

# Studi ed esperienza per il traforo autostradale del Gran Sasso

G. CALCERANO \*

**SOMMARIO:** Esponendo sinteticamente la mole delle indagini geognostiche, geoidrologiche, geomeccaniche, nonché degli studi statici svolti durante le varie fasi della progettazione e dell'esecuzione del Traforo del Gran Sasso, viene mostrato come la realizzazione di tale opera sia stata anche un'occasione per la messa a punto di avanzate metodologie.

## 1. Premessa

Il traforo del Gran Sasso è l'opera più impegnativa dell'autostrada A 24 (Roma-L'Aquila-Teramo-Alba Adriatica) che, attraverso il massiccio del Gran Sasso, congiunge l'itinerario internazionale E<sub>1</sub> con l'autostrada A 14 (Adriatica).

Si tratta di due gallerie autostradali affiancate, con interasse variabile tra 50 e 90 m, ciascuna di 56 m<sup>2</sup> di sezione e di lunghezza pari a 10.175 m. Nel versante adriatico è pure presente un « cunicolo di servizio », lungo 2630 m ed ubicato, nell'interasse delle gallerie autostradali, 10 m più in basso di queste ultime.

Sin dalle prime ricerche, effettuate nel corso dello studio del progetto di massima da parte dei tecnici della Alpina e dei loro consulenti, è apparsa chiara la necessità di ricorrere ad una sistematica di accertamenti e controlli, sia in fase di progettazione che di esecuzione e di esercizio dell'opera.

Già il primo studio geologico effettuato dal consulente dott. ing. Enzo Beneo indicava, infatti, i principali temi che dovevano successivamente divenire oggetto di studio per l'affinamento delle previsioni progettuali ed in corso di costruzione: la galleria avrebbe attraversato tutta la serie stratigrafica che va dalle marne mioceniche messiniane ai calcari dolomitici giurassici e forse triassici; le condizioni della roccia sarebbero state aggravate, localmente, dalla presenza di grosse faglie, da una falda idrica, dall'altezza di copertura che avrebbe raggiunto 1400 m (1000 m nelle formazioni marnose), dalla presenza di gas (sempre nelle marne); ciò, nonostante gli studi per migliorare il tracciato evitando i più grossi pacchi di faglie

del massiccio e sfruttando la naturale divisione in comparti idrogeologici al fine di contenere le venute idriche.

## 2. Le indagini geognostiche

Dopo il dettagliato rilievo geologico effettuato, su una fascia di 1 km di larghezza, da un'équipe diretta dal consulente prof. Calembert e lo studio fotogeologico (entrambi compiuti durante la preparazione del progetto esecutivo), fu deciso di ricorrere alla esecuzione di alcuni sondaggi profondi, aventi lo scopo di precisare le conoscenze acquisite coi precedenti rilievi di superficie.

In tempi diversi sono stati eseguiti 5 sondaggi profondi, tre dei quali di lunghezza sino a 1600 m del tipo adottato nelle prospezioni petrolifere che, insieme agli altri elementi nel frattempo acquisiti, hanno consentito di pervenire alla ricostruzione del profilo stratigrafico rappresentato nella fig. 1.

Essenzialmente queste perforazioni, oltre ai dati geoidrologici che descriveremo in seguito, hanno condotto alla identificazione e localizzazione degli strati geologici, al riconoscimento della loro pendenza, alla precisazione del piano dei principali disturbi tettonici, alla resistenza ed allo stato della roccia. Tutto ciò attraverso i seguenti tests:

velocità d'avanzamento, perdita dei fanghi, densità e viscosità dei fanghi, esame delle carote, esame dei cuttings, esame litologico, esame micropaleontologico, percentuale di CaCO<sub>3</sub>, determinazione dei residui insolubili, raggi gamma, gamma-neutroni, gamma-gamma, caliper, termometria, potenziale spontaneo, microlog, microlaterolog, laterolog, sonica, HDT (pendagimetria continua digitalizzata), misura delle pressioni dinamiche e statiche e registrazione della risalita dell'acqua in portata d'aria, esame

\* Dott. ing. Giuseppe CALCERANO, già coordinatore del gruppo di consulenza per il Traforo del Gran Sasso dell'ALPINA S.p.A. di Milano che ha progettato la rete e le opere autostradali della Società Autostrade Romane ed Abruzzesi.

# GALLERIA DEL GRAN SASSO

PROFILO GEOLOGICO

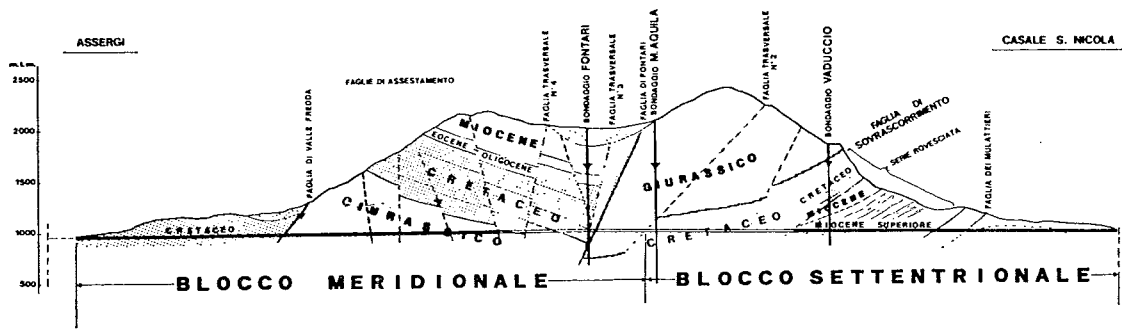


Fig. 1. - Ricostruzione effettuata, in base allo stato attuale delle conoscenze, dal dott. Catalano (S.A.R.A.) che coordina gli studi geologici.

di campioni d'acqua, prove di iniezione a differenti pressioni ed in vari livelli.

Indagini del tipo fino ad ora descritto, anche se migliorano notevolmente le conoscenze generali sul massiccio da attraversare e sulle sue condizioni, non sono sufficienti da sole a ridurre la possibilità di imprevisti in fase di costruzione. Per tale ragione è stata studiata una metodologia di accertamenti ordinari, da com-

piersi durante i lavori d'avanzamento, fondata essenzialmente sull'esecuzione di perforazioni, orizzontali e orientate verso l'alto, di lunghezza fino a 300 m.

Nel cantiere sul lato Assergi, questi sondaggi sono stati effettuati generalmente secondo lo schema di fig. 2, nei tratti in cui uno dei due forni (talvolta provvisoriamente in cunicolo) è stato mantenuto decisamente più avanzato

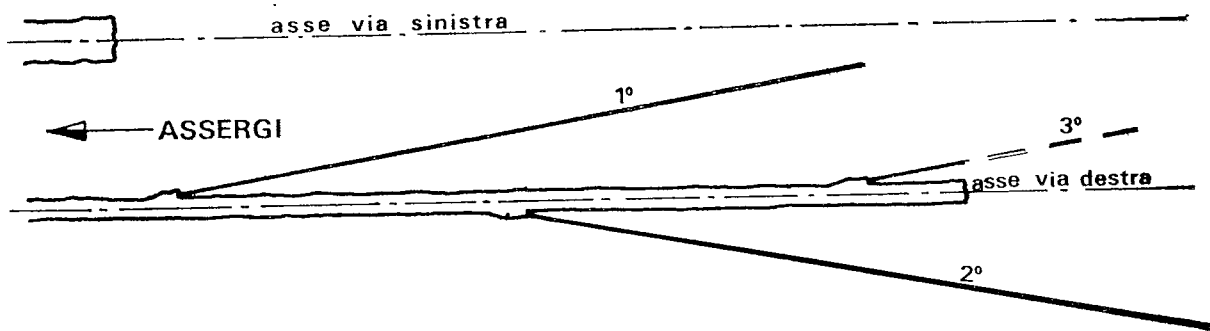


Fig. 2. - Schema prospezioni longitudinali nei tratti ad avanzamenti sfalsati.

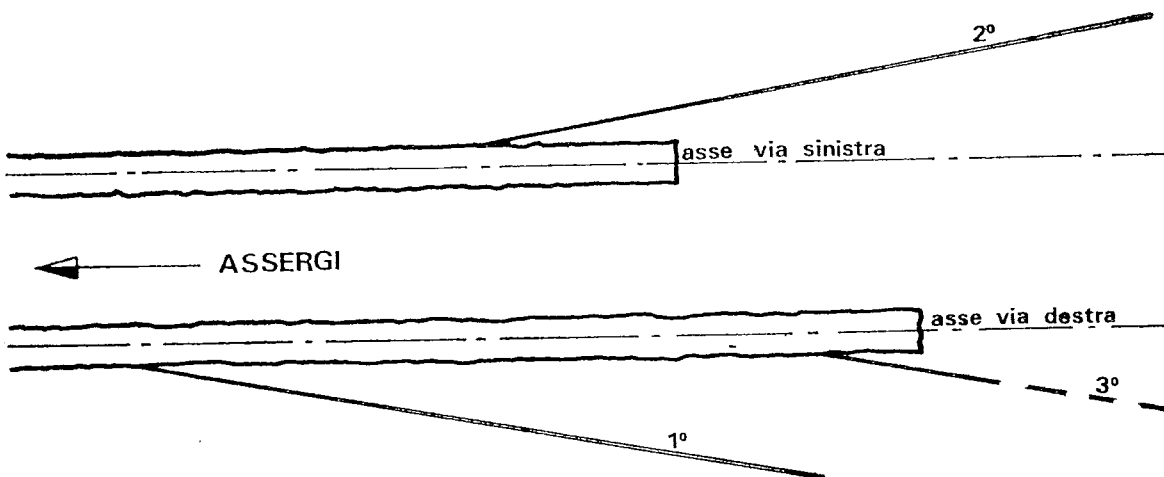


Fig. 3. - Schema prospezioni longitudinali nei tratti ad avanzamenti pressoché appaiati.

dell'altro, mentre secondo lo schema di fig. 3, nei tratti in cui gli avanzamenti sulle due vie sono stati mantenuti pressoché appaiati. In ogni caso gli schemi sono stati studiati tenendo conto delle velocità d'avanzamento dei fronti, in maniera da ottenere la conoscenza di tutti i dati reperibili relativi alla roccia non ancora interessata dagli scavi, e ciò mantenendo un congruo « franco » di zona esplorata rispetto ai fronti e, normalmente, senza sospendere l'avanzamento. Nei casi in cui questi accertamenti ordinari hanno individuato la presenza di importanti disturbi tettonici, caso per caso si sono messi a punto speciali programmi di nuove indagini atte a definire posizione e caratteristiche del vicino accidente. È importante notare che questi sondaggi vengono eseguiti con carotaggio continuo e, sempre attraverso « preventers » d'imbocco che garantiscono sugli effetti delle spesso presenti e forti pressioni idriche, essi inoltre consentono, oltre al dettagliato esame delle carote, l'esecuzione di una serie di esami di interesse idrogeologico che perciò descriveremo in seguito.

Nel cantiere sul lato S. Nicola, dove i primi 3000 m di galleria interessano le formazioni marnose mioceniche, la presenza del cunicolo nell'interasse delle gallerie, oltre che per la sua funzione valida per l'esercizio come condotto di aereazione e come canale di smaltimento delle venute idriche delle formazioni acquifere, è stata decisa allo scopo di anticipare il più possibile le conoscenze geologiche e geomecniche della tratta marnosa. Anche in questo caso, tuttavia, l'avanzamento è stato preceduto sempre da sondaggi effettuati lungo l'asse del cunicolo e, al termine di questo, dai due fornici, con modalità analoghe a quelle descritte precedentemente.

### 3. Le indagini geoidrologiche

Lo studio geoidrologico è stato affrontato iniziando dal reperimento di tutti i dati idrologici disponibili presso gli enti competenti e dalla impostazione di una serie di osservazioni idrologiche (delle sorgenti e dei dati meteorologici) tuttora in atto, nonché dalla comparazione di tali dati con le conoscenze geologiche e strutturali del massiccio. Anche in questo caso, si possono distinguere sostanzialmente due campi di indagine: uno mirante ad approfondire le cognizioni per una migliore comprensione della idrogeologia della zona, e l'altro

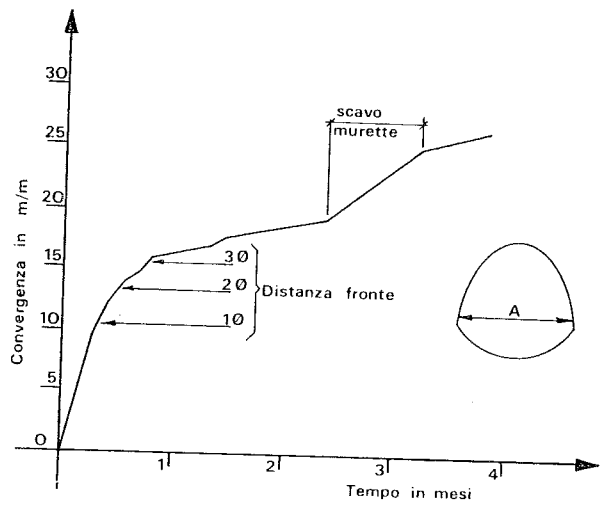


Fig. 4. - Diagramma delle deformazioni  $\Delta A$  nella sezione in marna con copertura di 860 m.

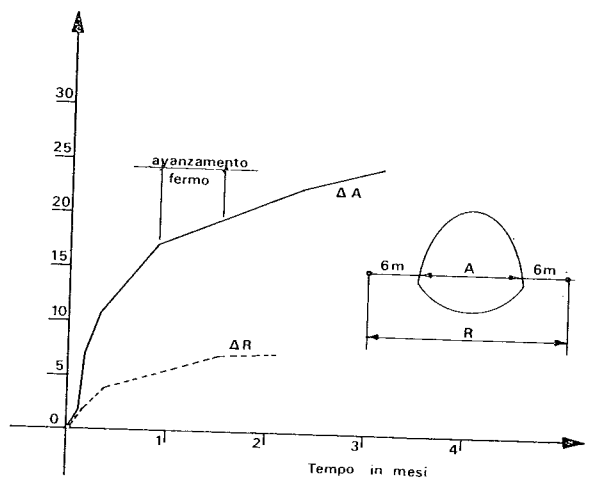


Fig. 5. - Diagramma delle deformazioni  $\Delta A$  e  $\Delta R$  nella sezione in marna con copertura di 950 m.

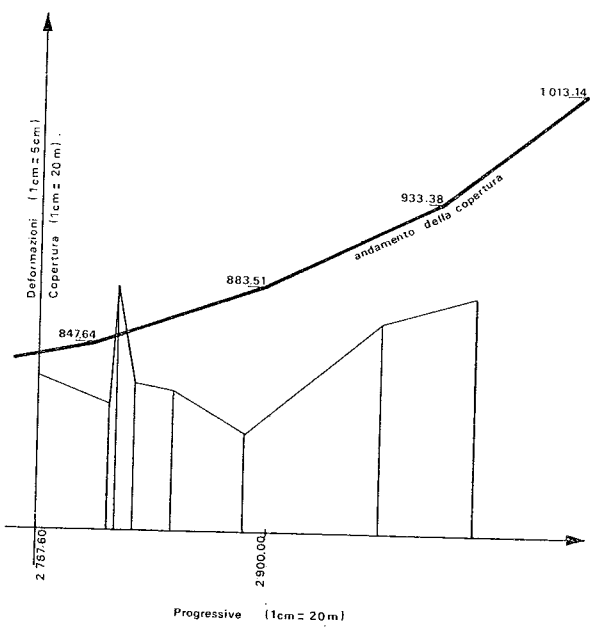


Fig. 6. - Diagramma delle deformazioni orizzontali in funzione delle progressive e della copertura nelle marne mes-siniane.

teso a studiare ed affrontare i problemi connessi con l'attraversamento della falda acquifera per la realizzazione dell'opera e per il suo mantenimento, valutando e limitando il più possibile le eventuali ripercussioni sulle condizioni di regime. Rientrano principalmente nel primo campo le indagini effettuate con i sondaggi di tipo « petrolifero », di cui al precedente paragrafo. In particolare, già la velocità di perforazione e la perdita dei fanghi hanno consentito di individuare subito le zone più permeabili, localizzando una fascia carsica di sfioro della falda. Misure più precise hanno fornito i tests Schlumberger ed Halliburton, specialmente attraverso la comparazione di diversi logs corrispondenti. Così il caliper (misura del diametro del foro e quindi dell'eventuale presenza di « mud cake »), unitamente al potenziale spontaneo (tra un elettrodo fisso in superficie ed uno mobile nel foro), ai microlog e microlaterolog (misura della resistività della zona attorno al foro invasa dai fanghi) consentono di determinare la permeabilità; il laterolog (misura della resistività della zona con scarsa invasione di fanghi) determina i valori più alti della permeabilità; la sonica misura la fratturazione delle rocce; il gamma-neutrone (tenore di ioni d'idrogeno) indica la porosità dei terreni; il gamma-gamma fornisce la densità; la termometria nelle zone acquifere informa sul grado di circolazione delle acque; il test di pressione (misura a varie profondità della pressione dei fanghi, della pressione della falda in una sezione isolata e posta a pressione atmosferica e della portata d'aria espulsa dall'acqua nella sezione privata di fanghi) fornisce dati sulla pressione della falda e sulla permeabilità della roccia, che viene ricontrollata attraverso prove d'iniezione; infine, l'analisi delle acque con la determinazione della percentuale di trizio consente di pervenire all'età dell'acqua e, quindi, offre un ulteriore dato sulla circolazione alla profondità esaminata. Sempre attraverso le perforazioni profonde, si è potuto effettuare un controllo qualitativo delle ipotesi sulla struttura idrogeologica, per mezzo dell'introduzione di traccianti nei fori e del successivo rilevamento compiuto per parecchi mesi su tutte le sorgenti della regione.

La necessità di precisare i problemi individuati dai sondaggi eseguiti in vicinanza dei fronti d'avanzamento, soprattutto allo scopo di ottenere la messa a punto delle tecnologie più adatte alla loro soluzione, ha condotto, come per le indagini geologiche, all'affinamento di

una metodologia ormai ordinariamente impiegata. Per prima cosa, durante l'esecuzione di ciascuna perforazione, viene tenuta sotto controllo la portata emunta, quindi vengono effettuate misure di pressione statica (previo intubaggio, cementazione e riperforazione), ordinariamente in occasione di ogni cambiamento di diametro del carotiere e, comunque, a fondo foro ovvero in caso di anomalie geologiche e di portata. Vengono anche tenuti sotto controllo, periodicamente, i valori di portata e pressione in tutti i precedenti sondaggi. Nei casi in cui, poi, tali indagini ordinarie denunciano l'approssimarsi di zone acquifere a forti permeabilità e/o con forti pressioni idriche (si sono affrontate portate concentrate sino a 500 l/sec e pressioni sino a 60 atm), si ricorre a speciali indagini in grado di determinare la permeabilità media della roccia, quindi l'efficacia dei drenaggi in un dato intorno e la portata emungibile. In qualche caso ciò è stato ottenuto, con risultati qualitativamente interessanti, mediante l'introduzione nelle perforazioni longitudinali di una sonda-tubo di Pitot-Prandtl che, misurando con continuità il fat-

$$\frac{v^2}{2g}$$
 tore  $\frac{v^2}{2g}$ , permette di risalire alle portate

affluenti in ogni tratta del foro. Più spesso, giacché si preferisce tenere sotto controllo le portate drenabili di una zona acquifera da attraversare, mediante la preventiva esecuzione di fori sub orizzontali drenanti, si approfitta dell'esecuzione di queste perforazioni, che possono essere attrezzate con manometri, per pervenire a previsioni, quantitativamente precise a sufficienza, sulle portate che si devono emungere per ottenere la riduzione delle pressioni idriche, nel contorno di roccia che dovrà contenere la galleria, a valori pressoché nulli. Altre volte, a queste ultime prove di emungimento si sono aggiunte prove di risalita delle pressioni, ottenute con la chiusura graduale delle valvole di scarico dei singoli fori e la registrazione, durante tutto il tempo di queste operazioni, delle pressioni, anche in questo caso misurate a distanze diverse dal baricentro del complesso di fori drenanti.

Queste ricerche, in tutti i casi in cui la roccia avrebbe potuto dar luogo a manifestazioni idriche incontrollate, hanno consentito: di prevedere il valore della portata, di convogliare l'80% di questa negli appositi fori drenanti spinti sempre oltre il fronte d'avanzamento, di evitare « colpi d'acqua » con portate molto

superiori a quelle corrispondenti alle condizioni di regime, di ottenere il gradiente di pressione compatibile con la resistenza e le condizioni della roccia. L'unica eccezione si è verificata, forse a causa della scarsa profondità delle perforazioni, nella prima fase di attacco della prima grossa anomalia geoidrologica costituita dalla faglia di Valle Fredda, che è stata poi attraversata previa costituzione di una corona di milonite iniettata (prima con silicati e poi con miscele cementizie) e di un drenaggio con fori sublongitudinali (sino a 100 m di lunghezza) emungenti le fratture beanti esistenti a tergo della fascia cataclasata e milonizzata (spessore  $20 \div 30$  m) in posizione ad essa subparallele: detti fori, eseguiti da un cunicolo cieco laterale, hanno consentito nel tempo di 2 mesi (tra l'entrata in funzione del primo foro e quella dell'ultimo, il diciannovesimo) di portare la pressione nel baricentro del drenaggio dalle originarie 20 atm a circa 4 atm con una portata di circa 500 l/sec; le prove di risalita hanno consentito di valutare l'effetto raggiunto sulle pressioni in un intorno più vasto di quello interessato dai fori drenanti e di valutare meglio l'ulteriore incremento di portata necessario per portare la pressione al valore atmosferico (apertura degli scavi). Con criteri analoghi, si sono affrontate sino ad oggi, dall'imbocco lato Assergi, varie zone con pressioni sino a 35 atm, costituendo all'interno della roccia una zona di depressione circostante alla galleria di dimensioni più o meno ampie (sino ad un minimo di qualche decina di metri) a seconda della permeabilità della roccia, e ripartendo le portate concentrate, intercettate dai fori drenanti in ogni zona dove questi erano necessari, lungo le pareti delle gallerie (munite di drenaggi permanenti) che emungono complessivamente una portata di circa 700 l/sec.

Dal lato S. Nicola, sempre con gli stessi criteri, si sta procedendo al passaggio tra la zona impermeabile delle formazioni mioceniche ed i calcari permeabili ed in successione stratigrafica inversa (successione accelerata dalla presenza di una faglia antiappenninica a forte rigetto orizzontale), dove la falda acquifera produce rispetto alla galleria una pressione di 60 atm.

#### 4. Le prove geomeccaniche

Queste prove sono state compiute con lo scopo di precisare e localizzare le caratteristiche di resistenza e di deformazione delle

rocce da attraversare, soprattutto per quanto riguarda la tratta iniziale di 3000 m che è stata scavata dall'imbocco lato S. Nicola nelle marne messiniane. A tal uopo, questo cantiere ha iniziato con anticipo lo scavo del cunicolo di cui al paragrafo 2 nell'interasse delle gallerie. Dal fronte di questo cunicolo, venivano periodicamente eseguite perforazioni longitudinali di 200 m a carotaggio continuo e sulle carote si effettuavano, oltre alle osservazioni geologiche di laboratorio, prove di resistenza a compressione e « brasiliane » (tenendo conto dell'orientamento degli strati), in maniera da ottenere anche le caratteristiche cicliche della deformazione. Durante l'avanzamento, venivano compiute successivamente, anche sulle gallerie di transito, indagini nelle pareti in prossimità del fronte con martinetti piatti e cilindrici e con celle pressiometriche dietro i rivestimenti. Infine, nella tratta con altezze di copertura comprese tra i 500 m ed i 1000 m, sono state eseguite, ad intervalli mediamente di 50 m, misure contemporanee delle deformazioni di tre diametri principali (con nastri invar) e, in corrispondenza ad una ogni 2 o 3 delle precedenti, misure degli spostamenti interni della roccia a profondità variabili fino a 9 m (con estensimetri a base fissa) e misure pressiometriche con celle tra roccia e rivestimento di prima fase. Queste prove, effettuate nel tratto di marne con forti coperture, sono state molto utili per seguire e prevedere il comportamento della roccia, consentendo la messa a punto delle più idonee metodologie di scavo e rivestimento, attraverso il confronto tra le indicazioni teoriche e le esigenze del cantiere.

Prove geomeccaniche sono state, in maniera analoga, eseguite anche nel cantiere dell'imbocco lato Assergi e ciò, sia nei vari e brevi passaggi in rocce di più deboli caratteristiche meccaniche, sia per avere indicazioni sulle resistenze raggiunte con i consolidamenti (Faglia di Valle Fredda).

#### 5. Gli studi statici ed il coordinamento operativo

Come prosecuzione degli studi effettuati per la redazione del progetto di massima, questo settore fu inizialmente curato dalla Società Alpina che si è avvalsa, principalmente, delle preziose e continue consulenze dapprima del dott. ing. G. Mastropietro e, successivamente, anche del dott. ing. R. Venuti. Si

è trattato di richiedere agli specialisti dei vari settori le ricerche indispensabili, e di interpretare e coordinare i risultati per ottenerne progetti e strategie per la realizzazione dell'opera. Ciò, dopo la fase di avvio, viene realizzato nel corso di frequenti sopralluoghi e riunioni collegiali presiedute dal Direttore Generale della Committente (S.A.R.A.) ing. F. Bruni, ai quali portano il loro contributo i gruppi di lavoro, oltre che della stessa Committente, dell'Alpina e dell'Impresa costruttrice CO.GE.FAR. (con la sua consulente Geotecna). Tali riunioni possono quindi essere considerate lo strumento di lavoro di una più vasta équipe che, attraverso lo scambio di pareri ed esigenze delle singole parti, perviene alle conclusioni operative che, nei casi più importanti, possono ulteriormente essere sottoposte al Comitato Tecnico della Committente. Un tal modo di procedere si è confermato, nel tempo, come il mezzo migliore per ottenere gli adattamenti delle previsioni progettuali agli specifici problemi, che scaturiscono nel corso della costruzione dell'opera. Questi adattamenti sono essi stessi dei progetti nel progetto, per l'esecuzione dei quali occorre tener conto delle più ampie conoscenze scientifiche e tecniche, in maniera non astratta, ma rispondente alle molteplici esigenze operative.

In questa fase, perciò, ciascun gruppo di lavoro ha dato il suo contributo molto spesso con applicazioni, studi ed idee originali come richiede la particolarità dell'opera.

L'Autore ad esempio, nel corso degli studi per l'attraversamento della Faglia di Valle Fredda, per l'esigenza di avere uno strumento il più possibile quantitativo per la valutazione del grado di sicurezza rispetto al collasso dell'anello di milonite consolidata, ha studiato il comportamento di un anello spesso, in regime elasto-plastico, ottenendo un elemento di confronto con quanto indicato da Kastner nel suo noto procedimento di calcolo che, per quanto basato su presupposti teorici troppo spesso non identificabili nella realtà, è tuttavia tra i più comprovati dall'esperienza.

In un'altra occasione, l'Autore (sempre coadiuvato dai consulenti citati all'inizio di questo paragrafo), pressato dall'esigenza di ottenere un pratico strumento per la scelta, tra i tipi progettuali di rivestimento, di quelli indicati per le singole tratte di determinate caratteristiche geomeccaniche e di copertura della zona in marne, ha studiato un procedimento di calcolo, in grado di tener conto delle fasi di realizzazione della galleria. Tale procedimento tiene

conto, inoltre, della riduzione nel tempo delle caratteristiche di resistenza della roccia nella zona plasticizzata, ed è stato ottenuto traducendo nella teoria le osservazioni delle prime esperienze effettuate con la costruzione. Anche in questo caso, si tratta di un modello che si riferisce ad ipotesi di isotropia, ma l'importanza dei carichi (sino a 1000 m di copertura), in relazione al tipo ed alle caratteristiche della roccia, ed alla loro aleatorietà, conferisce al metodo una rispondenza non meno approssimata di quella ottenibile con metodologie più raffinate. Si è constatato, in primo luogo, come la pressione esercitata dal guscio di calcestruzzo proiettato e centine, sotto l'azione delle deformazioni del contorno del foro, assuma effettivamente (dopo la plasticizzazione della sezione in chiave della calotta) un valore costante dipendente dalle caratteristiche di questo rivestimento di I fase. In tali condizioni, un primo equilibrio si raggiunge (per fori praticamente circolari e per rocce praticamente isotrope) quando il cilindro di roccia plasticizzata ha raggiunto il raggio:

$$R_p = R_s \left[ \frac{2(\sigma_g + P_o(\lambda_p - 1))}{(\sigma_g + P_c(\lambda_p - 1))(\lambda_p + 1)} \right] \frac{1}{\lambda_p - 1}$$

il successivo intervento, con l'anello chiuso di calcestruzzo gettato, blocca l'estendersi della zona plasticizzata oltre il raggio di valore  $R_p$  (ciò perché le deformazioni ammissibili da parte del rivestimento senza rotture sono, nel caso considerato, molto più piccole di quelle della roccia, come è facile provare sia teoricamente che sperimentalmente), opponendosi sia alle residue deformazioni dipendenti dal tempo, sia al decadimento delle caratteristiche di resistenza della fascia plasticizzata. Nasce quindi una pressione sull'estradosso del rivestimento rigido, che si ottiene introducendo il valore precedentemente calcolato nella

$$P_r = \frac{(2P_o - \sigma_g)(1 - \lambda_{pp}) - \sigma_{gp}(1 + \lambda_p)}{(1 - \lambda_{pp})(1 + \lambda_p) \left( \frac{R_p}{R_s} \right) \lambda_{pp} - 1} + \frac{\sigma_{gp}}{1 - \lambda_{pp}}$$

per cui, in definitiva, la pressione per la quale deve essere verificato il rivestimento di II fase in calcestruzzo gettato risulta:

$$P_r = \frac{(2 P_o - \sigma_g)(1 - \lambda_{pp}) - \sigma_{gp}(1 + \lambda_p)}{(1 + \lambda_{pp}(1 + \lambda_p)) \left[ \frac{2}{\lambda_p + 1} \frac{\sigma_g + P_o(\lambda_p - 1)}{\sigma_g + P_c(\lambda_p - 1)} \right]} + \frac{\sigma_{gp}}{1 - \lambda_{pp}}$$

nella quale:  $P_o$  è la pressione litostatica di tipo idrostatico,  $P_c$  è la pressione sopportabile dal rivestimento di I fase dopo la plasticizzazione della sezione di chiave,  $P_r$  è la pressione che può generarsi a tempo infinito sull'anello rigido di rivestimento,  $\sigma_g$  è la resistenza media a compressione della roccia non plasticizzata,  $\sigma_{gp}$  è la resistenza a compressione e a tempo infinito della roccia plasticizzata,  $\lambda_p$  il coefficiente di spinta passiva della roccia non plasticizzata,  $\lambda_{pp}$  il coefficiente di spinta passiva della roccia plasticizzata,  $R_s$  il raggio di scavo ed  $R_p$  il raggio della frontiera della zona plasticizzata. Nel caso specifico, il metodo è stato utilizzato per ottenere dei fasci di diagrammi della  $P_r$  in funzione dell'altezza di copertura e, quindi, per stabilire le tratte a cui assegnare i tipi di rivestimento rigido di II fase previsti. Occorre notare che, in qualche caso, è stato necessario ricorrere all'adozione di un secondo rivestimento in calcestruzzo proiettato e centine, e ciò quando il primo risultava gravemente compromesso: non si è tuttavia mai verificato in nessuna fase alcun dissesto.

Altri studi hanno elaborato le altre équipes, tra i quali non può essere dimenticato il notevole apporto del settore geologico ad una migliore conoscenza della struttura e delle origini di questa singolare parte dell'Appennino.

## 6. Conclusioni

Gli studi effettuati dai diversi gruppi di lavoro, per la progettazione e la migliore esecuzione di questa opera di particolare interesse, hanno prodotto nuove idee e conoscenze, sia nel settore tecnico-scientifico, sia in quello tecnologico.

La necessità di sintetizzare in poche righe la grande mole di esperienze compiute non ha consentito una ampia esposizione dei risultati ottenuti. Questi saranno oggetto di future trattazioni particolari. Si ritiene tuttavia utile questo sguardo generale alla molteplicità delle attività di studio, che devono sempre convergere in una visione unitaria, quando si voglia affrontare, in maniera appropriata, la costruzione di ogni opera importante.

## BIBLIOGRAFIA

- CALCERANO G. (1974) - *Sulla stabilità dello scavo di gallerie in cilindri consolidati di terreno rifluente*. Conferenza C.N.R. Roma del 10-6-74.  
 JAEGER J. C., COOK N. G. W. (1971) - *Fundamentals of rock mechanics*. Chapman and Hall Ltd, London.  
 KASTNER H. (1949) - *Über den Echten Gebirgsdruck Beim Bau Tiefliegender Tunnel*. Ost. Bauzeitschrift, 10-11.

## SUMMARY

### Studies and experiences for the Gran Sasso tunnel

The studies and the experiences got ready during the realization of this tunnel are synthetically reported.

Among the various investigations carried out at design stage, A. recalls three boreholes drilled to 1600 m depth, which confirmed (with the aid of Schlumberger and Halliburton's tests too) the structure of the massif from the geological, hydrogeological and geomechanical point of view.

Security question was resolved by some horizontal drillings till 300 m depth, with some measurements of the flows and pressure (max 60 kp/cm<sup>2</sup>) of the water.

In miocene marls, till 1000 m depth, the tunnel contracted till 0,5 m: the tunnel behaviour was controlled by many measurements of the deformations also inside the rock.

The Author co-ordinated the consulting work of the Engineering Consulting ALPINA and studied some useful calculation procedures in accordance with the experimental observations.