

P. LUNARDI

LO SCOPPIO DI UN PARAMENTO IN UNA
GALLERIA AUTOSTRADALE IN COSTRUZIONE

Luglio 1979

Estratto dal periodico "Gallerie e grandi opere sotterranee,,

gallerie

e grandi opere sotterranee

sommario

Viaggio di lavoro	pag. 3
<i>a.m.</i>	
Vuoti minerali	» 5
Sebastiano Pelizza	
Problemi gestionali e normativi nell'esecuzione delle opere pubbliche in Italia	» 19
Vincenzo Troiano	
Lo scoppio di un paramento in una galleria autostradale in costruzione	» 37
Pietro Lunardi	
Direttissima Roma-Firenze	» 49
Alessandro Ghinelli - Sergio Rizzo - Andrea Santini	
Rubriche	
Dai cantieri	» 57
Convegni e Congressi	» 61
Abbiamo letto	» 67
Notizie	» 71
Nuovi Lavori	» 79
Dalla Sezione Gallerie	» 83

Direttore Responsabile: Alberto Motta

Segretario di redazione: Giampiero Barisone

Marchi: Giuseppe Mazzucco

Direzione: Corso del Popolo 111 c/o ENEL - C.P.C.I.E.
30172 Venezia-Mestre - telefono 041/958111 int. 284

Sede della Sezione Italiana Gallerie: presso Istituto Arte Mineraria
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino

Autorizzazione Tribunale Torino n. 2638 del 25/11/76

Stabilimento Tipografico 3B - Via Bard, 33 - Torino - tel. 011/700326

Hanno collaborato: Giovanni De Prà Giovanna Garibotti
Bianca Guardigli Pietro Lunardi
Sebastiano Pelizza Bruno Pigorini
Mauro Tirelli

Publicazione quadrim. gratuita agli Aderenti alla Sez. Gallerie.

Una copia: Italia L. 9.000 - Estero L. 12.000

Per gli Aderenti: Italia L. 5.000 - Estero L. 10.000

Arretrati il doppio - Abbonamenti: vedi pag. 76.

Spedizione in abb. postale - Gruppo IV/70 - n° 1 - 2 sem. 1979

RIASSUNTO

Nella nota viene preso in esame e descritto uno dei tanti fenomeni di instabilità che si possono verificare in un cantiere di lavori in sotterraneo. Questo in oggetto, in particolare, piuttosto inconsueto per la dinamica con cui si è manifestato, è avvenuto durante la fase di scavo in una galleria autostradale in costruzione nell'Appennino centrale. In questa sede, sulla base di una ricostruzione geologico strutturale di dettaglio, si è cercato di analizzare la dinamica dell'esplosione che ha interessato il paramento dx della via Sx, nel tentativo di dare anche un'interpretazione tensionale del fenomeno.

RESUMÉ

Coup de toit d'une paroi dans un tunnel autoroutier en construction.

Dans cette note on considère et explique l'un d'entre les plusieurs phénomènes d'instabilité qui peuvent avoir lieu sur un chantier de travaux en souterrain. Cet événement, étant la conséquence de la libération brusque et soudaine de l'état de tension par la masse rocheuse en correspondance avec le profil de l'excavation, a eu lieu au cours de la réalisation du tunnel autoroutier du "Gran Sasso", dans les Apennins centraux.

La reconstruction géologique et structurale détaillée, l'analyse des phénomènes précédant l'événement et de ceux qui l'ont caractérisé, ainsi que les considérations à caractère statique sur les phénomènes qui, en général, se manifestent au cours du creusage d'un tunnel, ont amené à situer le type de rupture considérée dans le cadre de l'elasto-fragilité.

En outre, dans l'hypothèse de comportement hydrostatique des tensions, il a été possible de procéder à l'interprétation de la tension du phénomène en appliquant la théorie de "Kastner-Fenner". L'étude de cet événement, qui est, en réalité, plutôt inhabituel pour la dynamique qui l'a caractérisé, a amené à mettre en évidence l'importance des discontinuités sous-verticales et sous-parallèles par rapport à l'axe du tunnel surtout lorsqu'elles isolent, en correspondance avec le profil du creusage, des volumes de roche dans l'échelle de la section intéressée.

The burst of a facing in a highway tunnel being constructed.

In this note, one of the many instability phenomena which may occur in an underground works jobsite, is duly considered and described. This event, consequent on the rough and sudden release of the tensile state of the rock mass corresponding to the excavation section, has occurred during the realization of Gran Sasso highway tunnel in the central Appennines.

The detailed geological and structural reconstruction, the analysis of phenomena previous to the event and of those actually occurred, as well as the phenomena static nature considerations which generally occur during a tunnel excavation, have allowed to include the observed fracture type within the sphere of the elastic-brittleness.

Moreover, supposing an hydrostatic condition of stresses, it has been possible to proceed to the stressing interpretation of such phenomenon applying the Kastner-Fenner method.

By the study of such event, rather unusual considering the involved dynamics, it has been possible to point out the importance of the discontinuities being subvertical and subparallel to the tunnel axis, above all when they isolate rock volumes in the involved section scale, corresponding to the excavation section.

1. PREMESSA

Fra le diverse forme di instabilità che si possono verificare in un cantiere di scavo in sotterraneo, senza dubbio una delle più temute dall'uomo di galleria è quella conseguente alla liberazione brusca ed improvvisa di stati tensionali da parte della massa rocciosa in corrispondenza al profilo di scavo.

Tali fenomeni di rottura fragile da parte della roccia sollecitata ai limiti della propria resistenza d'ammasso σ_{gd} si manifestano come violente enucleazioni di porzioni più o meno importanti di materiale con conseguente proiezione allo stesso all'interno del cavo accompagnata da forti emissioni sonore; si possono verificare in scala più o meno ridotta rispetto le dimensioni della galleria e solo eccezionalmente interessano la cavità in tutta la sua dimensione. Tale evento inconsueto si è proprio manifestato nel corso dei lavori di scavo del Traforo autostradale del Gran Sasso (fig. 1) in una zona di calcari selciferi (Scisti ad Aptici) interessati da coperture dell'ordine di 1200 m ed è quanto questa nota si propone di descrivere nel tentativo di inquadrare il fenomeno anche sotto un profilo tensionale.

2. SITUAZIONE GEOLITOLOGICA E GEOSTRUTTURALE

Lo scoppio del paramento dx alla progr. 4240 di via Sx si è verificato nella formazione degli Scisti ad Aptici che le gallerie lato Assergi hanno incontrato a partire rispettivamente dalla progr. 4075 della via Dx e 4085 della via Sx, separate dalla formazione precedente da una faglia di tipo diretto, con rigetto valutabile in alcune decine di metri. Gli Scisti ad Aptici sono dei calcari detritici e bioclastici, fini e medi, raramente grossolani, spesso a grana abbastanza uniforme, in strati molto sottili (10÷30 cm, eccezionalmente 1÷2 m) con fitte alternanze di noduli e strati di selce alterata biancastra di 5÷10 cm di spessore; presenta giacitura monoclinale, con direzione pressoché parallela all'asse della galleria, a pendenza costantemente compresa tra 25÷30° verso il paramento sinistro (fig. 2). Dal punto di vista tettonico la formazione appare interessata da una fitta successione di faglie sia trasversali al fronte sia subparallele all'asse galleria (fig. 3) con rigetti molto ridotti, mentre sotto il profilo idrologico, a differenza delle formazioni che l'hanno preceduta, presenta nell'insieme scarsa permeabilità (10⁻⁷ m/ sec), se si escludono alcune zone ben defini-

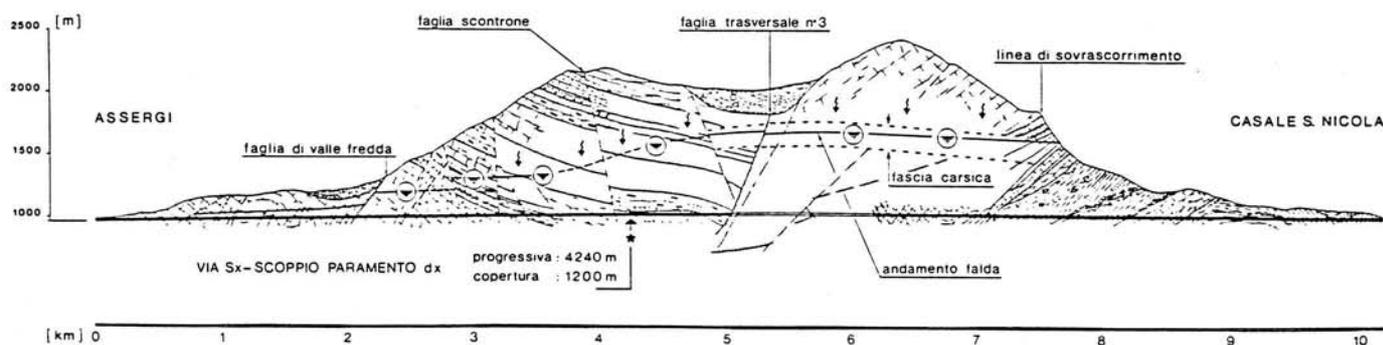


Fig. 1

te, dove, per effetto dell'alimentazione trasversale si registrano venute d'acqua concentrate o stillicidi diffusi, come ad esempio lungo tutto il paramento dx della via Dx, secondo quanto è evidenziato, d'altra parte, dalle indicazioni fornite dai sondaggi di prospezione SA22-SA24. Questi infatti, hanno fatto registrare emungimenti fino a 40 l./s sotto carichi idrostatici dell'ordine delle 12÷16 atm. contro 5÷10 l./s dei sondaggi SA19-SA23 al paramento sx di via Sx dove l'ammasso roccioso si presenta molto serrato e quasi asciutto. Ai dati relativi alla geolitologia e all'idrologia forniti dai sondaggi di prospezione suddetti si aggiungono quelli relativi allo stato di fratturazione della roccia esprimibile, attraverso l'esame delle carote, mediante la definizione dell'R.Q.D. (Roc quality designation). Come si osserva dai rilievi eseguiti i valori R.Q.D. sono nulli o quasi in tutta la zona presa in esame; questo fatto è ragionevolmente attribuibile da un lato alla condizione di fratturazione naturale della roccia sottoposta a stati tensionali di tipo triassiale molto elevati, dall'altro all'effetto meccanico del carotiere all'attacco di una roccia fittamente stratificata ed inglobante noduli di materiale più rigido come la selce.

3. DESCRIZIONE DEL FENOMENO DI INSTABILITÀ

Abbandonata la formazione del Malm inferiore dopo il contatto alla progr. 4085, lo scavo in via Sx procedeva per volate successive di 2 m accompagnate dalla sistematica messa in opera di un prerivestimento costituito da centine accoppiate NP 180 e spritz-beton dello spessore di circa 10 cm. Al procedere dell'avanzamento si notava:

- una progressiva riduzione della permeabilità d'ammasso
- valori di R.Q.D., in sondaggi di prospezione avanzata, sempre più ridotti fino allo zero;
- fenomeni di instabilità al fronte di scavo manifestatisi come enucleazioni di placche di roccia anche di notevoli dimensioni; tali distacchi, che avvenivano improvvisamente e di norma accompagnati da veri e propri scoppi con conseguente proiezione di materiale, si sono verificati sempre non secondo la stratificazione, bensì secondo fratture più o meno concoidi la cui superficie, attraversando la stratificazione stessa, coinvolgeva strati che apparentemente mostravano buona stabilità.

Alla progr. 4240 di via Sx in corrispondenza ad una copertura dell'ordine dei 1200 m ed in concomitanza di una singolare situazione geostrutturale rappresentata da un fitto intreccio di faglie (fig. 4), si verificava dopo circa 15 minuti dall'abbattimento del nucleo di roccia relativo all'ultima volata, la violenta ed improvvisa estrusione di un solido di roccia in corrispondenza al piedritto destro della galleria (fig. 5). Lo scoppio del piedritto, con la successiva proiezione del materiale all'interno del cavo, determinava, conseguentemente, un rilascio nella zona di calotta con estensione di distacchi lapidei fino al rene sinistro del profilo, coinvolgendo nel crollo un volume roccioso di diver-

se centinaia di m³. Tale fenomeno che ha avuto la sua macroscopica manifestazione in corrispondenza agli ultimi metri di avanzamento, si è propagato attenuandosi, lungo il paramento destro completamente collassato, per una tratta di circa 40 m dal fronte, già protetto (fig. 6-7) dal prerivestimento in centine e spritz-beton.

Tali manifestazioni portavano alla completa distruzione delle ultime quattro centine (fig. 8-9), allo svergolamento per carico di punta di ulteriori 8 centine (fig. 10), alla lacerazione diffusa dello spritz-beton e allo splaccaggio dell'immediata superficie rocciosa sottostante al betoncino spruzzato nella zona retrostante il fronte.

4. TENTATIVO DI INTERPRETAZIONE DEL FENOMENO

L'esperienza e l'osservazione dei fenomeni che generalmente si accompagnano allo scavo di una galleria permettono una serie di considerazioni:

- a) quando, in un ammasso roccioso, viene scavata una galleria lo stato tensionale naturale corrispondente viene modificato. Se il modulo elastico della roccia è abbastanza elevato, le deformazioni elastiche che si accompagnano al nuovo stato tensionale sono molto piccole e si verificano immediatamente dopo lo scavo, quindi anche prima che vengano realizzate opere di contenimento provvisorio; tali opere quindi, necessarie per la sicurezza di chi opera in galleria, non possono certo né alterare lo stato tensionale che si è venuto a creare in seguito allo scavo di un ammasso così rigido né sostituire l'effetto di contenimento prodotto dal nucleo di roccia corrispondente al passo di una volata;

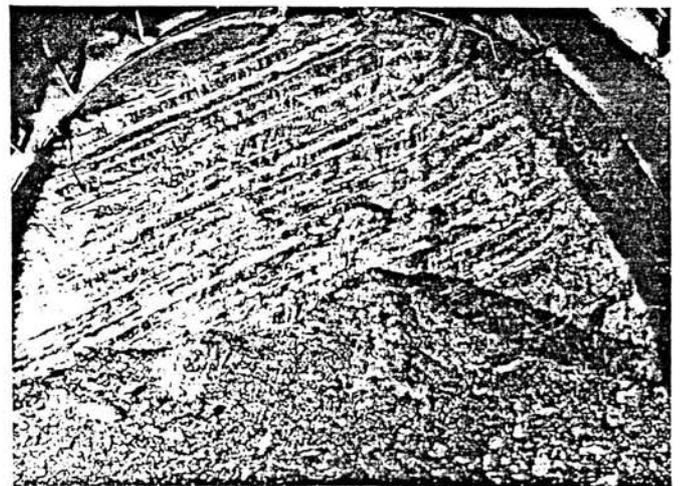
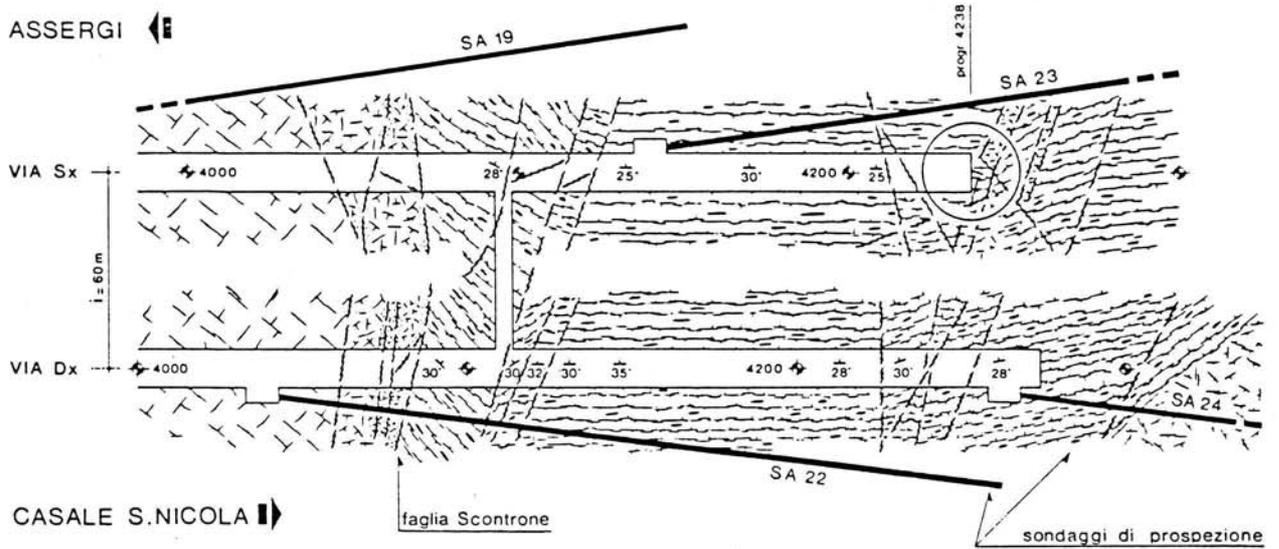


Fig. 2 - Fronte di avanzamento nella formazione di Scisti ad Aptici. Le front d'avancement dans la formation des schistes à Aptice. Excavation face in the schist formation.



DOGGER - MALM INF. (formazione "Terratta")

MALM SUP. (Scisti ad Aptici)

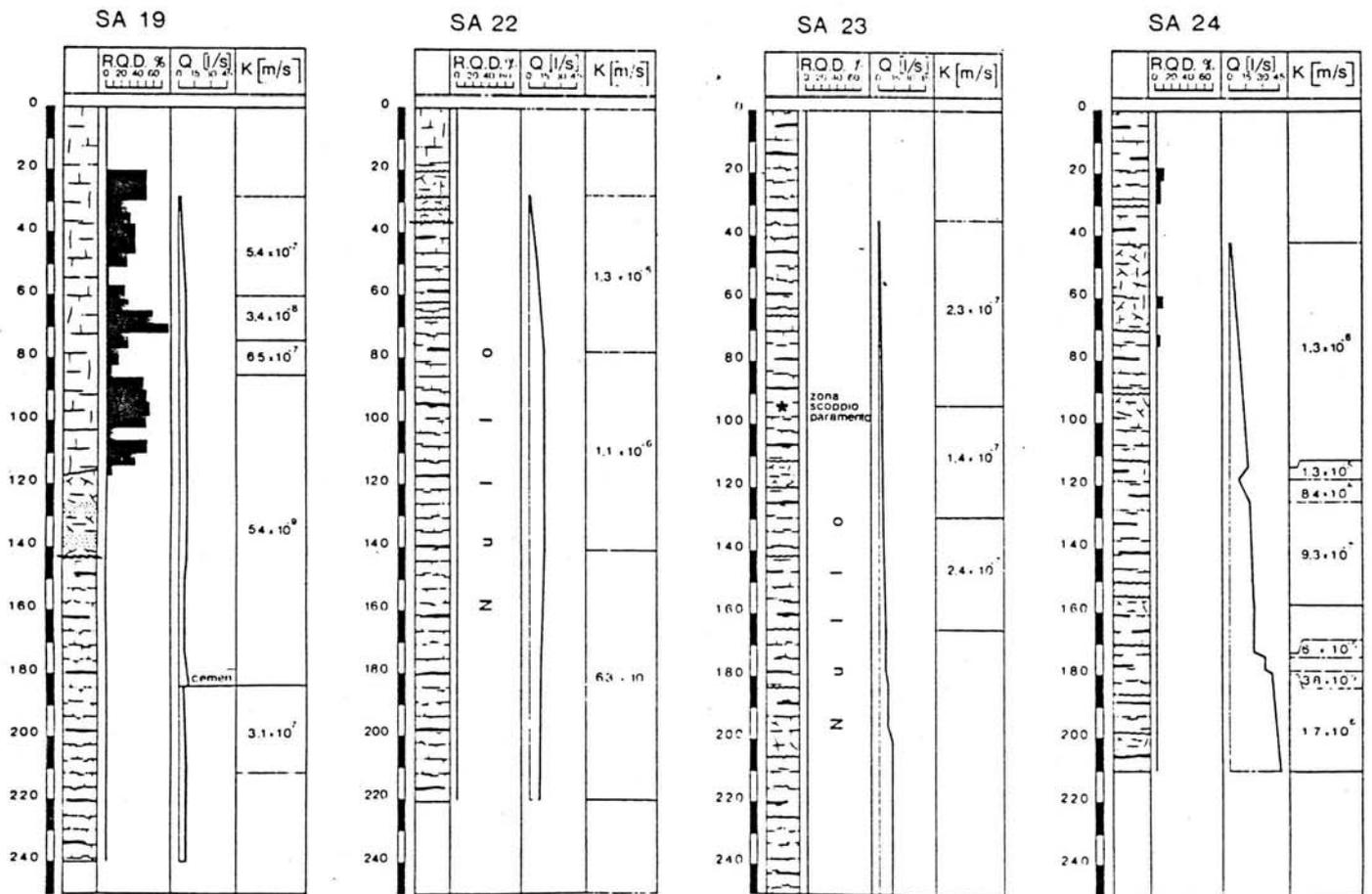
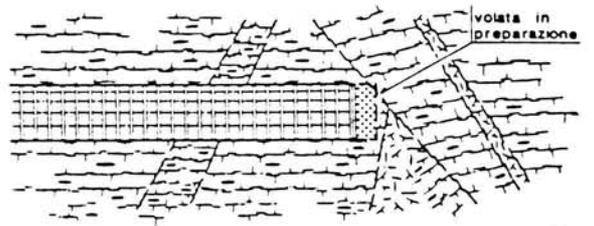
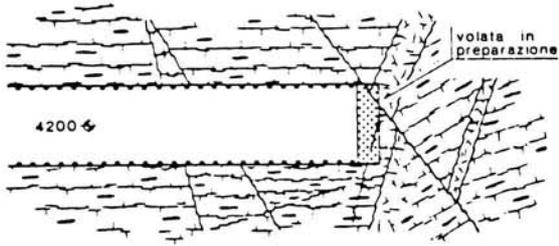


Fig. 3

SITUAZIONE PRECEDENTE ALLA VOLATA



SITUAZIONE DOPO LA VOLATA

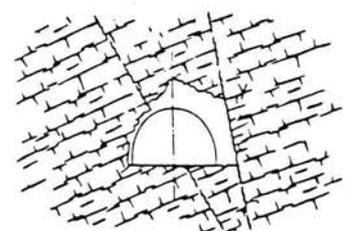
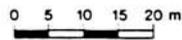
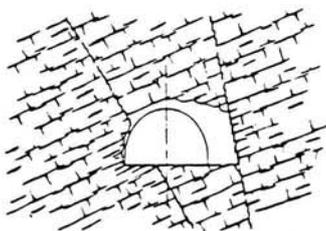
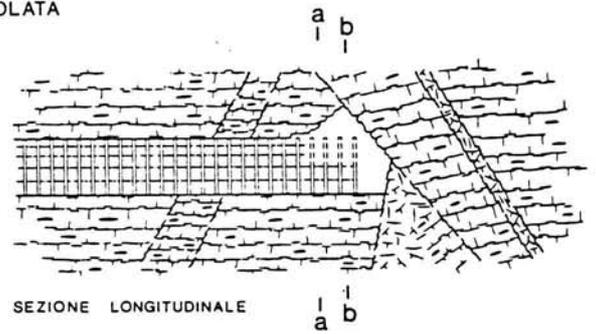
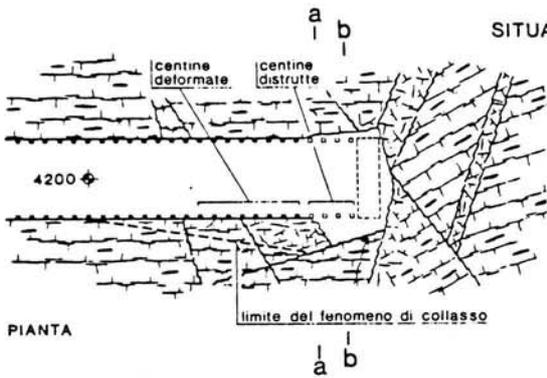


Fig. 4



Fig. 5 - Situazione del fronte di scavo successiva allo scoppio del paramento. Evidente lacerazione diffusa del prerinvestimento.

La situation du front d'excavation après l'explosion du parement avec des lacerations évidentes diffusées dans le revêtement préalable.

Situation of the excavation face after blasting. Evident diffused laceration in the prelining.

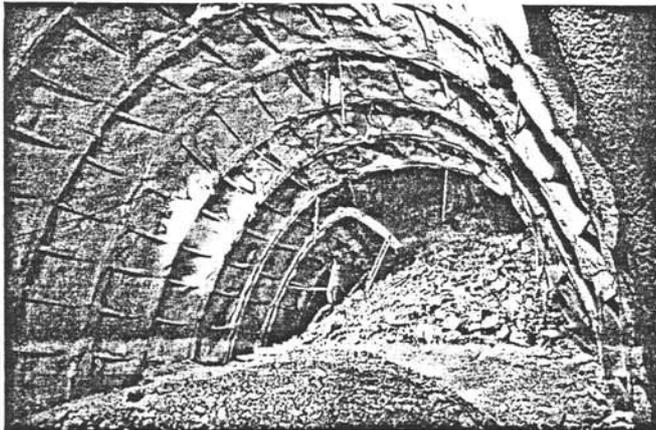


Fig. 6 - Situazione dei due paramenti a tergo della zona di scoppio: - paramento dx collassato e rigonfiato - paramento sn praticamente non disturbato.

La situation des deux parements derrière la zone d'explosion: - le parement droit écroulé et regonflé - le parement gauche pratiquement pas perturbé.

Situations of the two faces behind the blasting area: - right-hand face, collapsed and swollen - left-hand face, practically undisturbed.



Fig. 7 - Fronte di avanzamento in corrispondenza alla zona di scoppio.

Le front d'avancement en face de la zone d'explosion. Excavation face at blasting area.

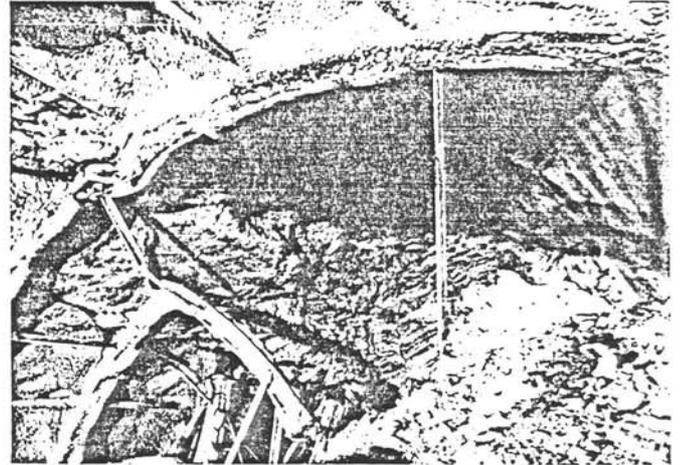


Fig. 8 - Particolari delle centine distrutte.

Des détails des cintres détruits. Details of destroyed timpering.

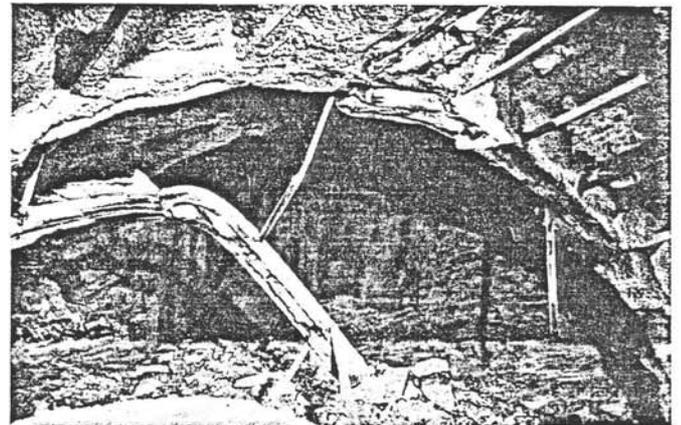


Fig. 9 - Particolari delle centine distrutte. Sullo sfondo, specchio di faglia con evidenti tracce di ossidazione.

Des détails des cintres détruits. Sur le fond, un miroir de faille avec des traces évidentes d'oxydation.

Details of destroyed timpering. On the background, fault mirror with evident oxidation traces.



Fig. 10 - Particolare di centine svergoliate nella zona retrostante lo scoppio con evidente lacerazione dello spritz-beton e splaccaggio della superficie rocciosa.

Un détail des cintres cambrés dans la zone derrière l'explosion. Detail of warped timpering behind the blasting area.

b) d'altra parte all'interno della montagna, le rocce, soggette ad una pressione verticale risultante dalla sovrapposizione dei carichi litostatici e delle tensioni tettoniche residue, non possono deformarsi a causa del contenimento laterale dell'ammasso circostante che si oppone alla loro dilatazione. Per questo, la loro resistenza a rottura aumenta. Quando si crea una cavità, l'ammasso al contorno ritrova la sua libertà di dilatazione ma solo nella direzione del vuoto; questa libertà parziale diminuisce la sua resistenza. Fintantoché la tensione tangenziale alla parete è tale che $\sigma_t < \sigma_{gd}$ non si avranno manifestazioni di instabilità ed i fenomeni deformativi che ne conseguono avvengono in campo elastico. Quando le coperture diventano tali per cui $\sigma_t > \sigma_{gd}$ le pareti della galleria si rompono.

In generale la rottura sarà simile a quella delle pareti di un cubetto sotto la pressa, le cui facce superiori ed inferiori sono impediti di dilatarsi a causa degli attriti, ed i paramenti della galleria avranno la tendenza a prendere pian piano una forma pressapoco circolare.

Questa volta cilindrica che si forma alla periferia della galleria si oppone alla dilatazione dell'ammasso nella direzione del vuoto, fatto questo che ne aumenta di nuovo la resistenza;

c) queste rotture possono manifestarsi in maniera diversa a seconda che l'ammasso roccioso presenti maggior o minor rigidità agli stati di sollecitazione a cui viene sottoposto:

- in caso di elevata rigidità (rocce sane e compatte o dotate di buone caratteristiche meccaniche) l'ammasso roccioso sollecitato al limite della propria resistenza σ_{gd} si rompe in modo fragile restituendo improvvisamente e bruscamente (decoesione) l'energia immagazzinata in fase di sovra sollecitazione, con manifestazioni tanto più violente quanto più alto è stato il gradiente di carico. Tali rotture di decoesione che avvengono non lungo tutto il perimetro di scavo, bensì in punti ben localizzati, sono accompagnate da modesti fenomeni deformativi al contorno, a meno che non coinvolgano porzioni importanti di roccia per le quali la resistenza residua si riduce praticamente ai soli termini di attrito (comportamento elasto-fragile).

- in caso di scarsa rigidità (roccia tettonizzata o dotata di mediocri caratteristiche meccaniche) l'ammasso roccioso sollecitato al limite di resistenza σ_{gd} si rompe in modo duttile, restituendo l'energia immagazzinata in conseguenza degli stadi di sovra sollecitazione sotto forma di deformazioni lente e differite nel tempo; queste si manifestano lungo tutto il perimetro di scavo in maniera più o meno omogenea in funzione dell'anisotropia del complesso roccioso. I fenomeni deformativi risultanti possono raggiungere notevoli entità e se adeguatamente controllati con interventi di contenimento attivo (bulloni, spritz-beton) sono tali da consentire all'ammasso di conservare una discreta resistenza residua e di esercitare, a sua volta, quell'azione di contenimento crescente e progressivo (effetto moltiplicatore del rivestimento immediato) che in definitiva riesce a garantire la stabilità del cavo (comportamento elasto-plastico).

Sulla base di queste considerazioni e della dinamica evolutiva del fenomeno sembra ragionevole inquadrare il tipo di rottura, descritto al paragrafo 3, nell'ambito dell'elasto-fragilità.

D'altra parte se ipotizziamo, in considerazione delle forti coperture in gioco, rapporti y dell'ordine dell'unità, si può ritenere accettabile per l'interpretazione tensionale del fenomeno, l'applicazione della teoria di Kastner-Fenner (fig. 13c). Si osserva allora:

- come rispetto al caso di elasticità ideale (mezzo omogeneo isotropo), la presenza di una faglia subverticale e subparallela all'asse galleria possa aver alterato la distribuzione della σ_t al contorno del cavo impedendo la naturale migrazione e ridistribuzione in senso radiale della tensione verso l'interno dell'ammasso.
- come, di conseguenza, tale discontinuità strutturale possa aver prodotto una concentrazione di tensioni sul solido isolato al paramento dal resto dell'ammasso (il cui spessore, nel caso in oggetto, andava peraltro assottigliandosi con il procedere dello scavo) quindi aver creato uno stato di coazione non sopportabile dal paramento che, attraverso una sequenza improvvisa e violenta di crolli (fig. 13b), arrivava al conseguimento di un nuovo assetto strutturale e quindi di un nuovo equilibrio.

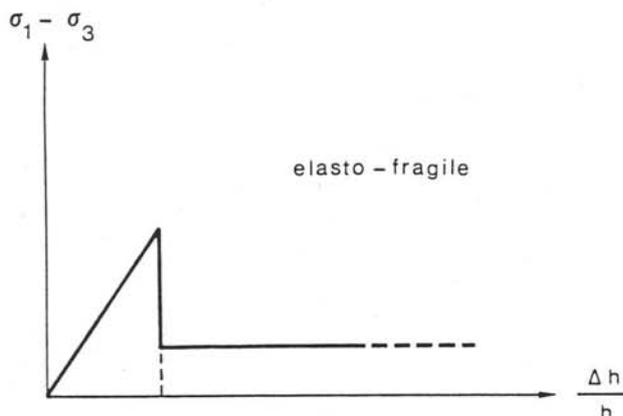


Fig. 11

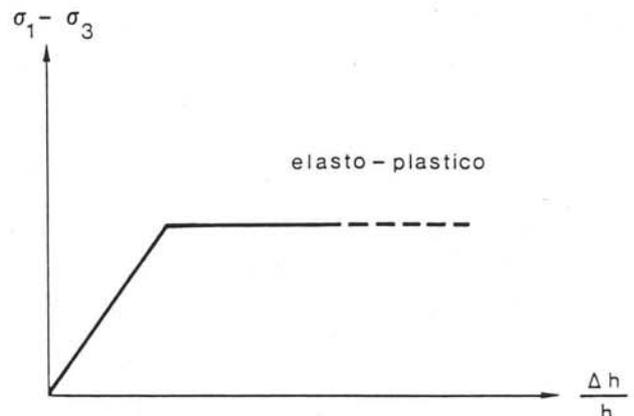
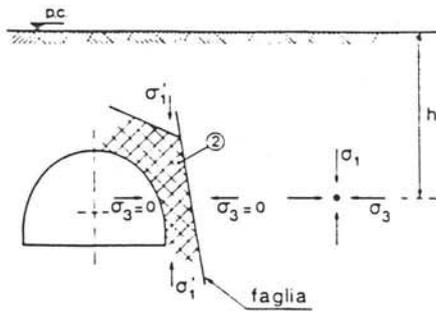
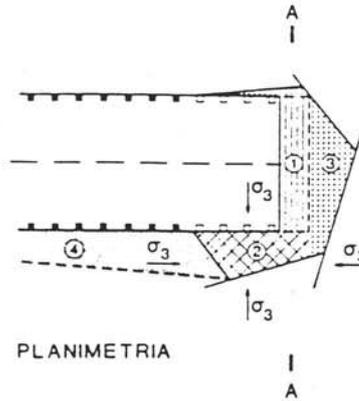


Fig. 12

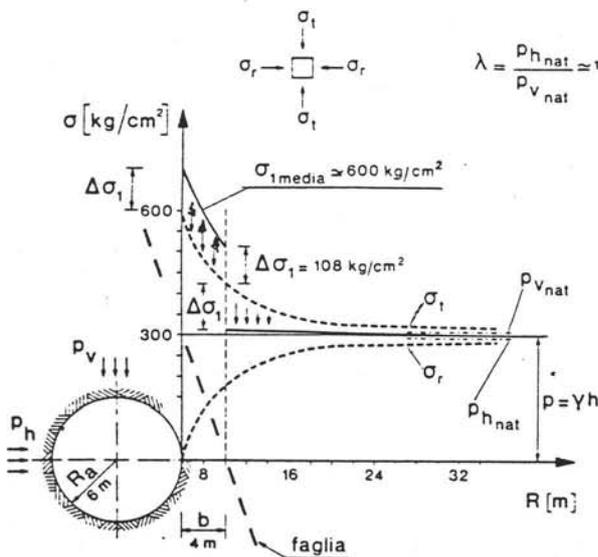


SEZIONE A-A



PLANIMETRIA

- ① Volume abbattuto dalla volata
- ② Zona scoppio paramento d_x
- ③ Crollo successivo con creazione di una caverna
- ④ Zona crollata del paramento d_x



σ'_1 = valore della sollecitazione monoassiale che ha prodotto lo scoppio del paramento

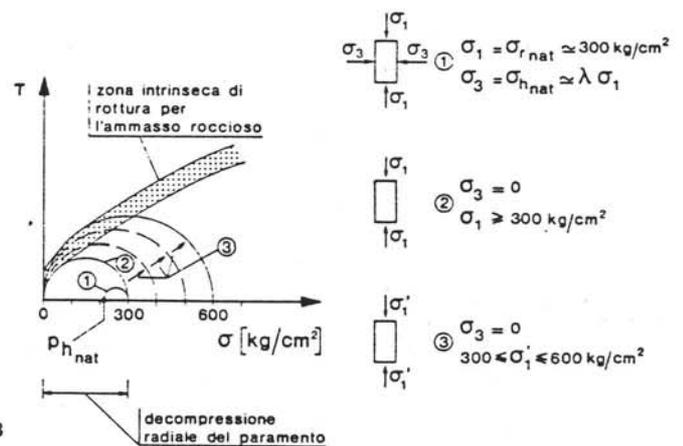


Fig. 13

In definitiva il fenomeno di rottura (evoluzione tensionale) si sarebbe prodotto attraverso una successione di fasi che si possono così schematizzare:

- a) allo sparo della volata la tensione di contenimento radiale offerta dal nucleo di roccia al fronte, passa dal valore naturale $\sigma_3 = 300 \text{ kg/cm}^2$ a $\sigma_3 = 0$
- b) lo stato di coazione al paramento, modificato da tri a monoassiale, cresce (Terzaghi) a partire dal valore minimo corrispondente a quello naturale $\sigma_1 = 300 \text{ kg/cm}^2$
- c) nell'arco di tempo (circa 15 minuti) che intercorre tra lo sparo della volata e lo scoppio del paramento, la σ_1 subisce un'escursione da 300 kg/cm^2 ad un valore massimo di 600 kg/cm^2 , valore quest'ultimo valutato teoricamente secondo Kastner e corrispondente alla sovratensione media indotta sul volume roccioso isolato dalla faglia. Ne deriva che il valore della sollecitazione $\sigma'_1 = \sigma_{gd}$ per cui si è verificato lo scoppio del paramento, pur non essendo determinabile con precisione, si può ritenere mediamente compreso tra $\sigma'_1 = 300$ e 600 kg/cm^2 ; tale considerazione unitamente al

fatto che la rottura si è verificata in campo elasto-fragile consente una rappresentazione schematica sul diagramma $\sigma - \tau$ di Mohr del tipo riportato in fig. 13d.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto analizzato sembra possibile concludere che l'esplosione del paramento in galleria è avvenuta, in definitiva, per un volume di roccia, isolato da un certo intreccio di faglie, di forma pressoché prismatica e di dimensioni simili a quelle del cavo, che si è trovato ad essere sollecitato al limite della propria resistenza σ_{gd} valutabile tra 300 e 600 kg/cm^2 . La rottura è avvenuta in elasto-fragilità e ciò è confermato sia per la maniera brusca e violenta con cui si è manifestata, sia per la presenza di frequenti fratture subverticali di decoesione ben visibili sul paramento d_x ed assolutamente assenti su quello s_x (fig. 14-15-16-17). Il fenomeno di rottura che, pur non provocando danni alle persone, lacerava profonda-

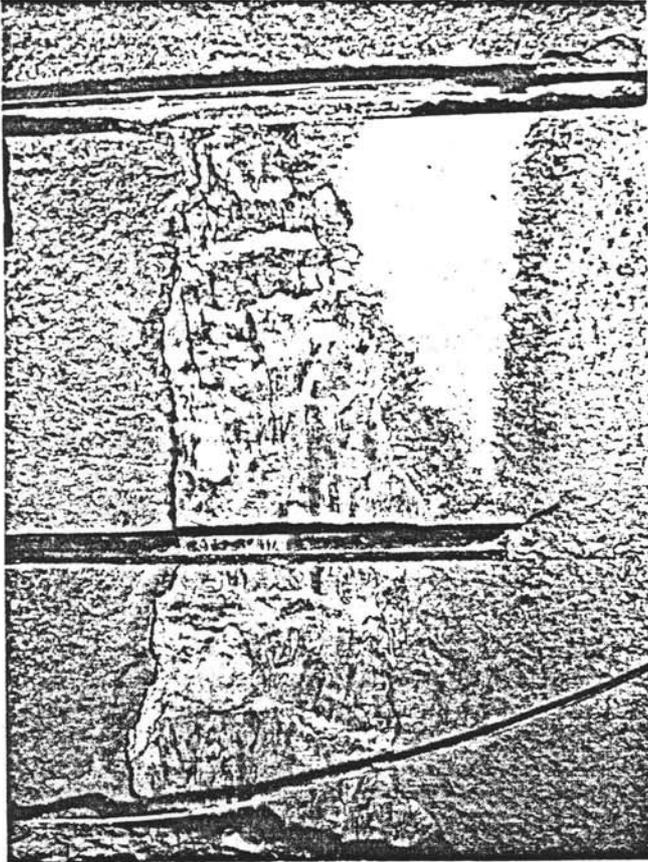


Fig. 14 - Paramento destro.
 Condizione del calcare a circa 20 m dalla zona dello scoppio.
 Le parement droite.
 La condition du calcaire à environ 20 m de la zone de l'explosion.
 Right-hand face.
 Condition of limestone about 20 m from blasting area.



Fig. 15 - Paramento destro.
 Particolare del materiale collassato con evidenti fratture subverticali di decoesione.
 Le parement droit.
 Un détail du matériel avec des fractures évidentes sub-verticales de décohesion.
 Right-hand face.
 Detail of collapsed material with evident subvertical decohesion fractures.

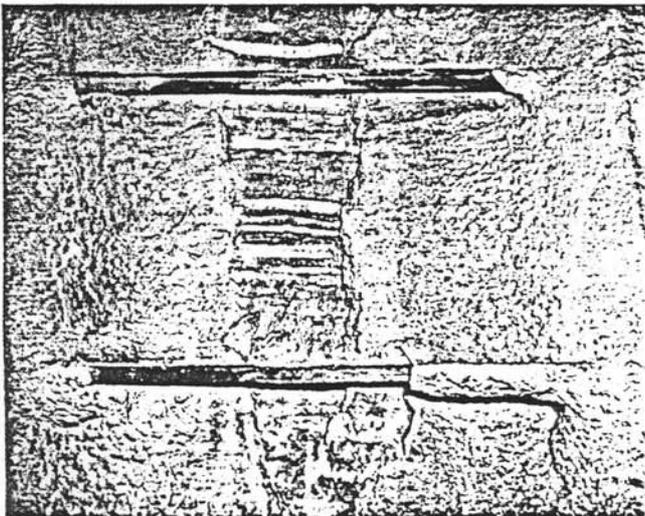


Fig. 16 - Paramento sinistro.
 Condizione del calcare a circa 20 m dalla zona di scoppio.
 Le parement gauche.
 La condition du calcaire à environ 20 m de la zone de l'explosion.
 Left-hand face.
 Condition of limestone about 20 m from blasting area.

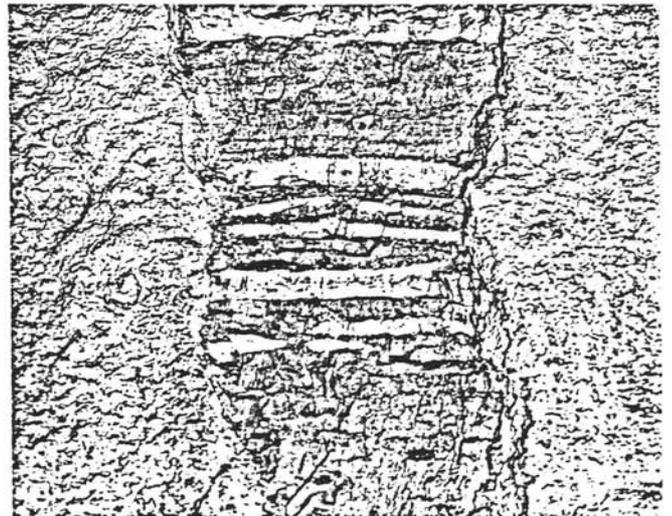


Fig. 17 - Paramento sinistro.
 Particolare del calcare a strati di selce non disturbato dallo scoppio al fronte.
 Le parement gauche.
 Un détail du calcaire à couches de silex pas perturbé par l'explosion au front.
 Left-hand face.
 Detail of limestone with flint layers undisturbed by face blasting.

mente le strutture di prerivestimento come conseguenza dell'elevata energia sprigionata al momento dell'esplosione (superiore sicuramente di qualche decina di volte rispetto a quella di una normale volata), non era facilmente prevedibile, nonostante alcuni sintomi avessero denunciato, come in precedenza segnalato, un certo affaticamento dell'ammasso. Ha comunque messo in evidenza come:

- a) in situazioni tensionali analoghe sia importante verificare, nei lavori in sotterraneo, che il gioco spaziale delle discontinuità non isoli, in corrispondenza al profilo di scavo, dei volumi rocciosi nella scala della sezione su cui si opera;
- b) giochino un ruolo determinante quel tipo di discontinuità subverticali e subparallele all'asse galleria che limitano la dimensione di volumi rocciosi al paramento soprattutto in direzione radiale del cavo, impedendo così la migrazione e la redistribuzione delle sovratensioni al contorno;
- c) nel caso in esame un volume di dimensioni più grandi o più piccole rispetto l'estensione della sezione di scavo non avrebbe probabilmente predisposto il paramento ad una esplosione così violenta.

Misure di sicurezza per la prosecuzione dello scavo negli Scisti ad Aptici furono comunque prese su entrambe le canne una volta superata la progr. 4240 di via Sx. Le più efficaci tra queste e quelle che in un certo modo hanno garantito gli avanzamenti senza ulteriori manifestazioni di instabilità, sono state da un lato la riduzione della lunghezza libera d'inflessione delle pareti di scavo (avanzamenti a mezza sezione - fig. 18), dall'altro l'attento e sistematico rilevamento, da parte di personale specializzato, delle discontinuità strutturali e la loro lettura in termini spaziali nella scala della sezione di scavo.

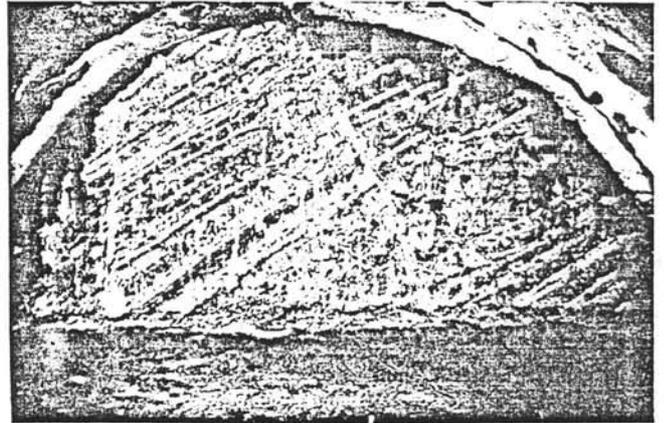


Fig. 18 - Avanzamento a mezza sezione a monte della progr. 4240. Scisti ed Aptici con tracce di una faglia subparallela all'asse galleria.

L'avancement à demi-section en amont de la progr. 4240. Les schistes à Aptice avec des traces d'une faille sub-parallèle à l'axe du tunnel.

Advance at mid-section upstream of progr. 4240. Schists showing traces of fault subparallel to tunnel axis.

L'autore ringrazia per la collaborazione il Dott. Ing. Cesare Antiga direttore tecnico del Traforo, l'Ing. A. Arrighi ed il Geom. A. Pessina dell'Impresa COGE-FAR esecutrice del Traforo.

