

gallerie

e grandi opere sotterranee

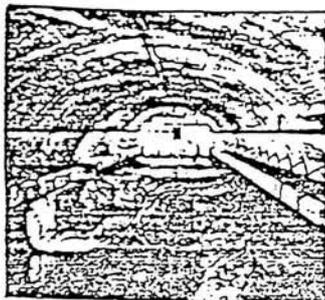
sommario

Una affascinante avventura <i>om</i>	pag. 3
Historica Teresio Micheletti	» 4
Galleria stradale del San Gottardo: Problemi di pressione delle rocce durante la costruzione Giovanni Lombardi	» 7
Considerazioni sul dimensionamento dell'in- terasse ottimale di due gallerie gemelle Pietro Lunardi - Alberto Fattore	» 19
Proposta di una metodologia per lo studio geologico e geomeccanico afferente grandi opere in scavo Tommaso Moro - Valerio Spagna	» 29
Studio geologico per la galleria di derivazione di un impianto idroelettrico Giuseppe Cello - Tommaso Moro - Armando Sampaolo	» 41
Rubriche	
Dai cantieri	» 51
Nuovi lavori	» 55
La posta	» 59
Abbiamo letto	» 65
Convegni e Congressi	» 69
Dalla Sezione Gallerie	» 75

CALDART s.p.a.
impresa costruzioni

32035 S. GIUSTINA (BELLUNO)
Telefono (0437) 82455-6

Centrale di Cucchinadorza
dell'impianto idroelettrico e di
pompiaggio ENEL del Toloro
in comune di Ovodda (Nuoro)
Scavo della sala macchine.



La capertina

Direttore Responsabile: Alberto Motta

Segretario di redazione: Giampiero Barisone

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

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 38 - Via Bard, 33 - Torino - tel. 011/700326
Pubblicazione quadrimestr., gratuita ai Soci della Sezione Gallerie.
Un fascicolo Lire 3.000 - Arretrati Lire 5.000 - Estero il doppio
Spedizione in abbonamento postale/Gruppo IV/70-n. 1-1° sem. 1977
Le opinioni espresse dagli autori non impegnano la Direzione.
Tutti i diritti di riproduzione, anche parziali, sono riservati.

CONSIDERAZIONI SUL DIMENSIONAMENTO
DELL'INTERASSE OTTIMALE DI DUE GALLERIE
GEMELLE

Considerazioni sul dimensionamento dell'interasse ottimale di due gallerie gemelle

Pietro Lunardi (*)
Alberto Fattore (**)

RIASSUNTO

Il dimensionamento dell'interasse ottimale di due gallerie gemelle è un tema affrontato da alcuni studiosi sia dal punto di vista teorico che semiempirico. I metodi di dimensionamento fin qui proposti soffrono, in generale, di limitazioni abbastanza sensibili: quelli dedotti dalla applicazione rigorosa della teoria dell'elasticità portano risultati difformi dalla realtà non appena, al contorno dei cavi, la roccia assume un comportamento di tipo plastico. Per contro i metodi semiempirici non affrontano il problema in termini geomeccanici. Col presente studio gli autori intendono proporre un ulteriore contributo alla soluzione del problema.

Si ammette che, in generale, al contorno dei cavi e, in particolare nel setto di separazione degli stessi, la roccia assuma il comportamento elasto-plastico formulato da Fenner-Kastner.

Utilizzando la predetta formazione e richiamandosi ad un noto teorema della plasticità, è possibile l'analisi della stabilità del setto di separazione di due gallerie ed è possibile la definizione del relativo coefficiente di sicurezza. Tutto ciò ricorrendo ad una metodologia di facile applicazione.

RESUME

Le dimensionnement de la largeur d'entre-axes optimale de deux tunnels-jumelés constitue un sujet qui a été abordé par quelques hommes d'étude sous le point de vue aussi bien théorique qu'à demi empirique.

Les méthodes de dimensionnement proposées jusqu'à ce moment sont sujettes, en général, à des limites assez considérables: celles qui découlent de l'application rigoureuse de la théorie de l'élasticité entraînent des résultats n'étant plus conformes à la réalité dès que, au contour des excavations la roche présente un comportement de caractère plastique. Les méthodes à demi empiriques, au contraire, n'abordent pas le problème en des termes géomécaniques. Les auteurs de cette étude ont l'intention de proposer un apport ultérieur à la solution du problème.

On admet, en général, qu'au contour des excavations, et, en particulier, dans le noyau de séparation, la roche présente le comportement « elasto-plastique » formulé par Fenner-Kastner.

En utilisant la formulation susmentionnée, et en se référant à un théorème de la plasticité qui est bien connu, on pourra établir l'analyse de la stabilité du noyau de séparation de deux tunnels, et on pourra aussi déterminer le facteur de sécurité correspondant. Tout cela est possible en recourant à une méthodologie facilement applicable.

SYNOPSIS

The dimensioning of the optimal center distance between two twin tunnels is a subject dealt with by some scientists from both a theoretical and a semi-empirical point of view.

The dimensioning methods proposed so far are generally subject to rather considerable limitations: those which are the consequence of a strict application of the elasticity theory — as a matter of fact — entail some results that do not comply any more with reality just when, at the excavations outline, the rock behaviour turns into a plastic one. On the other hand, the semi-empirical methods do not deal with this subject under a geomechanical point of view.

The authors of the present study intend to propose a further contribution for the solution of such problem.

It is deemed that, as a general rule, at the excavations outline and, in particular, in their separating wall, the rock behaviour shows the "elasto-plastic" features stated by Fenner-Kastner.

On the ground of the above mentioned statement, and referring to a well-known plasticity theorem, it will be possible to perform an analysis of the separating wall stability of two tunnels and to determine the relevant safety factor: the whole job may be carried out having recourse to an easily applicable methodology.

(*) Dott. Ing. Pietro LUNARDI - Cogefar S.p.A. - Milano
prof. Inc. alla facoltà di ingegneria dell'Università di Firenze

(**) Dott. Ing. Alberto FATTORE - Farsura S.p.A. - Milano

PREMESSA

La definizione dell'interasse ottimale fra due gallerie parallele è un tema affrontato da numerosi specialisti di geomeccanica sia dal punto di vista matematico sia sotto il profilo semiempirico. Lo studio che si va a proporre vuol essere un tentativo inteso a superare il dualismo teorico-empirico cercando nella configurazione della roccia a comportamento elasto-plastico (Fenner-Kastner) una realistica soluzione del problema.

In generale la definizione dell'interasse ottimale di due gallerie gemelle si ottiene conciliando le esigenze di natura statica che tendono ad allontanare i cavi con quelle di tipo economico-funzionale che impongono di avvicinarli.

In effetti lo scavo di due gallerie affiancate induce, nel setto di separazione delle stesse, uno stato tensionale la cui entità cresce al diminuire dello spessore del setto stesso. Poichè, per ovvie ragioni, in ogni punto del setto di separazione le sollecitazioni indotte devono essere compatibili con le caratteristiche di resistenza delle rocce incontrate, consegue l'impossibilità di ridurre eccessivamente l'interasse al di sotto di limiti che comportano l'instabilità del setto di separazione. Per contro, l'opportunità di frequenti e brevi vie di interconnessione delle gallerie invita a ridurre lo spessore del setto di separazione, essendo di considerevole incidenza economica lo sviluppo delle gallerie di « bypass ».

Dalla sintesi equilibrata delle due predette esigenze deriva la soluzione del problema che, in generale, dipende da tre fattori principali:

- *geometria*: ubicazione delle due gallerie rispetto alla superficie topografica esterna;
- *caratteristiche intrinseche e strutturali delle rocce*: stato di tensione della roccia preesistente allo scavo, resistenza a rottura per schiacciamento e per taglio lungo i piani di frattura e stratificazione, deformabilità e dilatanza dell'ammasso (*), ecc...;
- *modalità e sistemi esecutivi*: apertura sincrona o o asincrona delle due sezioni, velocità di avanzamento dello scavo, tipo di rivestimento e rapidità della relativa posa in opera, ecc...

Nelle note che seguono si espongono i criteri di dimensionamento degli interassi ipotizzando le due gallerie entrambe costruite. Si prescinde pertanto dagli stati tensionali transitori propri delle fasi esecutive intermedie e dipendenti principalmente dalle modalità costruttive.

1. INDAGINE SUGLI USUALI CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

In ordine al tema proposto la letteratura tecnica offre i seguenti metodi di indagine:

- a) dedotti dall'applicazione rigorosa della teoria dell'elasticità;
- b) basati su considerazioni teorico-empiriche, in parte convalidate dall'esperienza delle coltivazioni minerarie e formulate mediante semplici schematizzazioni matematiche.

I metodi del primo tipo derivano dalla formulazione data da Kirsch dello stato tensionale generato al contorno di una cavità circolare immersa in un mezzo elastico omogeneo ed isotropo soggetto ad un campo di forze

(*) La « dilatanza » dell'ammasso roccioso è l'indice dell'aumento di volume dello stesso in condizioni prossime al collasso.

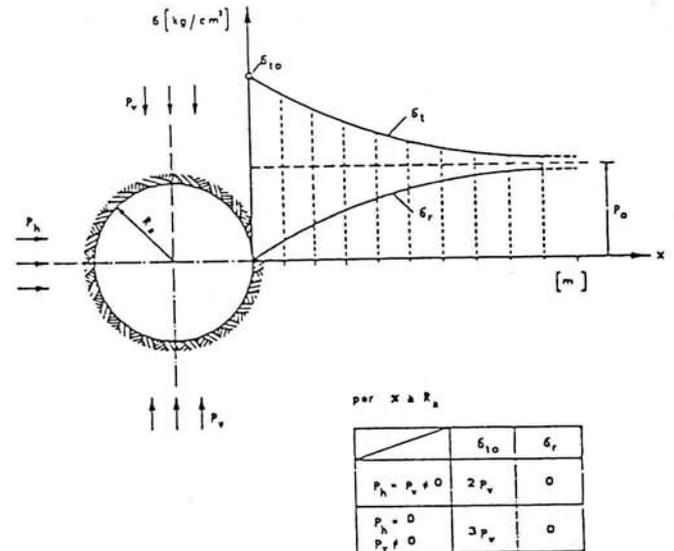


Fig. 1

variamente orientato. Nel caso di un problema bidimensionale, quale si può ipotizzare al contorno di una cavità cilindrica, viene richiamata l'espressione delle tensioni per il caso particolare del piano diametrale orizzontale (fig. 1).

Nella ipotesi di comportamento elastico della roccia, si può ritenere che, senza apprezzabili errori, lo stato tensionale al contorno di due gallerie parallele e in particolare nel setto di separazione delle stesse sia esprimibile analiticamente mediante la sovrapposizione di due campi elementari di tensione, propri ciascuno delle due cavità. Nel caso particolare di due gallerie circolari uguali la soluzione del problema è stata fornita da Ling, (3) il quale ha calcolato la tensione tangenziale alla parete dello scavo in funzione delle forze esterne agenti (P_h , P_v) e dell'interasse delle gallerie. La fig. 2 riporta la soluzione riferita al piano diametrale orizzontale.

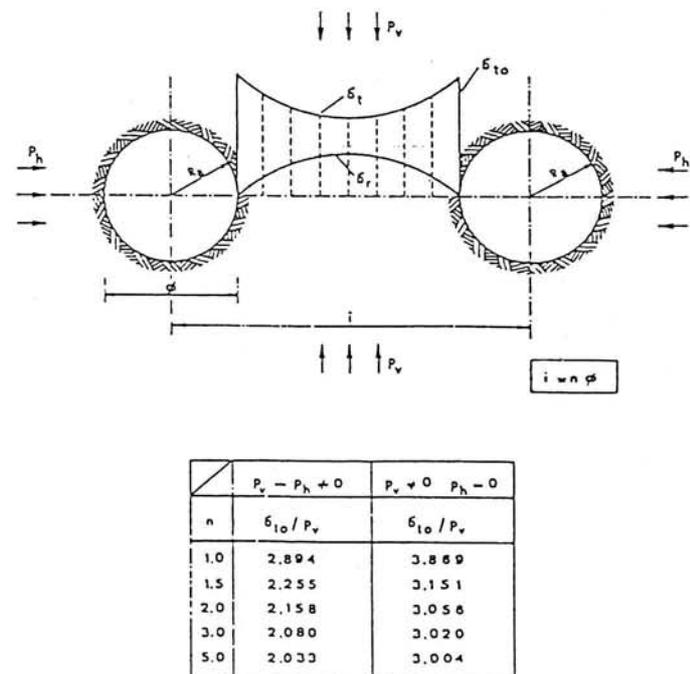


Fig. 2

di coazione triassiale presente nella roccia e la snellezza del setto (W_p/H_p).

Questo criterio di dimensionamento risente molto dell'incertezza conseguente alla definizione della cosiddetta « larghezza efficace » del setto, dipendendo questa dal grado di fratturazione della roccia in posto e dal disturbo arrecato al perimetro dalle operazioni di scavo.

2. PROPOSTA DI UN ULTERIORE METODO DI DIMENSIONAMENTO

2.1. Premesse e considerazioni generali

Il metodo proposto presuppone un comportamento di tipo elasto-plastico (2) della roccia circostante i cavi. Questa situazione si verifica ogni qualvolta la resistenza della roccia, prossima al contorno della cavità, è superata dalle sollecitazioni indotte dall'apertura dello scavo. In tali condizioni, sul contorno, si formano zone decomprese, a comportamento plastico, nelle quali la roccia ha perduto buona parte delle originali proprietà meccaniche, in particolare di resistenza al taglio.

Nel caso particolare di un campo idrostatico di forze esterne ($\lambda = 1$) le zone decomprese si riuniscono in una configurazione nota come « anello plastico » (fig. 5).

Nell'interno della massa rocciosa e a tergo dell'anello plastico, si individua una seconda zona nella quale la roccia, contenuta radialmente e quindi in stato di coazione triassiale, è in grado di sopportare le sovratensioni indotte dall'apertura del cavo, conservando un comportamento elastico. E' questa seconda zona, che contribuisce in maniera predominante al sostegno del carico litostatico gravante sul cavo.

Nel campo elasto-plastico, lo stato tensionale circo-

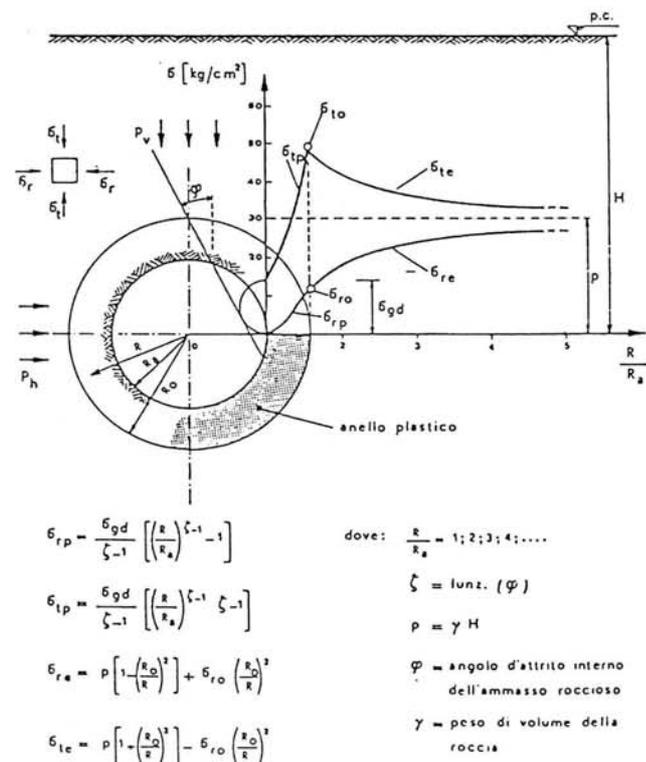


fig. 5

stante una cavità è stato formulato teoricamente da Fenner-Kastner (2), e, nel caso particolare di un campo idrostatico di forze esterne ($\lambda = 1$), è richiamato in (fig. 5) limitatamente al piano diametrale orizzontale. Il comportamento elasto-plastico della roccia circostante un cavo è definito principalmente:

- dallo stato tensionale preesistente allo scavo ed in particolare dal rapporto $\lambda = \frac{P_h}{P_v}$;
- dall'attrito interno disponibile lungo i giunti, le superfici di fratturazione, di faglia, ecc;
- dalla resistenza a rottura monoassiale, σ_{gd} di Kastner, che l'ammasso roccioso offre in corrispondenza della parete di scavo.

Conoscendo detti elementi è possibile valutare le sollecitazioni presenti al contorno di un cavo e ciò sia nella fascia a comportamento plastico (σ_{tp} e σ_{rp}) che nell'ammasso a comportamento elastico (σ_{te} , σ_{re}).

La presenza di una pressione di contenimento « p_a » applicata al perimetro del cavo, modifica lo stato tensionale anzidetto nel senso di « contenere » in senso radiale la roccia di parete, aumentandone le caratteristiche di resistenza conformemente alla curva intrinseca (fig. 6). In definitiva blocca la propagazione del fenomeno di decompressione limitando la potenza della massa allentata.

Se a questo punto si considera il caso di due gallerie parallele e si ipotizza che in prossimità del contorno di ciascuno dei cavi la roccia assuma un comportamento di tipo plastico, è sufficientemente corretto ammettere che, nel setto di separazione delle due gallerie lo stato tensionale derivi dalla combinazione dei due regimi elementari di tensione competenti a ciascuna cavità.

In particolare, la fascia plasticizzata della cavità « A » risentirà delle sovratensioni causate dal cavo « B » e viceversa.

Per un noto teorema della plasticità, le tensioni che individuano il campo plastico sulla curva sforzi-defor-

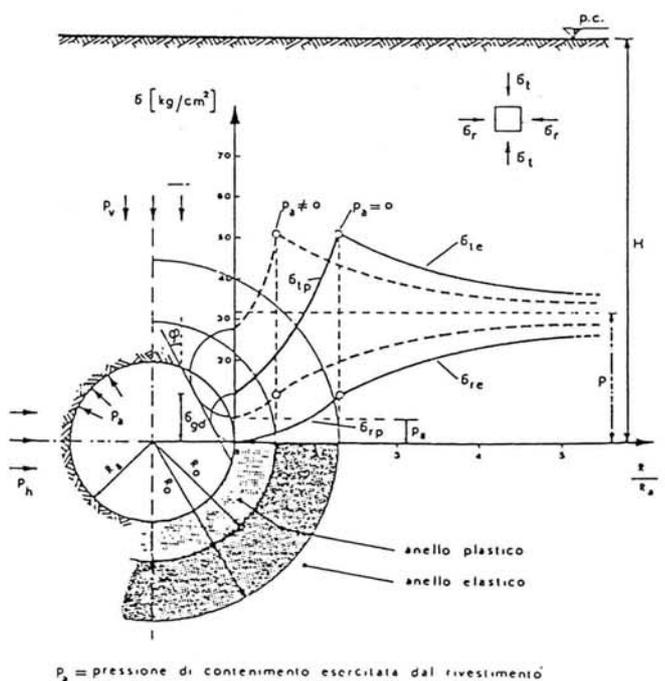
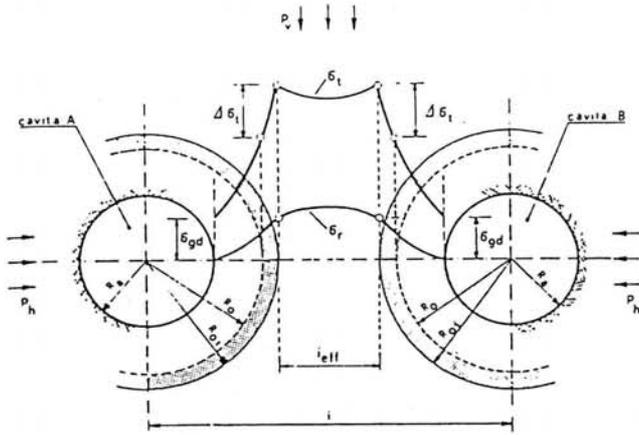


fig. 6



dove:
 r_0 = raggio dell'anello a comportamento plastico relativo ad una sola cavità
 r_{01} = raggio dell'anello a comportamento plastico nel caso di due cavità
 $i(ell)$ = zona a comportamento elastico
 $\Delta \sigma_t$ = variazione di σ , in campo plastico per interferenza reciproca delle due cavità

Fig. 7

mazioni dei materiali, costituiscono il limite superiore delle sollecitazioni sopportabili dagli stessi; pertanto nelle fasce plastiche circostanti i cavi le migrazioni degli sforzi da un cavo all'altro non produrranno un aumento delle sollecitazioni, ma l'effetto di tali reciproche trasmissioni di sforzi si tradurrà, in assenza di rivestimento, in un incremento dei fenomeni deformativi al contorno ed, in definitiva, in un aumento del raggio delle zone plasticizzate (fig. 7).

D'altra parte nel setto, al di fuori delle due fasce a comportamento plastico, si avrà una sovrapposizione di tipo elastico degli sforzi reciprocamente trasmessi. E' evidente che l'estensione delle zone plasticizzate implica una riduzione della zona a comportamento elastico tra le due gallerie e quindi una maggiore concentrazione di tensioni nella zona « elastica » del setto.

La diminuzione del setto di separazione a comportamento elastico a fronte di una riduzione dell'interasse di due gallerie è molto più accentuata della variazione dell'interasse stesso, ciò dipendendo dalla legge di tipo esponenziale che definisce la distribuzione degli stati tensionali che si innescano intorno ai cavi.

Se si ipotizza una progressiva diminuzione dell'interasse dei cavi, si arriva al punto in cui l'insieme delle sollecitazioni indotte nel setto di separazione si avvicina alla resistenza limite complessiva disponibile nella roccia del setto stesso. In una simile circostanza si genera, in dipendenza da sensibili fenomeni deformativi, un'alterazione sostanziale dello stato tensionale circostante i cavi.

Si configura cioè un nuovo assetto statico generale che implica un sensibile aumento della fascia a comportamento plastico che interessa ciascuna delle due gallerie. Nella fig. 8 si è cercato di esplicitare quest'ultimo concetto evidenziando in forma schematica l'evoluzione dei fenomeni suddetti al variare dell'interasse dei cavi.

Nel caso « A » è rappresentata la soluzione di due gallerie gemelle a grande interasse. Il setto di separazione risente in misura trascurabile della sovrapposizione degli stati tensionali trasmessi reciprocamente dai cavi e per ciascuno di essi la fascia a comportamento plastico è quella che si avrebbe nel caso di galleria singola.

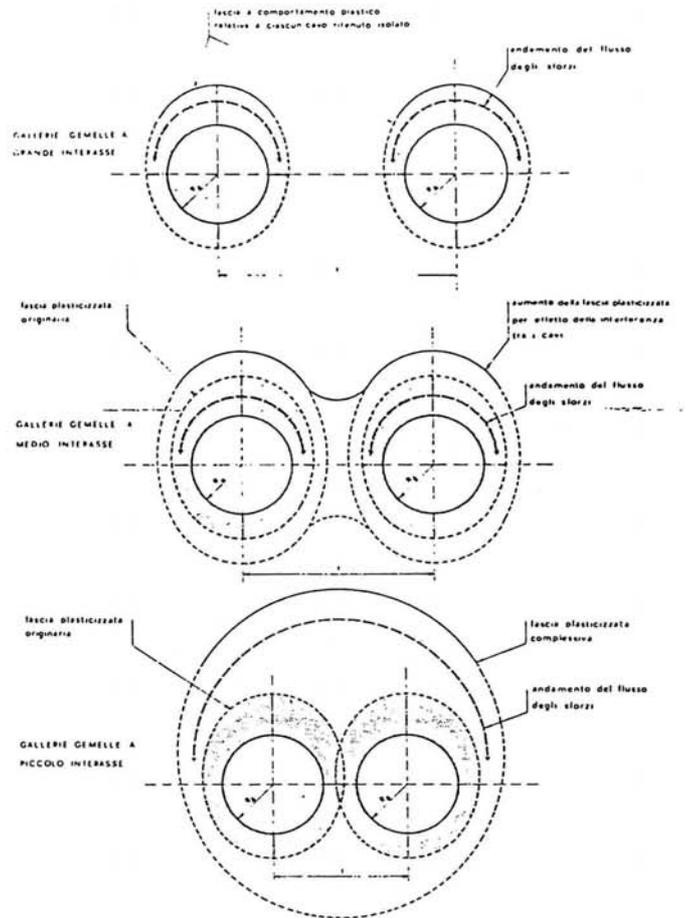


Fig. 8

Il caso « B » riporta una situazione intermedia nella quale le due gallerie hanno un interasse sufficientemente piccolo da comportare una sensibile sovrapposizione delle tensioni trasmesse reciprocamente. In questo caso l'interferenza delle due cavità ha determinato una dilatazione delle zone a comportamento plastico a scapito del « nucleo elastico ». Tutto ciò si traduce in un'alterazione della situazione statica complessiva e quindi in un aumento della fascia a comportamento plastico relativa a ciascuno dei cavi.

Il caso « C » rappresenta la situazione limite che si verifica quando, a seguito di una eccessiva riduzione dell'interasse, il setto di separazione è sollecitato al limite della sua resistenza disponibile. In questa circostanza il setto di separazione offre un contributo di resistenza trascurabile e ciò comporta una deviazione del flusso degli sforzi indotti, all'esterno del complesso individuato dall'insieme delle due cavità. Si forma così una fascia a comportamento plastico che è unica per le due gallerie, le quali in definitiva si comportano come una cavità singola.

E' superfluo rilevare come in questa circostanza la fascia a comportamento plastico relativa ad ognuna delle due cavità sia ben maggiore di quella che competerebbe a ciascuna cavità pensata isolata.

2.2. Descrizione del metodo

Il metodo proposto consiste sostanzialmente nel verificare, alla luce delle considerazioni sopra esposte, la stabilità del setto di separazione di due gallerie gemelle. Tale metodo, pur presentando una certa analogia con

quello correntemente applicato nel dimensionamento dei « Pillars » delle gallerie minerarie, si differenzia sostanzialmente, in quantochè si basa su considerazioni di tipo geomeccanico maggiormente rigorose. In effetti, valutato lo stato di tensione effettivo presente nel setto di separazione, lo si confronta con quello limite disponibile nella roccia del setto stesso.

Data per nota la curva intrinseca della roccia, si analizza lo stato tensionale che si instaura al contorno del cavo a seguito della sua apertura.

In assenza di efficaci interventi di sostegno che equivalgono, in definitiva, all'applicazione di una pressione p_a sul contorno, lo stato di tensione indotto nella roccia è dato dalle note relazioni riportate in fig. 5 (vedi anche fig. 9a).

In un punto qualsiasi intorno alla fascia a comportamento plastico si instaura uno stato tensionale di tipo triassiale dovuto al fatto che σ_r è diversa da zero. Ne deriva, come conseguenza, che la sollecitazione tangenziale σ_t ammissibile nella roccia risulta essere superiore alla σ_{gd} .

Come noto dalla teoria di Kastner-Fenner la tensione radiale σ_r , nulla per ipotesi in corrispondenza del paramento ($p_a = 0$), aumenta all'allontanarsi dal con-

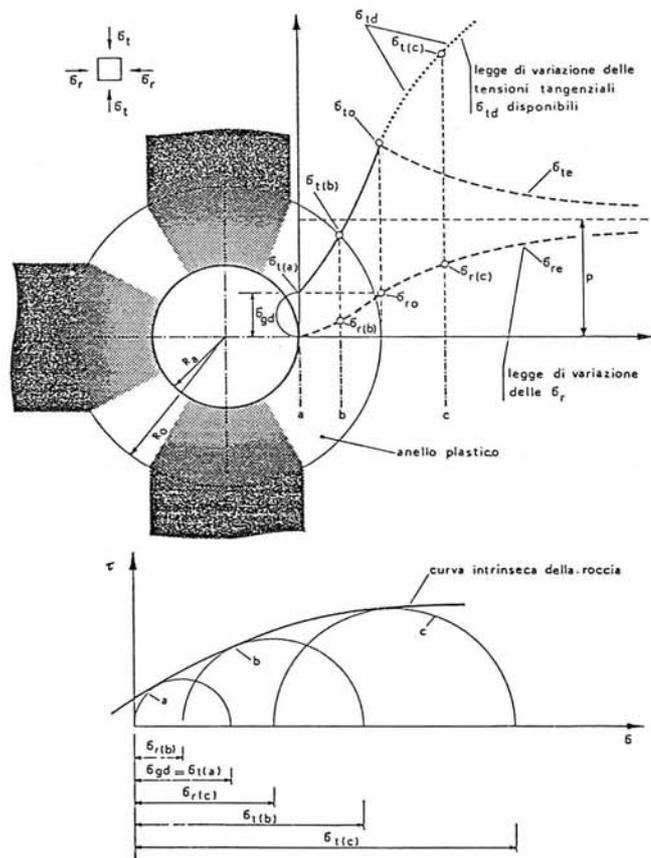
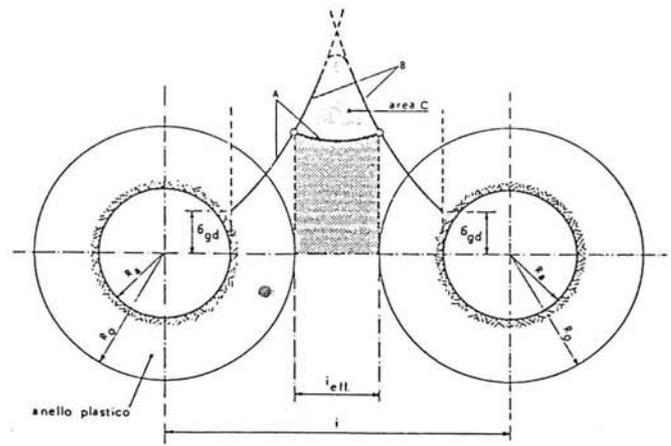


fig. 9a-9b

torno di scavo secondo una legge esponenziale, tendendo in maniera asintotica al valore della tensione p , preesistente all'apertura della galleria. Tutto ciò comporta un corrispondente aumento della tensione tangenziale σ_t ammissibile nella roccia, la cui legge di variazione espressa analiticamente dalla σ_{tp} (Kastner) è legata per il tramite di φ alla curva intrinseca della roccia in posto.



dove:

- A = diagramma risultante tensioni effettive
- B = diagramma tensioni disponibili σ_{td}
- C = differenza tra le aree sottese ai diagrammi A e B: "area indice" del coefficiente di sicurezza

fig. 10

È opportuno a questo punto fare notare che:

- a) le tensioni tangenziali di cui trattasi sono individuate da cerchi di Mohr tangenti alla curva intrinseca e quindi rappresentano delle condizioni di rottura della roccia (v. fig. 9b). In tal senso queste tensioni vanno considerate come « limiti » dato che, per le ipotesi relative al comportamento della roccia in campo plastico, non possono aumentare oltre detto valore.
- b) le tensioni tangenziali riferite al piano diametrale orizzontale, misurano in campo plastico la massima resistenza effettiva mentre, in campo elastico forniscono il limite della sollecitazione disponibile (σ_{td}) nella roccia, ad azioni verticali esterne.

Se ora si considerano due gallerie parallele con interasse tale che la reciproca interferenza delle tensioni non sia trascurabile e si ipotizza inoltre che sul contorno dei cavi si formino due fasce plasticizzate, nel setto di separazione delle due gallerie si viene a creare una situazione tensionale (σ_t) che può essere rappresentata dal diagramma risultante « A » di fig. 10.

Per quanto detto, risulta allora che le sollecitazioni σ_t proprie della fascia a comportamento plastico hanno il carattere di sollecitazioni limite, mentre le sollecitazioni che interessano la zona a comportamento elastico risultano essere inferiori a quelle limite disponibili. Nella fig. 10 è indicato con « B » il diagramma delle tensioni disponibili (σ_{td}) in tutto il setto di separazione. Risulta dalla combinazione dei due diagrammi σ_{td} limiti relativi a ciascuno dei cavi e coincide, nel caso limite in cui il setto è totalmente plasticizzato per riduzione eccessiva degli interassi, con l'andamento delle tensioni effettive.

La differenza tra il diagramma « B » rappresentante la resistenza disponibile ed il diagramma « A » che configura una generica situazione effettiva, fornisce il margine di sicurezza che il setto di separazione ha in rapporto alla rottura per quella determinata situazione (area indice « C » della figura 10).

In definitiva, è possibile valutare il coefficiente di sicurezza relativo alla stabilità del setto di separazione di due gallerie gemelle. Infatti prefissato l'interasse e nota la curva intrinseca della roccia si ricavano i diagrammi « A » e « B » dei quali si valuta l'area sottesa. Il rapporto tra le aree sottese, rispettivamente da « B »

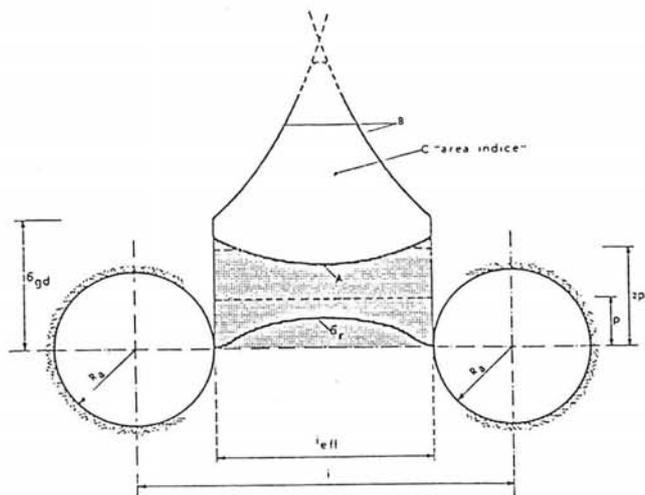


Fig. 11

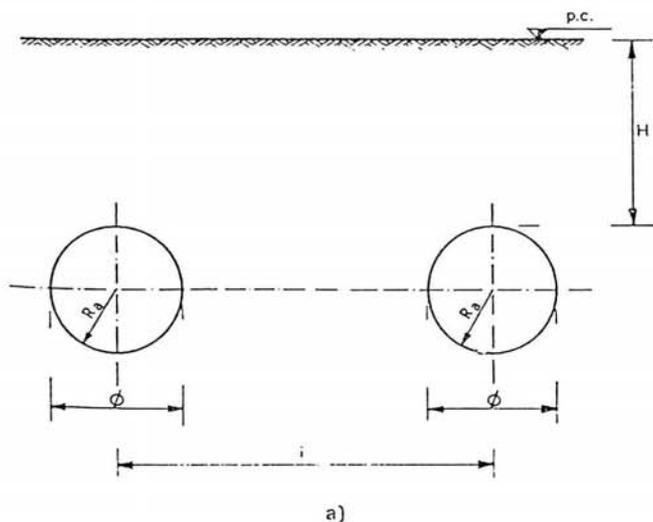
e da « A », rappresenta il coefficiente di sicurezza alla rottura del setto di separazione.

2.3. Applicazione del metodo nel caso di comportamento elastico dell'intero setto di separazione

E' noto, come in questo caso all'apertura dei cavi si inducano al contorno degli stessi delle sollecitazioni tangenziali pari a 2 o 3 volte, (in funzione di λ), la tensione naturale preesistente nell'ammasso.

Ammettere che il setto di separazione abbia un comportamento elastico equivale a dire che la sollecitazione indotta al contorno è inferiore alla resistenza limite σ_{gd} dell'ammasso, ciò naturalmente essendo valido per un punto qualsiasi interno al setto di separazione.

In questa situazione si può rappresentare (fig. 11) lo stato di sollecitazione all'interno del setto mediante un diagramma risultante del tipo A. E' inteso che, anche in questo caso, nell'interno del setto può essere definito un diagramma « B » di tensioni σ_{id} disponibili analogamente a quanto fatto nel caso precedentemente indicato. Ne consegue, allora, che alla definizione del coefficiente di sicurezza globale F_s si può pervenire rapportando



a)

le aree rispettivamente sottese dai diagrammi « B » ed « A » di fig. 11.

Esempio applicativo

1) CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

- $\varnothing = 12,00 \text{ m}$
- $R_a = 6,00 \text{ m}$
- $H = 1.000 \text{ m}$
- $i = \text{variabile}$

2) CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

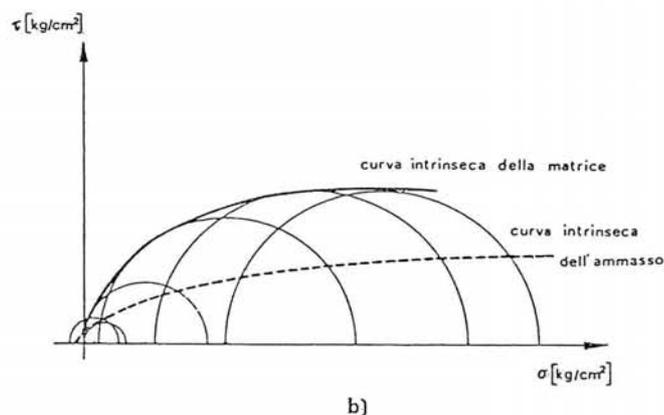
tipo di terreno = calcescisto

$\gamma_d = 2,7 \text{ t/m}^3$
= peso di volume

$\sigma_f = 900 \text{ kg/cm}^2$
= resistenza a rottura monoassiale su provini cilindrici

$\sigma_{gd} = 300 \text{ kg/cm}^2$
= resistenza a rottura dell'ammasso da prove di martinetto piatto in parete

$\varphi = 30^\circ$ = angolo d'attrito interno della roccia in posto dedotto dalla curva intrinseca



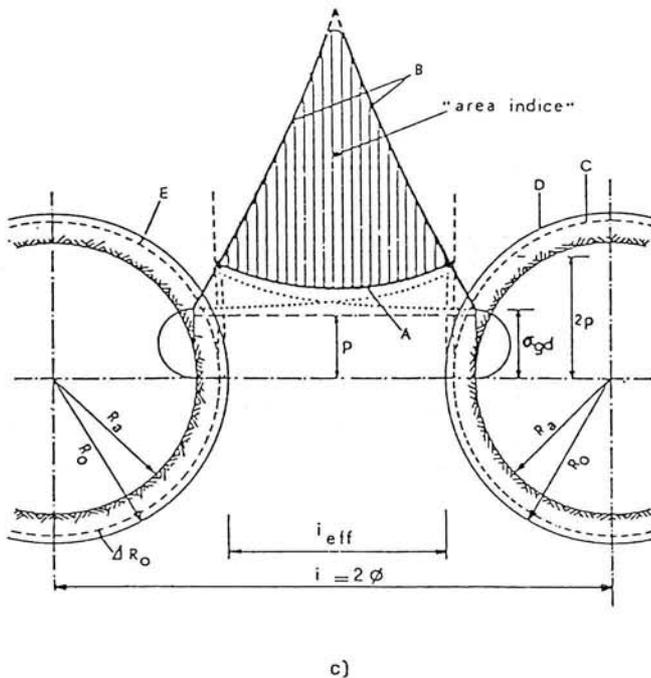
b)

3) IPOTESI DI CALCOLO E APPLICAZIONE

- $R_o = 7,10 \text{ m}$
- $p = 2700 \text{ t/m}^2$
- $2p = 5400 \text{ t/m}^2$
- $\lambda = 1$
- $i = 2 \varnothing$

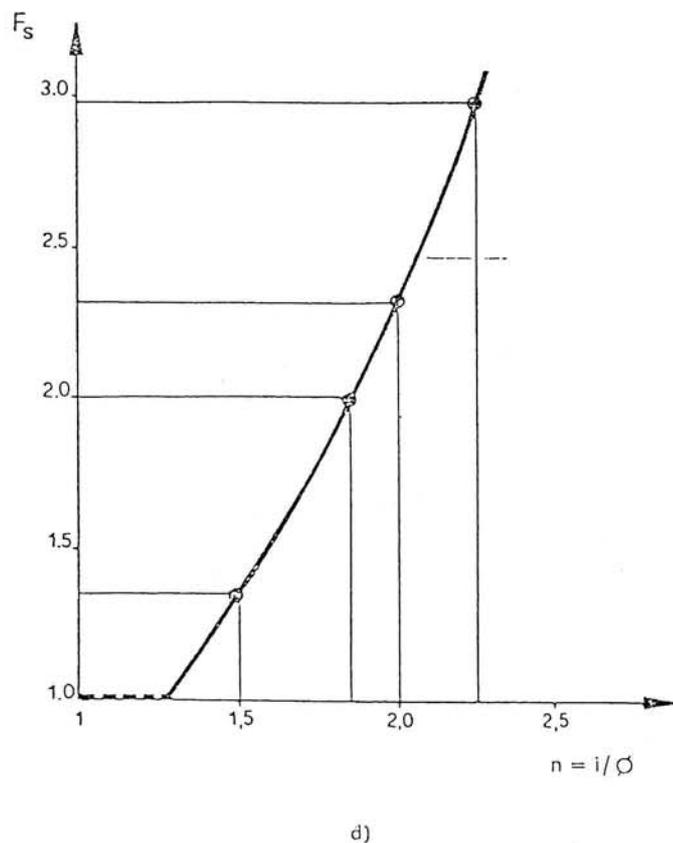
- A = diagramma tensioni effettive
- B = diagramma tensioni limiti disponibili σ_{id}
- C = limite fascia a comportamento plastico per una galleria singola
- D = limite fascia a comportamento plastico nel caso di due gallerie affiancate
- E = variazione fascia plasticizzata causata dall'interferenza reciproca dei cavi Δ

$$\text{coefficiente di sicurezza } F_s = \frac{B}{A} = 2,34$$

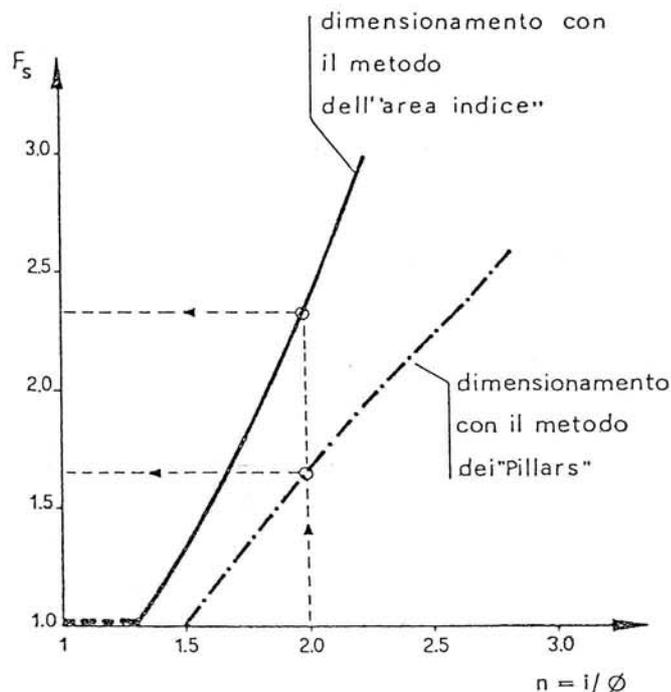


Facendo variare « i » si definiscono i corrispondenti valori di F_s .

Si otterrà il diagramma di fig. d: $F_s = f(i)$



Volendo confrontare i valori del coefficiente di sicurezza così definito con quelli che si otterrebbero dall'applicazione del metodo dei « Pillars » si ottiene un diagramma di fig. e da cui si nota come, a parità di interesse, il metodo proposto fornisca un coefficiente di sicurezza più elevato rispetto a quello ricavato col metodo dei « Pillars » che, come noto, è valido nel caso di più cavità adiacenti.



3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si può notare come, l'applicazione del metodo proposto dell'« area indice » presupponga un comportamento della roccia adatto a tradursi in una formulazione matematica semplice: lo stato tensionale al contorno del cavo è di tipo idrostatico (e quindi la fascia plasticizzata è coassiale col cavo) ed è valida la teoria Fenner-Kastner (mezzo omogeneo ed isotropo, ecc...).

Ammissa valida questa schematizzazione, il metodo offre una via abbastanza semplice per valutare l'interesse ottimale di due gallerie gemelle.

Purtroppo la realtà è più complessa perchè, ad esempio, la conformazione della zona di roccia plasticizzata circostante i cavi, molto spesso, non è nè regolare nè coassiale ai cavi, ma dipende in definitiva dal parametro $\lambda = p_h/p_v$ e cioè dal rapporto fra pressioni orizzontali e verticali presenti nella roccia prima dell'apertura dei cavi.

Analogamente, lo stato tensionale circostante al cavo, espresso in termini matematici da Fenner-Kastner è ideale, in quantochè, presupponendo una roccia omogenea ed isotropa, non tiene conto dello stato di frat-

turazione, dei piani di stratificazione, delle faglie e delle discontinuità in genere che sono una peculiarità degli ammassi rocciosi.

E' ben vero che, con la strumentazione oggi disponibile, per la misura delle pressioni e deformazioni nella roccia a partire dal perimetro dei cavi, molte difficoltà potrebbero essere superate; tuttavia detti rilievi sarebbero possibili solamente dopo l'apertura dei cavi ad interesse già prefissato.

Per affrontare il problema in termini rigorosi si dovrebbe, pertanto, ricorrere a numerose ipotesi circa il comportamento della roccia nell'intorno dei cavi e a formulazioni matematiche estremamente complesse non appena ci si discostasse dall'ipotesi del campo idrostatico delle pressioni.

Il metodo proposto, quindi, se ha una sua logica ed una sua validità nell'ambito di determinate situazioni « limiti » si presenta, almeno oggi, solamente « orientativo » in quelle reali.

D'altra parte va sottolineato che, data la complessità ed il numero delle variabili che intervengono nei problemi di meccanica delle rocce, sovente ed in particolare nella fase di progettazione si ricorre a schemi semplici nel formulare, sia le azioni esterne che le reazioni della roccia. Generalmente ciò dipende dalla mancanza di informazioni precise nei riguardi di alcuni parametri del problema (rapporto p_h/p_v , ecc...). Deriva da questa constatazione che il metodo proposto, sia pur nei limiti precisati, può essere considerato un ausilio più rigoroso, in termini geomeccanici, nei riguardi degli altri criteri di dimensionamento normalmente usati. In tal senso gli scriventi lo propongono all'attenzione degli studiosi, a titolo di contributo di ricerca, la quale va, naturalmente, affinata, approfondita ed arricchita di ulteriori esperienze.



BIBLIOGRAFIA

- (1)
Szechy Karoly
Traité de Construction des tunnels - Dunod
Paris - 1970.
- (2)
Kastner Hermann
Statik des tunnel und stollenbaues - Springer-
Verlag Berlin - Heidelberg - New York 1971.

- (3)
Obert Leonard, Duvall Wilbur
Rock Mechanics and the design of structures in
rock; John Wiley and Sons, inc. - New York - Lon-
don - Sydney.