

**G. Astolfi (*), C. Garbin (*), T. Moro (*), V. Vanin (*),
A. Frassoni (**), P.P. Rossi (**)**

***Indagini e interventi di ripristino
di una galleria elettrica lesionata***

(memoria presentata al Congresso Internazionale *Grandi Opere Sotterranee*, Firenze, 8-11 giugno 1986)

(*) ENEL C.P.C.I.E. - Venezia

(**) ISMES - Bergamo

ismes s.p.a.

viale Giulio Cesare, 29 - 24100 BERGAMO - tel. 035/358111 - telex 301249 - BG

INDAGINI E INTERVENTI DI RIPRISTINO DI UNA GALLERIA IDROELETTRICA LESIONATA

G. ASTOLFI, C. GARBIN, T. MORO, V. VANIN
ENEL C.P.C.I.E. - Venezia

A. FRASSONI, P.P. ROSSI
I.S.M.E.S. - Bergamo

1. PREMESSA

La galleria "diretta Gardona-Vajont", ubicata in sponda sinistra del fiume Piave poco a monte dell'abitato di Longarone in provincia di Belluno, fa parte dell'impianto per l'utilizzazione delle acque del Piave-Boite-Maè (Fig. 1) ed ha le seguenti caratteristiche principali: diametro interno \varnothing 2,75 m, lunghezza 2862 m e pressione massima di esercizio 1,5 MPa.

La funzione della galleria, entrata in esercizio nel 1962, era di consentire il riempimento del serbatoio del Vajont alla massima quota di regolazione (722,50 m s.m.) mediante l'immissione delle acque dei torrenti Boite e Maè che vi affluivano direttamente dal serbatoio di Pontesei dopo utilizzazione nella centrale di Gardona.

la galleria anche una notevole quantità di materiale terroso-lapideo che ostruì completamente la sezione per circa 200 m.

Per ragioni legate ad esigenze di certezza di continuità dell'esercizio della derivazione principale Pieve di Cadore-Val Gallina, nel 1982 iniziarono i lavori di costruzione di una galleria nella frana del Vajont per mettere in comunicazione diretta la galleria di immissione nell'ex serbatoio del Vajont, proveniente dal serbatoio di Pieve di Cadore, con quella di presa verso Val Gallina che, al momento, erano collegate da un ponte tubo ubicato a valle della diga; questa nuova galleria consentiva, con modeste opere di raccordo, di ripristinare anche la diretta Gardona-Vajont che era inutilizzata dal 1963.

Un'ispezione alla galleria da ripristinare ha evidenziato un tratto di circa 200 m particolarmente lesionato; in questa zona erano già stati fatti interventi di rinforzo costituiti prevalentemente da 8 cm di gunita armata generalmente con rete e solo un breve tratto, che per altro non presentava fessure, era stato fortemente armato con ferri \varnothing 24 passo 5-6 cm.

Per definire le cause del dissesto e stabilire l'opportunità e l'eventuale metodologia di intervento, si è ricorsi ad una campagna di indagine geologica e geomeccanica associata ad una prova idraulica della galleria.

SISTEMA PIAVE - BOITE - MAE' - VAJONT
PLANIMETRIA GENERALE DEGLI IMPIANTI
DOPO L'OTTOBRE 1963

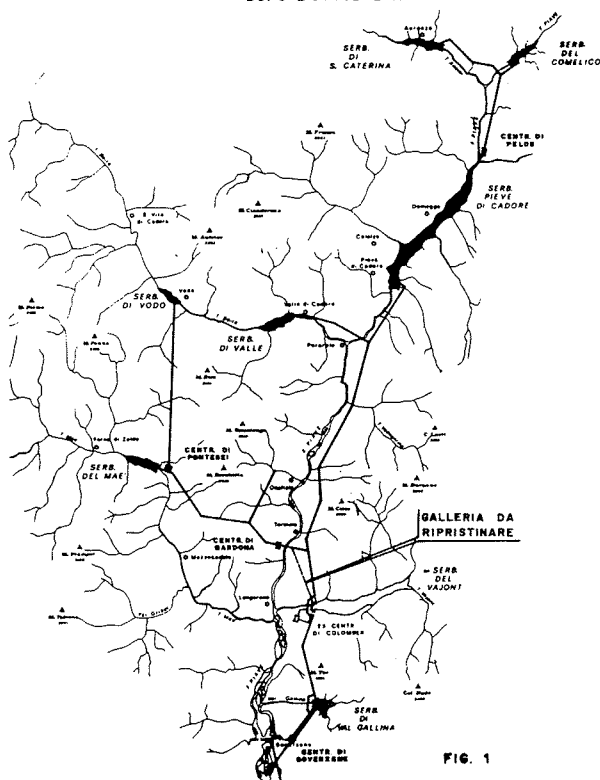


FIG. 1

L'onda d'urto, provocata dalla disastrosa frana del monte Toc nell'ottobre 1963, fece invertire la direzione del flusso spingendo entro

2. STUDIO GEOLOGICO

Le frequenti lesioni del calcestruzzo di rivestimento della galleria, poichè particolarmente evidenti in un tratto ben definito, hanno suggerito l'ipotesi che le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso, in corrispondenza del tratto lesionato, fossero scadenti.

Allo scopo di verificare tale ipotesi, è stato eseguito uno studio la cui prima fase è stata impostata sulla fotointerpretazione e sul rilevamento geologico di superficie.

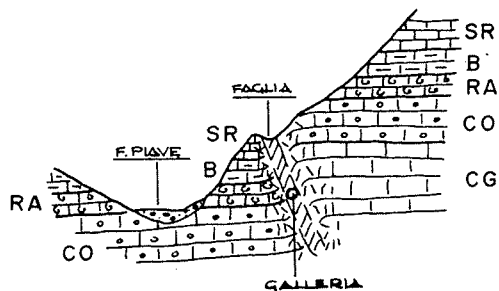
2.1. Fotointerpretazione

Per la fotointerpretazione è stata utilizzata una strisciata aereofotografica, scala 1:33.000, eseguita nel 1983. L'esame delle foto aeree ha evidenziato una grossa lineazione lungo il versante sinistro della valle del fiume Piave, ove è anche ubicata la galleria, avente direzione circa parallela alla valle stessa e coincidente con un risalto morfologico accompagnato da ampie fasce di detrito e da un marcato cambio di pendenza nel pendio.

2.2. Rilevamento di superficie

Il successivo rilevamento geologico di superficie, eseguito nell'intorno della galleria, ha evidenziato che il grosso disturbo tettonico, individuato dalla fotointerpretazione, è caratterizzato inoltre da una chiara anomalia stratigrafica che vede la Scaglia Rossa del Cretaceo a contatto diretto con i Calcari oolitici del Dogger mentre la successione normale delle formazioni sedimentarie della zona, dalla più recente alla più antica elenca:

- Scaglia Rossa del Cretaceo sup. (SR)
- Calcari bianchi del Cretaceo inf. (Biancone) (B)
- Rosso Ammonitico del Malm (RA)
- Calcari oolitici del Dogger (CO)
- Calcari grigi del Lias (CG)



Il disturbo tettonico, quasi sempre mascherato da ampie fasce di detrito, è accompagnato da uno stato di laminazione e fratturazione delle rocce dello spessore di qualche decina di metri. Fuori dalla zona di influenza della faglia le formazioni si presentano relativamente poco fratturate e di buone caratteristiche meccaniche.

Il riscontro di tale disturbo ha permesso di confermare l'ipotesi che le lesioni del rivestimento della galleria fossero effettivamente legate alla situazione geologico-strutturale dell'ammasso.

3. INDAGINI IN SITU

Lo studio è stato completato con una seconda fase di indagini in situ con lo scopo di confermare l'interpretazione geologica, di definire l'estensione del disturbo e di quantificare i parametri meccanici della roccia.

A tale scopo l'indagine è continuata all'interno della galleria secondo le fasi seguenti:

- a) Indagine geofisica.
- b) Esecuzione di fori di sondaggio.
- c) Caratterizzazione elastica dell'ammasso roccioso tramite prove dilatometriche eseguite nei fori di cui al punto b).

3.1. Indagine geofisica

L'indagine geofisica ha investigato circa 400 m di galleria a cavallo della zona lesionata ed è consistita nella misura della velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali entro la roccia a ridosso del rivestimento.

Per l'esecuzione dell'indagine sono stati predisposti ogni 10 m dei fori diametro 35 mm, profondi 1,5 m e distribuiti lungo tutto il tratto da esaminare. La misura della velocità è stata eseguita mediante l'impiego di due ricevitori, ubicati in fori adiacenti, con punto di energizzazione laterale rispetto ai ricevitori stessi.

L'indagine sismica ha evidenziato, tra la progressiva 9300 e 9400, la presenza di una zona di bassa velocità con valori compresi tra 3000 e 4000 m/s e forte attenuazione del segnale. Ai margini di tale zona, invece, la velocità tende via via a salire fino a valori prossimi a 6000 m/s fuori del tratto lesionato.

La galleria è stata pertanto suddivisa in 3 zone omogenee:

- A) zona di faglia (progr. 9321+9341) caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde sismiche <4000 m/s;
- B) zone di roccia fratturata (progr. 9161+9321 e 9341+9381) caratterizzate da un valore di velocità compreso tra 4000 e 5500 m/s;
- C) zone di roccia compatta (progr. <9161 e >9381) caratterizzate da valori di velocità >5500 m/s.

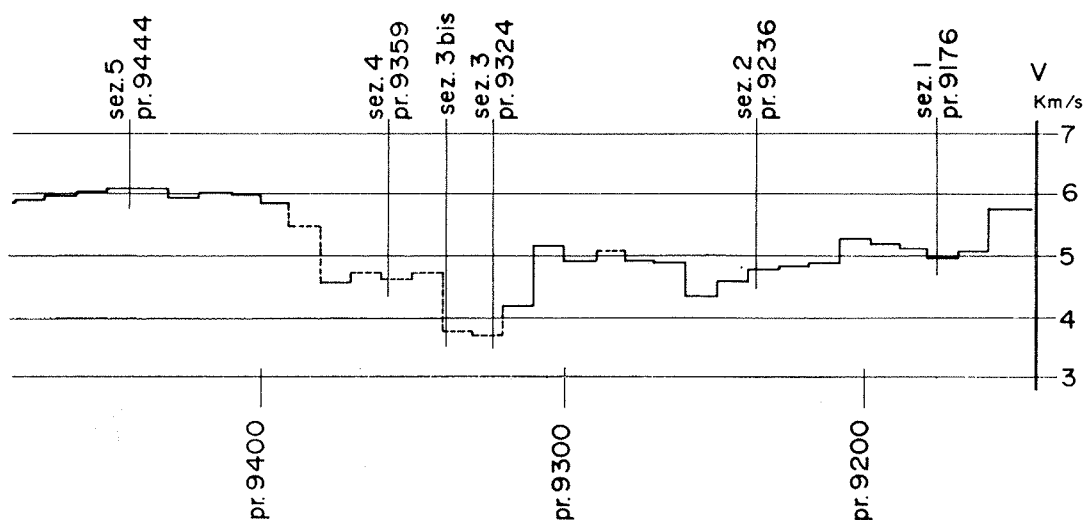


FIG. 2

3.2. Sondaggi

Sulla base delle informazioni fornite dalla indagine sismica, sono state fissate 6 sezioni significative (Fig. 2) in corrispondenza delle quali sono stati eseguiti 12 sondaggi geognostici di lunghezza variabile tra 5 e 10 m, distribuiti due per sezione, alcuni suborizzontali ed altri verticali; tutti sono stati inoltre eseguiti a rotazione con campionamento continuo ed uso di doppio carotiere.

Le perforazioni hanno evidenziato la presenza di una fascia di roccia fratturata dello spessore di 1 m circa a ridosso del rivestimento e, in corrispondenza delle sezioni nella zona a più bassa velocità, la presenza di una breccia calcarea laminata e alterata con milonite, tipica di un riempimento di faglia.

E' stata inoltre confermata l'anomalia stratigrafica osservata in superficie, incontrando Rosso Ammonitico del Malm prima della faglia (Sez. 1 e 2) e Calcarea grigio del Lias dopo la faglia (Sez. 5).

L'esame dei campioni è stato integrato, per ciascun foro, da un'indagine mediante sonda televisiva la quale ha rilevato un cattivo collegamento fra roccia e rivestimento nelle zone A e B precedentemente individuate.

3.3. Prove dilatometriche

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso nelle zone in esame è stata eseguita mediante l'esecuzione di una prova di deformabilità di tipo speditivo all'interno dei fori di sondaggio.

Si è utilizzato un dilatometro di lunghezza 1 m e diametro 95 mm in grado di applicare alla superficie del foro una pressione idrostatica fino a 20 MPa. Le deformazioni diametrali del foro conseguenti all'applicazione del carico, sono state misurate mediante n. 3 trasduttori di spostamento installati nella sezione mediana del dilatometro.

ZONA	MPa	E (MPa)
A	6	1000-1500
B	17,0	8000-12000
C	17,0	30000-40000

4. PROVA IDRAULICA

Il quadro fessurativo presente nel rivestimento della galleria nel tratto in esame ha consigliato inoltre l'esecuzione di una prova idraulica in grande scala per consentire l'analisi del comportamento statico dell'opera e per determinare l'entità delle perdite d'acqua.

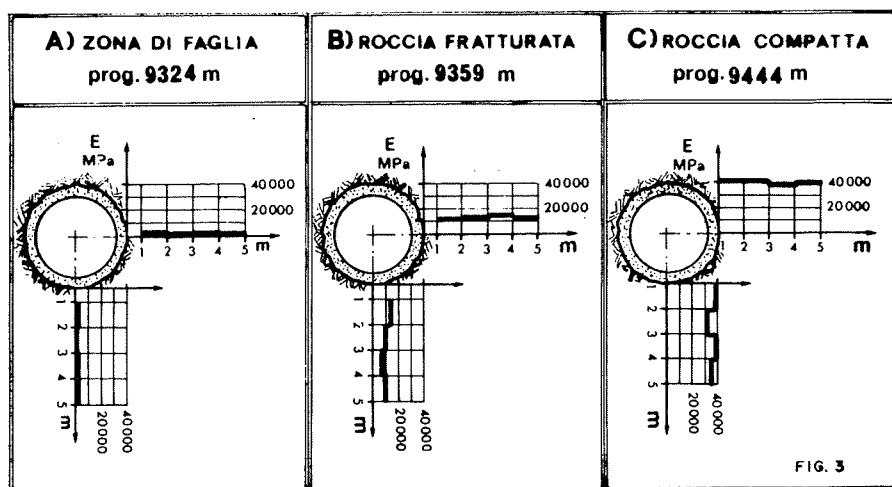
La prova è stata eseguita nel tratto di galleria compreso fra le progressive 8968 e 11818 per una lunghezza complessiva pari a 2850 m; le perdite d'acqua rilevate perciò non sono attribuibili completamente al tratto lesionato ma certamente ne rappresentano la parte preponderante.

4.1. Modalità di esecuzione della prova

La galleria, sezionata a monte da un tampone in calcestruzzo ed a valle da una paratoia metallica, è stata messa in carico utilizzando una tubazione \varnothing 200, collegata alla derivazione principale, in cui era stato inserito un misuratore di portata a diaframma precedentemente tarato.

Dopo il primo riempimento la prova idraulica, durata complessivamente due giorni, si è sviluppata, sino a raggiungere il valore massimo della pressione disponibile, secondo le seguenti fasi:

- variazione della portata di immissione mediante regolazione della saracinesca di intercettazione della tubazione \varnothing 200;
- misura a regime della pressione in galleria, delle portate immesse e delle deformazioni delle sezioni strumentate.



In ciascun foro sono state eseguite n. 4 prove fino alla profondità di 5 m dalla superficie della galleria. Nei diagrammi di fig. 3 sono riportati, in funzione della profondità i valori dei moduli rilevati nel corso delle prove.

I valori medi dei moduli di deformabilità reversibili e i relativi intervalli di sollecitazione sono riportati nella tabella seguente.

4.2. Strumentazione

Per la determinazione delle deformazioni sono state predisposte tre sezioni di misura in corrispondenza delle 3 zone esaminate ed in ciascuna sezione sono state rilevate le deformazioni diametrali secondo due direzioni ortogonali fra loro. Alcune basi estensimetriche sono state inoltre installate a cavallo delle

principali lesioni del rivestimento.

La notevole lunghezza del tratto di prova ha consigliato l'impiego di trasduttori di spostamento del tipo a corda vibrante appositamente modificati per consentire un ampliamento del campo di misura fino a circa 5 mm.

Particolare cura è stata dedicata al problema dell'impermeabilizzazione dei sensori per garantirne un corretto funzionamento ad elevate pressioni.

4.3. Analisi dei risultati

Nelle figure 4 e 5 sono riportati rispettivamente i diagrammi carichi-deformazioni, rappresentativi delle tre zone esaminate, e il diagramma carichi-perdite d'acqua totali del tratto provato.

Le perdite sono risultate elevate e tali da giustificare l'onere relativo ad un intervento di bonifica ristretto alla sola zona fessurata a cui si attribuiscono gran parte delle perdite stesse.

- rivestimento con guaina in PVC protetta da uno spesso strato di gunite armata;
- rivestimento metallico autoportante per le pressioni interne ed esterne.

Tra le varie ipotesi esaminate le ultime due, pur garantendo una pressochè totale impermeabilizzazione del tratto rivestito, risultano decisamente più costose della prima la quale, pur essendo di più facile e breve esecuzione, è comunque in grado di eliminare o ridurre le cause che hanno portato al dissesto del rivestimento e che consistono nella scarsa collaborazione offerta dalla roccia circostante, causa le sue scadenti caratteristiche meccaniche, e dell'incerto collegamento tra calcestruzzo di rivestimento ed ammasso roccioso.

L'intervento di bonifica con iniezioni elimina infatti i vuoti nel contatto roccia-calcestruzzo, chiude parte delle vie d'acqua presenti per la fratturazione dell'ammasso roccioso e, seppur con effetti modesti, aumenta il modulo elastico della roccia nell'immediato intorno del rivestimento.

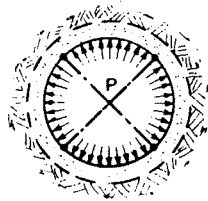
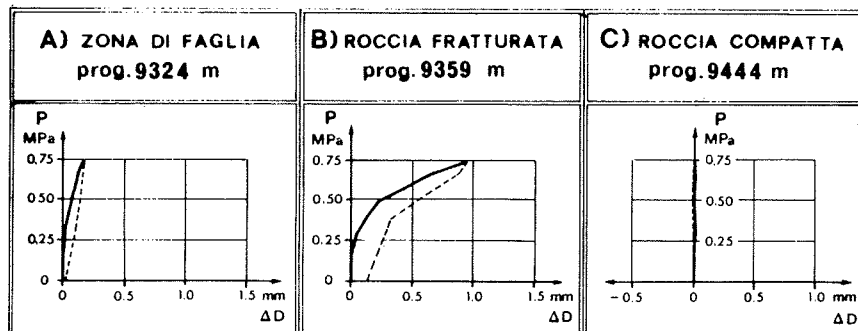


FIG. 4

Si può osservare inoltre che le deformazioni diametrali misurate sulla zona di faglia sono di modesta entità (0,2 mm) a causa della presenza del rivestimento fortemente armato in quel tratto.

Le deformazioni relative alla zona di roccia tipo B risultano invece notevolmente più elevate anche con riferimento a quelle calcolate sulla base delle caratteristiche meccaniche ed elastiche assegnate all'ammasso roccioso; tale comportamento è stato attribuito allo scarso collegamento tra rivestimento e roccia.

Nella zona di roccia compatta le deformazioni diametrali sono risultate praticamente nulle.

5. IPOTESI DI INTERVENTO

Sono state esaminate le seguenti ipotesi di intervento per la bonifica della galleria nel tratto in questione:

- impiego di iniezioni cementizie;

5.1. Modalità di esecuzione dell'intervento

L'intervento di bonifica ha interessato circa 400 m di galleria compresa tra le progressive 9150 e 9552 ed è stato articolato in due fasi.

Nella prima fase si è ricostruito, previa stuccatura di tutte le fessure, il contatto roccia-calcestruzzo, con iniezioni cementizie a bassa pressione utilizzando una serie di 5 fori lunghi 0,8 m distribuiti su sezioni poste ad interasse di 3 m.

Nella seconda fase sono stati approntati 4 fori lunghi 5 m tra loro equidistanti e posti in sezioni ad interasse di 3 m. L'iniezione cementizia di bonifica ed impermeabilizzazione è stata effettuata alla pressione di 3 MPa con pistoncino ubicato in prossimità del boccaforo.

Nella zona di faglia vera e propria le iniezioni sono state eseguite mediante l'impiego di tubi valvolati \varnothing 2" al fine di consentirne l'esecuzione in più riprese e limitare così l'afflusso della boiaccia alle sole zone immediatamente adiacenti alla galleria.

L'assorbimento medio nella fase di intasamento è risultato di circa 1 q/m di cemento senza apprezzabili variazioni nei vari tratti di galleria.

Nella seconda fase, di bonifica ed impermeabilizzazione, gli assorbimenti si sono differenziati nelle 3 zone strutturalmente omogenee già individuate, con valori medi rispettivamente di:

zona A	13 q/m
zona B	6 q/m
zona C	2 q/m.

6. VERIFICA DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI

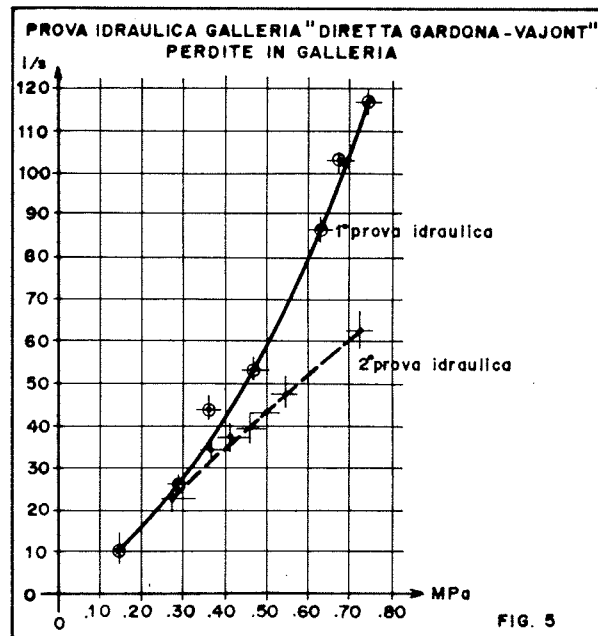
Completato l'intervento di risanamento nel tratto lesionato è stata eseguita una seconda prova idraulica di tutta la galleria con le stesse modalità della prova precedente; in questo caso è stata eseguita la sola misura delle perdite totali che, a parità di carico, sono risultate circa dimezzate rispetto alle precedenti.

Un'ulteriore ispezione della galleria ha evidenziato inoltre che, nelle zone di intervento, le stuccature eseguite non presentavano segni di riapertura delle fessure.

Tenendo presente che una parte delle perdite misurate sono perdite diffuse, distribuite lungo tutta la galleria provata al di fuori della zona di intervento, le iniezioni di bonifica nel tratto lesionato hanno pertanto avuto una indubbia efficacia.

7. CONCLUSIONI

Le indagini intraprese hanno consentito di definire la situazione geologica e geomeccanica



dell'ammasso roccioso interessato dalla galleria di derivazione Gardona-Vajont, nel tratto indagato, di stabilire le cause della rottura del rivestimento ed infine di individuare nelle iniezioni cementizie di bonifica il metodo di intervento complessivamente più conveniente dal punto di vista economico e dei risultati.

Il successo ottenuto ha ulteriormente confermato che la metodologia di indagine seguita è la più idonea nello studio e nella progettazione delle gallerie idrauliche in pressione.