

GESTIONE DEGLI IMPREVISTI GEOLOGICI NELLE OPERE IN SOTTERRANEO:
LA TECNICA DEL "FORO PILOTA"

CAMPANA M. *, LUNARDI P.**, PAPINI M.***

* Rocksoil S.p.A., Milano

** Università' degli Studi di Parma

*** Facoltà di Ingegneria - Politecnico di Milano -

RIASSUNTO

La realizzazione di opere in sotterraneo è da sempre caratterizzata da alee di rischio imputabili ai numerosi imprevisti geologici riscontrabili durante le operazioni di scavo. Gli interventi generalmente proposti in fase progettuale possono così subire, a seguito dell'insorgere di tali imprevisti, rilevanti modifiche in fase realizzativa, con conseguenti ripercussioni sugli aspetti sia tecnici che economici.

Nel lavoro vengono presentati le linee guida di un modello probabilistico volto a rappresentare il comportamento dell'imprevisto geologico e una prima classificazione degli impatti che tale imprevisto produce sui costi e sui tempi di realizzazione dell'opera.

A tale proposito vengono evidenziate le potenzialità connesse all'esecuzione di un cunicolo esplorativo in asse alla futura galleria ("Foro Pilota") allo scopo di prevedere e controllare i rischi geologici e, di conseguenza, i tempi e i costi di costruzione dell'opera in sotterraneo.

La tecnica del "Foro Pilota" viene pertanto in questo lavoro analizzata nella sua accezione di metodologia progettuale di "risk-analysis".

PAROLE CHIAVE: Gestione dell'imprevisto geologico

Risk-Analysis

Foro Pilota

Costi di realizzazione

1. INTRODUZIONE

La gestione degli imprevisti rappresenta senza dubbio una delle frontiere di studio più avanzate dell'ingegneria economica degli anni '90.

Nell'ambito della realizzazione di opere in sotterraneo, gli imprevisti sono rappresentati dal rinvenimento di situazioni geologiche differenti rispetto a quelle previste in fase progettuale. Questo determina effetti negativi sulla dinamica del ciclo progetto-esecuzione di un'opera in sotterraneo.

Gli interventi generalmente proposti in fase progettuale possono subire infatti, a seguito dell'insorgere di un imprevisto, delle rilevanti modifiche in fase realizzativa, in quanto non più adeguati al contesto geologico effettivo in cui si sviluppa la galleria. Per tale motivo, in questi ultimi anni, si è concentrata l'attenzione sulla ricerca di strumenti in grado di prevedere e controllare i rischi e i relativi costi connessi alle opere in sotterraneo.

In particolare, in questo lavoro, si vogliono illustrare i contenuti e le modalità operative della tecnica del "Foro Pilota" intesa nell'accezione di metodologia progettuale di "risk-analysis".

L'impiego di questa metodologia consente infatti di eliminare pressoché totalmente gli imprevisti di natura geologica

particolarmente frequenti soprattutto in gallerie che si sviluppano in contesti geologici molto complessi.

In particolare, la tecnica del "Foro Pilota" permette la conoscenza diretta di dati geostrutturali dell'ammasso roccioso in cui si svilupperà successivamente la galleria. Ciò consente, già in fase preliminare, di elaborare un progetto della galleria del tutto aderente alla realtà geostrutturale con l'individuazione delle adeguate soluzioni tecniche e una corretta stima dei costi realizzativi.

2. GESTIONE DEGLI IMPREVISTI NELLE OPERE IN SOTTERRANEO

La realizzazione di opere in sotterraneo risulta condizionata, talvolta anche in modo determinante, dal rinvenimento, in fase costruttiva, di situazioni geologiche differenti rispetto a quelle previste in fase progettuale.

Questo dipende essenzialmente dai limiti conoscitivi che caratterizzano le indagini geognostiche che di norma vengono eseguite in corrispondenza del previsto tracciato dell'opera in esame.

La probabilità di non ottenere, attraverso tali indagini, informazioni geologiche sufficientemente esaustive per la modulazione di un progetto aderente alla realtà, è tanto più elevata quanto maggiore è la complessità geologica e strutturale del sottosuolo.

Inoltre, al crescere della lunghezza della prevista galleria, nonché dello spessore della copertura in gioco, si incrementa il margine di rischio.

Si possono così riscontrare, durante le lavorazioni, situazioni

geologiche non previste che richiedono frequentemente un'improvvisazione da parte degli esecutori, per tentare di risolvere al meglio le difficoltà che via via si incontrano in corso d'opera.

L'imprevisto geologico comporta infatti, spesso, l'insorgere di inconvenienti che scaturiscono dall'adozione di tecniche di scavo e/o di metodologie di avanzamento non adeguate alla natura dei terreni intercettati.

Possono aversi, quindi, ripercussioni sulla stabilità dell'opera e sui tempi necessari per la sua realizzazione: ciò comporta anche una variazione dei costi dell'opera, i quali, il più delle volte, risultano maggiori rispetto a quelli previsti.

Gli imprevisti geologici rinvenibili durante la realizzazione di un'opera in sotterraneo possono essere ricondotti, sulla base di un'ampia esperienza maturata in proposito, ai quattro casi esposti nella seguente tabella (tab.1):

CASO 1:	Imprevisti geologici assenti o di scarsa importanza ai fini realizzativi
CASO 2:	Imprevisti geologici di media importanza ai fini realizzativi
CASO 3:	Imprevisti geologici di grande importanza ai fini realizzativi
CASO 4:	Imprevisti geologici di estrema importanza ai fini realizzativi

TABELLA N. 1 - Classificazione degli imprevisti geologici nelle opere in sotterraneo

Il caso 1 si verifica, di norma, in presenza di scavi brevi e con basse coperture, laddove l'indagine geognostica consente una buona conoscenza dell'assetto geostrutturale del sottosuolo.

I casi 2 e 3 si verificano, il più delle volte, in scavi di media lunghezza e dotati di coperture consistenti. I due casi si differenziano in base al grado di complessità geostrutturale dell'assetto geologico in cui si sviluppano gli scavi: in contesti poco complessi, infatti, sarà comunque possibile formulare una previsione di una certa attendibilità; diversamente, in presenza di situazioni geologicamente più articolate, il grado di attendibilità delle previsioni formulate in fase preliminare sarà necessariamente soggetto ad una certa aleatorietà.

Infine, il caso 4 si può riscontrare soprattutto in presenza di scavi di grande lunghezza e provvisti di elevata copertura o comunque caratterizzati da un contesto geostrutturale assai complesso e che contempri la frequente presenza di condizioni geologiche e idrogeologiche gravose. In tale situazione, l'attendibilità delle previsioni sarà forzatamente scarsa e gli imprevisti geologici potranno assumere connotati anche di elevata entità.

Alla casistica sopra illustrata, che schematizza il differente grado di imprevisto geologico riscontrabile durante la realizzazione di opere in sotterraneo, è possibile associare una curva di distribuzione discreta che esprime la probabilità di incorrere, in corso d'opera, in uno dei quattro casi sopra citati.

In particolare, sulla base delle esperienze maturate a questo

proposito, si può affermare, con ragionevole attendibilità, che il 20% delle opere in sotterraneo sono caratterizzate da un imprevisto geologico assente o di scarsa importanza ai fini realizzativi (caso 1), il 40% da un imprevisto geologico di media importanza (caso 2), il 30% da un imprevisto geologico di grande importanza (caso 3) e, infine, il 10% da un imprevisto geologico di estrema importanza (caso 4).

Considerando tali percentuali, è possibile quindi costruire la curva di distribuzione delle probabilità dell'imprevisto geologico la quale, come si osserva nella fig. n. 1, mostra un andamento log-normale.

Dall'analisi di tale curva emerge chiaramente che, nella maggior parte dei casi (almeno l'80%), la realizzazione di opere in sotterraneo è caratterizzata da imprevisti geologici di importanza da media ad elevata.

Per far fronte a questa situazione, si deve di norma ricorrere, in fase realizzativa, ad improvvisati interventi di stabilizzazione e di contenimento non previsti dalla fase progettuale, con conseguenti risvolti negativi sia sull'aspetto operativo che economico del progetto.

In tale ottica, pertanto, è importante fare ricorso, già in fase preliminare, a strumenti di gestione e controllo degli imprevisti geologici riscontrabili durante la realizzazione dell'opera.

Tali tecniche di gestione non sono necessarie nel caso 1 dove l'entità degli imprevisti è modesta; il loro ricorso è invece consigliabile nel caso 2, opportuno nel caso 3 e diviene indispensabile nel caso 4, laddove gli imprevisti geologici sono di rilevante importanza (Fig. n.2).

Prima di addentrarsi nell'illustrazione di tecniche e strumenti in grado di consentire un'efficace gestione e riduzione dell'imprevisto geologico, è importante soffermarsi sulle conseguenze che questo può produrre sui tempi e sui costi di realizzazione di un'opera in sotterraneo.

3. IMPREVISTO GEOLOGICO: CONSEGUENZE SUI TEMPI E SUI COSTI DI REALIZZAZIONE DI UN' OPERA IN SOTTERRANEO

La relazione esistente fra imprevisto geologico e andamento dei tempi e dei costi di realizzazione di un'opera in sotterraneo può essere rappresentata e valutata facendo ricorso al noto strumento di Cost Control denominato "S-Curve" (fig. n.3).

Riprendendo la classificazione riportata in Tab. 1 e basandosi sui dati raccolti nel corso delle numerose esperienze maturate, si può infatti affermare che nel caso 1, caratterizzato da imprevisti geologici assenti o di scarsa importanza, l'andamento a consuntivo della "S-Curve" rispecchia da vicino quello stimato in fase di progetto.

In pratica, l'assenza o la scarsa rilevanza dell'imprevisto geologico assicura un elevato riscontro in fase realizzativa dei tempi e dei costi previsti da progetto.

Nei casi 2, 3 e 4, invece, il manifestarsi dell'imprevisto geologico comporta l'insorgere di scostamenti fra tempi e costi a preventivo e quelli a consuntivo.

Inoltre, l'entità di questi scostamenti varia in funzione del variare dell'entità dell'imprevisto verificatosi in corso d'opera.

In particolare, nel caso 2 (imprevisto geologico di media

importanza) si è riscontrato che i costi a consuntivo risultano già significativamente superiori ai valori di progetto, mentre lo scostamento dei tempi necessari all'ultimazione dei lavori può essere assai contenuto o addirittura trascurabile.

In definitiva, l'entità limitata dell'imprevisto geologico comporta sicuramente un maggiore onere economico (connesso alla necessità di dover attuare interventi di confinamento non previsti), ma non sempre un prolungamento dei tempi di realizzazione.

Gli imprevisti geologici di grande importanza (caso 3) inducono, a loro volta, scostamenti rilevanti sia nei tempi che nei costi a consuntivo, mentre per il caso 4 (impvisti geologici di estrema importanza) le previsioni formulate in fase progettuale vengono completamente stravolte.

Occorre sottolineare inoltre che la quantificazione degli scostamenti connessi ai casi 2, 3 e 4 risulta forzatamente inattuabile in quanto questi dipendono strettamente dalla variabilità degli interventi di "risposta" all'imprevisto geologico messi in atto.

Da quanto sopra affermato emerge chiaramente che la validità della progettazione di opere in sotterraneo dipende largamente dalla capacità di mettere a punto strumenti in grado di ridurre, o addirittura eliminare, l'imprevisto geologico.

Nell'ambito di tali strumenti, quello che ad oggi si dimostra uno dei più efficaci in termini di gestione degli imprevisti geologici nelle opere in sotterraneo è, laddove applicabile, il "Foro Pilota".

Consentendo un'acquisizione diretta di dati sull'assetto

geostrutturale degli ammassi rocciosi intercettati dalla galleria, esso permette infatti di diminuire sensibilmente la probabilità di imbattersi in situazioni geologiche non previste.

4. LA TECNICA DEL "FORO PILOTA"

E' da sempre risaputo che nell'ambito delle lavorazioni in sotterraneo, a parità di contesto geostrutturale, più si riduce la luce dello scavo, più diminuiscono i problemi di equilibrio.

Ciò ha talvolta indotto a realizzare opere in sotterraneo allargando preesistenti cunicoli, la cui esecuzione può svolgere nel contempo la funzione di fornire importanti informazioni sulla natura e sul comportamento dei materiali interessati dallo scavo.

Partendo da questo presupposto, negli ultimi anni è stata messa a punto una metodologia progettuale che si avvale della preliminare realizzazione di uno scavo di sezione ridotta rispetto a quella dell'opera finita ("Foro Pilota"), allo scopo di acquisire, in modo diretto e continuo, gli elementi geognostici utili alla progettazione medesima (Metodo R.S.).

Per conseguire col dovuto grado di attendibilità tali conoscenze, lo scavo del "Foro Pilota", realizzabile, con queste finalità, solo nell'ambito di contesti eminentemente lapidei e di norma riservato a scavi di una certa lunghezza, deve necessariamente avvenire attraverso l'utilizzo di una macchina fresatrice ad attacco integrale del tipo TBM, il cui diametro è generalmente compreso fra 3.50 e 4.20 m. Solo in tal modo, infatti, si rendono perfettamente ispezionabili le pareti di scavo, consentendo di raccogliere, attraverso un apposito rilievo di dettaglio, tutte le informazioni di carattere geostrutturale

pertinenti gli ammassi rocciosi intercettati.

Si perviene così ad una approfondita e dettagliata definizione delle condizioni dell'ammasso roccioso al contorno della sezione di scavo della futura galleria. Sulla base di tali informazioni viene quindi modulato il progetto di allargamento del cunicolo e, quindi, il progetto della galleria.

Altra importante fonte di dati utili ai fini progettuali è rappresentata dall'acquisizione dei parametri relativi al funzionamento della fresa, attraverso i quali si può risalire, in modo continuo, ai valori di resistenza del mezzo attraversato (σ_{gd}).

Allo scopo di conseguire ulteriori informazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dell'ammasso roccioso intercettato, va inoltre considerata la possibilità di effettuare prove in sito direttamente dal cunicolo (principalmente prove di deformabilità e prospezioni geofisiche), di gran lunga più attendibili, ai fini progettuali, rispetto a quelle eseguite dalla superficie.

In particolare, le prospezioni geofisiche eseguite nel foro pilota consentono di ottenere informazioni sulle condizioni geostrutturali proprie dell'immediato intorno del cunicolo, riducendo così al minimo le già ridotte possibilità di incontrare, in sede di allargamento, contesti geostrutturali non previsti.

Di grandissima utilità sono inoltre i dati desumibili dalle letture delle stazioni di convergenza allestite all'interno del cunicolo, nonché il censimento e l'analisi cinematica dei rilasci gravitativi e dei fenomeni deformativi avvenuti durante lo scavo

del preforo.

Nel caso in cui, contestualmente alla presenza di fenomeni di instabilità, siano stati messi in opera interventi di stabilizzazione, questi ultimi vengono minuziosamente rilevati e descritti. Va infatti sottolineato che, tenendo nella massima considerazione due elementi di assoluta rilevanza, quali l'effetto scala ed il fattore tempo, queste ultime informazioni possono già efficacemente delineare il tipo di comportamento che l'ammasso roccioso manifesterà durante l'allargo a piena sezione. Va inoltre aggiunto che la realizzazione del "foro pilota" comporta, sempre in sede di allargo, l'impiego di minore quantità di esplosivo, fatto che consente di ottenere una migliore riprofilatura al contorno della sezione, con conseguente riduzione dei volumi di extra-scavo rispetto alla sagoma teorica; tale evenienza è di grande vantaggio nei riguardi della costruzione della galleria sia in termini di tempo che di costi.

5. IL "FORO PILOTA" E LA GESTIONE DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO

Come detto nel capitolo 2, l'80% delle opere in sotterraneo necessita di una progettazione supportata da strumenti atti a ridurre il più possibile gli imprevisti geologici che altrimenti si incontrerebbero durante la realizzazione delle opere stesse. La riduzione di tali imprevisti può avvenire attraverso l'esecuzione di un'accurata indagine conoscitiva del sottosuolo utilizzando l'ampia gamma di metodologie attualmente a disposizione in ambito geognostico che, però, solo in casi particolari, può determinare un'assoluta eliminazione dell'imprevisto geologico.

Ad esempio, in contesti geologici semplici e ben conosciuti, in presenza di gallerie corte e soprattutto con basse coperture (caso 1), le indagini geognostiche permettono di norma una ricostruzione delle condizioni geologiche sufficientemente aderente alla realtà.

In situazioni complesse e soprattutto in presenza di elevate coperture, tali indagini non consentono una ricostruzione reale del contesto geologico entro il quale si svilupperà la galleria. Per tale motivo diventa importante integrare le tradizionali indagini geognostiche con altri strumenti aventi la funzione di contenere il più possibile l'entità degli imprevisti geologici che altrimenti si incontrerebbero, con ogni probabilità, durante la realizzazione degli scavi.

Nell'ambito di questi strumenti, la tecnica di eseguire un "Foro Pilota" in asse alla futura galleria si dimostra, come detto precedentemente, una delle più efficaci. Essa permette infatti di acquisire direttamente quelle informazioni di carattere litostratigrafico, geostrutturale ed idrogeologico, normalmente di difficile reperimento, indispensabili per conoscere, in via preliminare e con elevata attendibilità, la risposta allo scavo delle formazioni rocciose da attraversare.

I dati ricavati dall'esecuzione del foro pilota consentono pertanto di abbattere, a livelli accettabili, l'alea di imprevisto geologico e quindi di operare scelte gestionali oculate già in fase progettuale.

Attraverso l'impiego del "Foro Pilota", infatti, si riduce drasticamente la probabilità di imbattersi, in sede di allargo, in situazioni geologiche non previste.

In particolare, confrontando la funzione di probabilità dell'imprevisto geologico nelle opere in sotterraneo realizzate in tradizionale con quella riferita ad opere eseguite con la tecnica del "Foro Pilota" (fig. n.4), si osserva, in primo luogo, come si annullino completamente le probabilità di rinvenire, durante le lavorazioni di allargo, imprevisti geologici di estrema importanza (quelli cioè previsti nel caso 4). Si osserva, inoltre, come le probabilità di imbattersi in imprevisti geologici di grande (caso 3) o media importanza (caso 2) si riducano rispettivamente al 5% e al 10%.

Emerge, quindi, che nella maggior parte dei casi (l'85%), l'impiego del foro pilota consente di eliminare gli imprevisti geologici o di ridurli ad elementi di scarsa importanza ai fini realizzativi (caso 1).

In definitiva, quindi, attraverso l'adozione di questa tecnica di prospezione geognostica che elimina o riduce drasticamente gli imprevisti geologici, la realizzazione di opere in sotterraneo può avvenire, nella maggioranza delle situazioni, in condizioni di imprevisto riferibili al caso 1.

Si arriva, pertanto, ad una progettazione dell'opera in sotterraneo di elevata qualità ove vengono indicate tecniche di scavo e metodologie di avanzamento del tutto adeguate alle reali condizioni geostrutturali degli ammassi rocciosi da intercettare.

In tal modo, le soluzioni progettuali proposte risulteranno adeguatamente modulate alle varie situazioni di volta in volta incontrate in fase realizzativa.

Non si avranno, quindi, né casi in cui gli scavi procederanno

senza i dovuti margini di sicurezza, né casi in cui il peso dell'intervento progettuale sarà eccessivo rispetto alle reali esigenze statiche (fig. n.5).

Questo fatto, oltre ad avere ripercussioni decisamente favorevoli sull'aspetto propriamente tecnico-operativo, influenza in modo determinante anche l'aspetto economico, in quanto la reale conoscenza delle condizioni geologiche che si incontreranno durante la realizzazione di una galleria consente di prevederne gli oneri già in fase progettuale con la dovuta rispondenza dei dati a preventivo con quelli a consuntivo.

Infatti, l'aderenza pressoché totale degli interventi proposti in fase progettuale con quelli effettivamente realizzati in fase di allargo, consente di affermare che questa tecnica è assolutamente in grado di controllare, e quindi di gestire, i costi e i tempi relativi ad un'opera in sotterraneo.

In base a ciò, volendosi ricollegare con quanto esposto nel capitolo 3, si può ricostruire l'andamento della "S-Curve" per le opere in sotterraneo realizzate attraverso la tecnica del "Foro Pilota".

Il confronto di questo nuovo diagramma con il corrispondente riferito agli scavi in tradizionale (fig. n. 6) mette subito in luce come, per gli scavi con "Foro Pilota", non compaia più il punto corrispondente al caso 4 e come per il caso 3 e per il caso 2 vi siano delle diminuzioni assai rilevanti dei valori in percentuale (rispettivamente dal 30% al 5% e dal 40% al 10%) con conseguente incremento estremamente elevato della percentuale relativa al caso 4 (dal 20% all'85%).

Infine, va segnalato che il prevedere con elevata attendibilità

le tipologie di intervento e le fasi realizzative dei lavori in fase di allargo comporta degli evidenti vantaggi anche per l'organizzazione tecnico-economica dei cantieri.

6. "CASE HISTORIES"

Fra i numerosi "case histories" a disposizione derivanti da esperienze maturate negli ultimi anni a seguito di realizzazioni di importanti opere in sotterraneo mediante l'utilizzo del "Foro Pilota", se ne vogliono in questa sede segnalare due particolarmente significativi.

6.1 Galleria Malborghetto (Linea Ferroviaria Pontebba-Tarvisio)

In fig.7 è rappresentato il confronto fra la geologia di previsione elaborata lungo l'asse della galleria prima dell'esecuzione del "Foro Pilota" e la geologia reale riscontrata a seguito dello scavo del preforo stesso.

Vi si possono notare differenze notevoli sicuramente non imputabili ad una modesta variazione planimetrica del tracciato), di cui due particolarmente rilevanti: la prima è imputabile al reperimento, da parte del "Foro Pilota", di una lunga tratta (progressiva 2700-4200) intensamente disturbata, composta dalla successione di scaglie tettoniche di formazioni geologiche di varia natura e consistenza.

La seconda differenza è invece originata dall'intercettazione, sempre da parte del "Foro Pilota", di una tratta particolarmente estesa (progressiva 4200-6900) appartenente alla formazione della "Breccia di Ugovizza", il cui rinvenimento, nella medesima tratta, non era per nulla preventivato.

Si sottolinea, quindi, come in entrambe queste circostanze il

"Foro Pilota" abbia messo in luce situazioni geostrutturali più gravose rispetto a quelle previste e precisamente: presenza di un'estesa fascia tettonizzata di una tratta in cui non erano previsti particolari accidenti tettonici e reperimento di una formazione geologica mediamente più scadente rispetto a quella preliminarmente preventivata.

6.2 Galleria S. Leopoldo (Linea Ferroviaria Pontebba-Tarvisio)

Il caso della "Galleria S. Leopoldo" rappresenta una situazione di estrema peculiarità, in cui l'esecuzione di un "Foro Pilota" ha addirittura portato ad un radicale cambiamento del tracciato previsto. Infatti, durante l'avanzamento, il "Foro Pilota" ha intercettato, nella sua parte centrale, materiale roccioso assolutamente scadente dal punto di vista geomeccanico appartenente alla formazione geologica del "Gruppo del Permo-Carbonifero Pontebbano". Il suo attraversamento con fresa (durato circa 1000 m) è risultato talmente problematico da indurre, a compiere, ad un certo punto, con la stessa fresa, una brusca deviazione verso valle, con la consapevolezza, derivante dalle conoscenze geologiche della regione, che di lì in avanti, si sarebbero incontrati, come poi puntualmente avvenuto, formazioni geologiche assolutamente più affidabili dal punto di vista geomeccanico.

In tal modo, lo scavo del "Foro Pilota" è risultato di grandissima utilità. Il cunicolo ha infatti in primo luogo fornito un fondamentale contributo conoscitivo, intercettando lungo il tracciato originario e per una tratta centrale estremamente prolungata, materiale roccioso assolutamente

scadente, della cui presenza, diversamente, si sarebbe venuti a conoscenza solo all'atto dello scavo della galleria, con conseguenze imprevedibili e gravose.

La variante attuata di conseguenza al tracciato ha invece ricollocato, alla quota di scavo della futura galleria, ammassi rocciosi assai più affidabili per la sicurezza delle maestranze e decisamente più convenienti in termini di oneri e tempi di realizzazione.

Tale evenienza è stata opportunamente confermata dall'esecuzione di una prospezione geofisica del tipo sismico a riflessione (fig. n.8), che testimonia un decisivo miglioramento di tipo geomeccanico passando dal precedente all'attuale tracciato, con presenza, in quest'ultimo, di materiale roccioso assai più compatto e resistente rispetto a quello reperito dalla fresa nella tratta corrispondente.

In tal modo si è dimostrata l'importanza rivestita dal "Foro Pilota" quale sede di prospezioni geognostiche atte a caratterizzare, con elevata attendibilità, l'intorno del cunicolo medesimo.

6. CONCLUSIONI

La gestione dell'imprevisto geologico costituisce una delle maggiori problematiche con cui la progettazione di opere in sotterraneo è chiamata inevitabilmente a confrontarsi.

La capacità, infatti, di includere l'imprevisto geologico fra le leve gestibili già in fase progettuale permette di salvaguardare la validità e l'efficacia di tale fase e di estenderne i contenuti, oltre che agli aspetti più propriamente tecnici, a

quelli altrettanto importanti di tipo gestionale ed economico.

In questo lavoro, pertanto, si è in primo luogo cercato, mediante il ricorso alla tecnica della classificazione, di descrivere il ruolo dell'imprevisto geologico nella realizzazione delle opere in sotterraneo, valutandone l'incidenza sui tempi e sui costi esecutivi delle opere stesse. In un secondo tempo, si è valutata la possibilità di introdurre in questo campo strumenti propri della "risk-analysis".

In quest'ottica, la tecnica del "preforo" appare come uno degli strumenti più importanti di gestione del rischio capace di fornire, allo stesso tempo, un nuovo significato alla fase progettuale.

In una logica di gestione integrata delle fasi del ciclo di vita di un progetto, alla fase progettuale compete infatti un ruolo di centralità nella definizione degli obiettivi e delle relative modalità operative, cui il progetto stesso deve tendere.

In sostanza, viene superata la concezione di una progettazione legata principalmente alla definizione del capitolato d'opera per le gare d'appalto e si propone, al contrario, un indirizzo di "progettazione gestionale" dove con questo termine si intende un insieme di attività fra loro correlate volte a delineare le linee da rispettare in fase realizzativa.

E' evidente che un'efficace progettazione gestionale nel campo delle opere in sotterraneo non può e non deve prescindere dalla considerazione di aspetti gestionalmente assai rilevanti, quali appunto gli imprevisti geologici e i costi ad essi connessi.

In definitiva, si può affermare che tecniche come quella del "Foro Pilota", si pongono come cardini basilari in una logica di

ELENCO FIGURE E TABELLE

- FIGURA N. 1 - Funzione di probabilità dell'imprevisto geologico
- FIGURA N. 2 - Incidenza degli imprevisti geologici sulla realizzazione di opere in sotterraneo
- FIGURA N. 3 - Variazione dei costi e dei tempi realizzativi delle opere in sotterraneo in funzione dell'imprevisto geologico
- FIGURA N. 4 - Confronto fra le funzioni di probabilità dell'imprevisto geologico fra scavi eseguiti in tradizionale e scavi eseguiti con "Foro Pilota".
- FIGURA N. 5 - Conseguenze dell'imprevisto geologico in uno scavo in tradizionale
- FIGURA N. 6 - Confronto fra le "S-curves" da scavo in tradizionale e da scavo con "Foro Pilota" in funzione della diversa incidenza dell'imprevisto geologico
- FIGURA N. 7 - Galleria "Malborghetto": raffronto fra il profilo geologico di previsione e quello reale da "Foro Pilota"
- FIGURA N. 8 - Galleria "S.Leopoldo": cambiamento del tracciato a seguito dell'esecuzione del "Foro Pilota"
- TABELLA N. 1 - Classificazione degli imprevisti geologici nelle opere in sotterraneo

FUNZIONE DI PROBABILITA' DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO

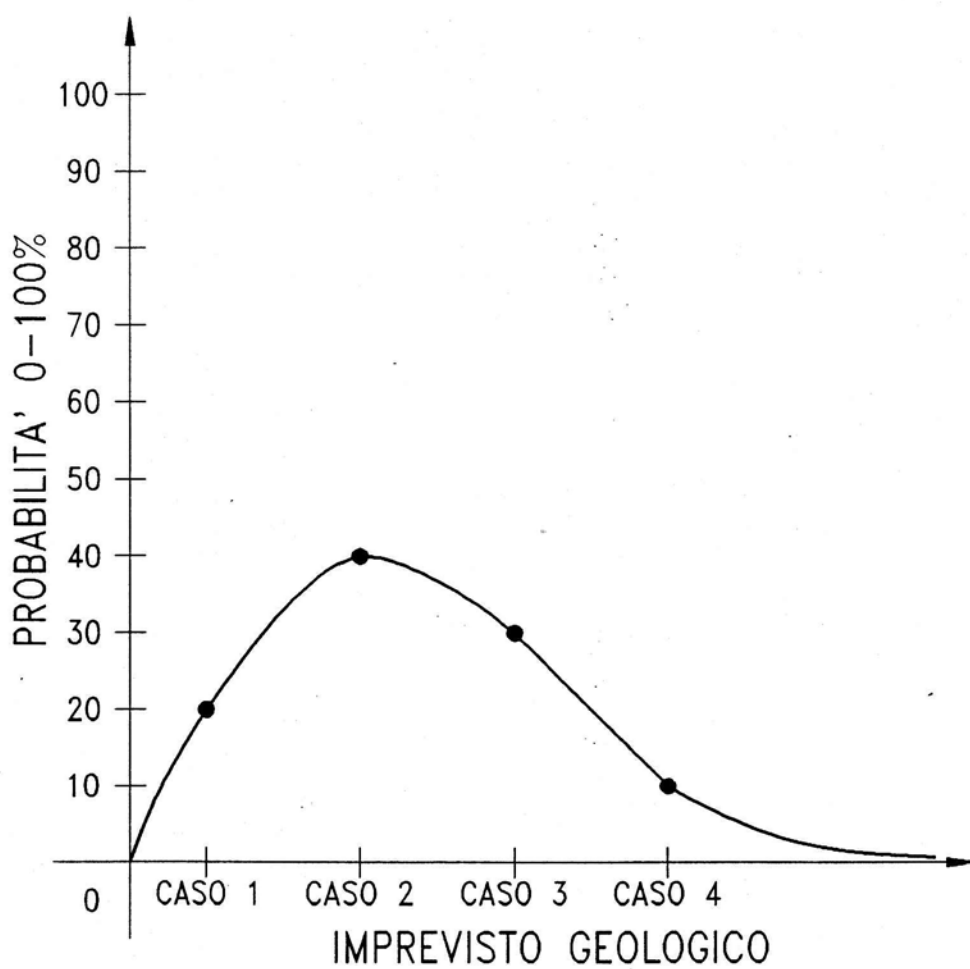


FIG.N°1

INCIDENZA DEGLI IMPREVISTI GEOLOGICI SULLA REALIZZAZIONE DI OPERE IN SOTTERRANEO

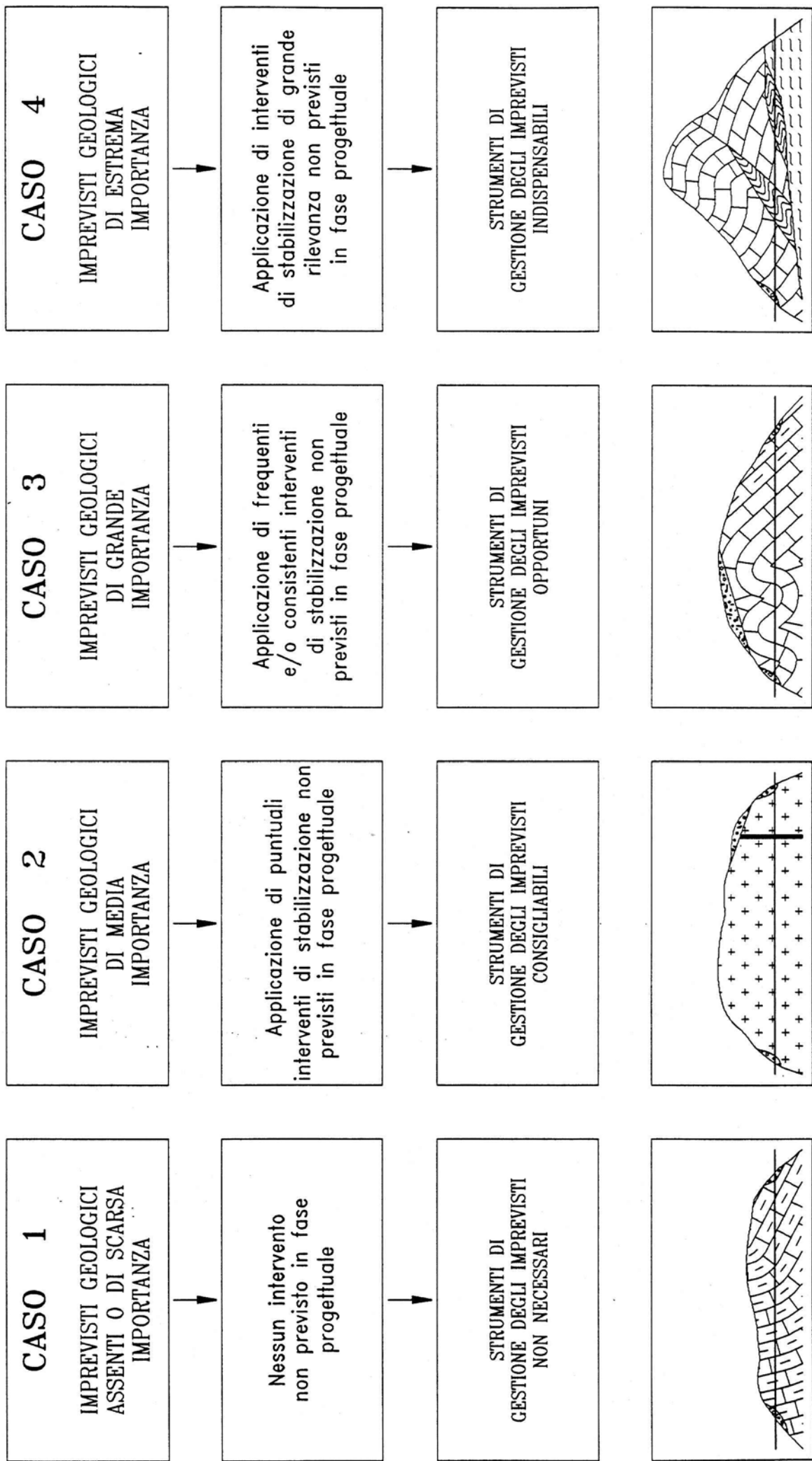
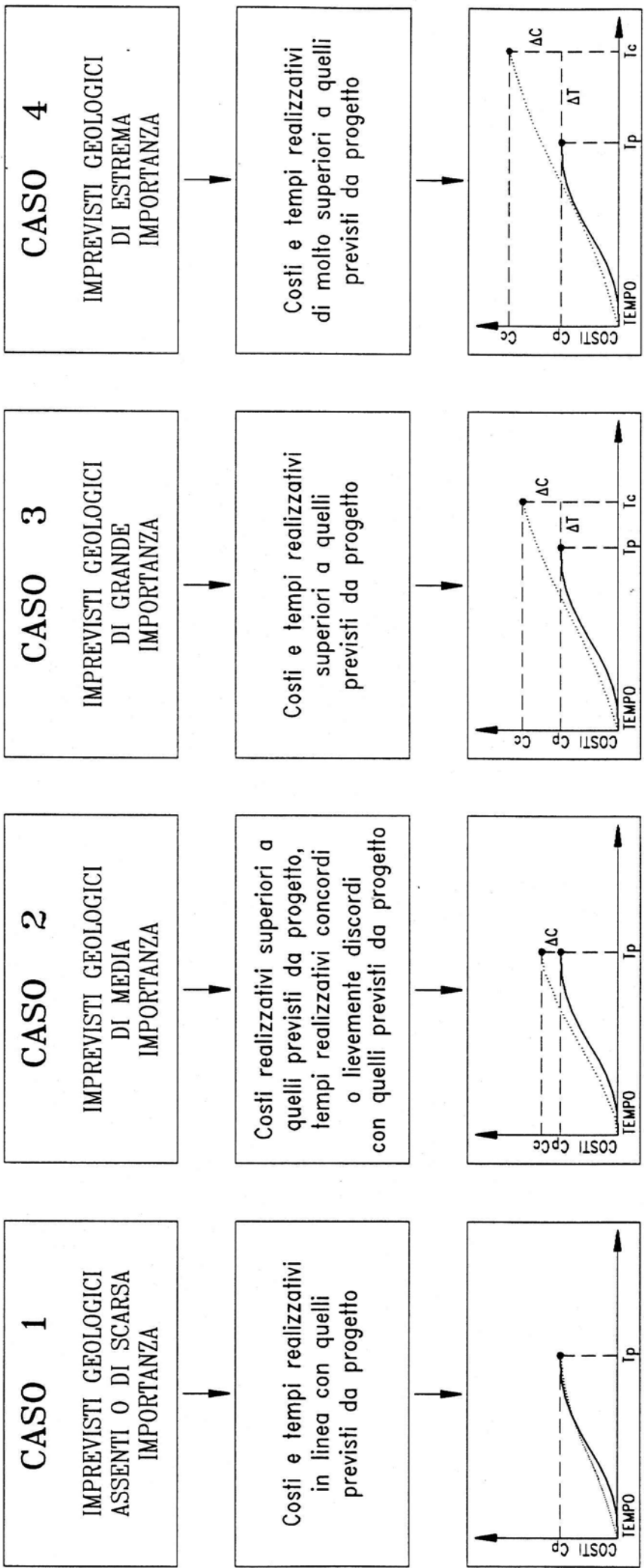


FIG. N°2

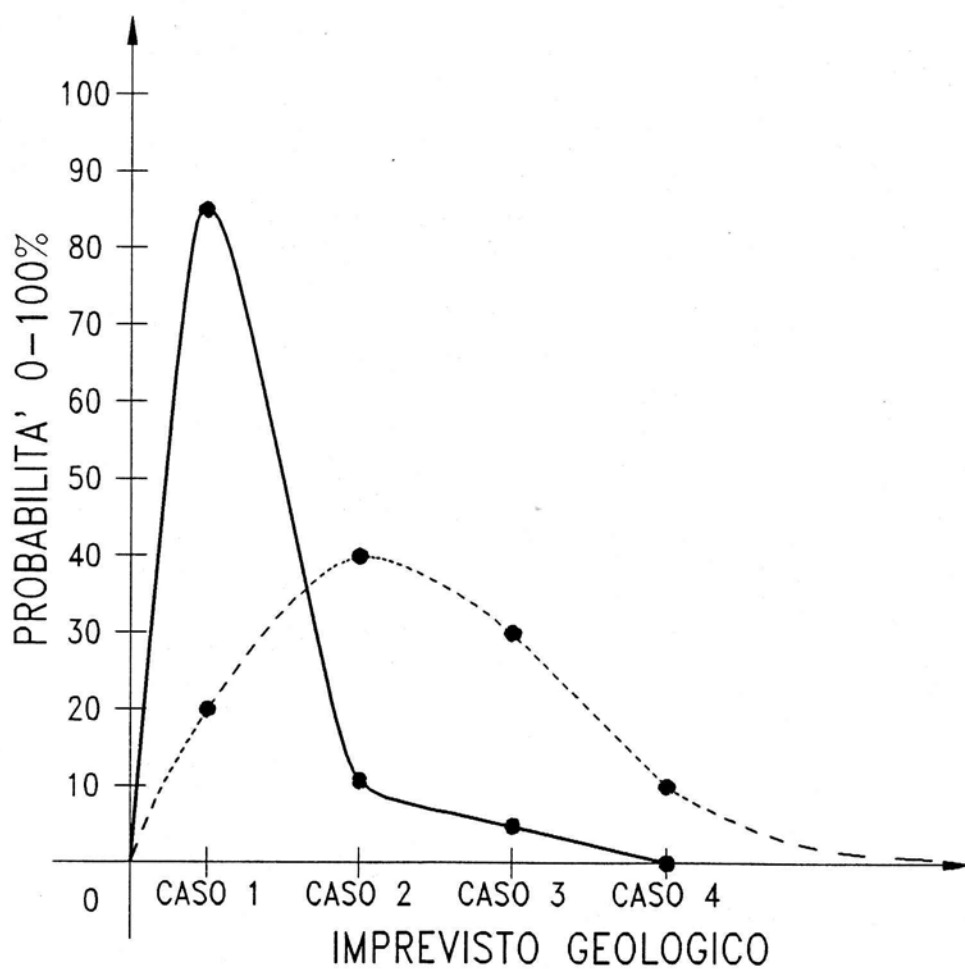
VARIAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI REALIZZATIVI DELLE OPERE IN SOTTERRANEO
IN FUNZIONE DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO



— = "S-curve" da progetto
 = "S-curve" a consuntivo
 C_p = costi previsti da progetto
 T_p = tempi previsti da progetto
 C_c = costi a consuntivo
 T_c = tempi a consuntivo
 ΔC = differenza fra i costi di progetto e i costi a consuntivo
 ΔT = differenza fra i tempi di progetto e i tempi a consuntivo

FIG. N°3

CONFRONTO FRA LE FUNZIONI DI PROBABILITA' DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO FRA SCAVI ESEGUITI IN TRADIZIONALE E SCAVI ESEGUITI CON FORO PILOTA



----- SENZA FORO PILOTA
—— CON FORO PILOTA

CONSEGUENZE DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO IN UNO SCAVO IN TRADIZIONALE

SOTTODIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE CORRENTE
(MANCATO CONSEGUIMENTO DELLE CONDIZIONI
DI SICUREZZA IN FASE DI REALIZZAZIONE DELL'OPERA)

SOVRADIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE CORRENTE
(ESUBERO DEGLI INTERVENTI DI CONFINAMENTO CON
INGIUSTIFICATO AUMENTO DEGLI ONERI E DEI TEMPI REALIZZATIVI)

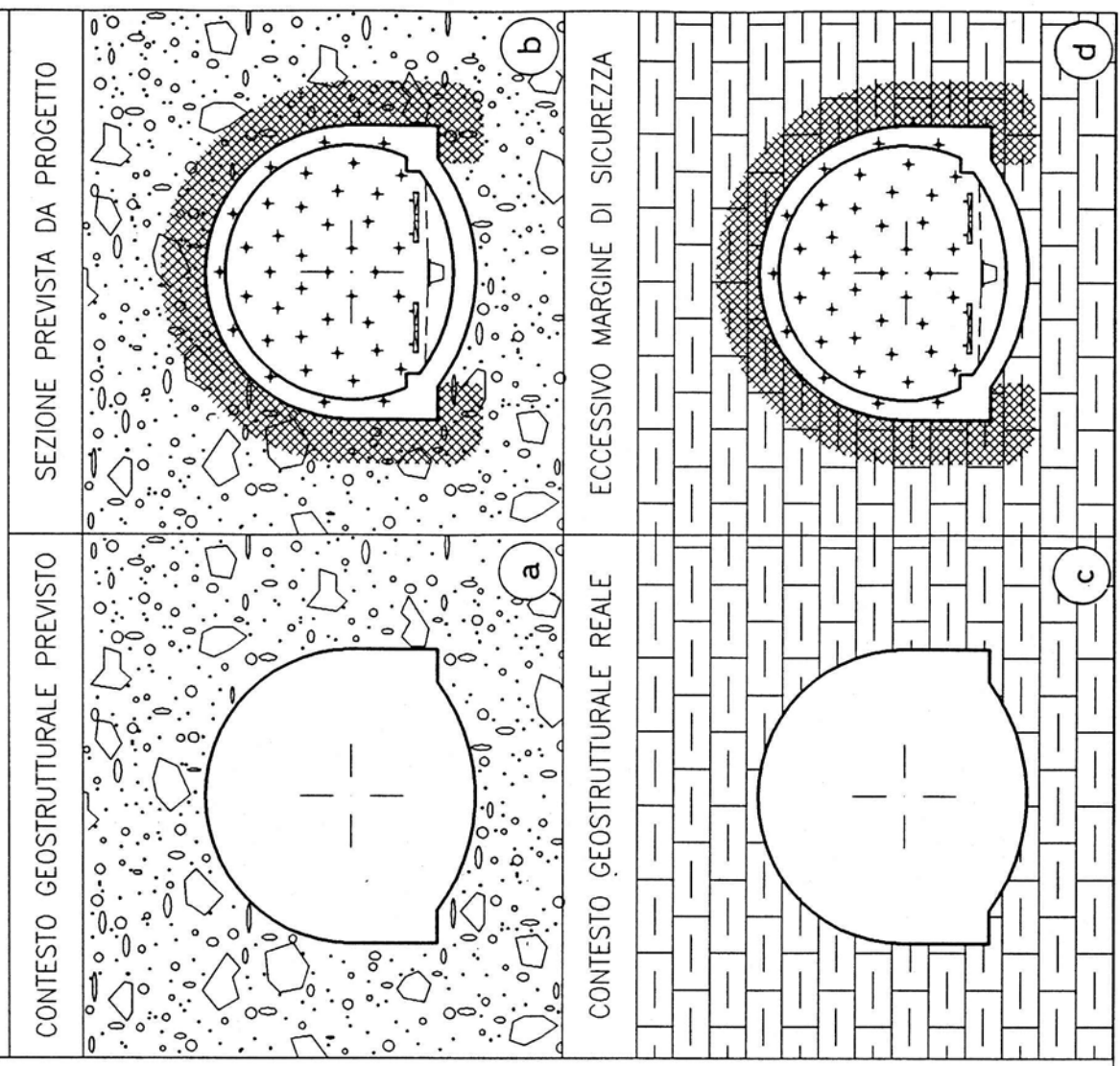
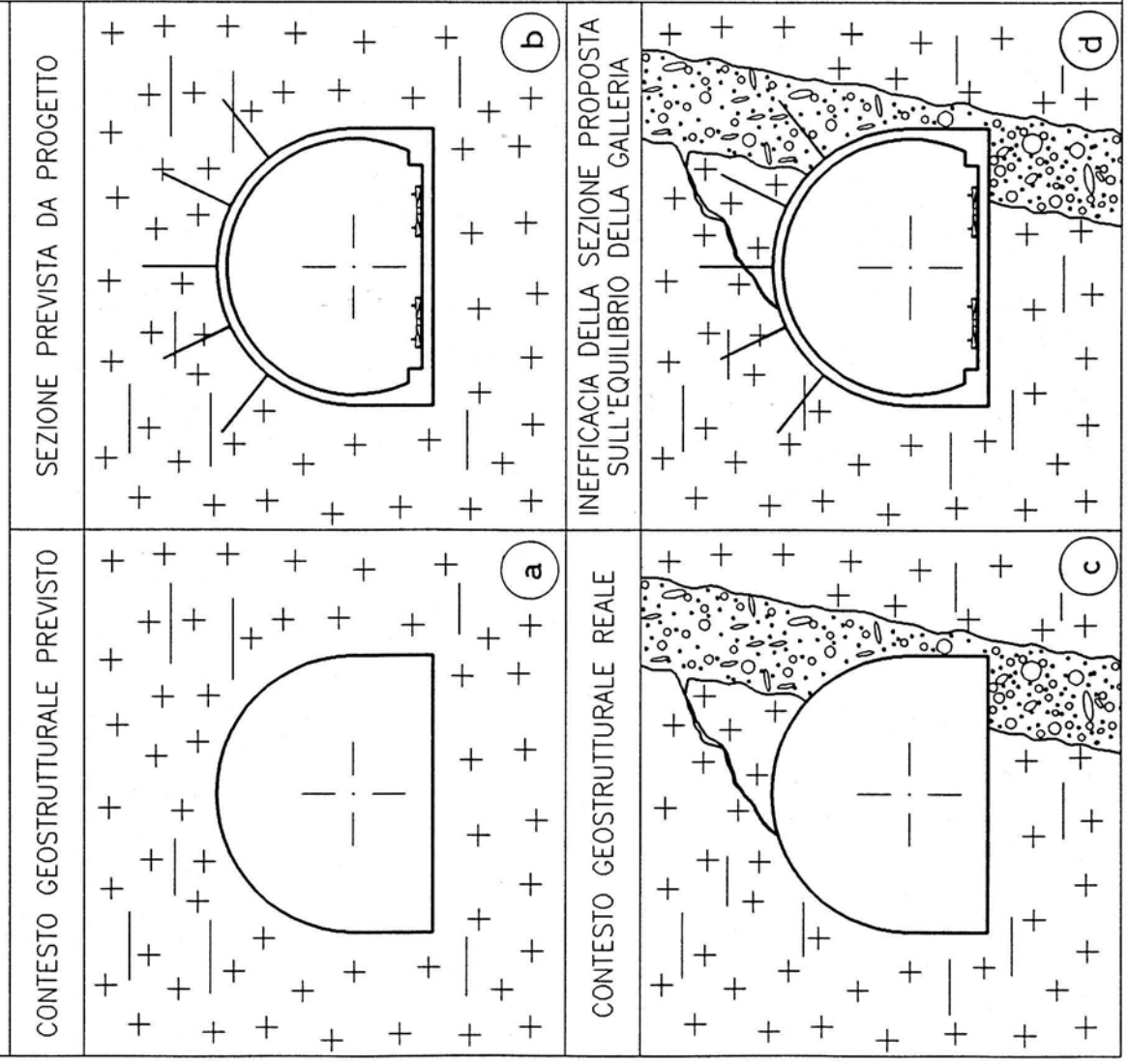
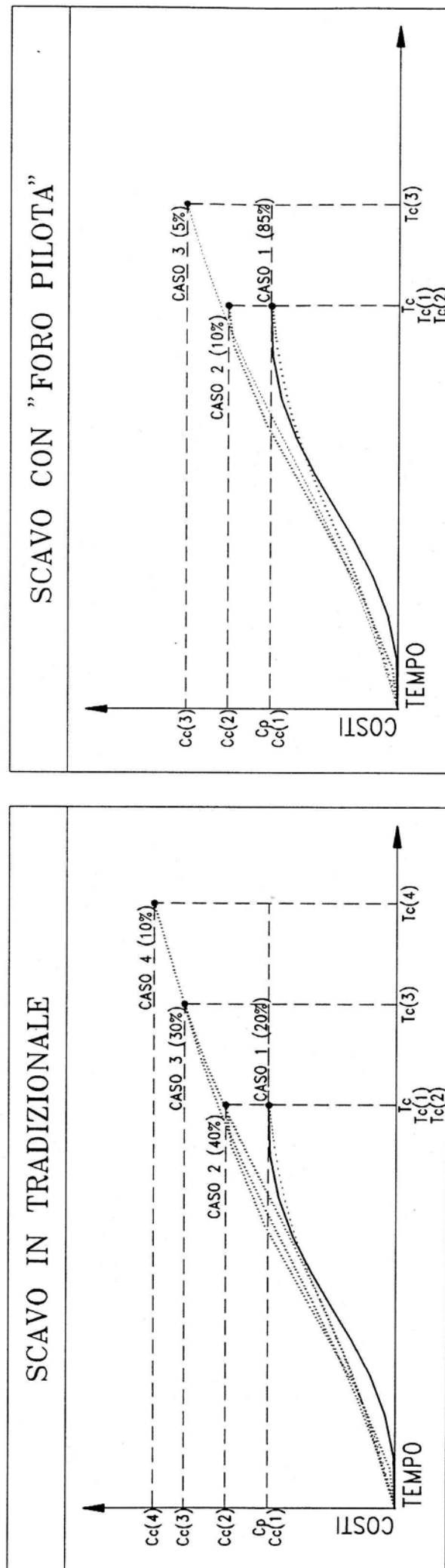


FIG N°5

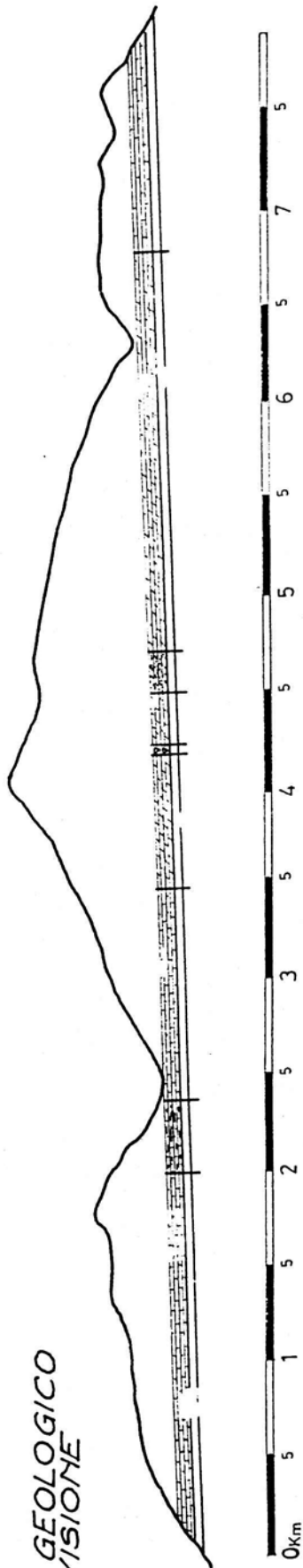
CONFRONTO FRA LE "S-CURVES" DA SCAVO IN TRADIZIONALE E DA SCAVO CON "FORO PILOTA"
 IN FUNZIONE DELLA DIVERSA INCIDENZA DELL'IMPREVISTO GEOLOGICO



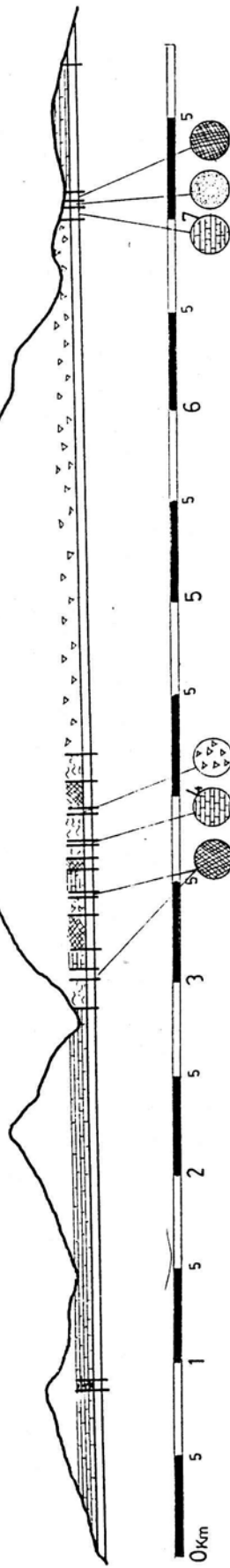
— "S-curve" da progetto
 "S-curve" a consuntivo
 C_p = costi previsti da progetto
 T_p = tempi previsti da progetto
 C_c = costi a consuntivo
 T_c = tempi a consuntivo

FIG. N°6

PROFILO GEOLOGICO
DI PREVISIONE



PROFILO GEOLOGICO
DA "FORO PILOTA"



DOLOMIA
DELLO SCHLERN

FORMAZIONE DI
BUCHENSTEIN

BRECCIA DI UGOVIZZA

CALCARE DI
LUSNIZZA

FORMAZIONE
DI WERFEN

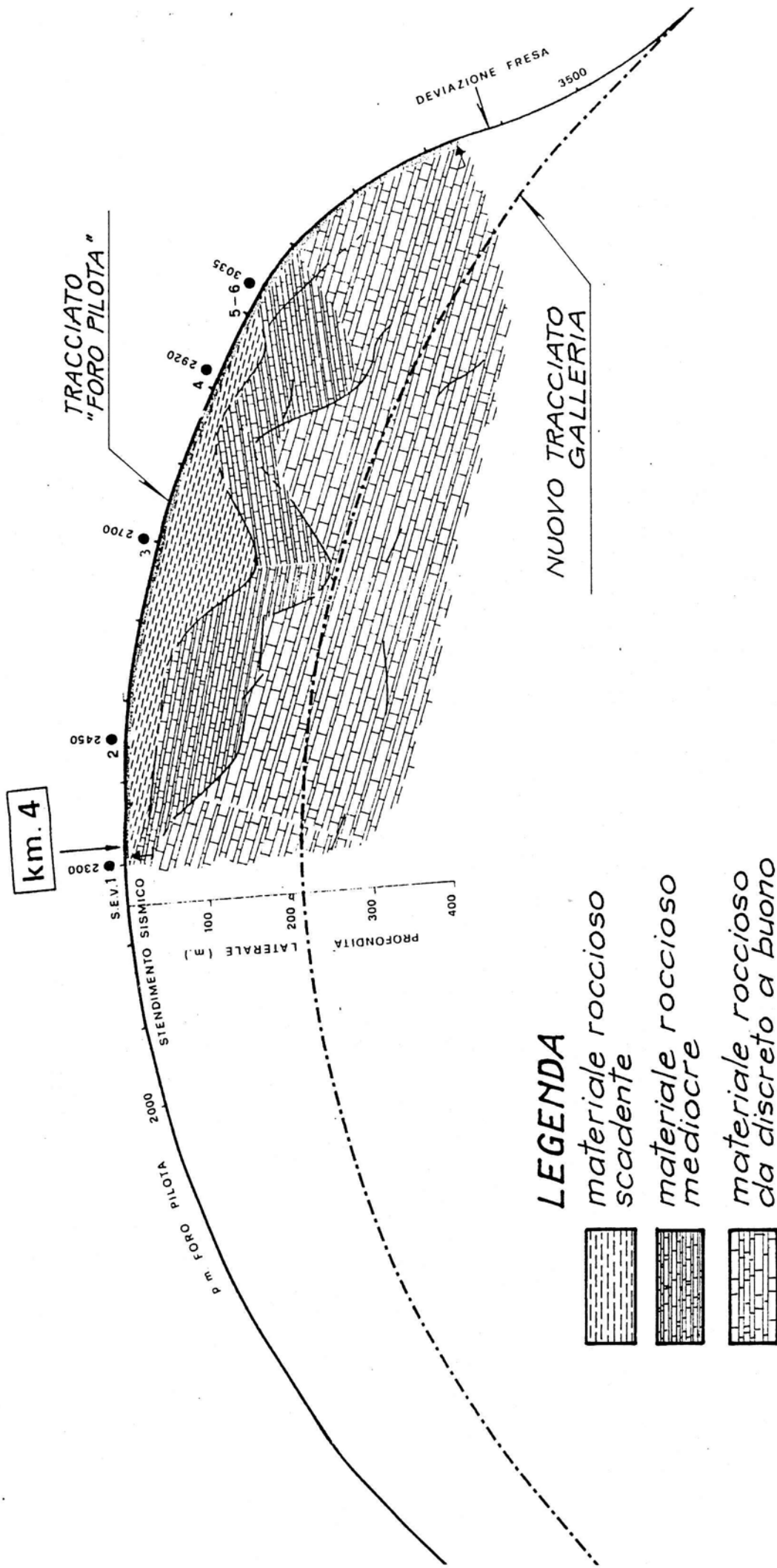
FORMAZIONE A
BELLEROPHON

ARENARIA DELLA
VAL GARDENA

GRUPPO DEL "PERMO-
CARBONIFERO PONTEBBANO"

ZONA TETTONIZZATA

GALLERIA MALBORGHETTO
RAFFRONTO FRA IL PROFILO GEOLOGICO DI
PREVISIONE E QUELLO REALE DA "FORO PILOTA"



GALLERIA S. LEOPOLDO
CAMBIAMENTO DEL TRACCIATO DELLA GALLERIA
A SEGUITO DELL'ESECUZIONE DEL "FORO PILOTA"