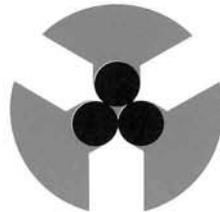


SOCIETÀ ITALIANA GALLERIE



**IL CONSOLIDAMENTO DEL SUOLO E DELLE ROCCE
NELLE REALIZZAZIONI IN SOTTERRANEO**

***SOIL AND ROCK
IMPROVEMENT IN UNDERGROUND WORKS***

Milano, 18-20 Marzo 1991

C. Focacci, P. Lunardi, E. M. Pizzarotti, F. Zambon

**IL PRECONSOLIDAMENTO DEL TERRENO A MEZZO DI INIEZIONI JET-GROUTING
PER LA GALLERIA A TRE BINARI "TARVISIO" DELLA LINEA F.S. UDINE - TARVISIO**

*GROUND PRE-CONSOLIDATION VIA JET-GROUTING INJECTIONS FOR THE THREE
TRACK "TARVISIO" TUNNEL IN THE F.S. UDINE - TARVISIO RAILWAY*

ESTRATTO/REPRINT

ATTI
PROCEEDINGS

VOL. II

IL PRECONSOLIDAMENTO DEL TERRENO A MEZZO DI INIEZIONI JET-GROUTING PER LA GALLERIA A TRE BINARI "TARVISIO" DELLA LINEA F.S. UDINE - TARVISIO

GROUND PRE-CONSOLIDATION VIA JET-GROUTING INJECTIONS FOR THE THREE TRACK "TARVISIO" TUNNEL IN THE F.S. UDINE - TARVISIO RAILWAY

Carlo FOCACCI, Ferrovie dello Stato, Italia
Pietro LUNARDI, Università di Parma, Italia
Enrico Maria PIZZAROTTI, Rocksoil S.p.A., Italia
Franco ZAMBON, Consorzio Carnia, Italia

Si descrivono gli aspetti progettuali ed applicativi e le risultanze delle misure strumentali nell'applicazione del preconsolidamento a mezzo di iniezioni jet-grouting per la realizzazione di una galleria di grande luce in terreni sciolti.

It is here reported an example in which the jet-grouting technology was used for the construction of a tunnel in loose soil and with small overburden. The work and the execution process are here described with some notes about the obtained results and the calculation method. The results of the monitoring programme carried out during the works and a comparison between these results and the prevision of soil behavior around the excavation are also shown.

Il progetto della galleria Tarvisio da realizzarsi a foro cieco nell'ambito del raddoppio della linea ferroviaria Udine-Tarvisio, prevedeva sui primi 350 m del

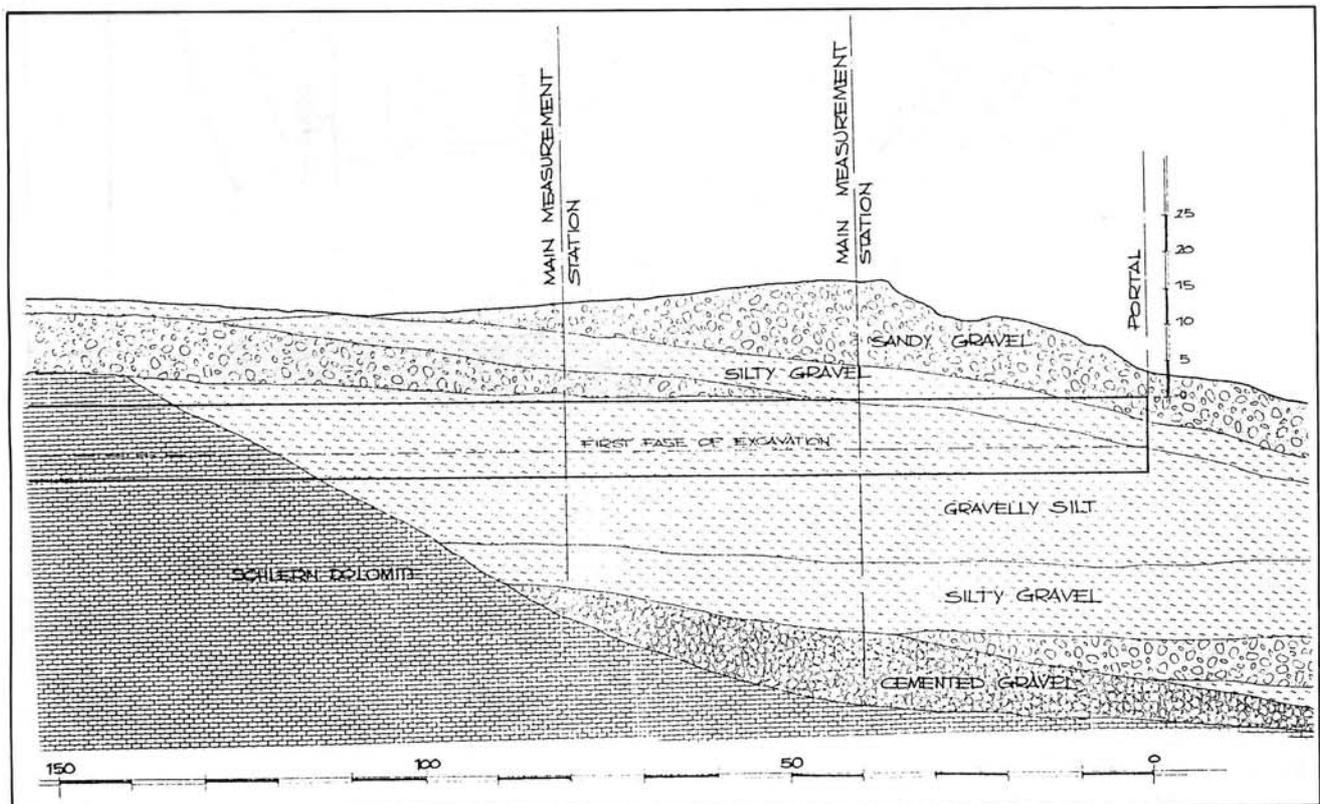


Fig. 1: Profilo geologico.
Geological profile.

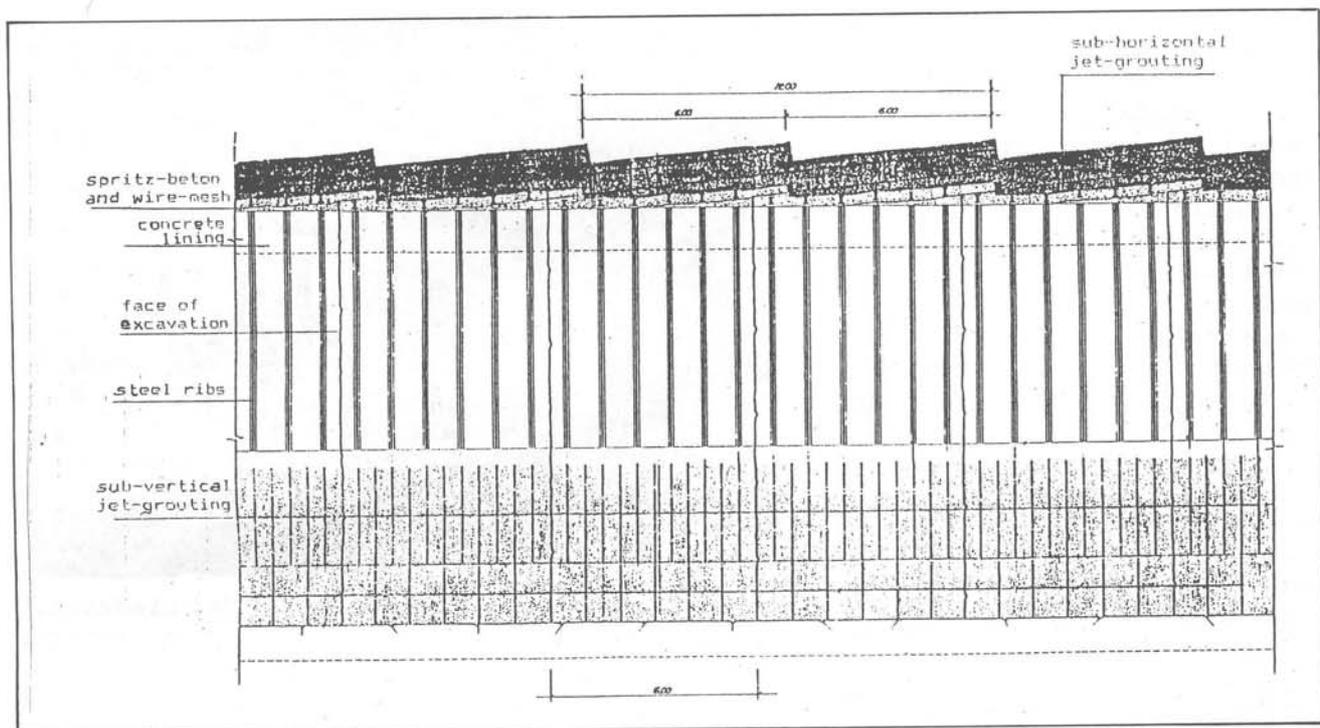


Fig. 3: Sezione longitudinale.
Longitudinal section.

tracciato dall'imbocco lato Austria, lo scavo di una camera di interconnessione a 3 binari del diametro interno di 14.23 metri.

I sondaggi eseguiti nell'area avevano evidenziato la presenza di terreni di natura piuttosto eterogenea, disposti secondo lenti o strati caratterizzati da una differente granulometria.

In particolare, le coltri più superficiali risultavano costituite da ghiaie limose e ghiaie sabbiose, con potenze variabili da 5 a 20 m circa (Fig. 1).

Al di sotto di questi terreni più grossolani furono rinvenuti limi ghiaiosi compatti la cui struttura a "varve" tradiva l'appartenenza ad un deposito sedimentario lacustre.

L'opera in oggetto si è posta quindi all'attenzione del progettista e dell'esecutore per le sue notevoli dimensioni e per le sue condizioni al contorno (basse coperture e terreni incoerenti) decisamente sfavorevoli.

La soluzione progettuale adottata per lo scavo della galleria (Figg. 2 e 3) è consistita in un consolidamento in avanzamento a mezzo di iniezioni jet-grouting sul contorno dello scavo, con passo longitudinale tra due successivi trattamenti di 6 m, e lunghezza delle colonne di 12 m, in modo da ottenere una doppia corona continua di colonne di terreno consolidato. Sempre in avanzamento rispetto al fronte venivano trattate anche le zone al di sotto del piede di appoggio



Foto 1: Scavo di prima fase e paratia d'imbocco.
First phase excavation and access wall.

delle centine del prerivestimento dello scavo di prima fase. Lo scavo della mezza sezione (Foto 1) è stato quindi eseguito con sfondi di profondità ridotta e realizzazione immediata di un preanello di 35 cm di spessore costituito da centine, spritz-beton e rete elettrosaldata.

L'esecuzione del getto della calotta in c.a. è avvenuto prima dello scavo di ribasso. Quest'ultimo è stato eseguito in più fasi con getto del piedritto per campioni in sottomurazione (Foto 2 e Foto 3).

Prima del ribasso dallo scavo di prima fase è stato inoltre effettuato un trattamento con iniezioni jet-grouting del terreno lateralmente ai piedritti della galleria la cui geometria è stata studiata in modo da consentire una adeguata ripartizione dei carichi provenienti dalla calotta e da evitare i rifluimenti del terreno all'atto dell'apertura dello scavo per la realizzazione dei piedritti stessi.

La tecnologia del jet-grouting è stata inoltre utilizzata nella realizzazione della paratia d'imbocco (Foto 1) di notevole spessore e in grado di contenere le spinte del terreno senza l'ausilio di interventi di tirantatura.

Il dimensionamento dell'opera, data la singolarità delle dimensioni del cavo, è stato effettuato tramite un'analisi del comportamento della struttura e della sua interazione col terreno in campo elasto-plastico utilizzando un codice di calcolo ad elementi finiti.

Il modello utilizzato nell'analisi è riportato in Fig. 4.

L'analisi è stata condotta in stato di deformazione piana, in 8 passi di calcolo schematizzanti le varie fasi realizzative dell'opera (Fig. 5):

- 1) simulazione dello stato di sforzo geostatico, anteriore ad ogni intervento di consolidamento e di scavo;
- 2) consolidamento della corona intorno alla calotta e simulazione del progressivo avanzamento del fronte;
- 3) scavo della parte superiore della galleria e introduzione del preanello di rivestimento in betoncino proiettato e centine;
- 4) consolidamento dei piedritti e getto del rivestimento in c.a. di calotta;



Foto 2: Scavo di terza fase e getto dei piedritti.
Third phase excavation and post casting.



Foto 3: Portale d'ingresso ultimato.
Completed access portal.

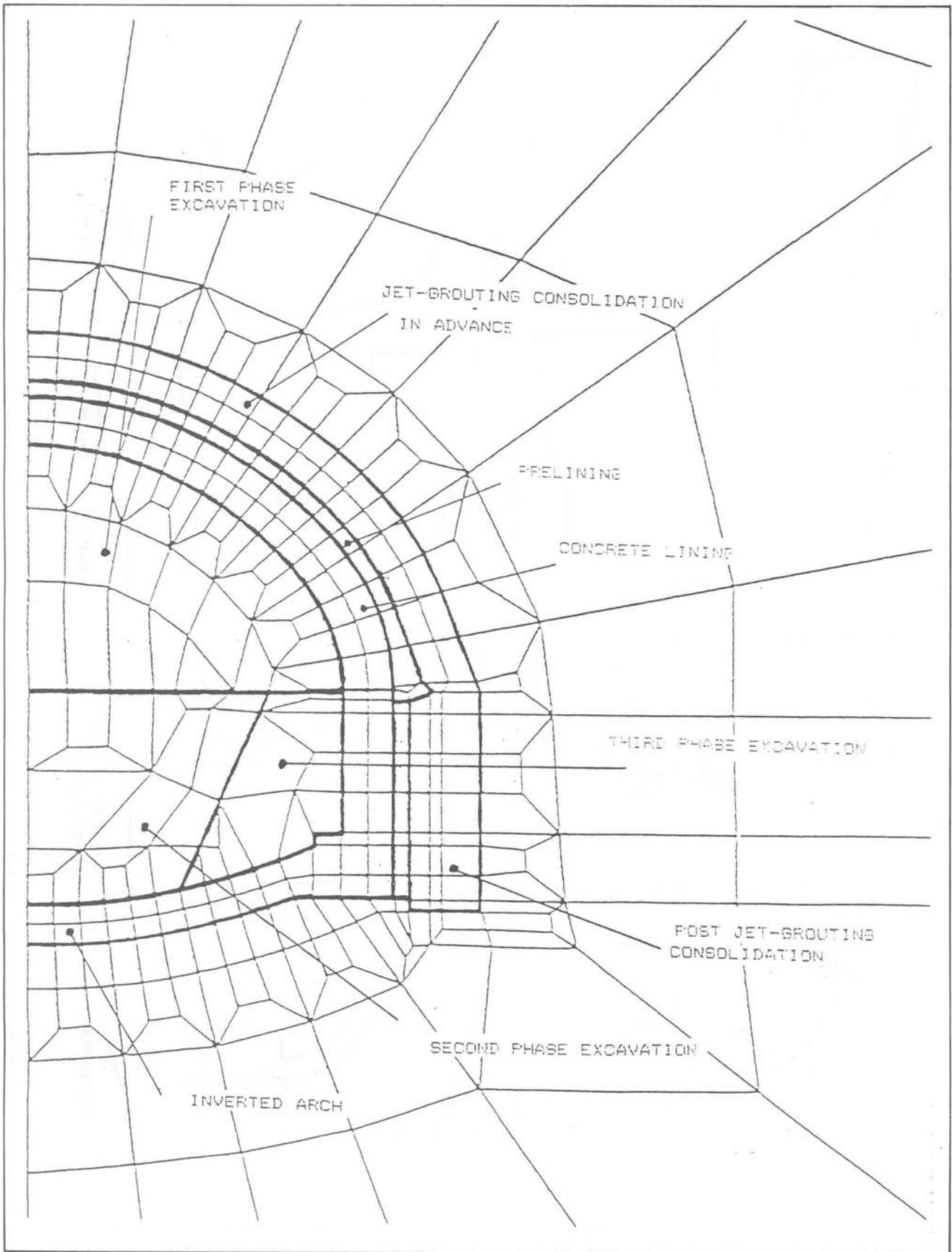


Fig. 4: Discretizzazione ad elementi finiti.
Finite element mesh.

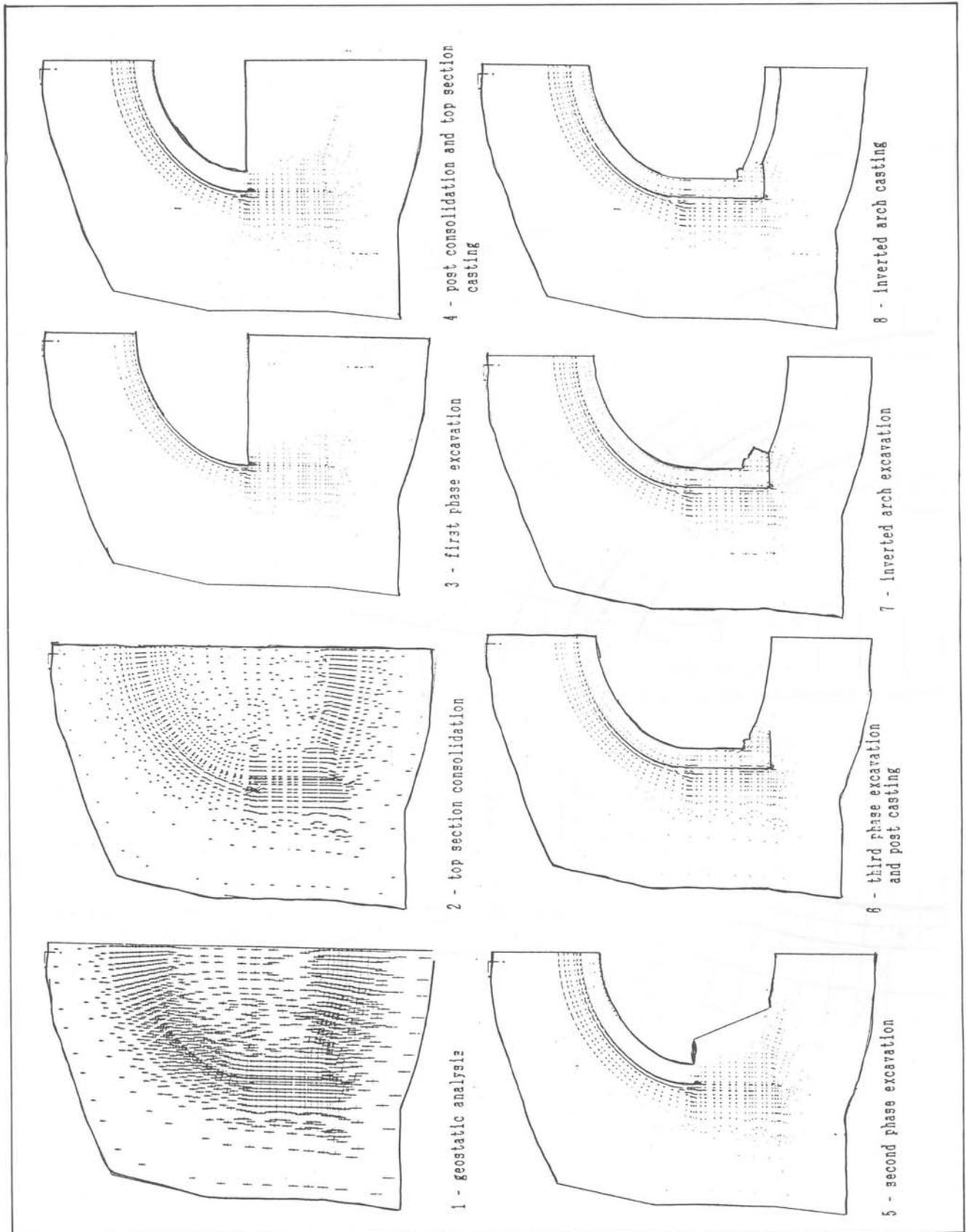


Fig. 5: Diagramma delle tensioni principali per ogni fase di calcolo.
 N.B. Scale non omogenee.
 Diagram of principal stresses in each step of calculation.
 Remark: not homogeneous graphic scale

- 5) scavo dello strozzo centrale e simulazione del progressivo avanzamento dello scavo delle parti laterali della galleria;
- 6) scavo dei piedritti e getto degli stessi;
- 7) scavo dell'arco rovescio;
- 8) getto dell'arco rovescio e simulazione di un decadimento dei parametri geotecnici del terreno (situazione rappresentativa del lungo termine).

In particolare l'esame dei risultati della simulazione numerica ha consentito di evidenziare il contributo statico del terreno consolidato e di valutare le zone dove era più probabile il verificarsi di rotture nel terreno sul contorno della galleria.

Sotto la base di appoggio del preanello di rivestimento (fase 3) si raggiungevano, ad esempio, valori di sforzo piuttosto elevati; il valore massimo di tali tensioni risultava di circa 70 t/m^2 . Nella zona di terreno non consolidato, a causa della riduzione delle pressioni di contenimento prodotte dall'esportazione di materiale, si manifestavano estese plasticizzazioni (equivalenti al raggiungimento dello stato plastico limite superiore). Gli interventi di consolidamento potevano pertanto essere calibrati (intensificandoli sui piedritti e introducendo il consolidamento in avanzamento sotto il piede d'appoggio delle centine) in modo da minimizzare le rotture nel terreno.

Precedentemente all'inizio delle operazioni di scavo nei primi 100 m di sviluppo del tracciato, attorno alle progressive 45 m e 80 m, sono state ubicate due stazioni principali di misura per il controllo delle deformazioni del terreno e dei carichi gravanti sulle strutture di contenimento (Fig. 6).

Ciascuna di esse era composta da:

- n° 3 estensimetri incrementali verticali installati dalla superficie;
- n° 2 estensimetri incrementali verticali accoppiati con inclinometro, installati dalla superficie;
- n° 1 stazione di convergenza a 3 chiodi;
- n° 5 (sezione a progr. 80 m) e n° 3 (sezione a progr. 45 m) celle di pressione poste in opera a tergo delle centine del preanello di rivestimento.

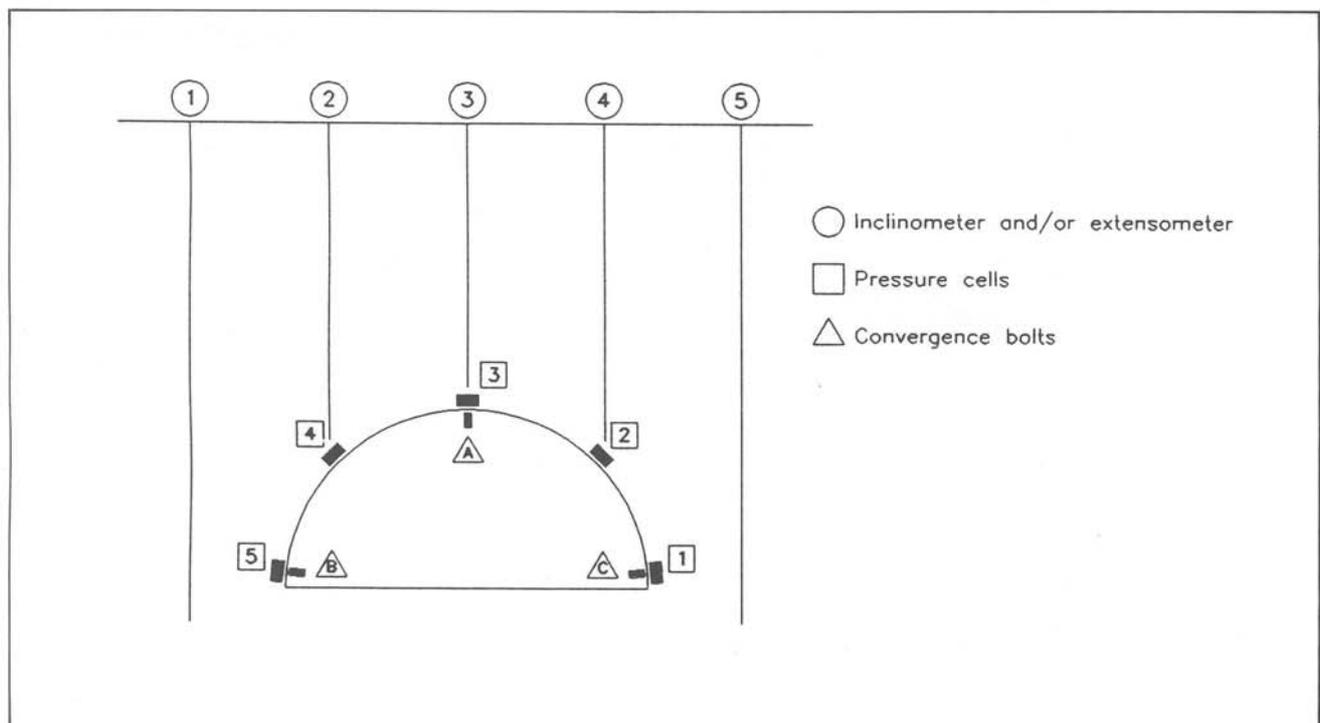
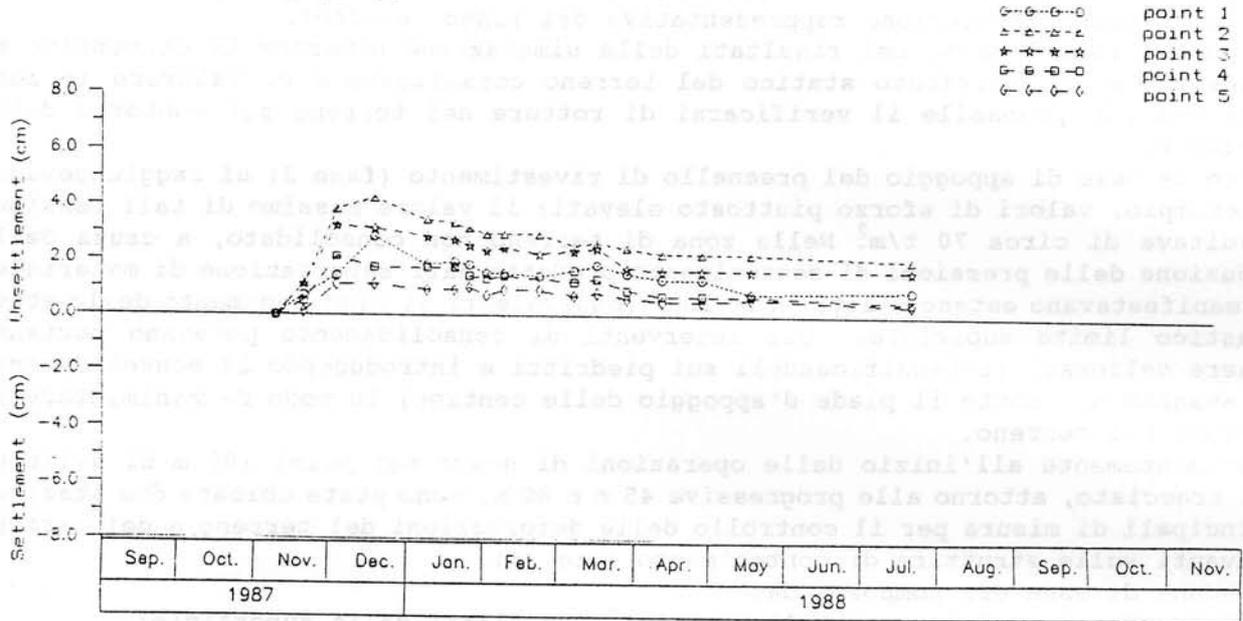


Fig. 6: Schema stazione di misura.
Measure station scheme.

SURFACE TOPOGRAPHIC MEASURE
SECTION 1



SURFACE TOPOGRAPHIC MEASURE
SECTION 2

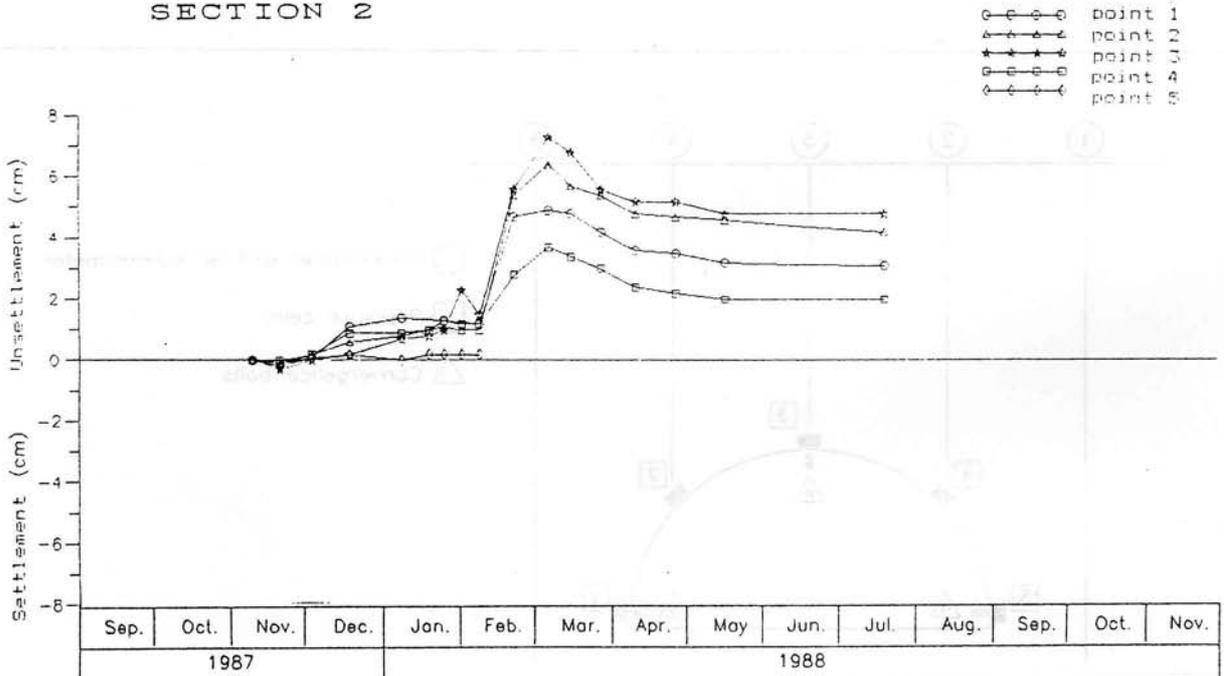
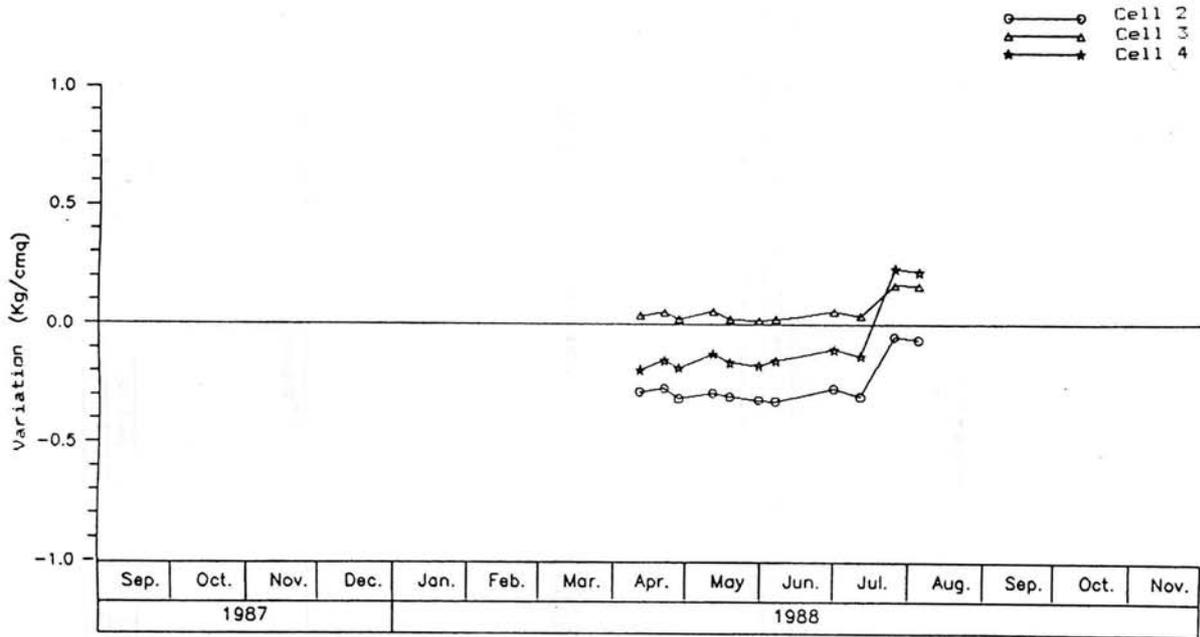


Fig. 7: Battute topografiche di superficie.
Surface topographic measures.

PRESSURE CELLS - SECTION 1



PRESSURE CELLS - SECTION 2

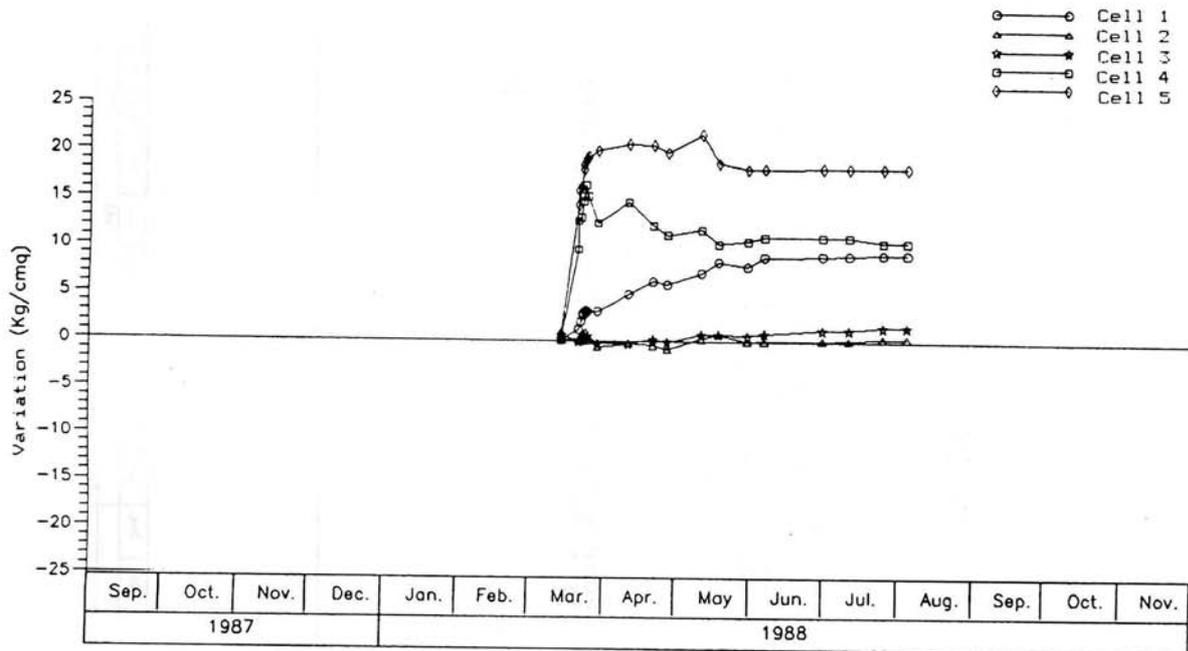


Fig. 8: Celle di pressione.
 Pressure cells.

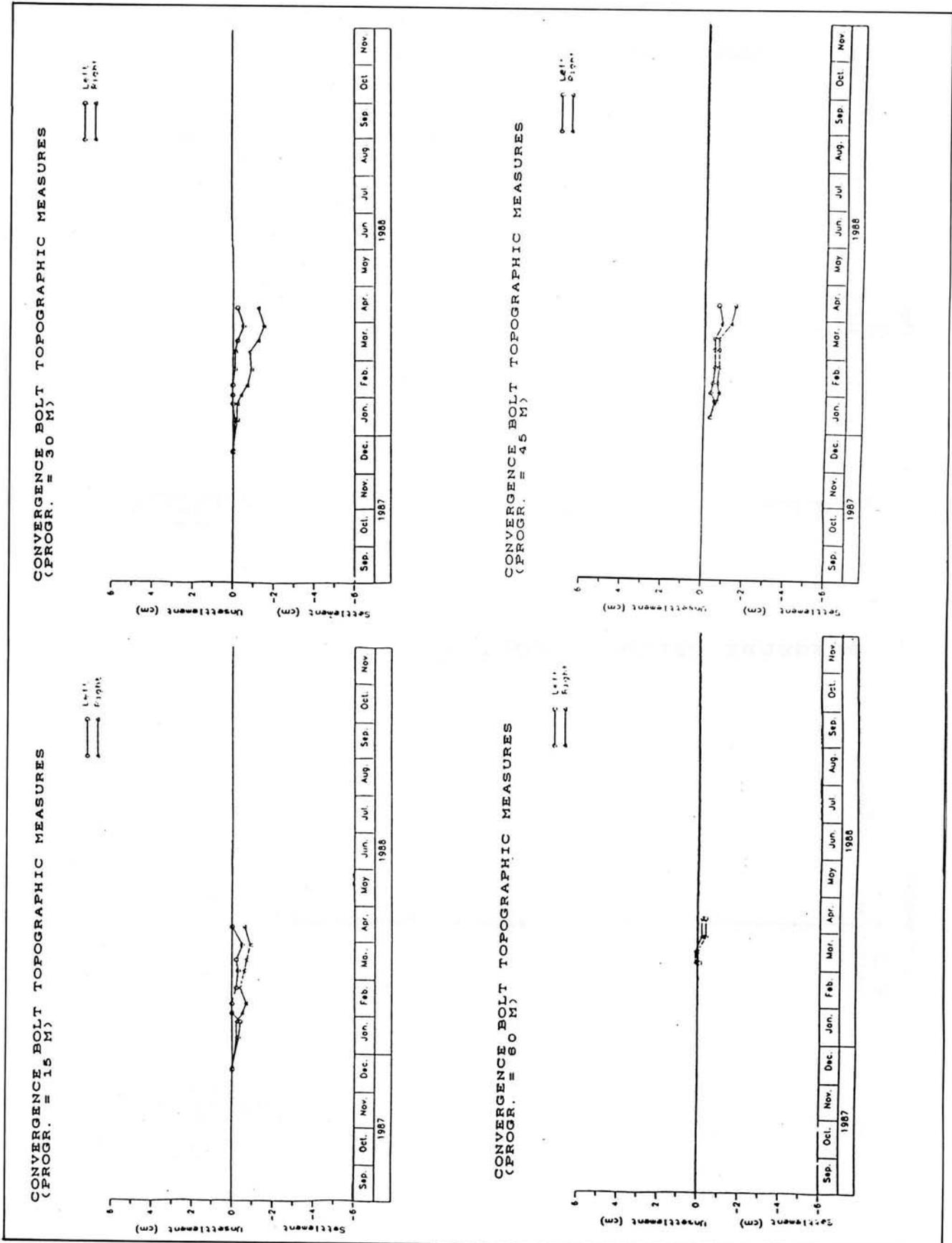


Fig. 9: Battute topografiche chiodi di convergenza.
Convergence bolt topographic measure.

Ogni 15 m di scavo sono state inoltre installate stazioni di convergenza a tre chiodi. La campagna di misure è stata poi completata da battute topografiche in superficie delle teste degli estensimetri e in galleria dei chiodi di convergenza. Le risultanze delle misure effettuate durante i lavori, completati senza alcun inconveniente, hanno consentito un'interpretazione dell'andamento dello stato tenso-deformativo del cavo col susseguirsi delle fasi lavorative ed una verifica delle ipotesi di progetto.

L'esecuzione del trattamento in avanzamento ha indotto uno spostamento in direzione radiale del terreno al contorno che ha interessato il piano campagna con sollevamenti di ordine centimetrico (Fig. 7). Il passaggio del fronte ha poi modificato il naturale flusso delle tensioni innescando il classico effetto arco come dimostra l'incremento delle tensioni tangenziali ai piedritti (15+20 kg/cm) e l'annullamento delle stesse in chiave (Fig. 8).

A seguito dello scavo della mezza sezione, la galleria ha subito un cedimento verticale dell'ordine del centimetro (Fig. 7-9) in assenza di apprezzabili deformazioni del cavo ad indicare un assestamento rigido della struttura jet-grouting-preanello tendente nel breve termine ad un assetto statico di equilibrio.

Confrontando le risultanze strumentali con quelle delle analisi svolte in fase progettuale è interessante evidenziare che l'analisi ad elementi finiti indica un abbassamento di ordine centimetrico della calotta e del piano di posa dei piedritti, all'atto dello scavo della mezza sezione, con pressioni sul terreno alla base del prerivestimento dell'ordine dei 10 kg/cm, mentre le risultanze strumentali confermano solo qualitativamente tale comportamento. Si è osservata infatti una minore deformazione della struttura di rivestimento di prima fase con pressioni sul terreno più elevate di quelle calcolate.

L'analisi svolta si è dimostrata comunque sufficientemente affidabile nel fornire una attendibile valutazione del comportamento tenso-deformativo del complesso terreno-struttura.

Lavoro:	Linea F.S. Udine-Confine Austriaco Galleria Tarvisio
Committente:	Ferrovie dello Stato
Impresa costruttrice:	Consorzio CARNIA
Impresa specializzata:	Rodio S.p.A.
Progettazione esecutiva:	Rocksoil S.p.A.