

Fig.2 • Esempio di scheda raccolta dati geologici e geomeccanici

geostrutturali e quindi come affidabile supporto progettuale.

Inoltre sono ormai sperimentate e documentate le possibilità di razionalizzazione della produzione tramite l'esecuzione del preforo, in termini di riduzione di quantità di esplosivo, di ventilazione naturale, di drenaggio preliminare delle falde presenti, di possibilità di esecuzione di preconsolidamenti.

Tutto ciò determina una effettiva possibilità di previsione di tempi e di costi ed una sensibile accelerazione dei lavori.

La scelta di realizzare un foro pilota in asse precedentemente allo scavo di una galleria con funzioni di prospezione geologica e di razionalizzazione della produzione è tuttavia piuttosto recente.

La prima applicazione di tale metodo prevista direttamente in sede contrattuale è proprio quello della galleria Prato Tires-Ponte Gardena sulla linea Verona-Brennero (1984).

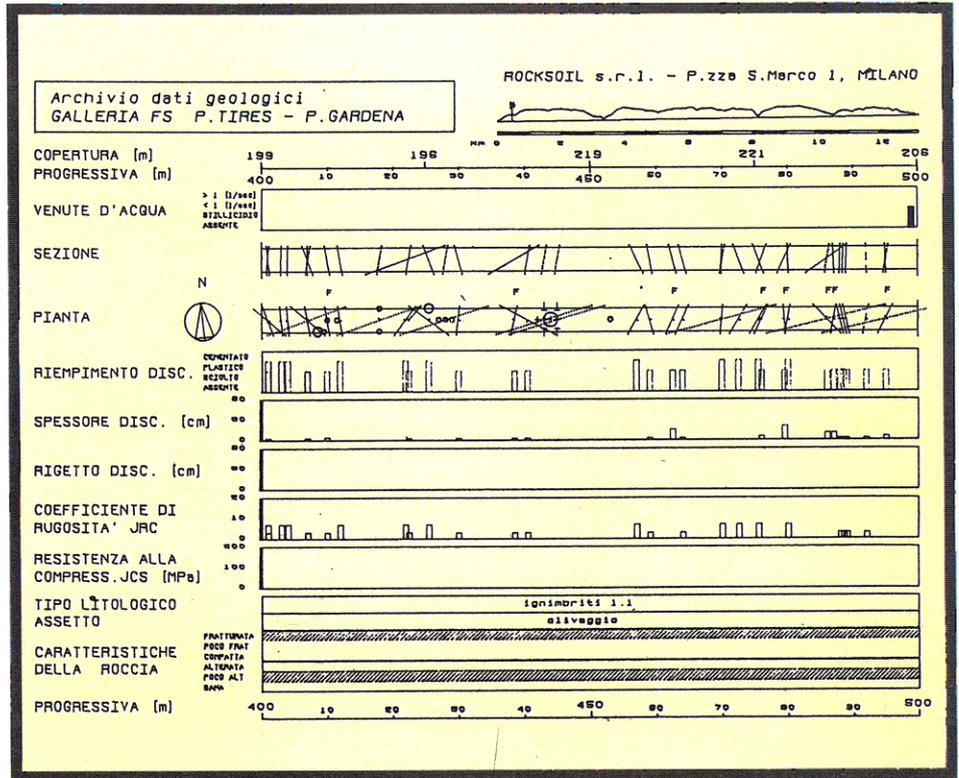
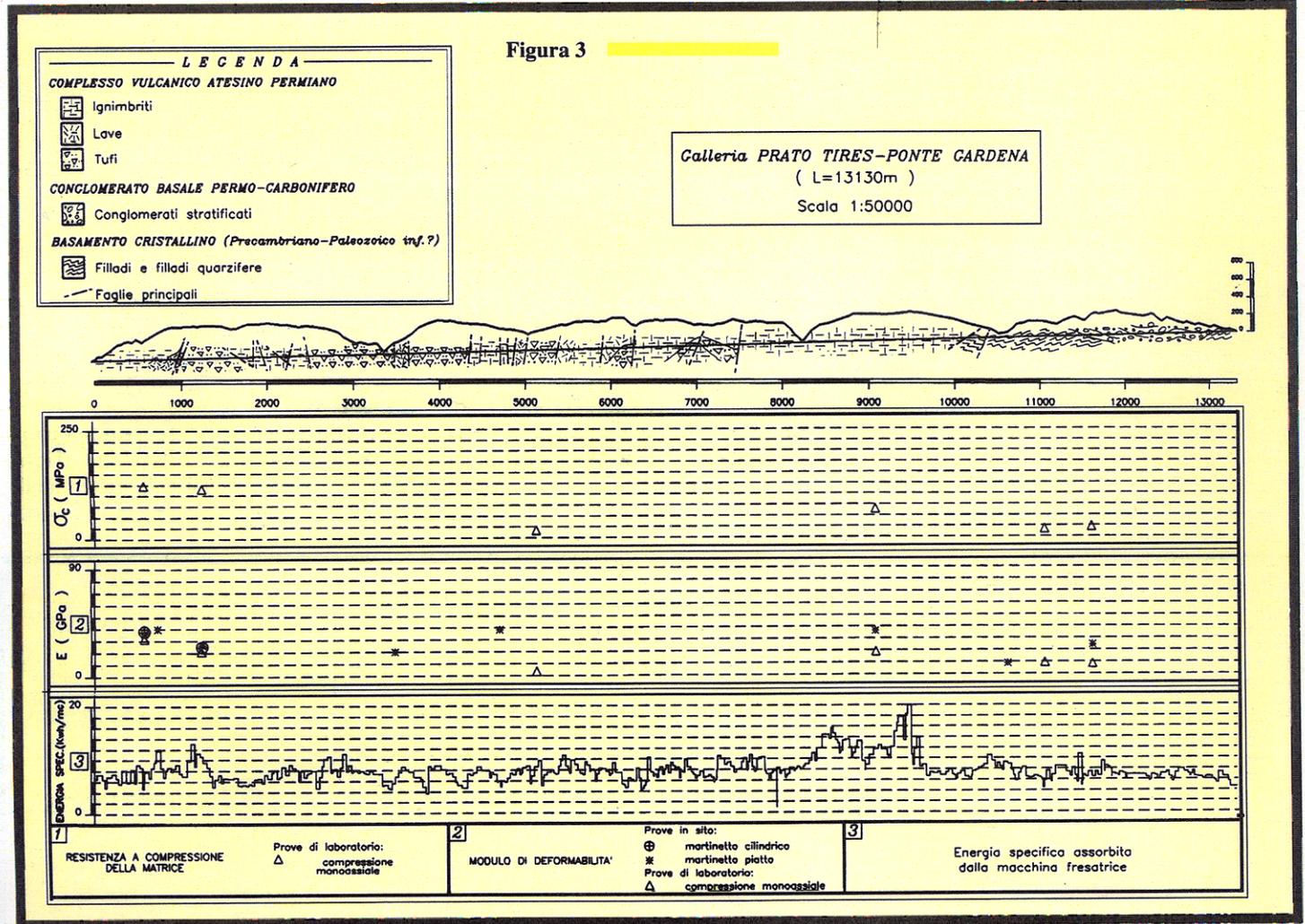
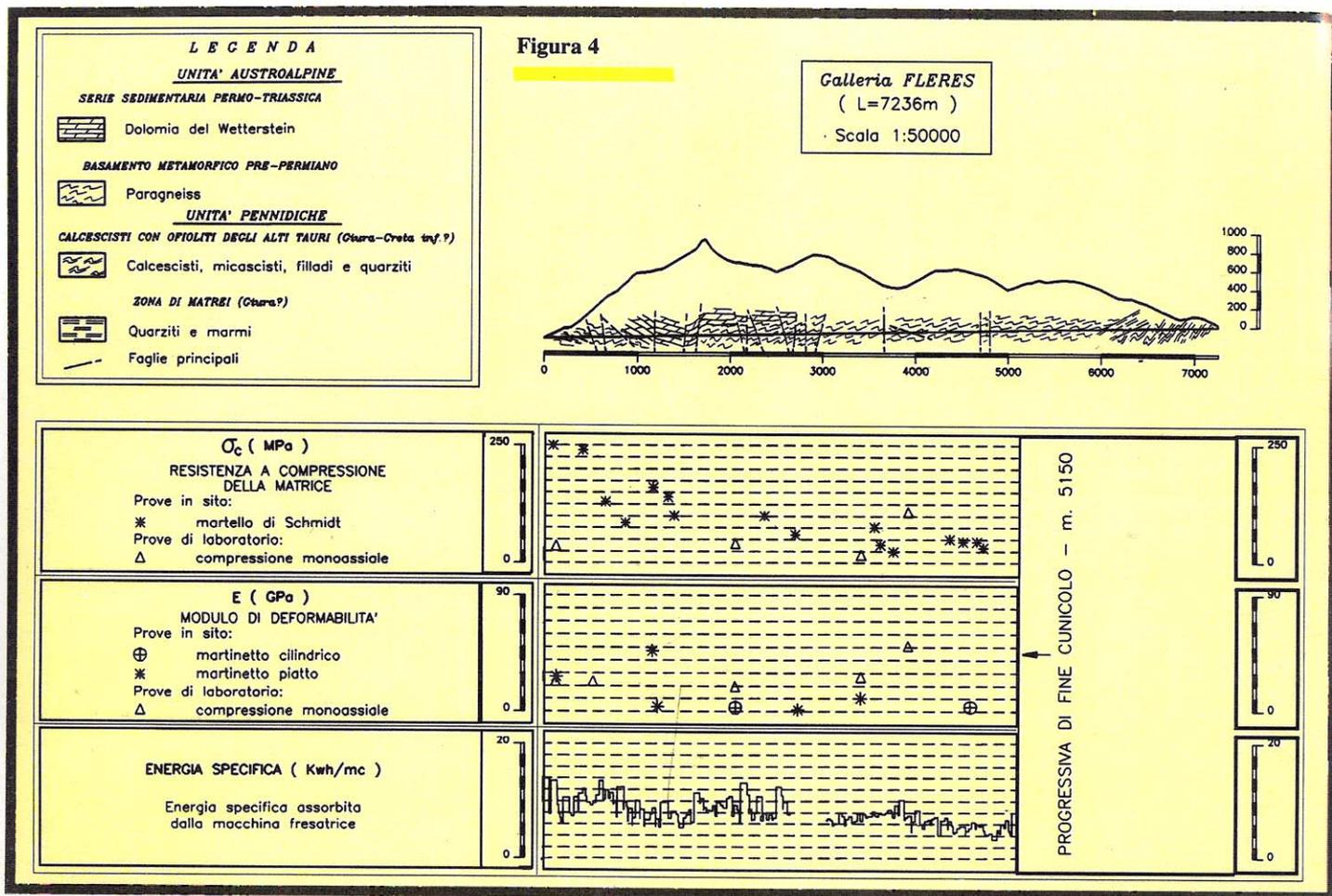


Figura 3





Da quel momento si è avuta una proliferazione di casi e applicazioni analoghe in tutta Italia sia in campo ferroviario che stradale.

Mentre per una documentazione circa la possibilità del foro pilota quale mezzo di progettazione si rimanda alle numerose pubblicazioni esistenti in materia (vedi ad esempio P. Lunardi «Recenti sviluppi e nuovi orientamenti nel campo delle gallerie». Primo ciclo di conferenza di meccanica e ingegneria delle rocce - Politecnico di Torino, Dipartimento di ingegneria strutturale, Torino 1986, e relativa bibliografia), si

vuole in questa sede sottolineare come alla lungimiranza delle Ferrovie dello Stato e del Consorzio Comer nel promuovere una impostazione costruttiva e progettuale del tutto innovativa, sia corrisposto un evidente successo.

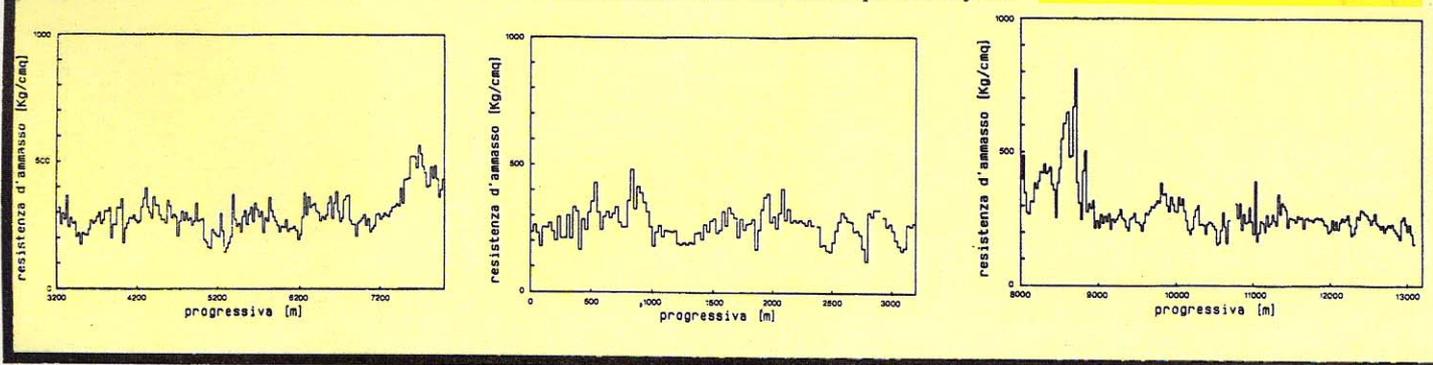
Dagli iniziali 13.200 m di preforo della citata galleria si è passati sempre sulla sola linea Verona-Brennero ad oltre 22 km di cunicolo pilota, che hanno attraversato ammassi delle più diverse caratteristiche geologiche mettendo in evidenza un'ampia casistica di comportamenti geomeccanici differenti.

A tutt'oggi per questi 22 km è stata scavata la galleria definitiva sui primi 13.

La corrispondenza tra quanto previsto in sede progettuale in base all'analisi di tutte le informazioni ricavabili dallo scavo del preforo ed il reale comportamento tenso-deformativo della cavità a seguito dell'allargamento è stata sempre più che buona, a volte addirittura sorprendente per gli stessi addetti ai lavori.

Per concludere questa breve introduzione, alla disamina delle specifiche problematiche progettuali delle gallerie della linea Verona-Brennero, proprio conside-

Figura 6 • Galleria Prato Isarco - Ponte Gardena Resistenza d'ammasso ricavata da parametri fresa



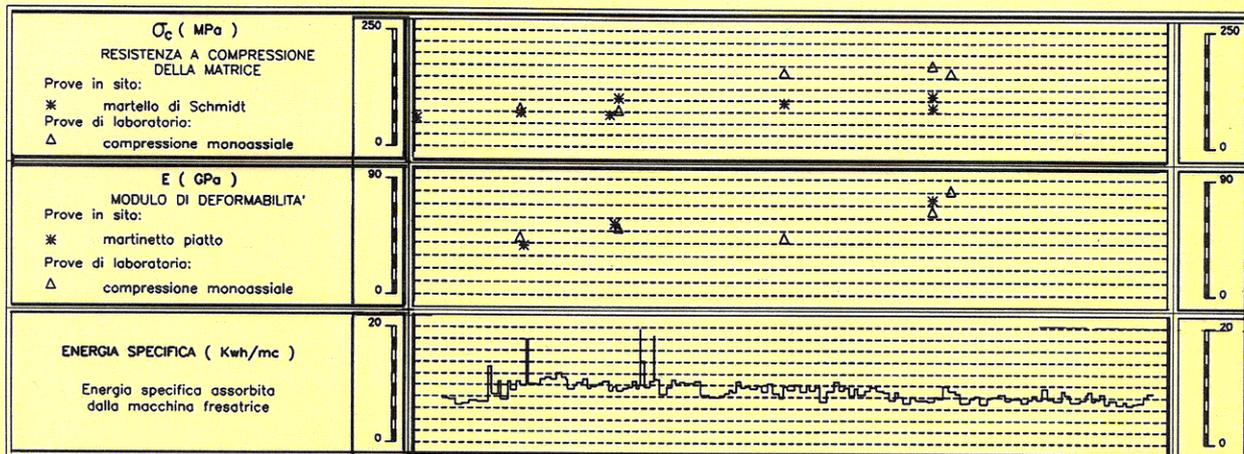
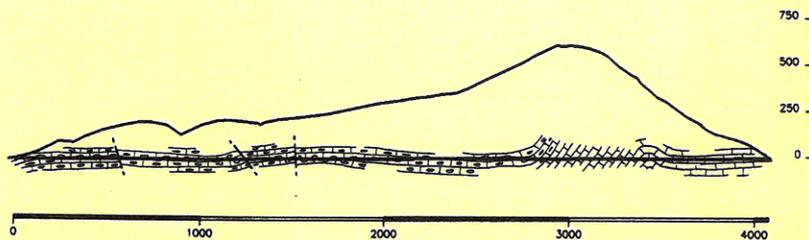
LEGENDA

FORMAZIONI CARBONATICHE GIURASSICHE

	Calcari oolitici di S. Vigilio
	Calcari grigi di Noriglio
	Faglie principali

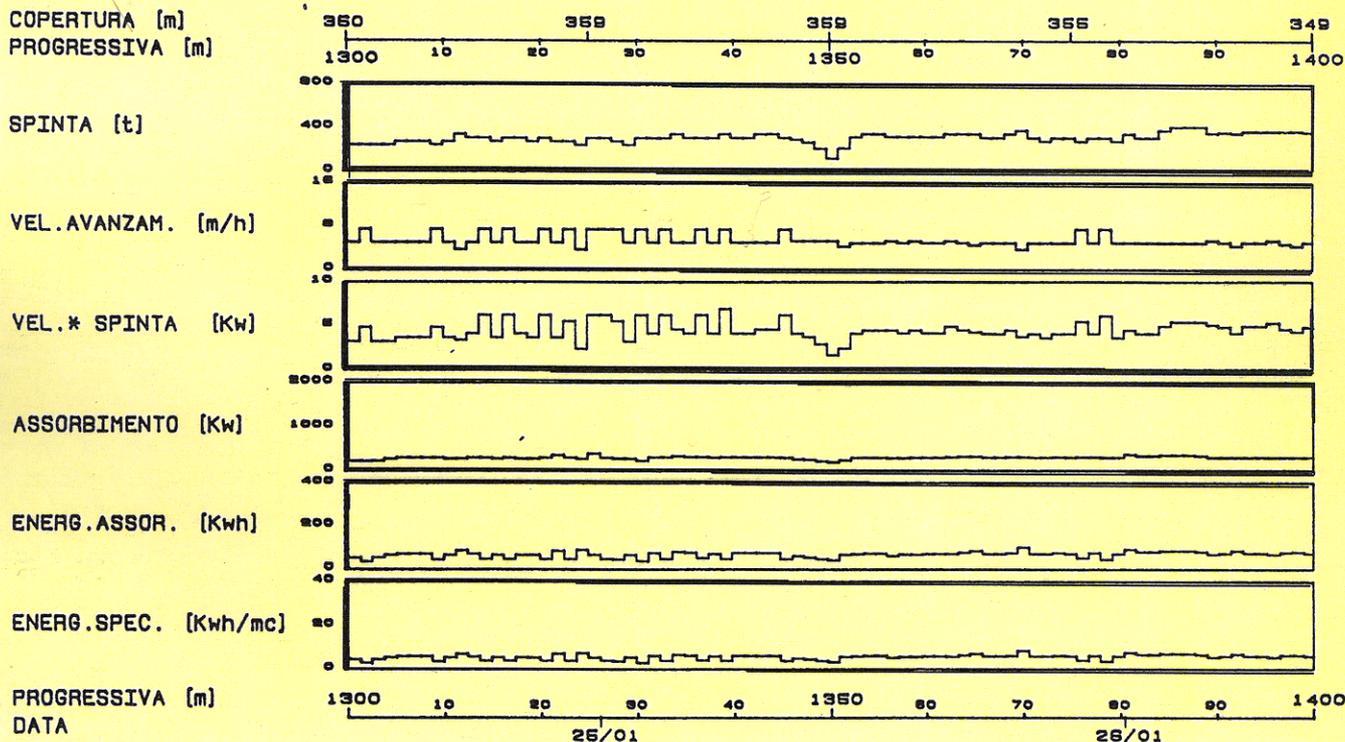
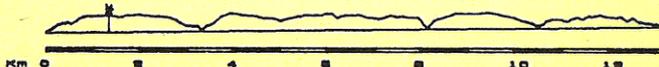
Galleria **DOMEGLIARA-DOLCE'**
(L=4076m)
Scala 1:25000

Figura 5



Archivio dati fresa
GALLERIA FS P.TIRES - P.GARDENA

Figura 7 • Esempio di scheda raccolta dati fresa



rando l'enorme sviluppo che l'utilizzo del preforo ha subito a seguito di questa prima felice esperienza, è necessario ribadire che la sola esecuzione del foro pilota non costituisce di per sé una soluzione dei problemi progettuali e costruttivi di una galleria se non è inquadrata in un contesto contrattuale idoneo, se non vengono adeguatamente sfruttate le potenzialità conoscitive e se non è mutuata dalla necessaria esperienza e sensibilità progettuale.

I foro pilota come strumento progettuale

Per effettuare la progettazione delle opere in sotterraneo su dati quanto più possibile corrispondenti alle reali condizioni degli ammassi rocciosi attraversati, dopo le prime consuete analisi delle problematiche geologiche sulla base di rilievi di superficie, si è scelto di realizzare un cunicolo di prospezione in asse galleria.

Il primo cunicolo, della lunghezza di 13.159 m, è stato realizzato lungo la variante Prato Tires-Ponte Gardena ed è stato seguito da quello di Fleres, interrotto dopo 5.245 m di scavo a causa delle proibitive condizioni geomeccaniche incontrate, e da quello tra Domegliara e Dolcé di 4.075 m.

La progettazione è stata quindi articolata nelle seguenti fasi:

A - Fase conoscitiva: raccolta di tutte le

informazioni ricavabili dall'analisi dello scavo del cunicolo tra cui:

- rilevamento geologico, idrogeologico e geostrutturale di dettaglio organizzato per mezzo di una raccolta dati su apposite schede, nell'inserimento di tali dati in un archivio automatizzato che permette l'elaborazione di schede riassuntive (figg. 1 e 2);
 - determinazione in punti significativi dei parametri geomeccanici dell'ammasso e dello stato tensionale preesistente allo scavo, attraverso prove ed indagini in situ (martinetti piatti, carico su piastra, prove sclerometriche, door-stopper, prospezioni geofisiche, etc.) e prelievi di campioni per prove di laboratorio (determinazione indici fisici, compressione monoassiale e triassiale, trazione Brasiliana, taglio diretto su giunto, etc.) (figg. 3, 4 e 5);
 - analisi dei parametri di funzionamento della fresa attraverso i quali è possibile caratterizzare con continuità l'intero ammasso dal punto di vista geomeccanico mediante la corrispondenza tra energia specifica e resistenza dell'ammasso roccioso (figg. 3, 4, 5, 6 e 7);
 - rilievo dal cunicolo di tutti i fenomeni deformativi e di instabilità avvenuti durante lo scavo del foro pilota e di tutti gli interventi di stabilizzazione applicati.
- B - Fase di diagnosi:** i dati raccolti vengono sintetizzati in profili geomeccanici ed il tracciato viene suddiviso in classi di com-

Figura 8

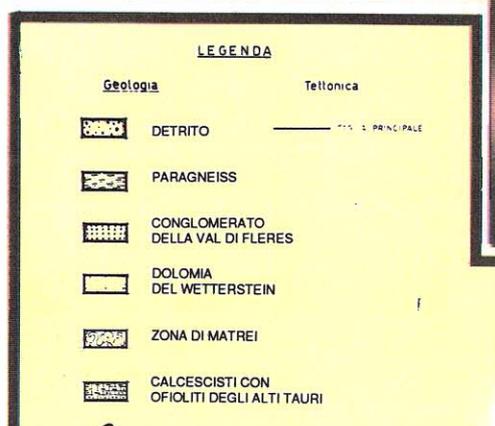
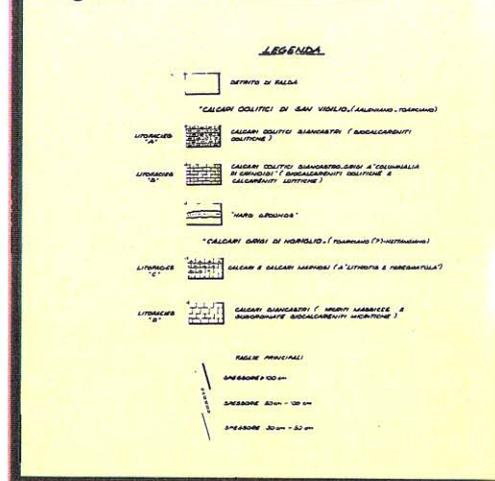
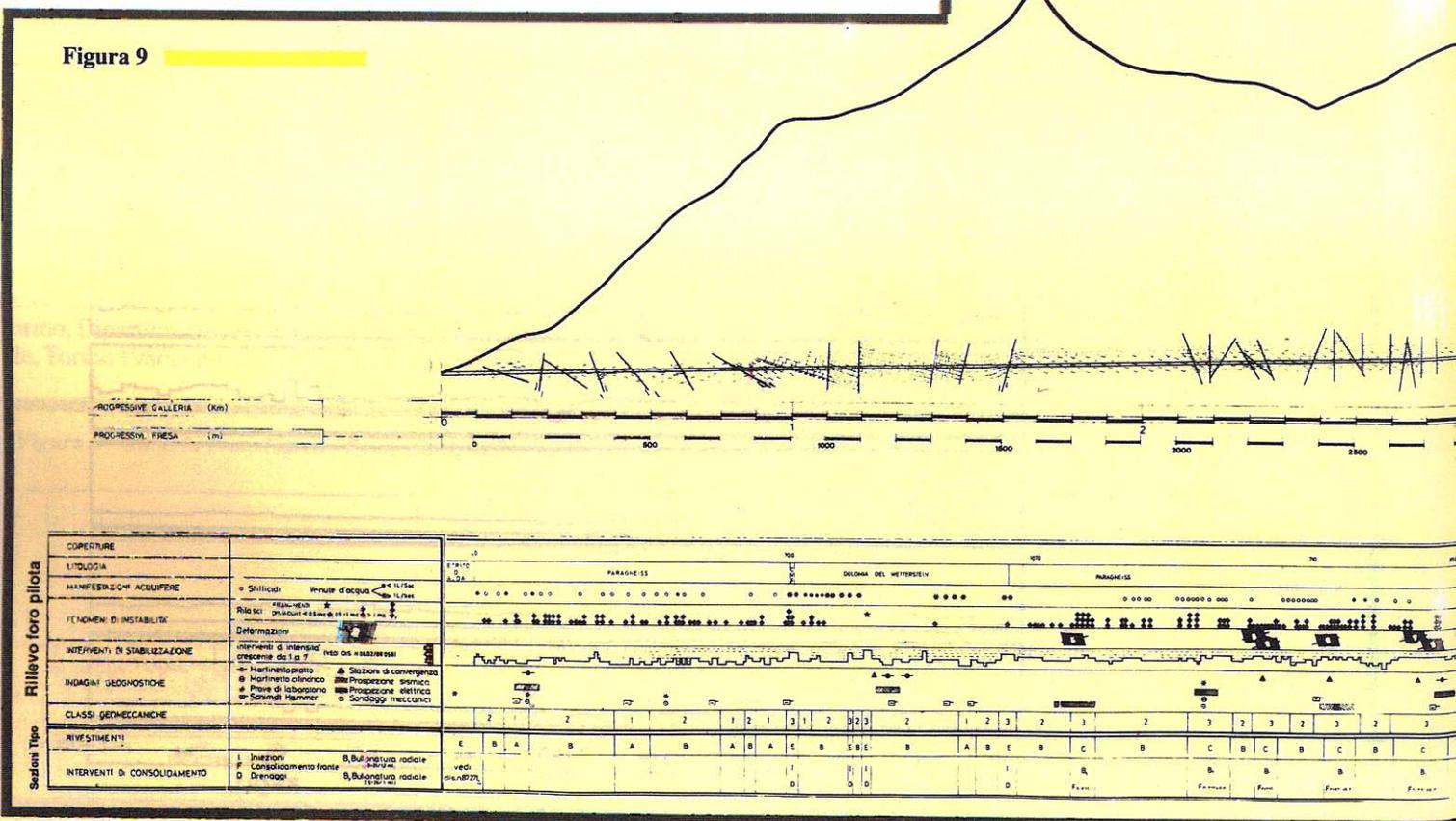


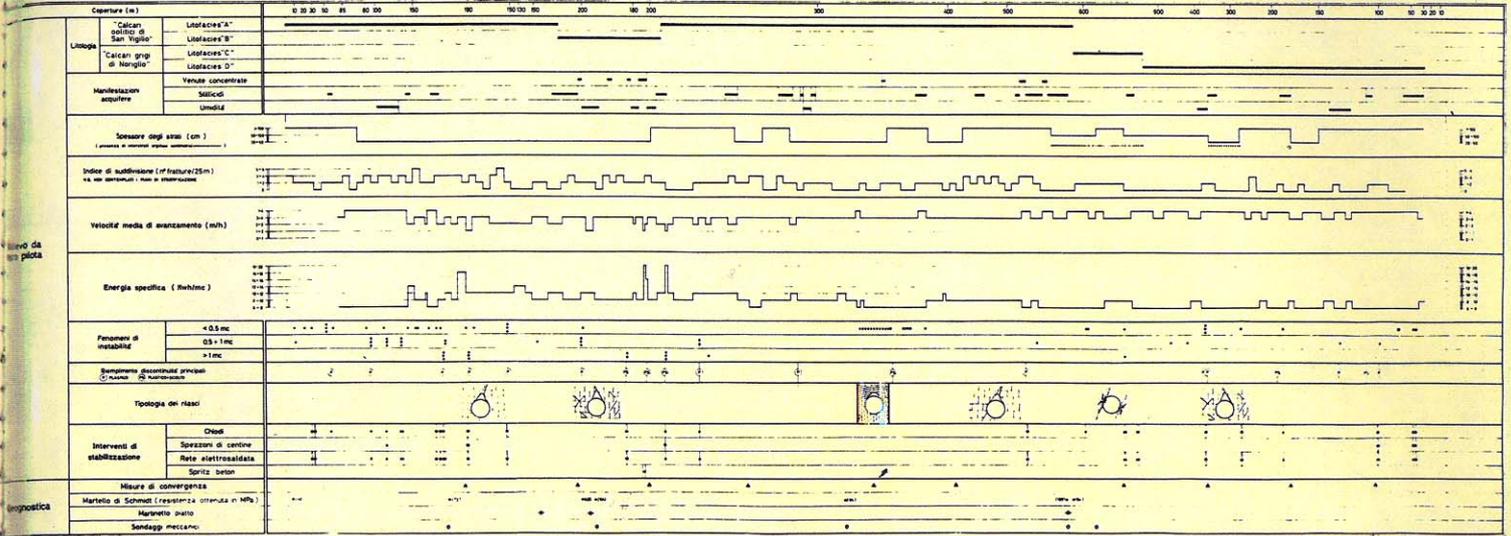
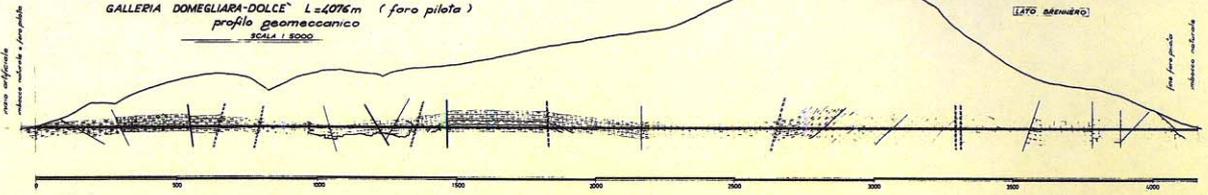
Figura 9



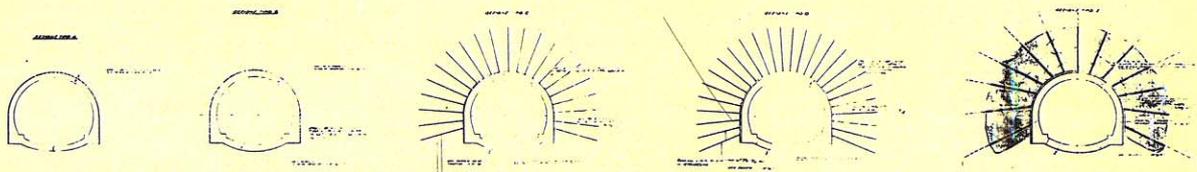
GALLERIA DOMEGLIARA-DOLCE L=2076m (foro pilota)
 profilo geomeccanico
 SCALA 1:5000

1276 VERDICI

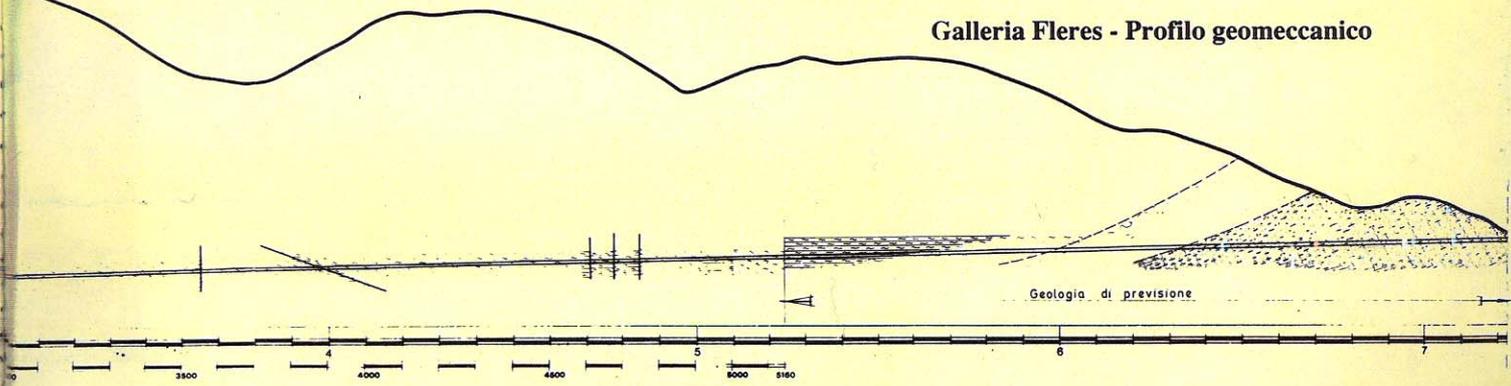
[LATO ADEVAIO]



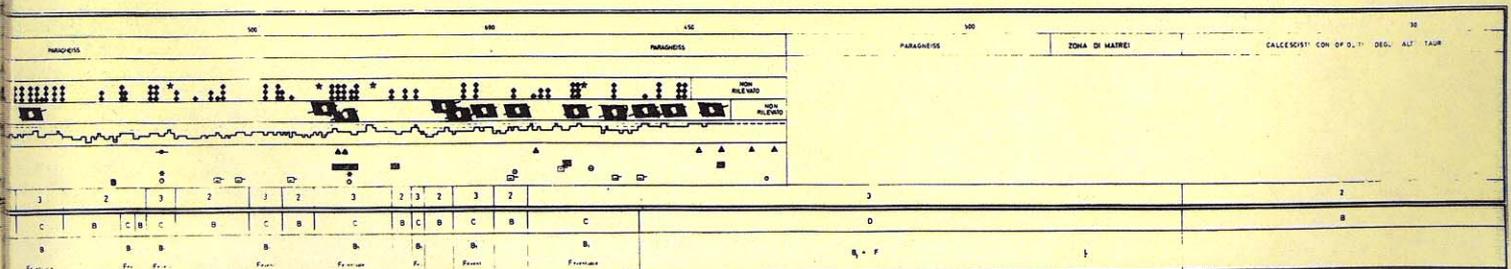
SEZIONI TIPO

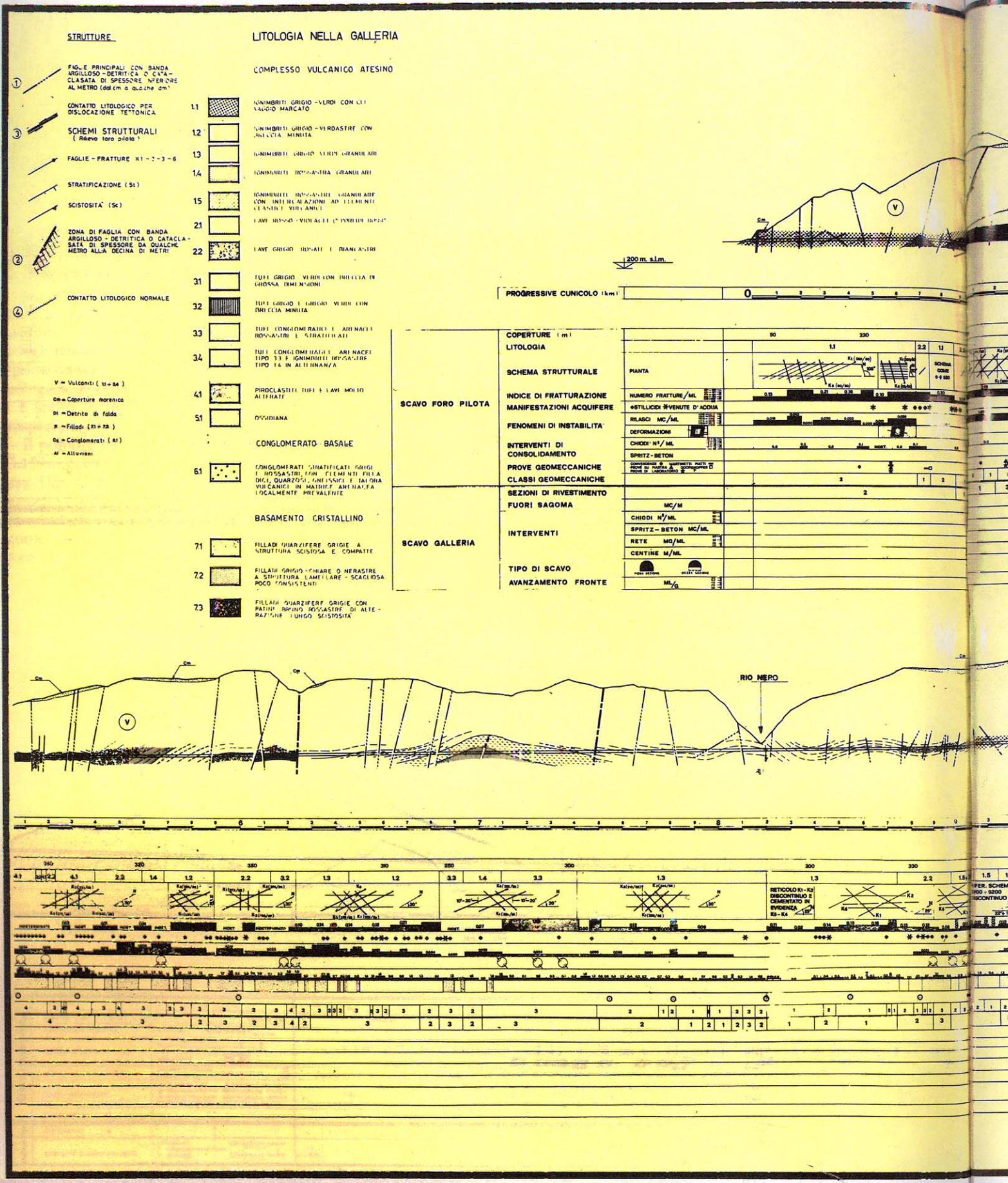


Galleria Fleres - Profilo geomeccanico



Geologia di previsione





STRUTTURE

- ① FAGLIE PRINCIPALI CON BANDA ARGILLOSO-DETRITICA O CATACLASATA DI SPESORE INFERIORE AL METRO (da cm a qualche dm)
- ② CONTATTO LITOLOGICO PER DISLOCAZIONE TETTONICA
- ③ SCHEMI STRUTTURALI (Rilievo foto aerea)
- ④ FAGLIE - FRATTURE K1 - 2 - 3 - 6
- ⑤ STRATIFICAZIONE (S1)
- ⑥ SCISTOSITA' (Sc)
- ⑦ ZONA DI FAGLIA CON BANDA ARGILLOSO-DETRITICA O CATACLASATA DI SPESORE DA QUALCHE METRO ALLA DECINA DI METRI
- ⑧ CONTATTO LITOLOGICO NORMALE

LITOLOGIA NELLA GALLERIA

COMPLESSO VULCANICO ATESINO

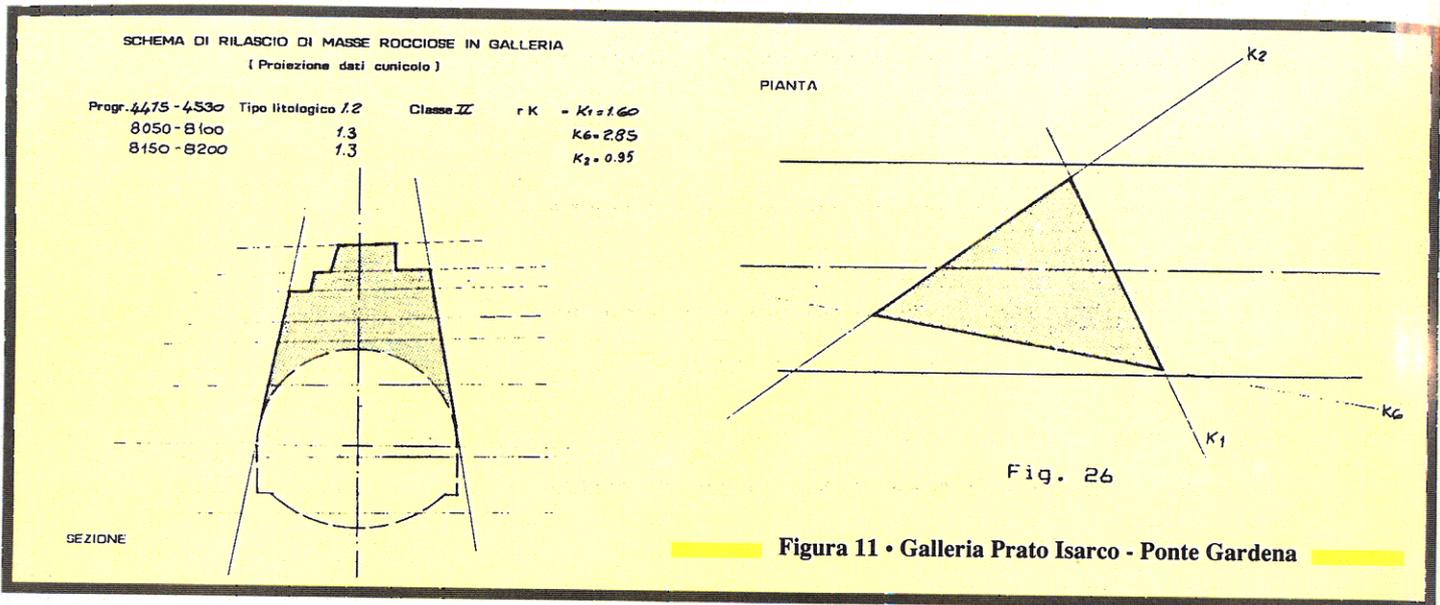
- 11 IGNIMBRITI GRIGIO-VERDI CON CUI VALGHO MARCATO
- 12 IGNIMBRITI GRIGIO-VERDASTRE CON INIECCIA MINUTA
- 13 IGNIMBRITI GRIGIO-VERDI GRANULARI
- 14 IGNIMBRITI ROSCASTRE GRANULARI
- 15 IGNIMBRITI ROSCASTRE GRANULARI CON INIECCIAZIONI AD ELEMENTI CUSCINI VULCANICI
- 21 LAVI BRUNO-VIOLETTI L'PUNTO BOUTE
- 22 LAVI GRIGIO-VERDI E BIANCASTRE
- 31 TUFI GRIGIO-VERDI CON INIECCIA IN GROSSA QUANTITA'
- 32 TUFI GRIGIO-VERDI CON INIECCIA MINUTA
- 33 TUFI CONGLOMERATI E ARI NACCI ROSCASTRE E STRATIFICATI
- 34 TUFI CONGLOMERATI E ARI NACCI TIPO 33 E IGNIMBRITI ROSCASTRE TIPO 14 IN ALTERNANZA
- 41 PIROCLASTICI TUFI E LAVI MOLTO ALZATI
- 51 OSSIDIANA
- 61 CONGLOMERATO BASALE
- 71 CONGLOMERATI STRATIFICATI GRIGI E ROSSASTRI CON ELEMENTI DELLA DICI QUARZOSI, ANELINZI E TALORA VULCANICI IN MATERIE ARI NACCA LOCALMENTE PREVALENTE
- 72 BASAMENTO CRISTALLINO
- 73 FILLADI QUARZIFERE GRIGIE A STRUTTURA SCISTOSA E COMPATTE
- 74 FILLADI GRIGIO-FIABRE O NERASTRE A STRUTTURA LAMELLARE - SCAGLIOSA POCO CONSISTENTI
- 75 FILLADI QUARZIFERE GRIGIE CON PATITE BRUNO ROSSASTRE DI ALTE RAZIONE LUNGO SCISTOSITA'

V = Vulcaniti (11-34)
 Cm = Coperture morenica
 Di = Detrito di falda
 F = Filledi (11-22)
 Cg = Conglomerati (41)
 M = Alluvioni

SCAVO FORO PILOTA

SCAVO GALLERIA

COPERTURE (m)		90	230	2.2	1.1
LITOLOGIA	PIANTA	[Diagramma]			
	NUMERO FRATTURE/ML	0.3	0.2	0.1	0.1
	STILLICIDI RIVENUTE D'ACQUA	[Diagramma]			
	RILASCI MC/ML	[Diagramma]			
	FENOMENI DI INSTABILITA'	[Diagramma]			
	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO	[Diagramma]			
	PROVE GEOMECCANICHE	[Diagramma]			
	CLASSI GEOMECCANICHE	[Diagramma]			
	SEZIONI DI RIVESTIMENTO FUORI SAGOMA	[Diagramma]			
	INTERVENTI	[Diagramma]			
TIPO DI SCAVO	[Diagramma]				
AVANZAMENTO FRONTE	[Diagramma]				



portamento geomeccanico ognuna delle quali riunisce tutti tratti caratterizzati da un analogo comportamento allo scavo e dalle medesime condizioni di carico sulle opere di confinamento (figg. 8,9 e 10).

C - Fase di terapia: definizione e dimensionamento degli interventi di confinamento e delle opere di rivestimento delle cavità e loro attribuzione alle diverse tratte di galleria.

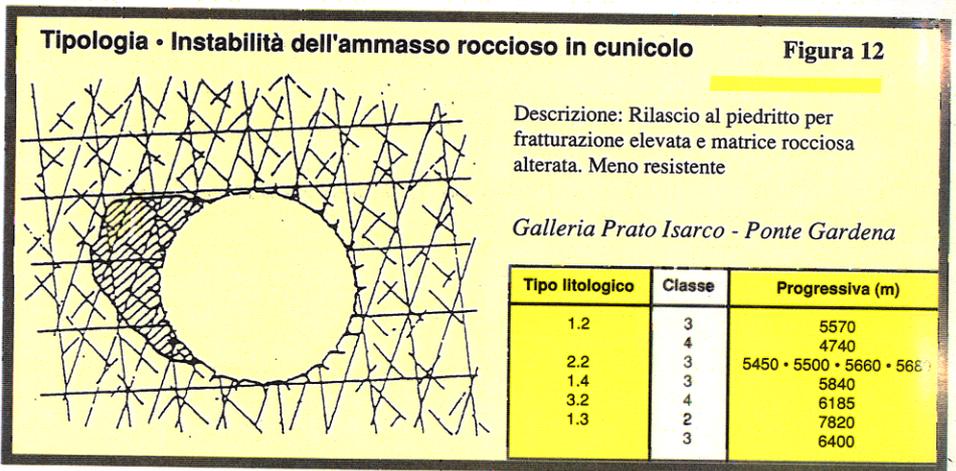
D - Fase di verifica: durante lo scavo di allargò viene sistematicamente controllata la reale corrispondenza tra il comportamento allo scavo rilevato da cunicolo e la risposta dell'ammasso roccioso a seguito dell'allargò, unitamente alla verifica dell'adeguatezza delle strutture precedentemente dimensionate.

Il diverso comportamento allo scavo riscontrato per gli ammassi attraversati ha portato a procedimenti di analisi e calcolo sostanzialmente differenziati.

Per una risposta di tipo elastico all'apertura della cavità ad esempio, come per lunghe tratte di attraversamento delle rocce eruttive della Piattaforma Porfirica Atesina (galleria Prato Isarco-Ponte Gardena) e nelle rocce sedimentarie attraversate con la galleria tra Domegliara e Dolcé, si sono valutati i possibili solidi di carico che potranno gravare sui rivestimenti nel lungo termine, conseguenti al distacco di blocchi rocciosi individuati dal reticolo fratturativo (fig. 11).

Le più probabili tipologie di carico nelle diverse tratte caratteristiche, sono state dedotte dal rilievo geostrutturale di dettaglio e dai distacchi rilevati in cunicolo.

Si è tenuto in debito conto che il foro pilota rappresenta un termine di confronto ottimistico rispetto alla galleria definitiva, sia per le diverse metodologie di scavo, sia per effetto di un'amplificazione dei fenomeni



di instabilità dovuto alle maggiori dimensioni, sia per la presenza di discontinuità subparallele all'asse di avanzamento di difficile individuazione in cunicolo ma che influenzano in modo sostanziale il comportamento della cavità dopo l'allargò con esplosivo.

Questo tipo di analisi (teoria dei blocchi) è stata estesamente impiegata, come detto, per la progettazione delle gallerie tra Prato Isarco e Ponte Gardena e tra Domegliara e Dolcé nonché nella galleria tra Bolzano e Prato Isarco (per quest'ultima si sono utilizzate le informazioni acquisite nella vicina galleria tra Prato Tires e Ponte Gardena date le analoghe caratteristiche litologiche e strutturali).

Sempre in base alle informazioni ricavate dal cunicolo pilota, per alcune tratte di galleria si sono ipotizzati carichi dovuti al rilascio di estesi volumi di roccia dovuti ad una fratturazione intensa e irregolare (fig. 12).

L'intensità di tali carichi è stata valutata secondo la teoria di Terzaghi.

Sia nel primo caso che in quest'ultimo, il dimensionamento del rivestimento è stato condotto mediante modelli di calcolo agli elementi finiti piani nelle deformazioni che tenevano in debito conto l'interazione con l'ammasso roccioso al contorno.

Dove gli ammassi hanno mostrato un comportamento spiccatamente plastico invece - come nella galleria tra Colle Isarco e Brennero in cui si è verificata la tendenza da parte dell'ammasso roccioso a deformarsi in modo importante a seguito dello scavo a causa dello sfavorevole rapporto tra caratteristiche geomeccaniche e coperture in gioco, con formazione di fasce plasticizzate di notevole spessore sul contorno del cunicolo e di convergenze non trascurabili (alcune decine di cm su uno scavo di 3.9 m di diametro) - si sono studiate le interazioni tra l'ammasso roccioso ed il rivestimento (di prima fase e definitivo) mediante il metodo delle curve "convergenza-confinamento".

Grazie alla preventiva esecuzione del cunicolo i calcoli sono stati eseguiti in due

fasi distinte:

- la prima, relativa al cunicolo pilota, ha permesso di calibrare, mediante una procedura di back-analysis in base ai risultati delle misurazioni di convergenza eseguite in sito, i valori di modulo elastico e dei parametri di resistenza caratterizzanti l'ammasso roccioso;
- la seconda, relativa alla galleria, ha permesso di studiare il comportamento deformativo a seguito dell'allargo utilizzando i parametri geomeccanici determinati nella fase precedente ed applicandoli alla sezione finale di scavo.

In base a tali curve vengono dimensionati gli interventi di sostegno sia di prima fase che definitivi e gli interventi di consolidamento necessari a stabilizzare il cavo e a regimare le deformazioni dell'ammasso.

* Università di Parma

** Rocksoil spa: la società Rocksoil ha curato la progettazione delle opere in sotterraneo



Galleria tra Dolcè e Domegliara. Imbocco Sud

Caratteristiche delle varianti e soluzioni tecniche adottate

Dott.Ing. Giuseppe Agostinelli *

Variante tra le stazioni di Domegliara e Dolcè

La variante inizia dopo circa m 3.200 dalla stazione di Domegliara e termina a circa m 1.200 dalla fermata di Dolcè, con una lunghezza di m 4.900 circa dei quali 4.300 in galleria.

Iniziando da Sud le opere previste consistono: in un viadotto di m 8.00, in una galleria artificiale di imbocco e nella galleria naturale, al termine della quale si sottopasserà mediante una galleria artificiale, realizzata con setti di paratia, la S.S. n° 12 per allacciarsi infine all'attuale linea.

Le opere più significative sono costituite dalla galleria naturale, che verrà analizzata separatamente per la parte in roccia e per quella in detrito, e da quella artificiale dell'imbocco nord.

Galleria in roccia

I primi 4075 m di galleria dall'imboc-

co Sud interessano rocce sedimentarie compatte di buone caratteristiche geomeccaniche.

Gli spessori del rivestimento variano da 45 a 60 cm.

Lo spessore di 60 cm è stato applicato presso gli imbocchi, nelle zone a copertura ridotta e dove nel cunicolo si sono riscontrati frequenti rilasci o la maggior densità di discontinuità principali ed i parametri geomeccanici presentavano i minori valori (facies caratterizzate da frequenti interstrati marnosi a resistenza ridotta rispetto alle bancate calcaree).

Lo spessore di 45 cm è stato adottato nella restante parte di galleria per m 3000 circa.

Tale spessore, piuttosto ridotto rispetto a quelli normalmente applicati nelle gallerie ferroviarie, consente comunque di assicurare la buona esecuzione e la durabilità del rivestimento, data la buona qualità dei cls attualmente realizzabili in galleria e data la protezione da eventuali agenti aggressivi costituita dall'impermeabilizzazione che verrà applicata su tutto lo sviluppo della galleria.

Dal punto di vista esecutivo le buone caratteristiche geomeccaniche globali dell'ammasso garantiscono la stabilità del cavo nel breve termine consentendo l'avanzamento a piena sezione con sporadici interventi di sostegno costituiti da ancoraggi puntuali, betoncino proiettato e rete

elettrosaldata.

Galleria in detrito

In corrispondenza dell'imbocco Nord della variante la galleria attraverserà per circa 80 m un deposito detritico con coperture massime dell'ordine di 20 cm.

Il progetto prevede in questa tratta la realizzazione di un preconsolidamento lanciato in avanzamento dal fronte di scavo a mezza sezione mediante iniezioni jet-grouting di m 13 di lunghezza, dei quali m 10 utili e di un preanello di rivestimento in spritz-beton armato con tralicci in acciaio.

Prima di eseguire il ribasso verrà effettuato un trattamento sempre a mezzo di iniezioni jet-grouting sui lati del piano di scavo di prima fase per completare l'arco di scarico di terreno consolidato.

Sulla parete d'imbocco il progetto prevede la realizzazione di una paratia realizzata mediante iniezioni jet-grouting che consente di contenere al minimo gli sbancamenti che risulterebbero di notevoli dimensioni, a tutto vantaggio della stabilità del soprastante pendio, della sicurezza dello scavo della galleria nella tratta più corticale e della limitazione dell'impatto ambientale delle opere anche durante la fase realizzativa.

Galleria artificiale imbocco Nord

La realizzazione della galleria artificiale, della lunghezza di 110 metri, è necessa-