

LE GALLERIE IDRAULICHE DI BY-PASS NEL PROGETTO DI REGIMAZIONE
DEL LAGO FORMATO DALLA FRANA DI VAL POLA

Pietro LUNARDI
Università degli Studi di Parma, Facoltà di Ingegneria
Dip. Ingegneria civile

SOMMARIO

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.

Tra i compiti che i tecnici della "Commissione Valtellina", istituita immediatamente dietro ordinanza del Ministero della Protezione Civile, si trovarono a dover urgentemente risolvere, uno si presentava particolarmente delicato: l'eliminazione dell'acqua a monte dell'accumulo di frana che, sbarrando il cammino al Fiume Adda, in poco tempo avrebbe potuto creare un invaso da oltre 18 milioni di metri cubi.

A breve termine il problema fu risolto affidando lo svuotamento dell'acqua a tre stazioni di pompaggio ed attuando un'operazione di "tracimazione controllata", indispensabile nell'eventualità di forti precipitazioni.

La sistemazione idraulica definitiva dell'area fu realizzata attraverso la costruzione di due gallerie idrauliche di by-pass che, funzionando da scarichi di fondo del lago, garantiscono lo smaltimento di piene del fiume Adda per portate fino a $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ circa.

ABSTRACT

The general, constructive and operative aspects of the diversion plan of the River Adda stream, near the Val Pola landslide are here described. Particular importance is given to the realization of a twin hydraulic tunnels, bored by TBM, which are able to assure up to $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ flows of River Adda floods acting as lake draining-galleries.

1. 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 e 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) le condizioni 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 anche se per la sua geometria (2300 m di lunghezza e mediamente 70 m di altezza e 200 m di larghezza) esse non apparivano preoccupanti, anche a fronte delle spinte idrostatiche che si andavano incrementando. La stabilità dell'accumulo, ovviamente, era legata alla natura granulometrica ed alla permeabilità del materiale detritico e in definitiva alla sua tenuta in condizioni di saturazione ed alla sua erodibilità in caso di tracimazione;
- 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.

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

Il secondo tema, a breve termine, venne affrontato simulando la tracimazione del lago sull'accumulo di frana, in condizioni di granulometria €



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

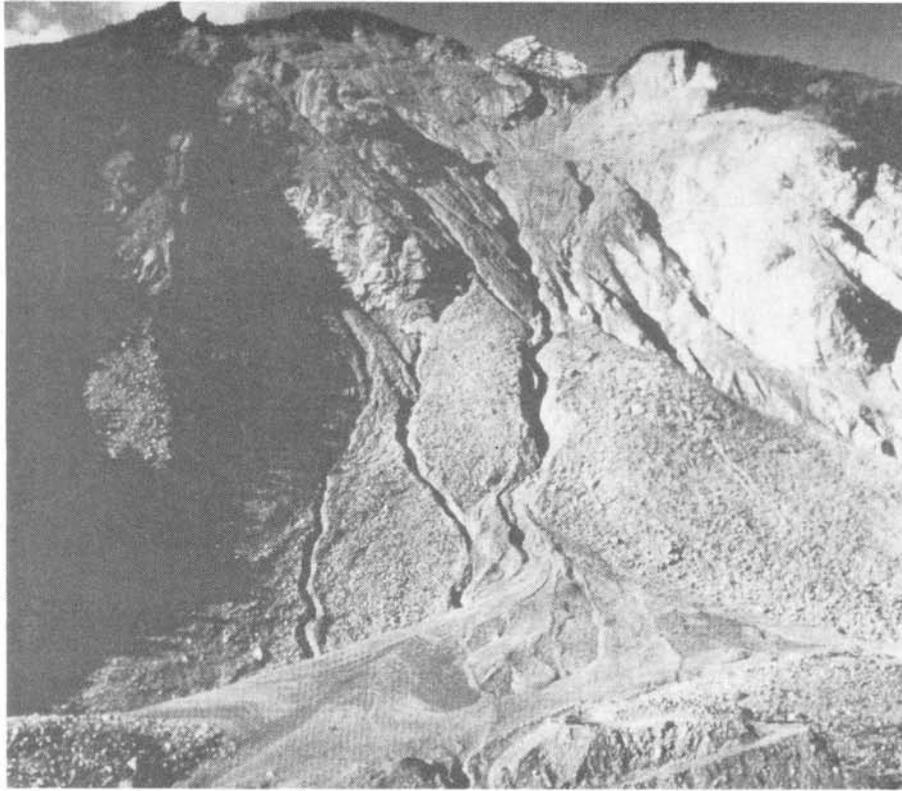


Fig. 2 - Corpo frana

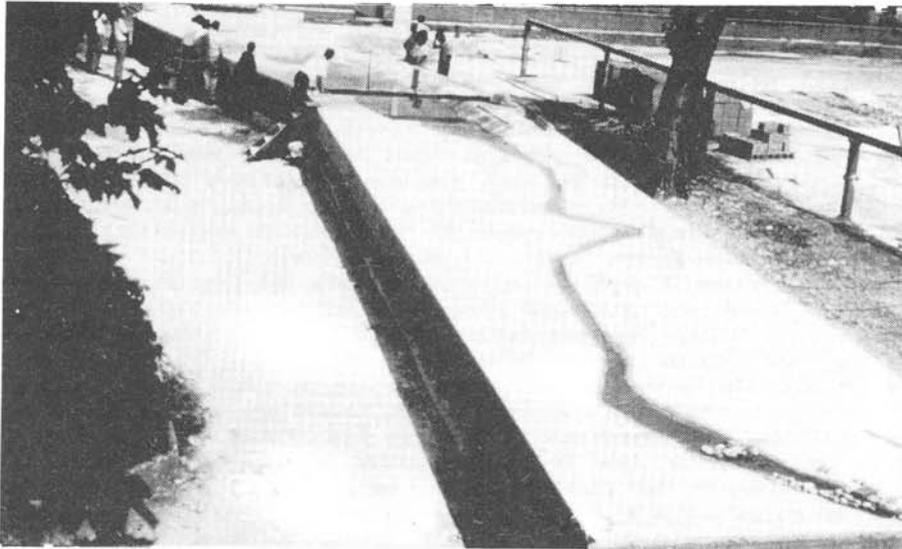


Fig. 3 - Modello di simulazione della tracimazione

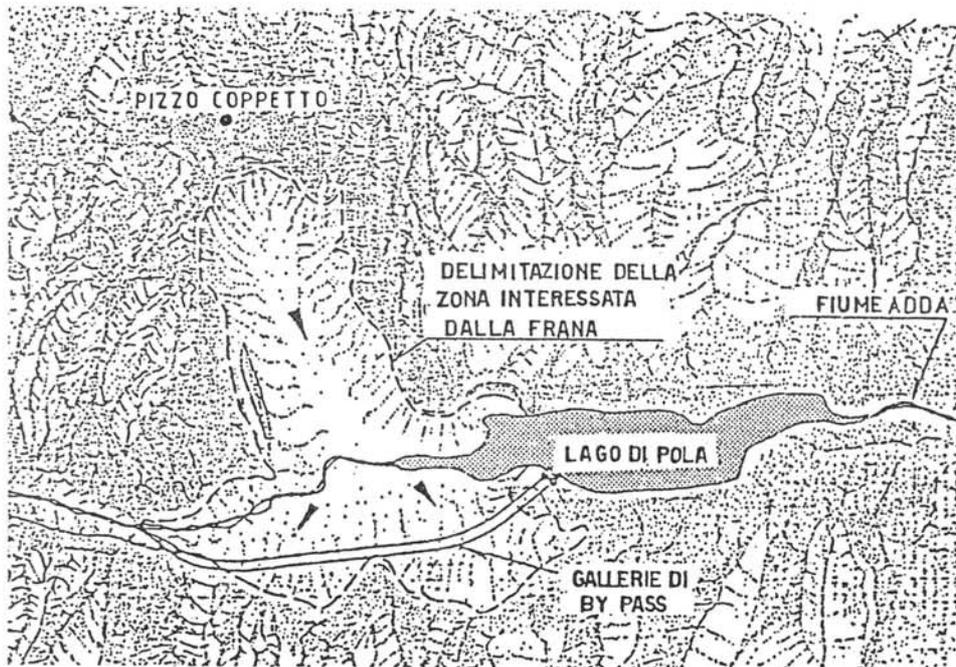


Fig. 4 - Corografia

di portate variabili, su un modello a fondo mobile in scala 1:250 realizzato dal CRIS-ENEL nel tempo record di 10 giorni (fig. 3).

A lungo termine la stabilità dell'accumulo fu garantita con un intervento di stabilizzazione del paramento di valle, tra quota 1070 e quota 1000, consistente in un sistema di briglie a pianta arcuata fondate su terreno consolidato mediante jet-grouting, realizzato entro l'Aprile 1988 (Consorzio CORIVAR tra le Imprese LODIGIANI, COGEFAR, CARIBONI e PIZZAROTTI) nel quadro di una regimazione idraulica dell'accumulo comprendente anche un nuovo canale di tracimazione.

Il terzo tema, a breve termine, fu risolto affidando 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), e preparando, nell'eventualità di forti precipitazioni, un'operazione di "tracimazione controllata", utile anche per verificare la tenuta dell'accumulo di frana.

A lungo termine il problema dello svuotamento del lago fu risolto con la costruzione di due gallerie idrauliche di by-pass (fig. 4), che funzionando da scarichi di fondo del bacino, garantiscono 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 1988 (Raggruppamento di Imprese ITALSTRADE, TORRI, MAGRI e POSCIO), ha garantito, per le 25000 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.

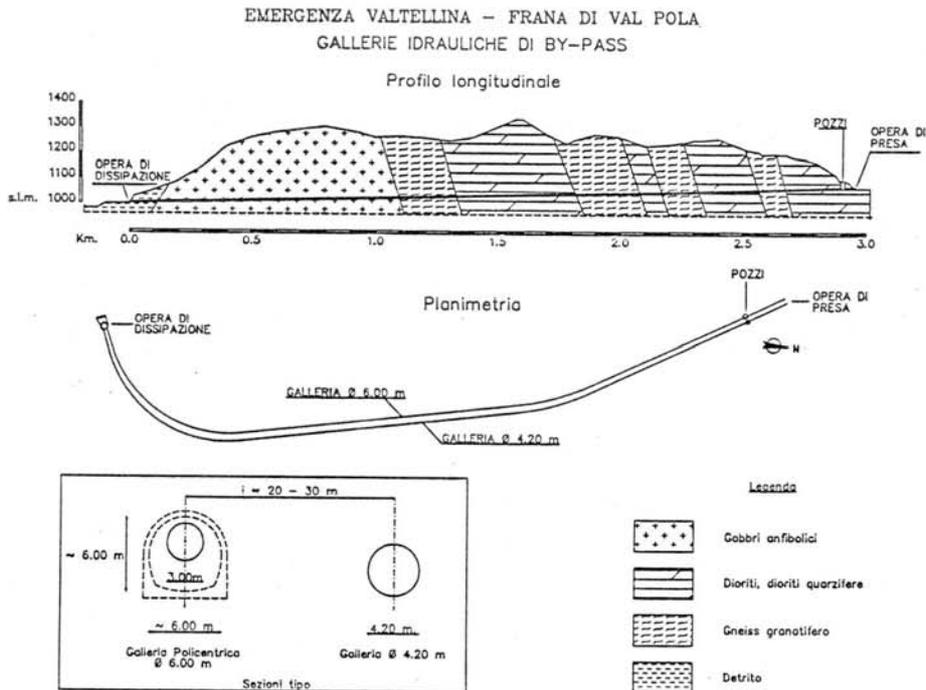


Fig. 5 - Caratteristiche geometriche e geologiche delle gallerie di by-pass

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA E DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Il progetto generale di sistemazione dell'area interessata dalla frana di Val Pola prevedeva 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 Ø 6.00 e la seconda Ø 4.20.

Entrambe si sviluppano in sinistra orografica del fiume correndo affiancate ad interasse variabile tra 20 e 30 m. La lunghezza della Ø 6.00 è 2854 m circa, quella della Ø 4.20 è 2898.

Il loro tracciato planimetrico è schematizzato in fig. 5: altimetricamente hanno pendenza costante ($i = 0.0252$ per Ø 6.00 ed $i = 0.0238$ per Ø 4.20) e copertura variabile tra i 200 ed i 300 m.

L'opera di presa realizzata all'imbocco di monte di ciascuna galleria, per prelevare l'acqua dal lago artificiale formatosi a seguito della frana, è costituita da manufatti in calcestruzzo dotati di griglia a maglie larghe con fondo a quota 1078.00 per la Ø 6.00 e a quota 1075.00 per la Ø 4.20 (figg. 6 e 7). Essa 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 Ø 4.20 ha sommità a quota 1107, mentre quella della Ø 6.00 è stata abbassata a quota 1094.50 con un profilo sagomato per poter funzionare quale sfioratore di sicurezza in caso di otturazione parziale o totale dell'opera di presa.



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

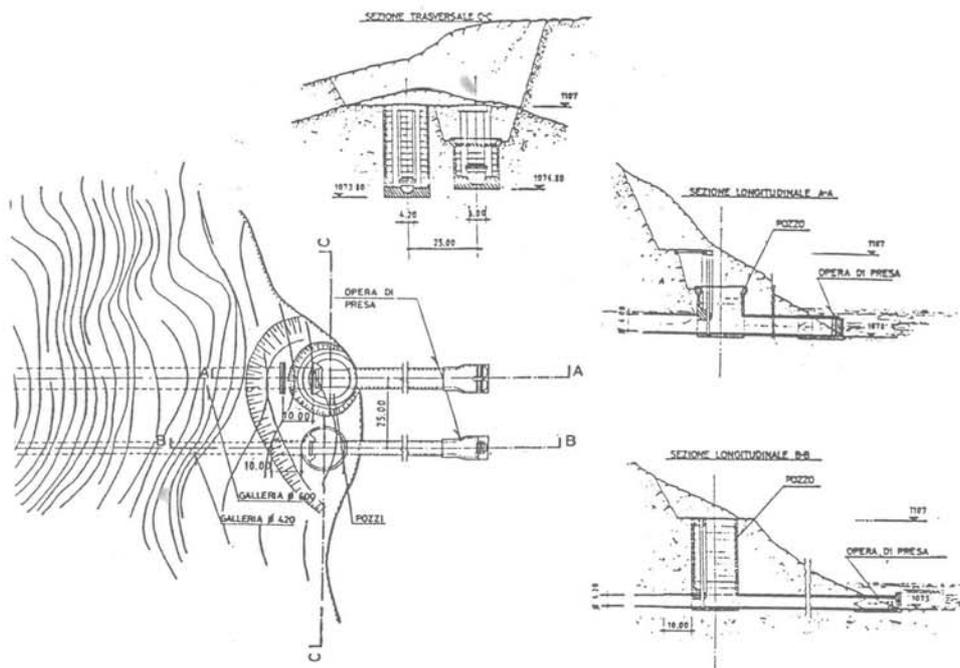


Fig. 7 - Planimetria e sezioni dell'imbocco di monte

A valle delle gallerie naturali, un unico tratto di galleria artificiale, planimetricamente divergente, accompagna l'acqua entro un pozzo cilindrico di diametro interno di 25.00 m che funziona da dissipatore prima che questa sia immessa nel canale di raccordo e restituzione 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 dissipatore di valle ha delle luci di fondo che consentono l'allontanamento dell'eventuale materiale 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

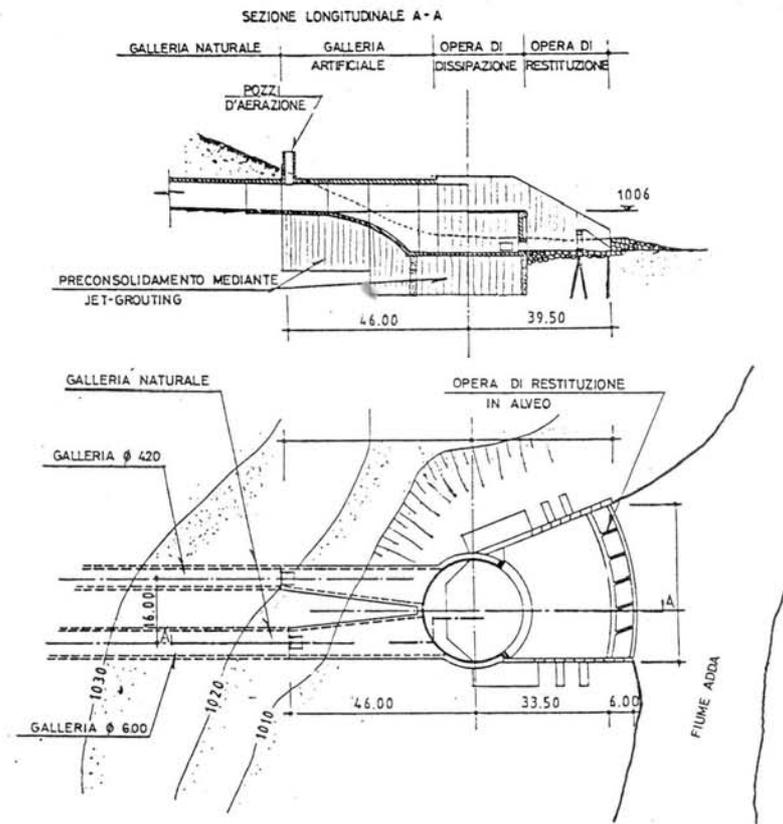


Fig. 8 - Planimetria e sezione dell'imbocco di valle



Fig. 9 - Modello idraulico: vista dell'opera di resa in alveo

diversi, quali acciaio, materiali plastici e legno.

La portata d'acqua utilizzata per l'alimentazione del modello è stata di 50 l/sec, corrispondente ad 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 la taratura di tutto il sistema e l'individuazione di alcune modifiche necessarie per ottenere un funzionamento ottimale.

3. QUADRO GEOLOGICO - GEOTECNICO

Il versante in sinistra orografica del fiume Adda, interessato dalla costruzione delle gallerie idrauliche di by-pass, è costituito da rocce eruttive intrusive appartenenti alla formazione del "Gabbro di Sondalo" (Ciclo magmatico Alpino - Cenozoico) ed alla formazione dello "Gneiss del Monte Tonale" (Archeozoico).

In entrambe le gallerie, durante lo scavo avvenuto con macchine fresatrici, fu riscontrata la stessa sequenza litologica, con modesti sfasamenti riconducibili ad episodi strutturali di origine tettonica.

In fig. 5 è riportato un profilo longitudinale del tracciato con i principali litotipi incontrati.

La tratta tra le progr. 1150 + 1300, caratterizzata litologicamente da gneiss incassante, è quella che ha dato i maggiori problemi per quanto riguarda la stabilità dei cavi. In questo tratto di passaggio dal gabbro alle dioriti l'intensa fratturazione richiese d'intervenire con opere di contenimento provvisorie importanti (fig. 10).

Il rilievo continuo e di dettaglio eseguito in fase di scavo (reso possibile dal sistema d'avanzamento) permise di definire con esattezza le

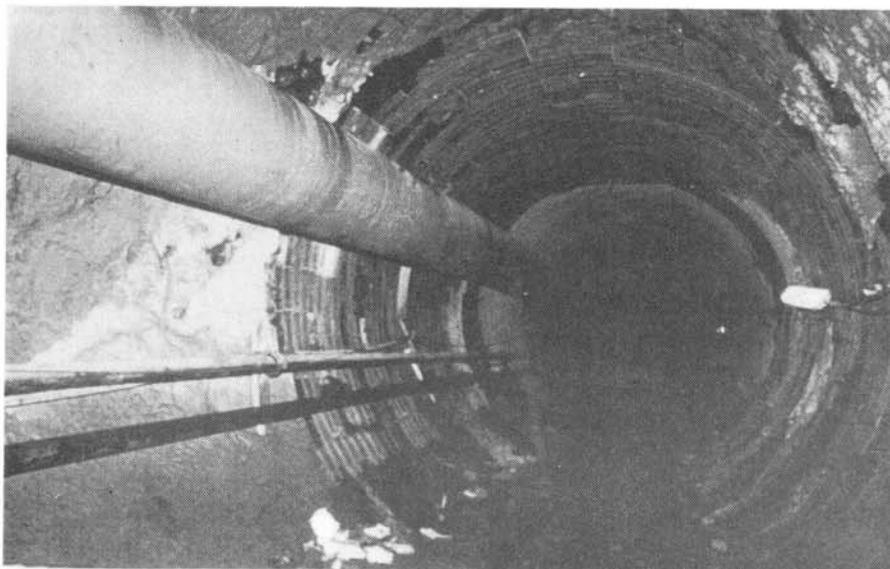


Fig. 10 - Galleria \varnothing 6.00: zona fratturata con blingaggio di contenimento

incidenze dei vari litotipi lungo il tracciato e di stabilire con sicurezza che l'area interessata era strutturalmente interessata da tre sistemi principali di lineamenti tettonici con direzione NW-SE, E-W, N-S.

La presenza d'acqua in galleria fu molto modesta, in genere sotto forma di stillicidio con punte di umidità diffusa nelle tratte caratterizzate da fratturazione più intensa.

4. ASPETTI COSTRUTTIVI ED OPERATIVI

Il complesso delle opere costituenti il 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 di raccordo in artificiale;
- opera di dissipazione;
- opera di restituzione in alveo.

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

I lavori iniziarono nel mese di Ottobre 1987 con l'esecuzione dei pozzi d'accesso a monte, realizzati per sottomurazione di anelli in calcestruzzo armato di altezza di circa 2 m (figg. 11).

Contemporaneamente a valle si procedette alla preparazione degli imbocchi delle due gallerie di by-pass e delle opere di sottofondazione della galleria di raccordo in artificiale, dell'opera di dissipazione e dell'opera di restituzione in alveo (fig. 12).



Fig. 11 - Vista generale dei pozzi d'imbocco di monte



Fig. 12 - Vista generale dell'imbocco di valle

Lo scavo delle gallerie iniziò dagli imbocchi di valle ed, inizialmente, avvenne con l'ausilio di mezzi meccanici adatti a superare il primo tratto detritico (circa 170 m) a tetto del substrato roccioso. Fu necessario realizzare nella zona di calotta un arco di terreno preconsolidato.

Il preconsolidamento fu eseguito in avanzamento mediante il sistema jet-grouting applicato in orizzontale, per formare colonne di terreno consolidato lunghe 10 m ed armate con tubi d'acciaio.

Oltrepassato il deposito detritico, il Consorzio incaricato dei lavori, considerata l'esigenza di avere almeno una delle due gallerie operativa e funzionante prima del periodo di disgelo (in modo da poter regimare possibili ondate di piena) e considerate le buone caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso interessato dal tracciato, decise continuare l'avanzamento con l'impiego di due macchine fresatrici ad attacco integrale e continuo: una WIRTH TBS IIE da 4.20 m di diametro ed una WIRTH TB IE da 3.00 m di diametro.

Con la prima fresa fu scavata, a piena sezione, la galleria circolare \varnothing 4.20, con la seconda fu eseguito un foro pilota lungo l'asse della \varnothing 6.00 che, successivamente, è stata alesata con l'impiego di esplosivi. Contemporaneamente dal lato di monte, per sveltire i tempi di esecuzione, completati i pozzi, si procedeva con lo scavo verso valle andando incontro alle macchine fresatrici (fig. 13). 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 sono stati realizzati 370.00 ml di galleria \varnothing 4.20 e 185.00 ml di galleria \varnothing 6.00.

Le figg. 14 e 15, evidenziano la differenza tra la profilatura ottenuta con l'avanzamento in tradizionale e quella ottenuta con l'avanzamento mediante fresa. Il minor disturbo recato all'ammasso roccioso in fase di scavo con la fresa si traduce in minori sovraprofili. L'uso dell'esplosivo, invece, esaltando i sistemi di fratturazione preesistenti nell'ammasso ha favorito la formazione di sovrappessori.



Fig. 13 - Le due frese in fase di montaggio



Fig. 14 - Profilatura ottenuta con l'avanzamento mediante esplosivo

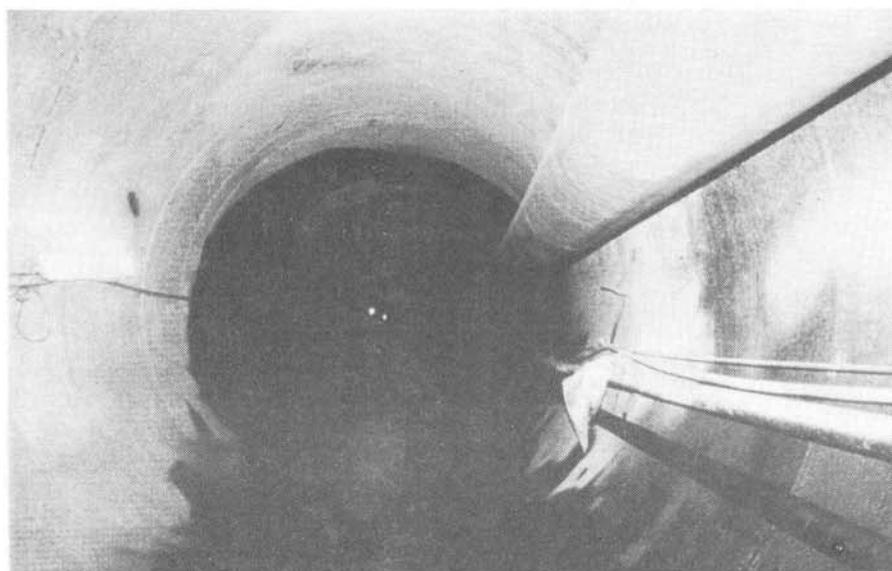


Fig. 15 - Profilatura ottenuta con l'avanzamento mediante fresa

Prima di porre in esercizio le gallerie, si è provveduto a rivestirle nelle tratte ove situazioni singolari della fratturazione e delle caratteristiche chimico fisiche della matrice, dell'ammasso e del materiale di riempimento delle fratture suggerivano l'opportunità di operare una protezione delle superfici di scavo per garantire la piena funzionalità dei cavi durante il deflusso dell'acqua.

Nelle tratte che già durante lo scavo con la fresa avevano richiesto la messa in opera di opere di contenimento, i blindaggi già realizzati furono integrati con la messa in opera, sul perimetro bagnato del cavo, di chiodi ad aderenza continua (numero = 8, l = 2.50 m, i = 1.50 m) cementati con malta antiritiro e di uno strato di circa 8 cm di spritz beton armato con rete elettrosaldata.

Nelle altre tratte l'intervento è consistito nella messa in opera dei soli chiodi ad aderenza continua (numero = 6, l = 2.50 m, i = 2.00 m) e nell'applicazione, sul "perimetro bagnato", di uno strato di spritz-beton di circa 5 cm armato con rete elettrosaldata.

Complessivamente il primo tipo di intervento è stato eseguito su circa 195 m circa, il secondo su 180.

5. ANALISI DEI RISULTATI

In fig. 16 sono evidenziati i tipi di avanzamento adottati per le due gallerie ed i diagrammi delle produzioni medie ottenute nelle diverse tratte.

Riteniamo interessante, a questo punto, osservare brevemente come il comportamento delle macchine fresatrici, durante l'esecuzione dei lavori di scavo, confermò che queste 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.

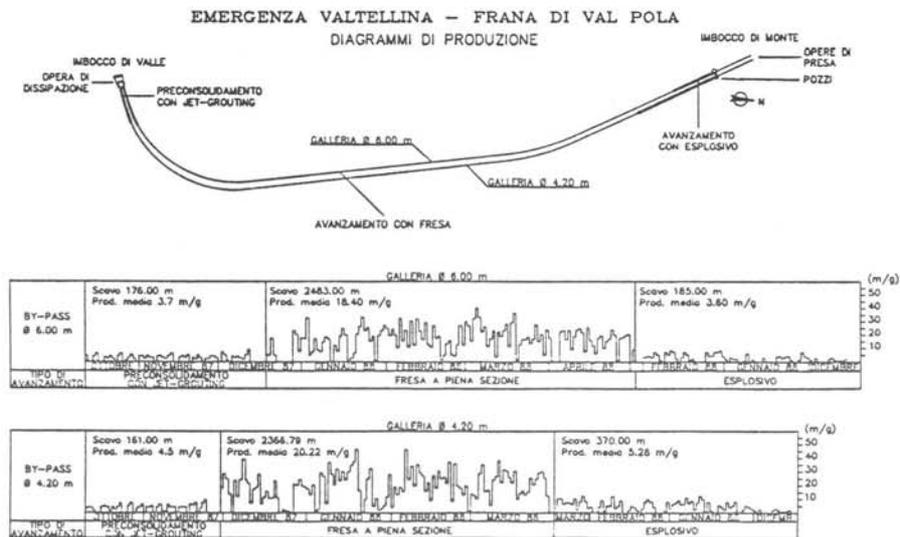


Fig. 16 - Tipologie d'avanzamento e diagrammi di produzione

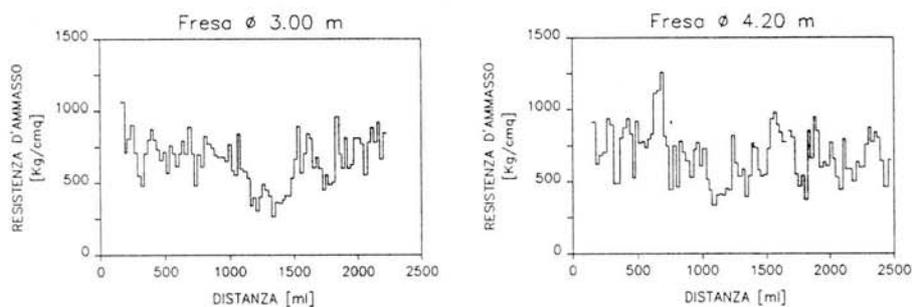


Fig. 17 - Quadro riassuntivo dei parametri di resistenza d'ammasso

L'analisi e le elaborazioni delle registrazioni continue dei parametri di funzionamento e di avanzamento della fresa ("Metodo RS", Lunardi 1986) consentirono, infatti, di avere una documentazione precisa ed oggettiva di ciò che le macchine incontravano in fase di scavo.

Già da alcuni anni, applicando il "Metodo RS" del foro pilota a numerosi progetti di gallerie ferroviarie in corso di esecuzione, si era verificata la correttezza del criterio secondo cui l'energia specifica di scavo, calcolata come potenza impiegata dai motori della testa fresante per abbattere un metro cubo di roccia, era legata funzionalmente, con l'approssimazione della grande scala, alla resistenza intrinseca dell'ammasso roccioso (σ_{gd}). In fig. 17, 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 ottenuti per le due gallerie sono molto simili: le resistenze risultano variabili mediamente fra i 60 e gli 80 MPa.

I risultati ottenuti in Val Pola confermano quindi la validità di questo criterio ed in più mostrano che esso non risente affatto dell'"effetto scala" dovuto alla fresa; cioè, nella grande scala, l'energia specifica di scavo è un dato intrinseco della roccia costituente l'ammasso roccioso e non dipende dalla 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. 18 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 di funzionamento della fresa.

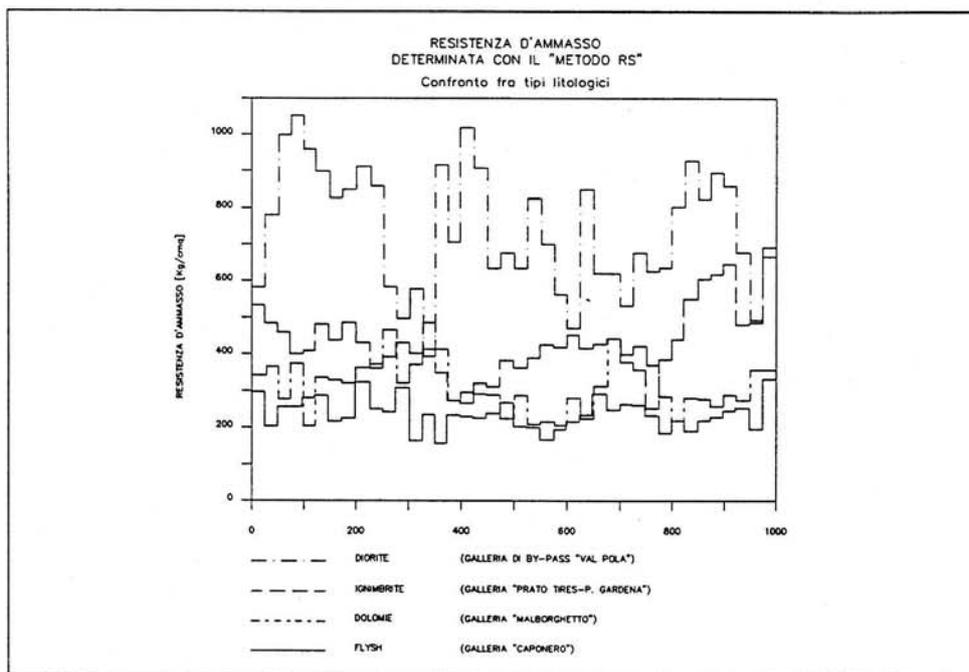


Fig. 18 - Confronto tra tipi litologici

7. CONCLUSIONI

L'apertura delle gallerie di by-pass nel quadro dell'emergenza "Frana di Val Pola" rappresentò, dopo l'operazione della tracimazione controllata dell'agosto 1987, il momento più importante, in quanto risolse in maniera definitiva il problema della sicurezza per le popolazioni residenti a valle della frana di Val Pola.

Il sistema di by-pass, che è 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. Sono questi i fattori che hanno permesso di rispettare, come previsto dai programmi, l'appuntamento con le piene primaverili.

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

Ringraziamenti: L'autore ringrazia per la collaborazione il Prof. Ing. Luigi Da Deppo, progettista delle opere idrauliche.

BIBLIOGRAFIA

[1] LUNARDI P., (1986). Lo scavo delle gallerie mediante cunicolo pilota. Atti del primo ciclo di conferenze di meccanica e ingegneria delle rocce MIR86, Fasc. 4, Politecnico di Torino

[2] BECCHI I., CALISTRI E., LUNARDI P., ORSI S., (1986). Nuovi orientamenti nella progettazione delle gallerie mediante foro pilota. Atti del Congresso Internazionale su "Grandi Opere Sotterranee" I86, Vol. 2, 488-499, Firenze

[3] DA DEPPO L., FURLANETTO G., (1990). La diversione del fiume Adda per il by-pass della frana di Val Pola. Atti del XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza