



ITA/AITES
International Tunnelling Association
Association Internationale des Travaux en Souterrain



SIG
Società Italiana Gallerie

Congresso Internazionale su «Grandi Opere Sotterranee»
International Congress on «Large Underground Openings»
Congrès International sur «Grands Ouvrages en Souterrain»

Firenze, Italy, 8-11 giugno 1986

P. LUNARDI - R. BINDI

**La teoria dell'“Area Indice”
nel dimensionamento dell'interasse tra cavità adiacenti.
Applicazioni al caso del Tunnel sotto la Manica**

ESTRATTO / REPRINT / TIRE A PART



VOLUME I

ATTI - PROCEEDINGS - COMPTES RENDUS

LA TEORIA DELL' "AREA INDICE" NEL DIMENSIONAMENTO DELL' INTERASSE TRA CAVITÀ ADIACENTI. APPLICAZIONI AL CASO DEL TUNNEL SOTTO LA MANICA

Pietro Lunardi
Università di Firenze

Renzo Bindi
Rocksoil S.r.l. - Milano

1. CONSIDERAZIONI GENERALI

La crescente esigenza di realizzare grandi volumi per lo stoccaggio di materie prime, arterie stradali e ferroviarie urbane od extraurbane adatte per le alte velocità, concepite per minimizzare il costo dei trasporti, quindi per l'ottimizzazione dei percorsi, impone sempre più di frequente l'utilizzo del sottosuolo. Ne consegue allora che sovente i progetti prevedono l'esecuzione di caverne e gallerie a fornici multipli o di intersezioni sotterranee tra arterie confluenti.

Da qui nasce il problema di come valutare correttamente l'influenza esercitata vicendevolmente da cavità adiacenti e lo stato tensionale indotto dalle stesse nell'ammasso roccioso circostante.

In questo articolo si intende riproporre all'attenzione degli addetti ai lavori il metodo di dimensionamento dell' « Area Indice » (Lunardi - Fattore 1977) le cui applicazioni a problemi reali, avvenuta nel corso di questi ultimi dieci anni, ha consentito di avere riscontri oggettivi dei risultati forniti e di apprezzarne la sostanziale correttezza.

Il metodo d'approccio al problema, di tipo analitico, come sarà descritto in seguito, nonostante le ipotesi semplificatrici introdotte, consente di tener conto di tutti i principali fattori che governano il comportamento di un ammasso roccioso allo scavo.

Sulla base di questo procedimento si è sviluppato il programma per elaboratore « ARIND », con il quale è possibile ottenere una risposta attendibile a questo tipo di problemi in maniera automatica ed interattiva.

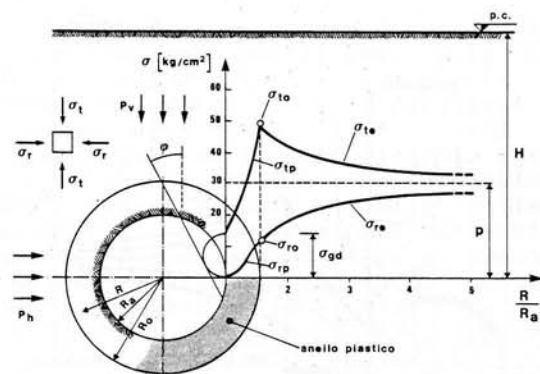
L'articolo riporta, come esempio di applicazione del programma, i calcoli eseguiti per il tunnel della Manica, per il quale la proposta italiana prevede l'esecuzione di due gallerie autostradali adiacenti.

2. COMPORTAMENTO DI DUE CAVITÀ ADIACENTI AL VARIARE DEL LORO INTERASSE

Il metodo proposto presuppone un comportamento di tipo elasto-plastico 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 tensioni esterne ($p_h/p_v = 1$) le zone decomprese si riuniscono in una configurazione nota come « anello plastico » (fig. 1).



$$\sigma_{rp} = \frac{\sigma_{gd}}{\zeta - 1} \left[\left(\frac{R}{R_a} \right)^{\zeta - 1} - 1 \right]$$

$$\sigma_{tp} = \frac{\sigma_{gd}}{\zeta - 1} \left[\left(\frac{R}{R_a} \right)^{\zeta - 1} \cdot \zeta - 1 \right]$$

$$\sigma_{re} = p \left[1 - \left(\frac{R_o}{R} \right)^2 \right] + \sigma_{ro} \left(\frac{R_o}{R} \right)^2$$

$$\sigma_{te} = p \left[1 + \left(\frac{R_o}{R} \right)^2 \right] - \sigma_{ro} \left(\frac{R_o}{R} \right)^2$$

dove: $\frac{R}{R_a} = 1; 2; 3; 4; \dots$

$\zeta = \text{funz.}(\varphi)$

$p = \gamma H$

$\varphi = \text{angolo d'attrito interno dell'ammasso roccioso}$

$\gamma = \text{peso di volume della roccia}$

Fig. 1

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 circostante una cavità è stato formulato teoricamente da Fenner-Kastner e, nel caso particolare di un campo di tensioni di tipo idrostatico ($p_h/p_v = 1$), è richiamato in fig. 1 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 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

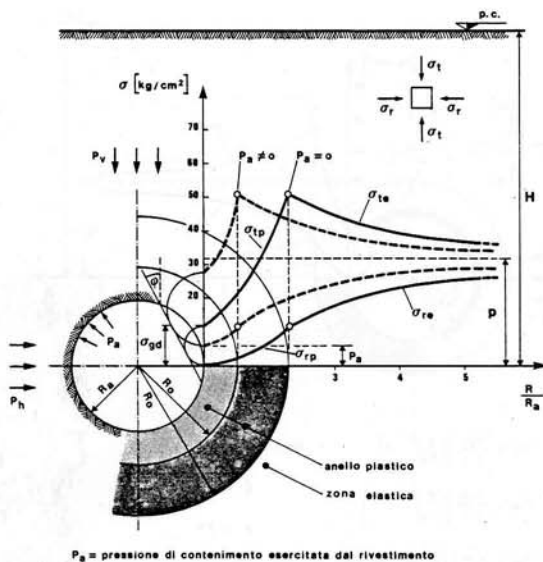
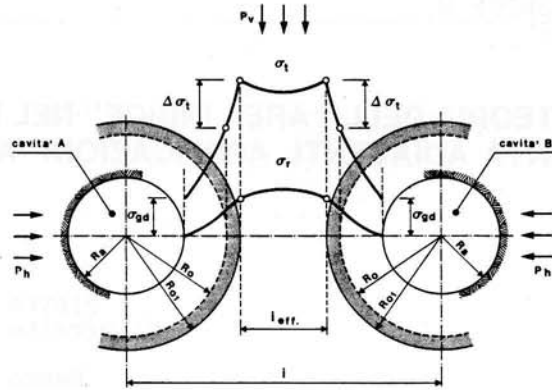


Fig. 2



dove:

R_0 = raggio dell'anello a comportamento plastico per una sola cavità

R_{01} = raggio dell'anello a comportamento plastico nel caso di due cavità

l_{eff} = zona a comportamento elastico

$\Delta \sigma_t$ = variazione di σ_t in campo plastico per interferenza reciproca delle due cavità

Fig. 3

senso radiale la roccia di parete, aumentandone le caratteristiche di resistenza conformemente alla curva intrinseca (fig. 2). In definitiva essa 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-deformazioni 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 a comportamento plastico (fig. 3).

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 ri-

duzione 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. 4 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 sepa-

razione 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.

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.

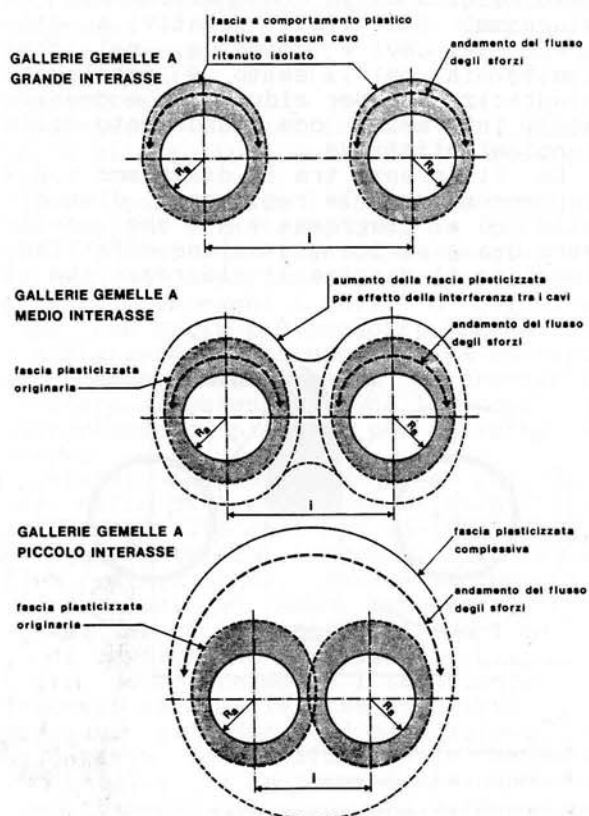


Fig. 4

3. 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 adiacenti. Esso pur avendo 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 stabilizzazione che equivalgono, in definitiva, all'applicazione di una pressione « pa » sul contorno, lo stato

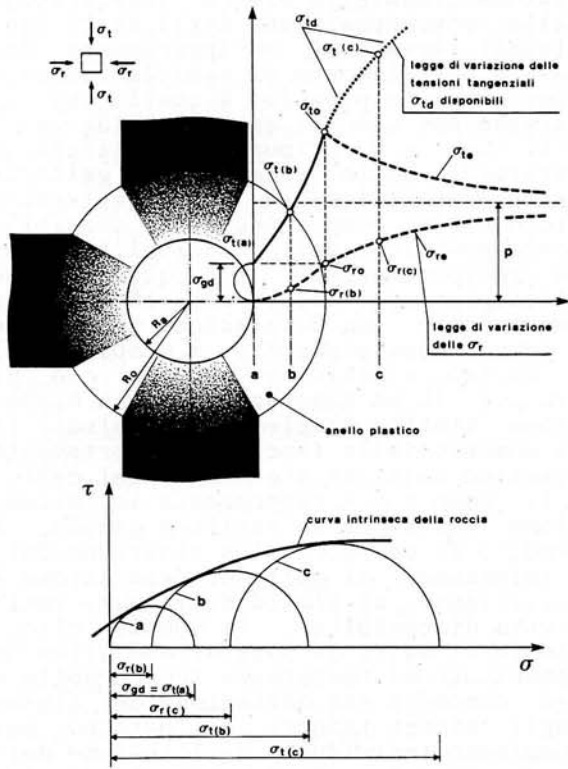


Fig. 5a-5b

di tensione indotto nella roccia è dato dalle note relazioni riportate in fig. 1 (vedi anche fig. 5 a).

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 assenza di rivestimento, in corrispondenza del paramento ($p_a = 0$), aumenta all'allontanarsi dal contorno 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.

E' 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. 5 b). 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 ;

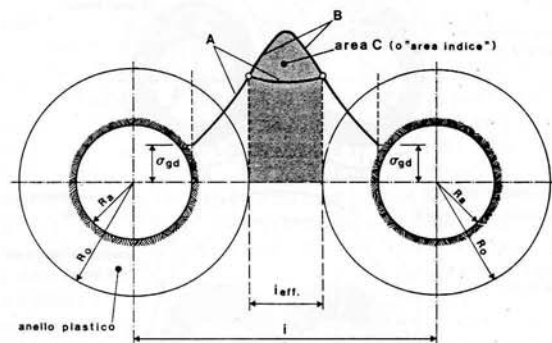
b) le tensioni tangenziali riferite al piano diametrale orizzontale, misurano, in campo plastico, la massima resistenza effettiva, mentre, in campo elastico, forniscono il limite della sollecitazione disponibile (σ_{td}) nella roccia, ad azioni verticali esterne.

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. 6.

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. 6 è indicato con « B » il diagramma delle tensioni disponibili (σ_{td}) in tutto il setto di separazione. Esso 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



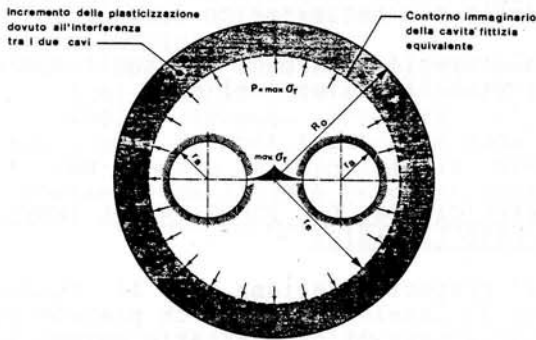
dove:

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. 6



- r_0 = raggio di ciascuna cavita' adiacente
- r_e = raggio della cavita' equivalente fittizia
- P = pressione radiale esistente al contorno della cavita' equivalente fittizia
- R_0 = raggio plastico risultante dall'interazione delle due cavita' adiacenti

Fig. 7

setto di separazione ha in rapporto alla rottura per quella determinata situazione (area indice « C » della figura 6).

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

Nel caso in cui l'interasse tra le due cavità è tanto ridotto da portare alla formazione di un'unica fascia di terreno a comportamento plastico comprendente entrambi i cavi, è evidente come non abbia più senso ricercare un coefficiente di sicurezza alla rottura del setto, mentre resta interessante valutare l'estensione della zona a comportamento plastico che si verrà a creare.

Infatti la plasticizzazione dell'intero setto di separazione esistente tra due cavità adiacenti non costituisce di per sé ostacolo insormontabile alla loro realizzazione, purchè il campo di deformazioni ad esso associato non assuma valori incompatibili con i metodi di costruzione utilizzabili.

Per poter prevedere l'importanza dei fenomeni deformativi che sarebbero conseguenti ai lavori d'escavazione, è necessario poter valutare in maniera attendibile la potenza della zona a comportamento plastico che verrebbe a formarsi all'intorno dei cavi.

Questo è possibile se si assimilano le due cavità e la roccia che le separa

come un'unica cavità equivalente, entro cui agisce una pressione di contenimento pari alla massima tensione radiale σ_r che si può instaurare nel setto di roccia plasticizzata (fig. 7). Applicando ancora le formulazioni riportate in fig. 1 si calcola il valore del raggio plastico risultante.

4. IL PROGRAMMA « ARIND »

Sulla base di quanto esposto in precedenza, è stato scritto il programma per elaboratore « ARIND », che permette di risolvere in maniera automatica ed interattiva il problema della valutazione dell'influenza esercitata vicendevolmente da cavità sotterranee adiacenti, e dello stato tensionale indotto dalle stesse nell'ammasso roccioso circostante.

In fig. 8 è riportato il diagramma di flusso del programma.

In particolare, quando l'interasse tra le due cavità è abbastanza grande da mantenere parte del setto di roccia in regime elastico il programma « ARIND » valuta i raggi di plasticizzazione finali all'intorno di ciascuna cavità ed il coefficiente di sicurezza alla rottura del setto attraverso i seguenti passi :

- calcolo dei valori delle tensioni radiali e tangenziali all'intorno di ciascun cavo, supposto isolato, secondo la teoria di Kastner - Fenner;

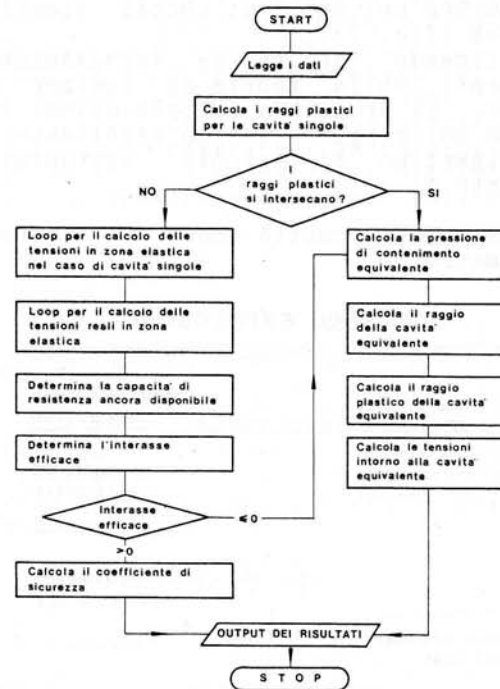


Fig. 8

- calcolo, in campo elastico, del campo tensionale conseguente alla presenza contemporanea delle due cavità sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti;
- calcolo del diagramma relativo alla sollecitazione tangenziale limite σ_{td} disponibile nel setto roccioso. Essa rappresenta la potenzialità che ha il materiale di reagire ulteriormente (vedi fig. 5);
- determinazione delle ascisse dei punti d'incontro tra le due curve «A» e «B» che individuano il valore del raggio di plasticizzazione che si forma intorno a ciascun cavo a causa della presenza dell'altro;
- calcolo delle aree sottese, in campo elastico, dalle curve « A » e « B »;
- calcolo del coefficiente di sicurezza alla rottura del setto di separazione tra le due cavità come rapporto, «A/B», delle aree calcolate.

Se l'interesse tra le due cavità, in rapporto alle loro dimensioni, alla copertura, ed alle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, comporta l'insorgere di fenomeni d'interferenza tra i rispettivi raggi plastici, il programma « ARIND » valuta l'estensione della zona a comportamento plastico schematizzando le due cavità e la roccia che le separa come un'unica cavità equivalente, entro cui agisce una pressione di contenimento pari alla massima tensione radiale σ_r che si può instaurare nel setto di roccia plasticizzata (fig. 7).

Applicando ancora le formulazioni derivanti dalla teoria di Kastner - Fenner, il programma calcola quindi il valore del raggio plastico risultante.

L'algorithmo di calcolo approntato consente di :

- considerare cavità anche di diverso diametro ;

- considerare comportamenti dell'ammasso roccioso di tipo elastoplastico ideale o elastoplastico-fragile ;
- valutare l'effetto di eventuali opere di stabilizzazione dei cavi.

5. APPLICAZIONE DEL PROGRAMMA AL TUNNEL SOTTO LA MANICA

La proposta italiana per il tunnel sotto il Canale della Manica prevede la realizzazione di due gallerie autostradali di 12,1 m di diametro esterno, eventualmente affiancate da una singola galleria ferroviaria di 6,8 m.

L'attraversamento in sotterraneo avverrebbe prevalentemente entro la formazione calcarea nota come Lower Chalk, ad una profondità massima, al di sotto del livello del mare, di circa 100 ± 110 m.

La copertura rocciosa al di sopra delle gallerie, nella sezione considerata, è dell'ordine di 75 m, e la pressione naturale, considerando la formazione rocciosa pressochè impermeabile, è pari a circa $2 \pm 2,1$ Mp (fig. 9).

Considerando una coesione d'ammasso pari a circa 2,5 Mp ed angolo d'attrito nullo, si è calcolato il coefficiente di sicurezza sulla rottura del setto di separazione tra le due gallerie autostradali in corrispondenza a diversi valori d'interesse.

Il calcolo ha considerato il fatto che l'avanzamento non verrebbe realizzato simultaneamente per le due canne, simulando l'effetto del rivestimento già esistente nel primo cavo con la presenza di una pressione di contenimento pari a circa 0,67 Mp.

La fig. 10 mostra il diagramma « interesse gallerie - coefficiente di sicurezza » così calcolato.

Dal suo andamento si può arguire che per piccoli valori d'interesse è sufficiente un piccolo incremento dello stesso per ottenere un efficace incre-

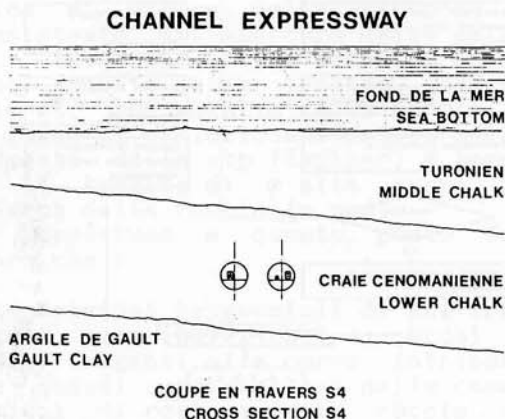


Fig. 9

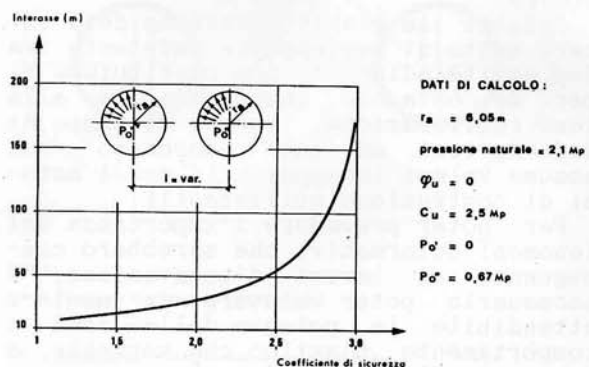


Fig. 10

mento del coefficiente di sicurezza, mentre nel caso d'interassi maggiori l'incremento di sicurezza ottenibile è meno significativo.

Sulla base di queste semplici considerazioni il progettista può operare le sue scelte tenendo presenti, ad un tempo, quei fattori tecnici ed economici che possono influenzarle in misura importante con il loro peso determinante.

6. 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 al cavo) ed è valida la teoria di 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 cavità adiacenti.

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 stessi.

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

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

Anche se oggi l'evoluzione tecnologica ha posto nelle mani dei progettisti strumenti di calcolo potenti e sofisticati, non si deve dimenticare, tuttavia, che la precisione dei risultati che si possono ottenere con il loro ausilio è fortemente condizionata sia dalle tecniche numeriche impiegate, sia dal grado di accuratezza dei dati di input: è quindi necessario che schemi e metodi di calcolo siano equilibrati rispetto alla quantità ed alla qualità delle conoscenze acquisite.

Ciò è particolarmente vero nel campo geotecnico, dove il terreno, come materiale naturale, è caratterizzato da leggi di comportamento molto complesse, la cui determinazione, comunque assai difficile, necessita della realizzazione di campagne geognostiche che, per il rilevante impegno, anche economico, richiesto, sono effettivamente intraprese solo per lo studio e la progettazione delle opere più complesse e delicate.

Da questo profilo, la disponibilità di programmi interattivi, magari non troppo sofisticati, ma in compenso veloci, economici e di semplice impiego, permette un utilizzo diverso dell'elaboratore, forse meno evidente, ma da non trascurare per l'importanza dei risultati a cui può condurre nel campo geotecnico.

La possibilità di colloquiare con la macchina, di variare i dati e di ripetere il calcolo ottenendo risultati in tempi brevi, consente, infatti, da un lato di valutare l'influenza che la variabilità di ciascun parametro ha sul risultato finale, dall'altro di giudicare se tali incertezze siano, ai fini pratici, effettivamente importanti e, di conseguenza, decidere se intraprendere un supplemento di campagna geognostica e, in caso affermativo, stabilire quali sono i parametri la cui conoscenza deve essere affinata.

La pratica acquisita nel corso di questi anni ha dimostrato che il metodo di risoluzione adottato, pur con le ipotesi semplificatrici introdotte, se usato con buon senso entro il suo dominio di validità conduce a valutazioni sufficientemente corrette per la maggior parte dei problemi pratici.

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 di altri criteri di dimensionamento più tradizionali.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dott. Ing. Alessandro Focaracci, della Rocksoil S.r.l. di Milano, per la collaborazione nelle verifiche per il "Tunnel sotto la Manica".

Bibliografia :

Szechy Karoly :
« *Traité de Construction des tunnels* »
Dunod - Paris 1970.

Kastner Hermann :
« Statik des tunnel und stollenbaues »
Springer-Verlag Berlin - Heidelberg -
New York 1971.

Obert Leonard, Duvall Wilbur
« Rock Mechanics and the design of
structures in rock » John Wiley and
Sons, inc. - New York - London -
Sydney.

Pietro Lunardi, Alberto Fattore :
« Considerazioni sul dimensionamento
dell'interasse ottimale di due gallerie
gemelle ».
Gallerie e grandi opere sotterranee -
marzo 1977