidente della Regione, Ing. Giovanni Verga, Assessore ai Lavori Pubblici, Ing. Lorenzo Capodiferro, Ingegnere Responsabile, Dott. Michele Presbitero, Responsabile del Servizio Geologico

Il gruppo di Imprese:

Italstrade, Torri, Magri e Poscio e particolarmente:

Dott. Nanni Fabris, Ing. Giorgio Corsi, Ing. Luciano Fariello, Ing. Giorgio Golinelli, Ing. Ugo Poletti, Geom. Leopoldo Pinotti, Ing. Luigi Segale, Ing. Guido Furlanetto, Ing. Luigi Da Deppo, Geom. Antonio Tocalli, Dott. Fabio Quintavalle

La Società Rocksoil, e particolarmente: Ing. Sirio Orsi

Bibliografia

- Lunardi P. 1986 - «Lo scavo delle gallerie mediante cunicolo pilota» Torino MIR86 Vol. 4
Becchi I., Calistri E., Lunardi P. Orsi S. 1986 - «Nuovi orientamenti nella progettazione delle gallerie mediante foro pilota» Firenze 186, Vol. 2 Sessione F
Focacci C. 1986 - «La galleria quale soluzione tecnica indispensabile nel potenziamento della rete ferroviaria italiana Nord-Orientale» Firenze 186, Vol. 1 Sessione A
Ianniello C., Leonardi C., Lunardi P., Pelizza S. 1986 - «Problemi tecnici di costruzione in sotterraneo del nuovo tratto di linea ferroviaria in Liguria fra San Lorenzo al mare e Ospedaletti» Firenze 186, Vol. 1 Sessione A
Lunardi P. 1979 - «Application de la mécanique des roches aux tunnels autoroutiers, exemple des tunnels du Fréjus (coté Italie) et du Gran Sasso» Revue Francaise de Geotechnique n. 12.