

ISMES

QUALITÀ DELLA PROGETTAZIONE

NELLE GRANDI OPERE DI INGEGNERIA CIVILE

PROGETTAZIONE DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

Dr Ing. Dr h.c. Giovanni Lombardi, Locarno-Minusio (Svizzera)

Bergamo, 6-7 ottobre 1994

INDICE

	pagina
1. INTRODUZIONE	3
2. ESIGENZE DI QUALITA'	5
3. OTTIMALIZZAZIONE DEL PROGETTO	6
4. RIDURRE LE INCERTEZZE	9
5. FLESSIBILITA' DELLA PROGETTAZIONE	11
6. MODELLO STRUTTURALE	12
7. ESECUZIONE DELL'OPERA	13
8. CONTROLLI	14
9. COSTO DELLA QUALITA'	15
10. CONSIDERAZIONI FINALI	15

1. INTRODUZIONE

Nei prossimi decenni, con la progressiva occupazione del suolo e con le attuali accresciute esigenze in materia di protezione dell'ambiente, il volume delle costruzioni sotterranee avrà tendenza ad aumentare, almeno nei nostri paesi, fatte salve ovviamente le abituali oscillazioni di natura congiunturale e le politiche raramente anticicliche dei governi.

Anche se il concetto di qualità viene spesso utilizzato in modo inadeguato, e talvolta con scopi non sempre chiari, non vi è più dubbio che uno sforzo sostenuto dovrà essere fatto nel senso di una miglior qualità di questo tipo di opere. Di fatto, non poche sono le opere sotterranee realizzate in questi ultimi decenni che non hanno pienamente soddisfatto, vuoi per il mancato rispetto dei preventivi di costo o dei programmi di costruzione, vuoi anche per un'inadeguata funzionalità o persino per difetti intrinseci. Il concetto di qualità, nella sua moderna accettazione, si applica ovviamente agli aspetti appena menzionati ed a altri ancora, e non solo, come a prima vista si potrebbe pensare, alle proprietà fisiche degli elementi costitutivi. Si tratta di intraprendere, anche in questo campo, una fase di sviluppo paragonabile a quella che ha permesso negli ultimi decenni di ridurre significativamente i pericoli fisici connessi al lavoro in sotterraneo, ma che porterà su più numerosi e svariati aspetti della progettazione, della realizzazione, ma anche dell'esercizio di queste opere.

Le opere sotterranee assumono nell'ambito del genio civile una posizione particolare, in quanto sono quelle che offrono il contatto più esteso e più intenso con l'ambiente sotterraneo. Devono trovarsi in equilibrio duraturo, tanto con il terreno, quanto con l'acqua, con tutte le particolarità che l'uno e l'altro elemento possono presentare.

Orbene, è pacifico che da questa particolarità risultano grandi incertezze, tali da rendere spesso difficile l'operato del progettista e del costruttore.

Se è vero che, a differenza dei prodotti industriali, ogni opera del genio civile è un prototipo, è anche vero che per certune di esse si può riscontrare qualche ripetitività, come ad esempio, nelle strutture per edifici o nei ponti di tipo corrente. Non così nelle opere sotterranee di cui

ognuna si può dire singolare, vuoi per conformazione, vuoi per la natura del terreno, vuoi per la sua funzione, vuoi per i metodi di costruzioni utilizzate, vuoi ancora per altre ragioni. Solo in casi eccezionali due opere possono essere considerate identiche; perfino i due fornicelli dello stesso traforo, possono presentare significative differenze.

Tuttavia, siccome i singoli tratti di una data galleria devono essere eseguiti, per forza di cose, in forma sequenziale, si riscontrano nondimeno elementi di una certa "ripetitività interna" la quale può dar luogo a processi iterativi di miglioramenti del "prodotto" finale.

Occorre sin d'ora rammentare che le opere sotterranee, destinate a soddisfare scopi estremamente diversi, sono assai differenti le une dalle altre già per loro conformazione o configurazione. Nella **tavola 1** si indicano sommariamente i tipi di opere sotterranee - che vanno dal cunicolo di minima sezione, a grandissime caverne - oltre al loro scopo.

L'ambiente nel senso lato, e cioè non solo l'insieme delle condizioni geologiche riscontrate, è essenzialmente differente da un caso all'altro e assai spesso alquanto incerto.

I processi destinati a garantire la qualità dell'opera, introdotti recentemente, non apportano, nessuna rivoluzione fondamentale, ma cercano semplicemente di formalizzare i concetti e le procedure sinora utilizzati allo scopo di evitare, nella misura del possibile, disguidi e rischi inutili. Forse potrebbero essere qualificati di ricerca di un più sostenuto e incisivo impegno e della massima serietà possibile nella progettazione, esecuzione e poi manutenzione ed esercizio dell'opera.

Non va tuttavia ignorato il rischio di una certa burocratizzazione dell'atto del progettare e del costruire che già si sta profilando all'orizzonte a seguito dell'introduzione di queste procedure.

2. ESIGENZE DI QUALITA'

Occorre definire in primo luogo quali siano le esigenze di qualità che il cliente, spesso l'ente pubblico e anche l'opinione pubblica, formulano o possono formulare in merito ad un'opera sotterranea.

E' evidente che queste esigenze vanno dettagliatamente specificate e concordate di volta in volta con la committenza. Alcune sono evidenti ancorché difficilmente quantificabili, salvo arbitraria definizione. Altre possono essere multiple come l'accettazione dell'opera da parte degli interessati in quanto ciò può riferirsi p.es. al disturbo causato dalla costruzione oppure dall'opera stessa, agli aspetti estetici, oppure a opinioni più o meno fondate sull'impatto ambientale.

In sostanza si tratta di soddisfare il meglio possibile e di mediare le esigenze del cliente, e quelle dei futuri utenti o dei vicini, nonché di tener conto di esigenze ambientali la cui definizione è attualmente purtroppo assai difficile, in quanto solo a volte riconducibile ad una razionale argomentazione. Mentre per alcune delle esigenze si potrà a posteriori verificare, in che misura saranno state soddisfatte, - così i termini di esecuzione, i consumi energetici, per esempio per la ventilazione di una galleria stradale, i costi di costruzione o di esercizio - per altre esigenze invece - come la limitazione dei rischi o l'accettazione dell'opera da parte degli interessati - il criterio non potrà essere che puramente qualitativo.

Non va poi dimenticato che solo in casi particolari, come per una galleria sottopressione di un impianto idroelettrico, si può procedere a prove di carico significative e inoltre che una funzionalità non soddisfacente dell'opera potrà, se del caso, essere corretta solo con interventi estremamente pesanti o eventualmente non del tutto. I rischi connessi con l'opera possono infine essere assai importanti. Queste circostanze limitano alquanto il "diritto all'errore" da parte del progettista dell'opera.

Nella **Tavola 2** si elencano le principali esigenze alle quali normalmente sottostanno le opere sotterranee.

3. OTTIMALIZZAZIONE DEL PROGETTO

La prima fase della realizzazione di un'opera è ovviamente la definizione del progetto. Le esigenze di qualità menzionate poc'anzi sono spesso contraddittorie tra di loro. Ad esempio, la minimizzazione dei costi di costruzione è di regola in contrasto diretto con quasi tutte le altre esigenze di qualità.

La segnalata conflittualità impone al progettista una ottimalizzazione del progetto. Inutile aggiungere che si tratta di una ricerca di un ottimo in condizioni ai limiti piuttosto vaghe. Nella **figura 1** sono indicati alcuni fattori che al momento della progettazione rimangono di regola ancora assai nebulosi. C'è qui certamente grande spazio per concetti come la "fuzzy logic" inglese o il "flue artistique" francese. Non v'è dubbio che la ricerca di un ottimo nell'ambito di una nebulosa di questo tipo sia suscettibile di portare a conclusioni alquanto variate. Questa incerta certezza si ritrova pure nelle normative. Anche se l'esempio è completamente estraneo al nostro proposito, non posso esimermi dal mostrare l'evoluzione della norma svizzera sul carico di neve in tre quarti di secolo (**figura 2**).

Occorre dunque lasciare ogni speranza di fronte a tutte le incertezze che prevalgono? No certamente! Bisogna scindere i problemi e cercare perlomeno di procedere ad alcune ottimalizzazioni parziali tentando di raggiungere un certo ottimo almeno settoriale. E' risaputo, che una serie di ottimalizzazioni settoriali non garantisce ancora l'ottimalizzazione dell'intero sistema, ma ne è comunque una premessa indispensabile. Rimane ovviamente aperta la questione fondamentale della "ponderazione" delle varie esigenze.

Mi limiterò a menzionare solo pochi sottosistemi, citando alcuni esempi.

Se si intende con "opera sotterranea" il complesso dell'oggetto e non solamente l'aspetto genio civile, ovvero la realizzazione del cavo e del suo sostegno oltre ad alcune strutture interne, allora sorge immediatamente un conflitto tra la parte civile e la parte elettromeccanica del progetto: ad esempio gli impianti di ventilazione di una galleria stradale. L'esperienza insegna che, al non poner freno agli "elettromeccanici", i volumi accessori di scavo richiesti oltre ad essere molto importanti rappresentano complicatissime forme in aggiunta al cavo

principale sia esso galleria o caverna. Mentre per gallerie idrauliche queste opere addizionali sono limitate di regola ad una o a poche camere di valvole, quando si tratta di gallerie stradali o ferroviarie di una certa importanza, di caverne per lo svolgimento di attività industriali o anche per il trattamento delle acque, o di laboratori di ricerca, le protuberanze inserite sul cavo principale hanno tendenza a proliferare e a svilupparsi in modo disordinato. Non vi è dubbio che v'è luogo di procedere a una prima fase di ottimalizzazione la quale potrebbe per esempio condurre all'aumento delle dimensioni del cavo principale a condizione di rinunciare a detti volumi addizionali. La **figura 3** mostra il diagramma di flusso di una tale ottimalizzazione.

E' fuori dubbio che un tale processo sarà largamente condizionato dal fatto a sapere se il cavo principale ha da essere eseguito con una fresa meccanica o invece con metodi più tradizionali.

Un ulteriore esempio di ottimalizzazione è quello che consiste a minimizzare i costi di esercizio totale, mettendo a confronto i costi del capitale investito con quelli dell'energia consumata. La **figura 4** si riferisce alla galleria stradale del San Gottardo, in servizio ormai da 14 anni e che era stata oggetto a suo tempo di una intensa ricerca di ottimalizzazione. Il calcolo allestito in termine di ottimalizzazione per ogni elemento costitutivo del sistema di ventilazione ha portato a scegliere certe sezioni per i condotti e dunque certe velocità dell'aria di ventilazione.

Dopo oltre 25 anni dalla progettazione, è interessante segnalare come siano variate le condizioni ai limiti assunte a quel momento.

Il traffico è passato dai 2 mio. di veicoli all'anno ammessi a quell'epoca a ca. 6 mio. all'anno. In compenso però le emissioni di gas di scarico nocivi e in particolare di monossido di carbonio, che era determinante per la ventilazione, sono state radicalmente ridotte, grazie ai notevoli progressi realizzati sui motori a combustione e al diffondersi dell'uso di catalizzatori. A causa dell'inflazione generale, i costi di costruzione hanno superato il preventivo, ma anche i costi dell'energia hanno subito un aumento ancorché più modesto. La felice combinazione di tutte queste variazioni fa sì che ancora oggi le condizioni di funzionamento della galleria siano perfettamente soddisfacenti. Nondimeno, se ne deduce quanto delicate possano essere le operazioni di ottimalizzazione economica, tenendo presente

la lunga durata d'uso delle opere che a noi qui interessano e delle importanti e difficilmente prevedibili variazioni dell'ambiente economico.

Per inciso può essere interessante segnalare che gli studi di ottimalizzazione hanno condotto a scegliere per la galleria stradale del San Gottardo profili differenti tra il lotto Sud e il lotto Nord (**figura 5**) e ciò a dipendenza della differente lunghezza delle sezioni da ventilare che a loro volta erano state determinate dall'ubicazione dei pozzi di ventilazione.

La scelta del tracciato può avere, e ha spesso, un'importanza determinante sul costo dell'opera. Si tratta di ricercare le zone le più favorevoli alla realizzazione dell'opera, nell'ambito ovviamente dei limiti fissati da altri criteri. Il tracciato complesso e forse anche un pò tortuoso della galleria stradale di Neuchâtel e del suo pozzo di ventilazione è un esempio tipico di questa ricerca che è risultata estremamente provvida tanto per i costi di costruzione, che per i termini di esecuzione e soprattutto per il rapidissimo impatto ambientale causato. Si ha voluto eliminare il rischio di provocare assestamenti dovuti al drenaggio del massiccio roccioso e perciò si è evitato di toccare l'acquifero sottostante ad uno strato relativamente impermeabile.

Le **figure 6 e 7** si riferiscono a questi tracciati. In termini di "assicurazione garanzia" si potrebbe parlare della scelta del "fornitore del terreno" in grado di offrire le condizioni le più favorevoli.

Il processo di ottimalizzazione assume in conclusione numerosissime forme e deve tener conto di diverse limitazioni. Nell'essenza consiste a evitare errori grossolani nella progettazione nell'intento di ridurre i rischi. Penso che l'arte dell'ingegnere consista più a evitare situazioni difficili e pericolose che non a risolverle con molto brio e grande dispendio di mezzi. Non per ultimo, è ovvio che in questa ricerca dell'ottimalizzazione l'intuizione dell'ingegnere è spesso suscettibile di migliori risultati, che nemmeno l'allestimento di complicatissime ricerche operazionali basate su troppo complessi modelli matematici.

4. RIDURRE LE INCERTEZZE

E' già stato messo in evidenza il fatto che le opere sotterranee presentano particolari incertezze dato il loro esteso contatto con il massiccio roccioso, mentre altre opere di genio civile hanno un contatto assai meno esteso con il terreno e le loro fondazioni si trovano inoltre, per definizione, a modesta profondità ovvero favorite da una più facile indagine geognostica. Gran parte delle incognite e delle relative incertezze nel caso di opere sotterranee si riconducono a questo fatto; la difficoltà delle indagini geognostiche.

E' comunque compito precipuo dell'ingegnere cercare di ridurre queste incognite chiarendo il più possibile i punti oscuri. I metodi a disposizione son ben noti e certo non li andrò elencando. Un limite a queste indagini è dato, almeno per le opere più importanti, da notevoli difficoltà fisiche. Si pensi alle gallerie alpine di base a grandi profondità o alla galleria in fase di considerazione sotto lo stretto di Gibilterra, laddove le correnti marine impediscono la realizzazione di adeguati sondaggi. Un'altra limitazione è purtroppo dovuta all'avversione di molti committenti a procedere a pre-investimenti, a volte anche notevoli, prima che una decisione finale in merito alla costruzione dell'opera sia stata presa, anche se, a conti fatti, queste indagini costituiscano molte volte l'investimento suscettibile di produrre il reddito più elevato.

Purtroppo l'ingegnere è spesso posto nella condizione di dover progettare opere sotterranee disponendo unicamente di un rapporto o di un semplice studio geologico, spesso solo descrittivo e non confortato da adeguate indagini geognostiche. A volte le proprietà fisiche e chimiche dei terreni non vengono nemmeno menzionate.

Quando indagini geognostiche esistono, esse sono spesso state svolte facendo astrazione dell'intenzione progettuale o sono impostate su di una visione del progetto che non è quella finale o ottimale. Inoltre i parametri geomeccanici messi in evidenza da indagini di questa natura non sono sempre i più utili al progettista, ma sono spesso quelli che più facilmente si sono potuti ottenere.

La **figura 8** indica come l'importanza dei singoli parametri geognostici può variare a seconda dell'opera esaminata. Non sempre le indagini geognostiche si rifanno a questi concetti.

Ne consegue, a parer mio, la necessità che le indagini geognostiche siano condotte in uno con lo sviluppo del progetto e non a priori sulla base di una visione spesso solo teorica e generica del problema.

L'importanza che possono assumere queste indagini (geologiche e geotecniche) preliminari risulta evidente dalla galleria di sondaggio, tuttora in costruzione a Polmengo in Ticino, in vista di chiarire un problema geologico suscettibile di grande influsso sulla progettazione della galleria ferroviaria di base del San Gottardo di 57 km di lunghezza (**figura 9**).

La presenza o meno di una sacca di dolomia saccaroide sotto un carico di quasi 2000 m di roccia ed una colonna d'acqua di almeno 1000 m, potrebbe influenzare in modo significativo i costi dell'intera opera, ma specialmente rallentarne la costruzione a causa della necessità di trattamento del terreno che si imporrebbe onde renderne fattibile l'attraversamento.

Come risulta dalla **figura 10** una galleria di 5.5 km, di cui quasi la metà è attualmente scavata, porterà alla presumibile zona di questa sacca. Dalle estremità della galleria una campagna di indagini per il tramite di perforazioni lunghe permetterebbe di esplorare le condizioni geologiche a quella quota. Qualora l'importanza della sacca dovesse risultare notevole, si procederebbe allo scavo di un pozzo di ca. 300 m per raggiungere la quota della futura galleria ferroviaria. Di nuovo perforazioni lunghe con eventuali cunicoli di approccio permetterebbero di definire la situazione geologica a questa quota. Se del caso un trattamento della zona potrebbe essere intrapreso a tempo evitando ritardi all'avanzamento principale che la raggiungerebbe dopo ca. 15 km dal portale Sud.

Si tratta, a parer mio, di un encomiabile esempio di lungimiranza da parte della committenza in quanto il costo preventivato dell'indagine rappresenta da solo ben ca. l'1.5% del costo totale dell'opera. Né va dimenticato che lungo il percorso della galleria vengono svolte altre indagini geognostiche che hanno pure il loro costo.

La galleria ferroviaria di base del San Gottardo rappresenta un caso estremo all'opposto della galleria di Neuchâtel dove, data la poca profondità, numerosi sondaggi hanno potuto essere

realizzati mettendo in evidenza le condizioni geologiche e geomeccaniche con ogni desiderato dettaglio. La galleria del San Gottardo, anche se per lunghezza paragonabile, è pure un caso completamente differente della galleria ferroviaria sotto la Manica appena messa in servizio e ciò per vari aspetti, oltre a quello della fattibilità di sondaggi di ricognizione.

5. FLESSIBILITA' DELLA PROGETTAZIONE

Un mezzo per affrontare le incertezze di natura geologica e geomeccanica consiste tendenzialmente nel prevedere un certo numero di scenari ad essere utilizzati a seconda delle condizioni realmente incontrate.

Tradizionalmente viene allestita una serie di profili tipo che si basano su intensità crescenti della forza di sostegno richiesta (**figura 11**). Lo scopo di questi profili tipo è infatti quello di disporre di soluzioni pre-studiate con l'intento di ridurre le necessità di improvvisazione. Purtroppo, queste serie di profili risultano spesso da un'applicazione schematica di certe normative e non tengono sufficientemente conto del probabile campo di variazione delle caratteristiche geomeccaniche delle zone da attraversare. Sarebbe opportuno inoltre di non limitarsi a indicare semplicemente profili tipo, ma di meglio precisare le condizioni del passaggio dall'uno all'altro. V'è in questo campo credo un notevole potenziale di miglioramento.

Non possono invece essere accettate, a parer mio, le tesi propagate da alcuni secondo le quali "il costo finale dell'opera risulterebbe comunque identico, che particolari misure di sostegno siano state previste già dall'inizio o che invece vengano decise solo al momento di incontrare le difficoltà".

Neppure si può condividere l'altra tesi, che potremmo dire di "ingegneria sperimentale", la quale propugna la costruzione di un sostegno assolutamente minimo e la successiva riparazione di quei tratti dove quel sostegno non avrebbe retto alle spinte. Questa tesi parte

dall'ipotesi che le forze di sostegno richieste sarebbero sempre valutate in misura eccessiva e poco economica.

Come si vede, di fronte all'incertezza di natura geologica e geomeccanica vengono sostenute filosofie di intervento diverse; tra queste il progettista dovrà fare una scelta chiara.

6. MODELLO STRUTTURALE

La definizione del sostegno richiesto da una cavità sotterranea premette tra l'altro la disponibilità di un "modello strutturale" adeguato, che ponga in relazione le diverse variabili che intervengono nel problema. C'è stata in questo campo negli ultimi decenni una rapidissima evoluzione che certamente non è ancora arrivata a termine. Sorprendono pertanto le intenzioni espresse in altra sede, nell'ambito di un certo criterio di assicurazione qualità, di voler codificare i metodi di calcolo e i modelli matematici che il progettista sarebbe tenuto ad utilizzare per l'allestimento del suo progetto.

Si tratta a parer mio di un intento sbagliato di tipo dirigistico, simile nella sua concezione essenziale alle disposizioni corporativistiche medioevali che, per tanto tempo, hanno bloccato il progresso tecnico. Ritengo, da parte mia, che la qualità del progetto vada giudicata sui risultati non sui mezzi messi in opera, per i quali deve rispondere l'ingegnere progettista. Onde ottenere il risultato ottimale deve rimanere compito e responsabilità dell'ingegnere di prendere le misure volute e di scegliere i metodi di calcolo meglio confacenti allo scopo perseguito.

E' purtroppo vero - e l'esperienza lo dimostra di frequente - che i metodi di calcolo e i corrispondenti programmi di elaborazione elettronica vengono utilizzati in modo tutt'altro che ottimale, tale da far sorgere preoccupazione non solo per le opere, ma persino per il futuro della professione. L'utente dei programmi di calcolo ignora spesso le condizioni nelle quali

sono stati allestiti e ne misconosce i limiti. Egli arriva talvolta a bellissime soluzioni che poco però hanno a che vedere con il problema da risolvere.

Si dimentica spesso che il passo fondamentale per risolvere un problema consiste nell'averne una conoscenza sufficiente, ovvero di disporre delle informazioni necessarie e precise sui dati di partenza. In caso di incertezza ci vuole l'onestà intellettuale di riconoscerlo e l'abilità professionale di procedere ad una serie di calcoli parametrizzati in funzione del possibile campo di variazione di detti dati.

Non va inoltre dimenticata la possibilità che, a seconda del problema da risolvere, si debba far ricorso a metodi di calcolo differenti. Occorre poi ricordarsi che il problema da risolvere dall'ingegnere è un problema di fisica e che la matematica al riguardo è solo un ausilio al quale si deve fare ricorso.

In questa situazione dovrebbe essere ovvio quanto importante sarà convalidare successivamente i valori di base assunti e i metodi di calcolo utilizzati procedendo a misure in situ durante l'esecuzione dell'opera.

Una simile procedura iterativa che sfocia in uno sviluppo e un progresso della tecnica, non è purtroppo esplicitamente presa in considerazione dalle usuali normative sul controllo della qualità.

7. ESECUZIONE DELL'OPERA

Non è compito di questo simposio trattare della qualità dell'opera, ma solo della corrispondente attività di progettazione. Nondimeno occorre segnalare quanto sia importante per la progettazione la retroazione ricavata dall'esecuzione dell'opera e ciò a due livelli:

- per l'opera stessa, e
- per opere future, ovvero quale contributo allo sviluppo delle tecniche e dei metodi di progettazione.

Per l'opera stessa è già stata segnalata la possibilità di una certa ripetitività interna dovuta al fatto che l'esecuzione avviene, per forza di cose, quale progressivo avanzamento; ciò è certamente ovvio ad ognuno di noi. Altrettanto ovvi sono i concetti legati al progresso della tecnica. Per queste due ragioni va combattuta la tendenza di separare completamente i mandati di seguimiento dell'opera da quelli di progettazione. Facendo così si arrischia che quest'ultima attività si inaridisca in un astratto formalismo che progressivamente perde il contatto con la realtà del cantiere e con il progresso delle tecniche costruttive. Purtroppo già in certi casi questo deleterio sviluppo può essere costatato.

Nella **figura 12** è segnata in forma assai schematica una possibile suddivisione delle tappe di realizzazione dell'opera e nella **figura 13** - più realisticamente - il complesso delle possibili retroazioni. Non v'è necessità di ulteriore descrizione.

8. CONTROLLI

Un punto ancora merita invece commento, è quello dei controlli necessari a garantire la buona qualità della progettazione, ossia in definitiva dell'opera. Conviene credo modificare assai l'attuale sistema che si esaurisce assai spesso in un formalismo superficiale. Di fatto si controlla ciò che è facile da controllare, piuttosto che quanto sarebbe importante controllare. Il controllo fondamentale consisterebbe, a mio avviso, nel verificare che la progettazione sviluppata porta realmente a un'opera di miglior qualità che non qualsiasi altra forma di progettazione, lasciandone, invero, la totale responsabilità al progettista.

Per quanto concerne il dettaglio del controllo, occorre procedere a semplificazioni, abbandonare una certa forma di burocrazia tecnica formale e concentrare i controlli sui punti che hanno un'importanza, direi strategica, per garantire la qualità dell'opera.

9. COSTO DELLA QUALITA'

Non ritengo necessario ripetere qui le argomentazione spesso esposte che giustificano la "garanzia di qualità" con le economie realizzabili sull'opera e sugli eventuali costi di riparazione o di risanamento di elementi difettosi.

Ho solo due commenti da fare: il primo è che la ricerca della qualità deve essere spinta solo fino al punto in cui possa essere giustificata nell'ambito di un bilancio globale; il secondo commento vorrebbe dire che il "costo della qualità" non deve rimanere esclusivamente a carico del progettista, mentre i vantaggi e le economie andrebbero tutti a favore della committenza. Se si richiede, e ciò è giusto lo si faccia, una progettazione di qualità bisogna anche dare al progettista i mezzi adeguati.

Non dimentichiamo infine che il costo della "qualità ad ogni costo" è troppo elevato.

10. CONSIDERAZIONI FINALI

In quanto precede, molti aspetti non sono stati toccati perché non specifici alle opere sotterranee. La ricerca della qualità nella progettazione ed esecuzione dell'opera presuppone comunque un certo numero di qualità morali, quali onestà intellettuale, una certa modestia, imparzialità di giudizio, spirito critico, apertura alle innovazioni. Premesse sono pure l'impegno a una rigida disciplina intellettuale, una certa creatività, la disponibilità alla collaborazione, la perseveranza nella ricerca della soluzione ottimale.

Corollario ne è ovviamente un'adeguata formazione e un continuo aggiornamento professionali.

Le normative devono fissare gli scopi e i risultati da raggiungere, non i metodi da utilizzare. D'altro canto le procedure vanno semplificate laddove appena possibile in quanto ogni inutile complicazione è potenziale generatrice di errori e per altro verso demotivante. Come le altre opere dell'ingegneria civile anche le opere sotterranee sono realizzate per essere utili durante

un lungo periodo di tempo per cui assumono particolare importanza gli aspetti qualitativi che si riferiscono alla durabilità dell'opera; è un criterio a volte disatteso.

Ricordiamoci, per finire, che se l'arte del costruire è vecchia, essa non ha ancora raggiunto l'apice del suo sviluppo.

TAVOLA 1

Tipi e intenti delle opere sotterranee

OPERE

Cunicoli

Gallerie

Pozzi (verticali e inclinati)

Nicchie

Caverne

Opere complesse

PER

Conduzione (aria, acqua)

Posa condotte (tubazioni, cavi)

Trasporto (persone, veicoli, treni)

Protezione (persone, impianti)

Impianti industriali (depositi, centrali elettriche, depurazione acque)

Attività varie (sociali, sportive, commerciali)

Ricerca scientifica (laboratori, acceleratori)

Impianti nucleari (in futuro)

Scopi combinati

TAVOLA 2

Opere sotterranee

LE ESIGENZE DI QUALITA' RIFERITE A

- sicurezza
- funzionalità
- operabilità
- disponibilità
- durabilità
- limitazione rischi
- impatto ambientale
- accettazione da parte degli utenti
- accettazione da parte di terzi
- disturbi
- consumi energetici
- termini di esecuzione
- costi di costruzione
- costi di esercizio
- ulteriori aspetti particolari

IMPONGONO LA RICERCA DI UN "COMPROMESSO OTTIMALE" TRA NUMEROSI FATTORI

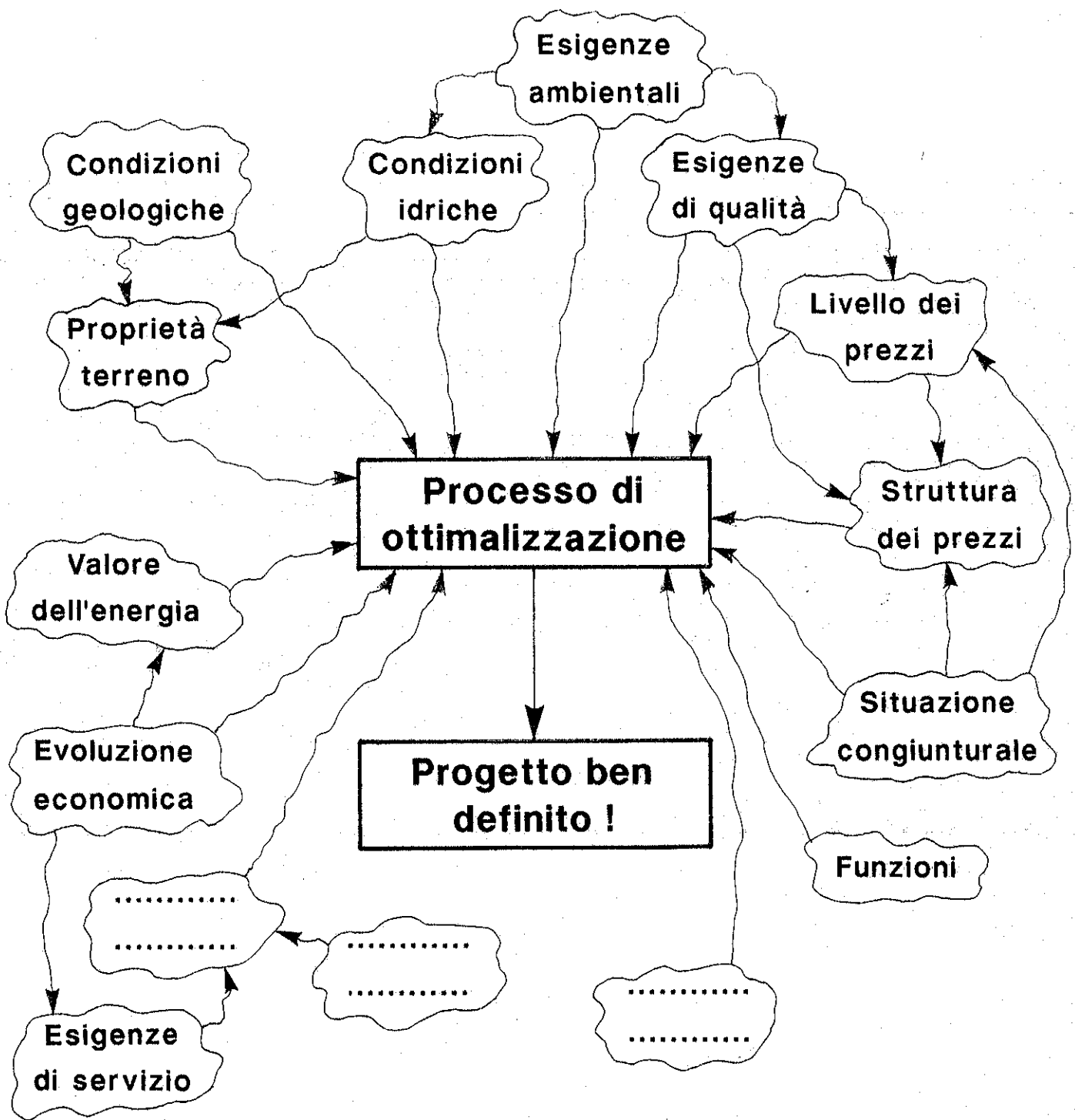


Figura 1

Ottimalizzazione del progetto in condizioni ai limiti piuttosto vaghe

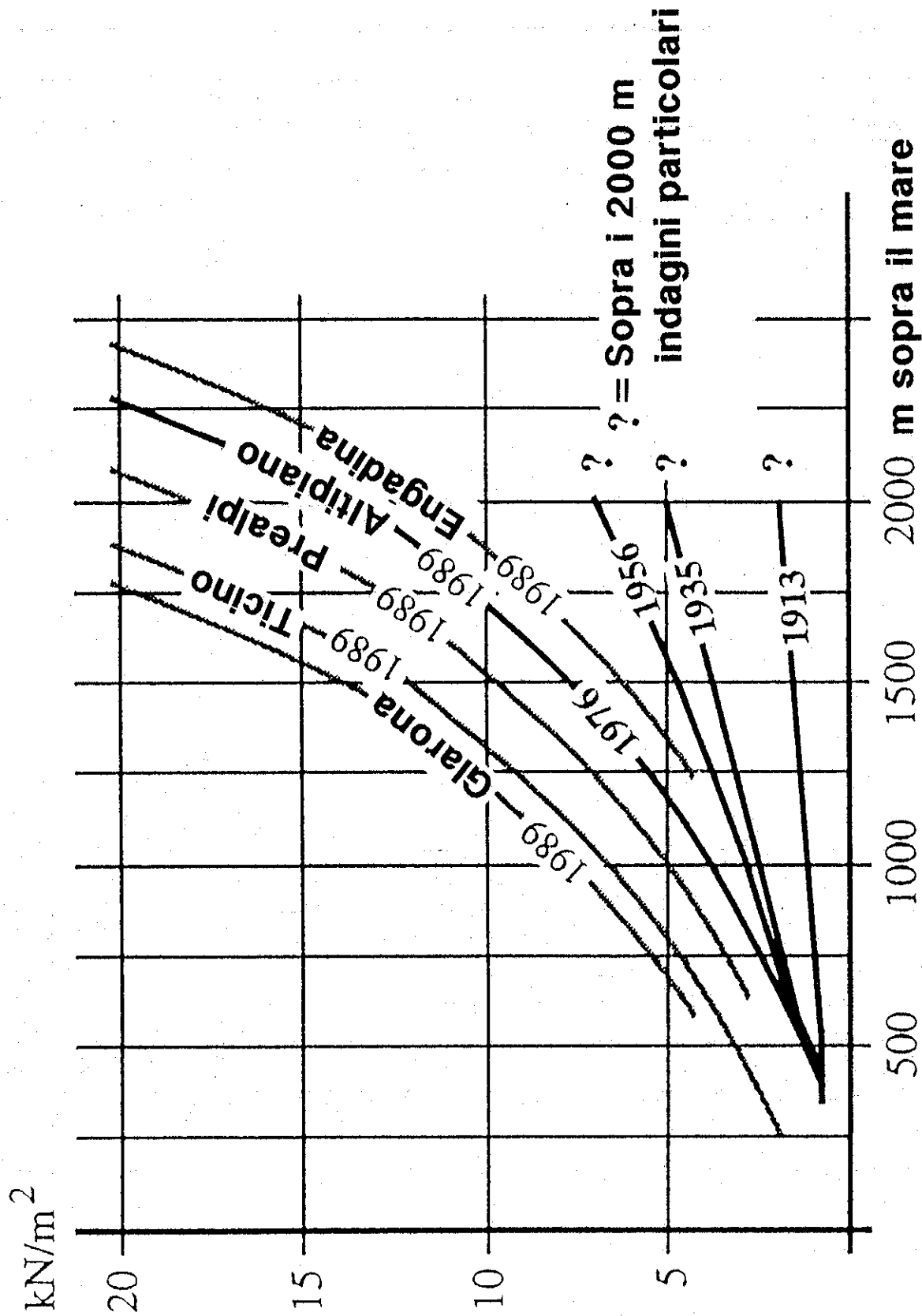


Figura 2

Evoluzione della normativa svizzera sul carico di neve

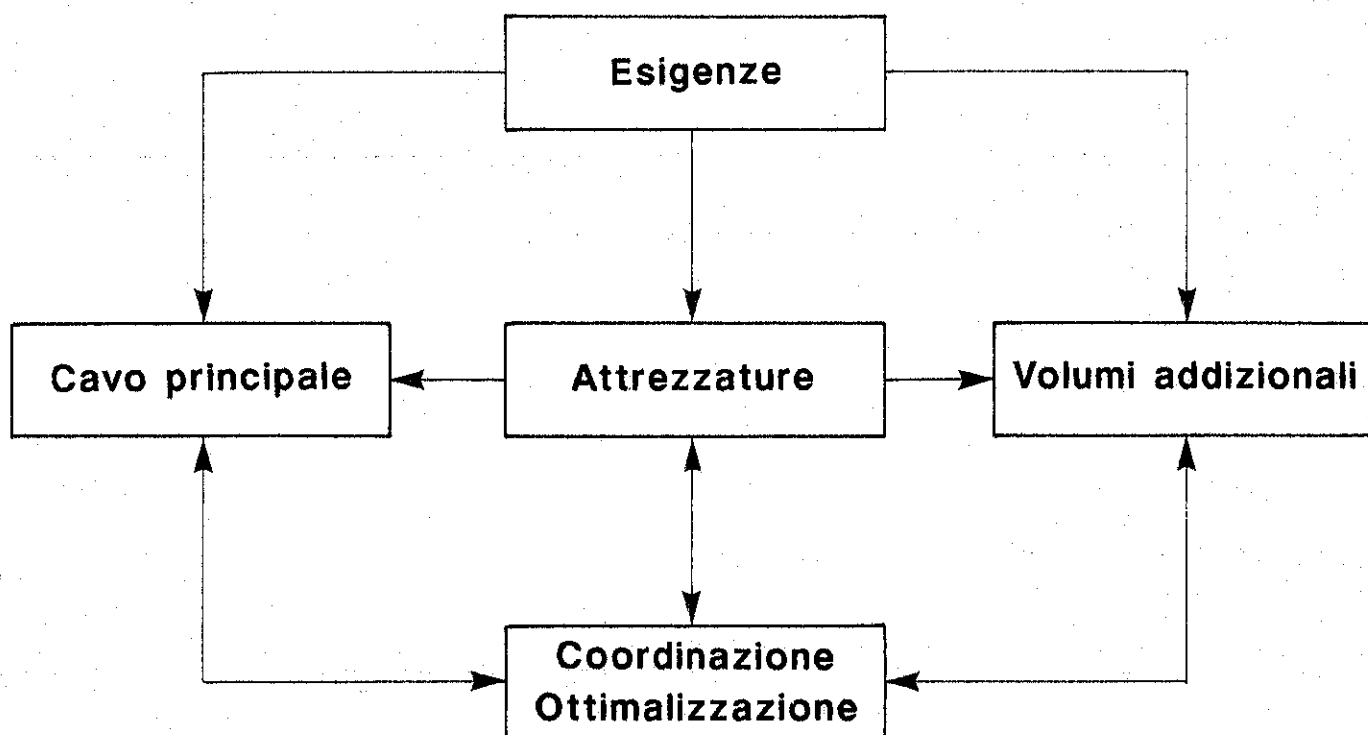


Figura 3

Conflitti - Opere civili - Attrezzature

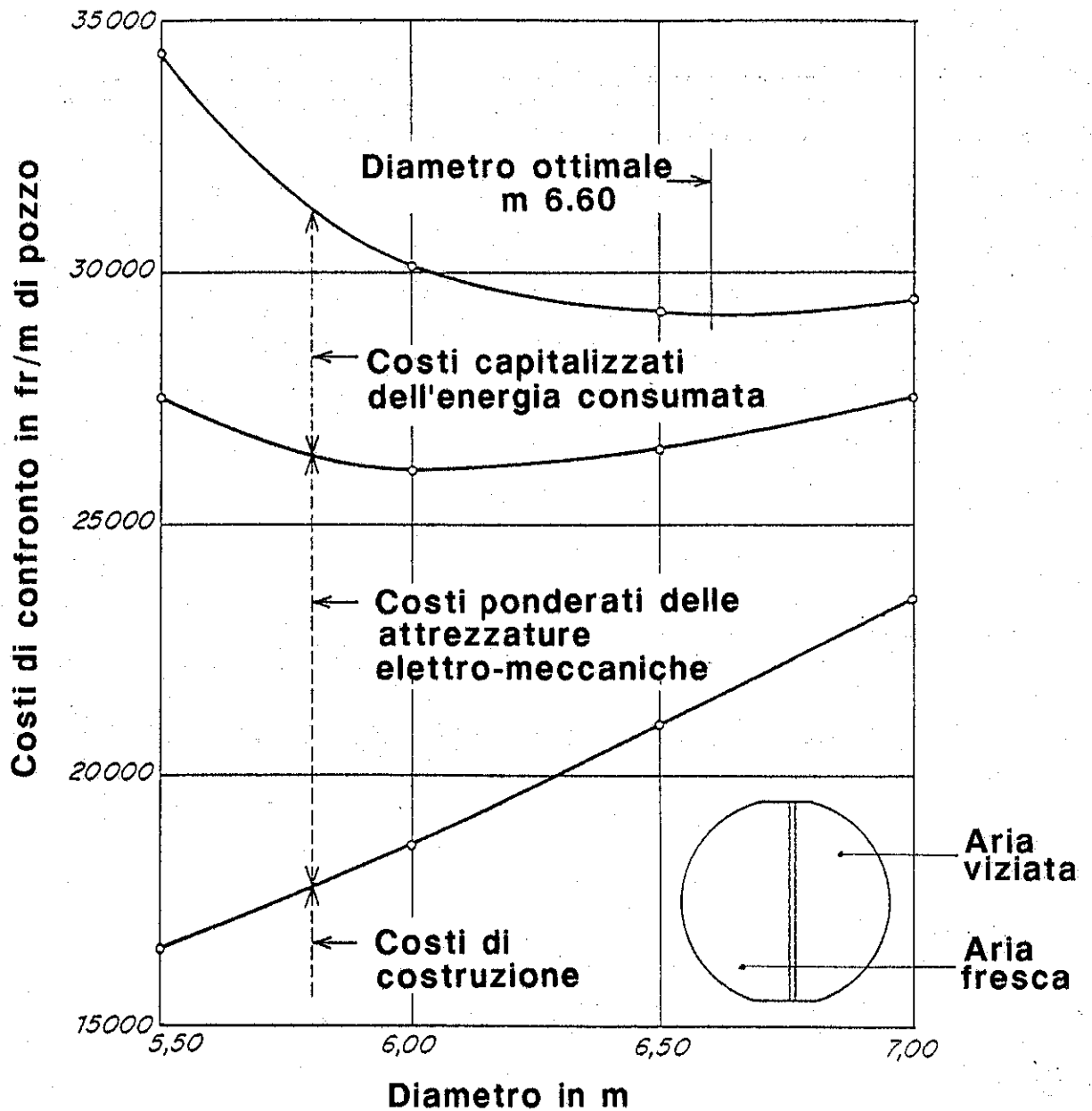


Figura 4

Ottimalizzazione di un pozzo di ventilazione

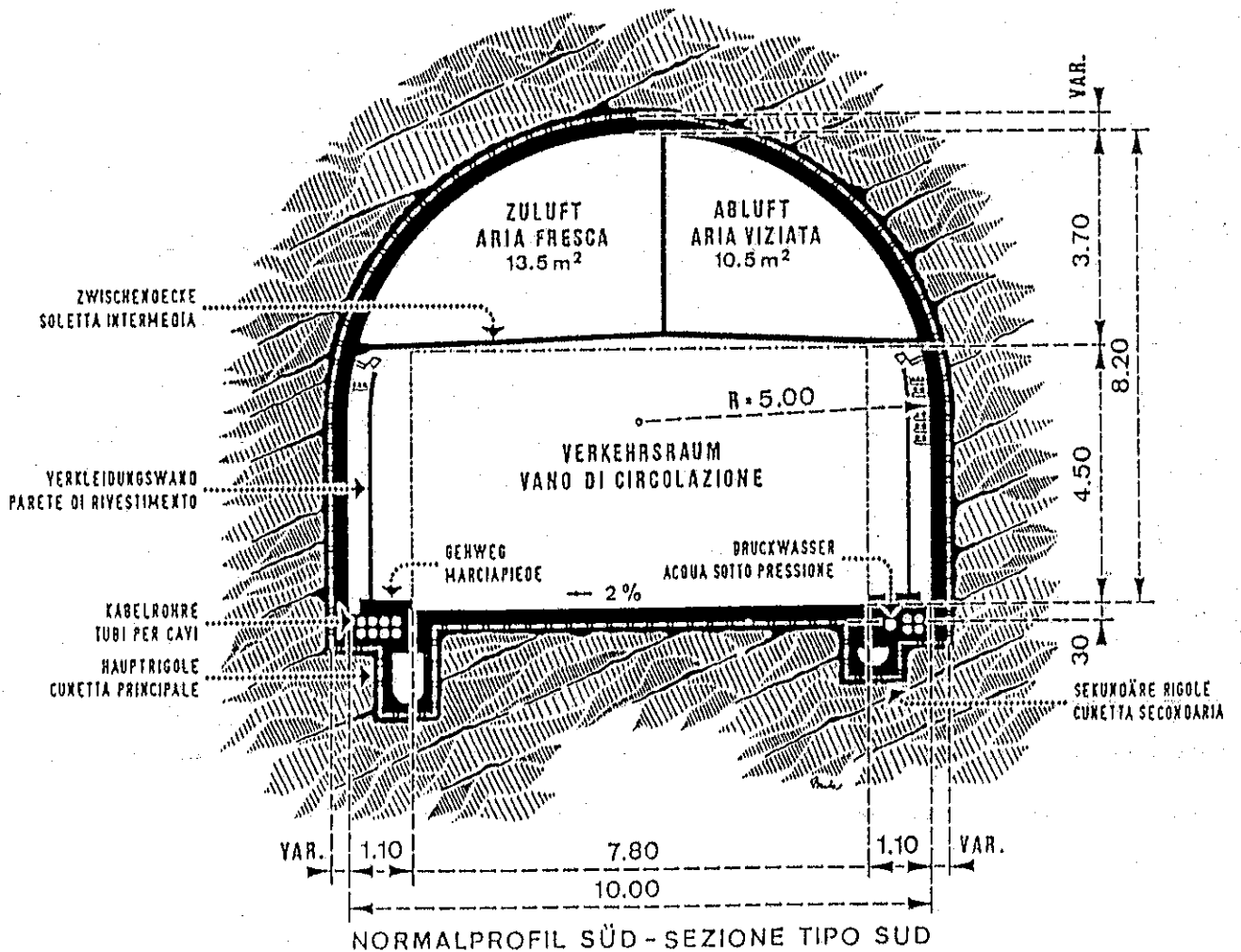
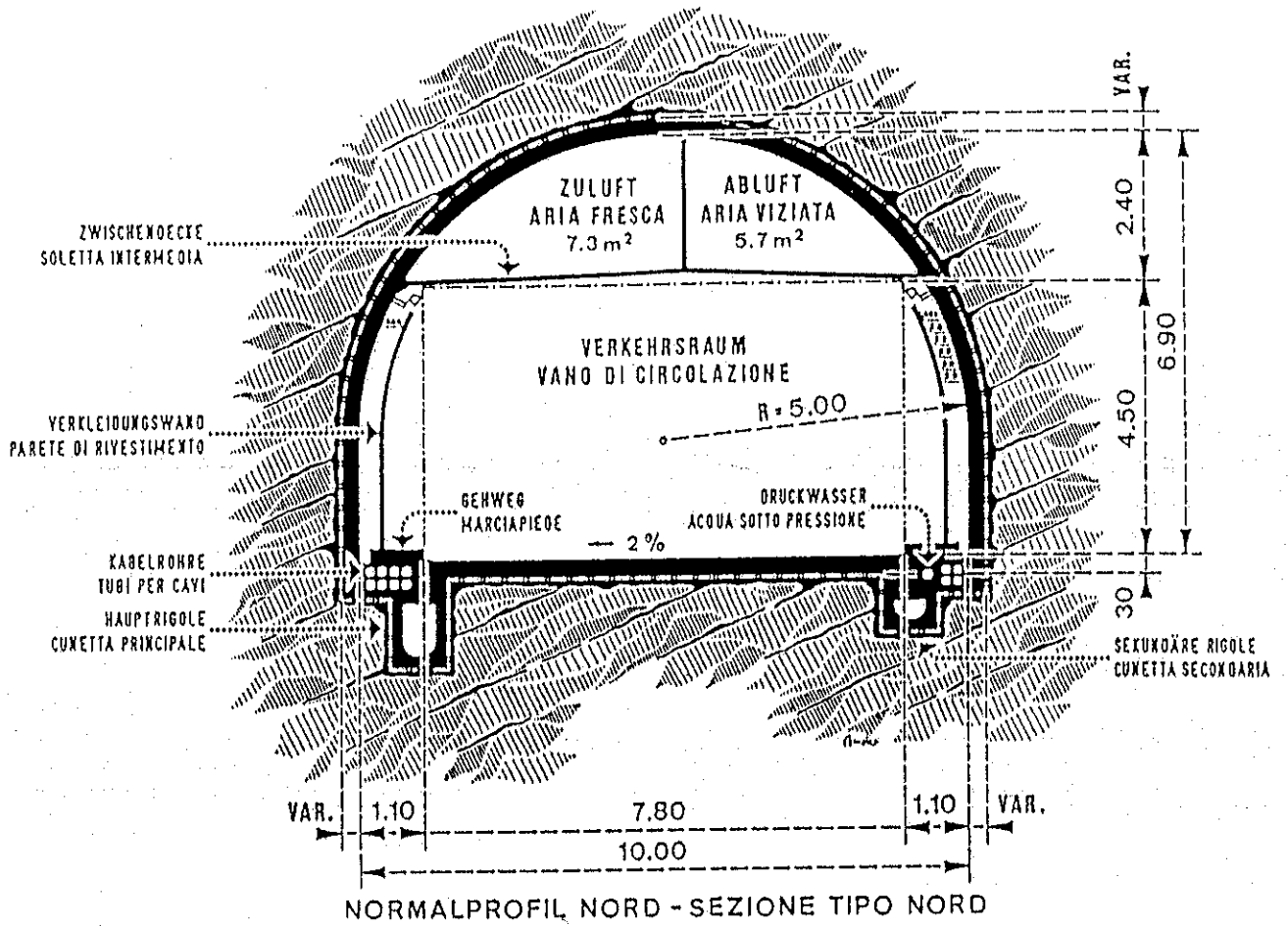


Figura 5

Profili della galleria stradale del S. Gottardo

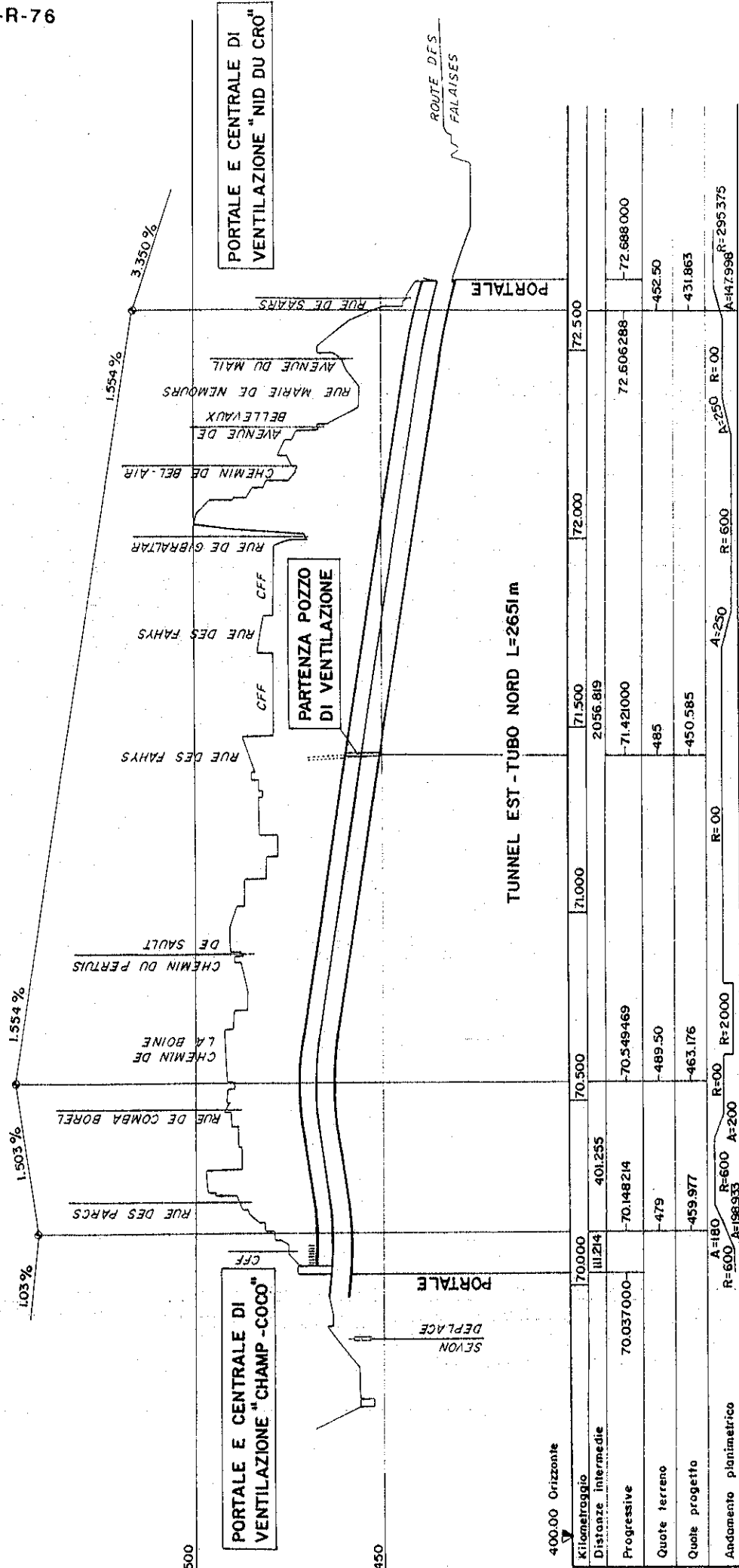


Figura 6 Profilo longitudinale della galleria autostradale Est di Neuchâtel

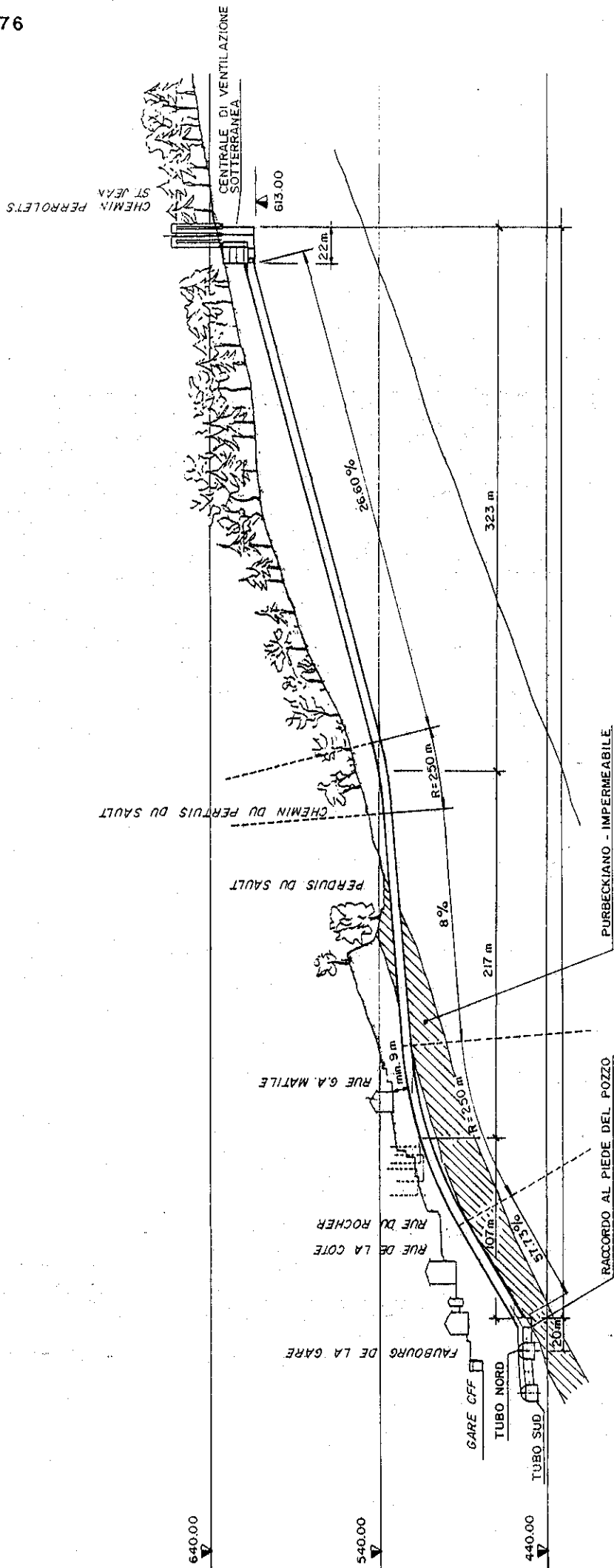


Figura 7 Profilo longitudinale del pozzo di ventilazione della galleria autostradale Est di Neuchâtel

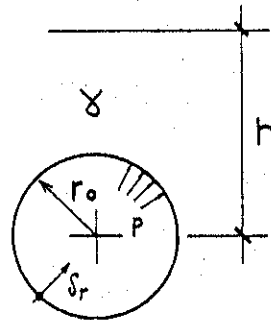
**GOTTARDO
MESOZOICO**

**CENTRALE DI
TIMPAGRANDE**

$r_o = 6.5 \text{ m}$

$h = 300 \text{ m}$

$\gamma = 2'600 \text{ kg/m}^3$



$r_o = 13.50 \text{ m}$

$h = 110 \text{ m}$

$\gamma = 2'600 \text{ kg/m}^3$

Proprietà del massiccio roccioso

elast.	plast.		elast.	plast.
30	28	φ°	40	40
0,06	0,03	$c \text{ MN/m}^2$	0,05	0,015
$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$E \text{ MN/m}^2$	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$
-	1	DIL ‰	-	1

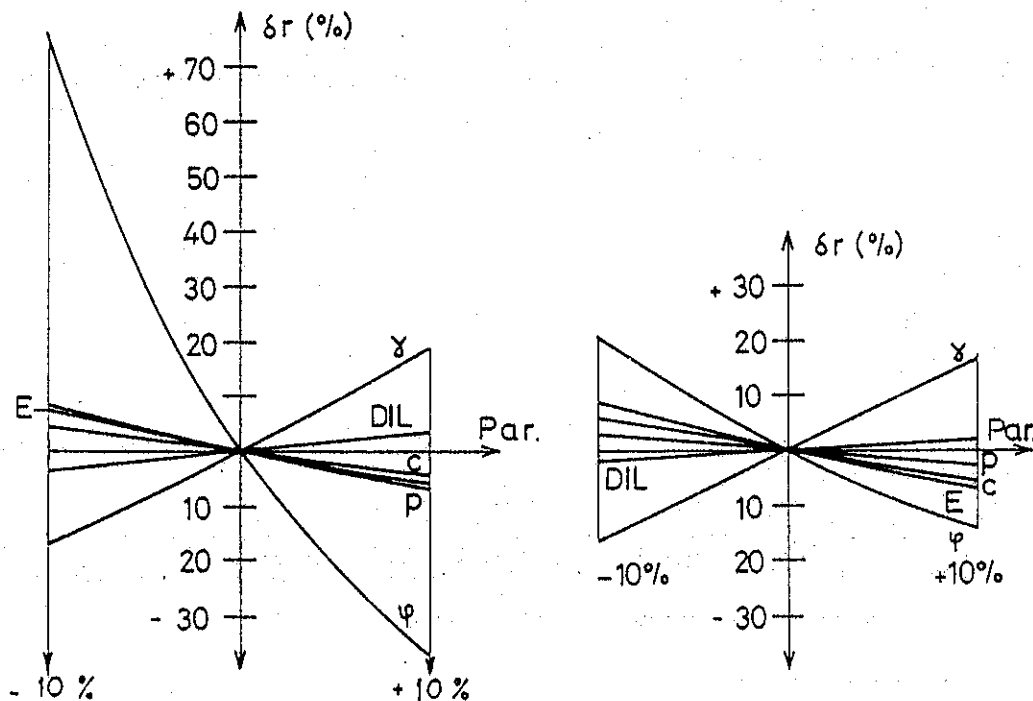


Figura 8

Influsso della variazione di ogni singolo parametro sulla deformazione di convergenza

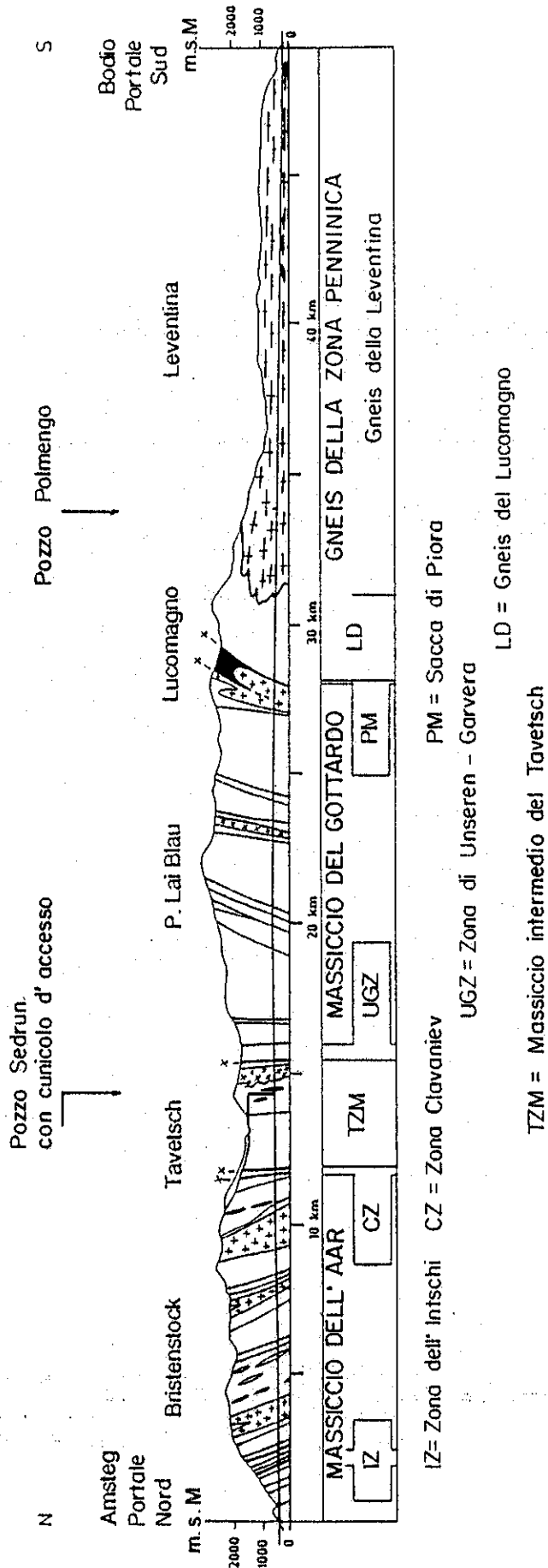


Figura 9 Galleria ferroviaria di base del S. Gottardo - Profilo geologico

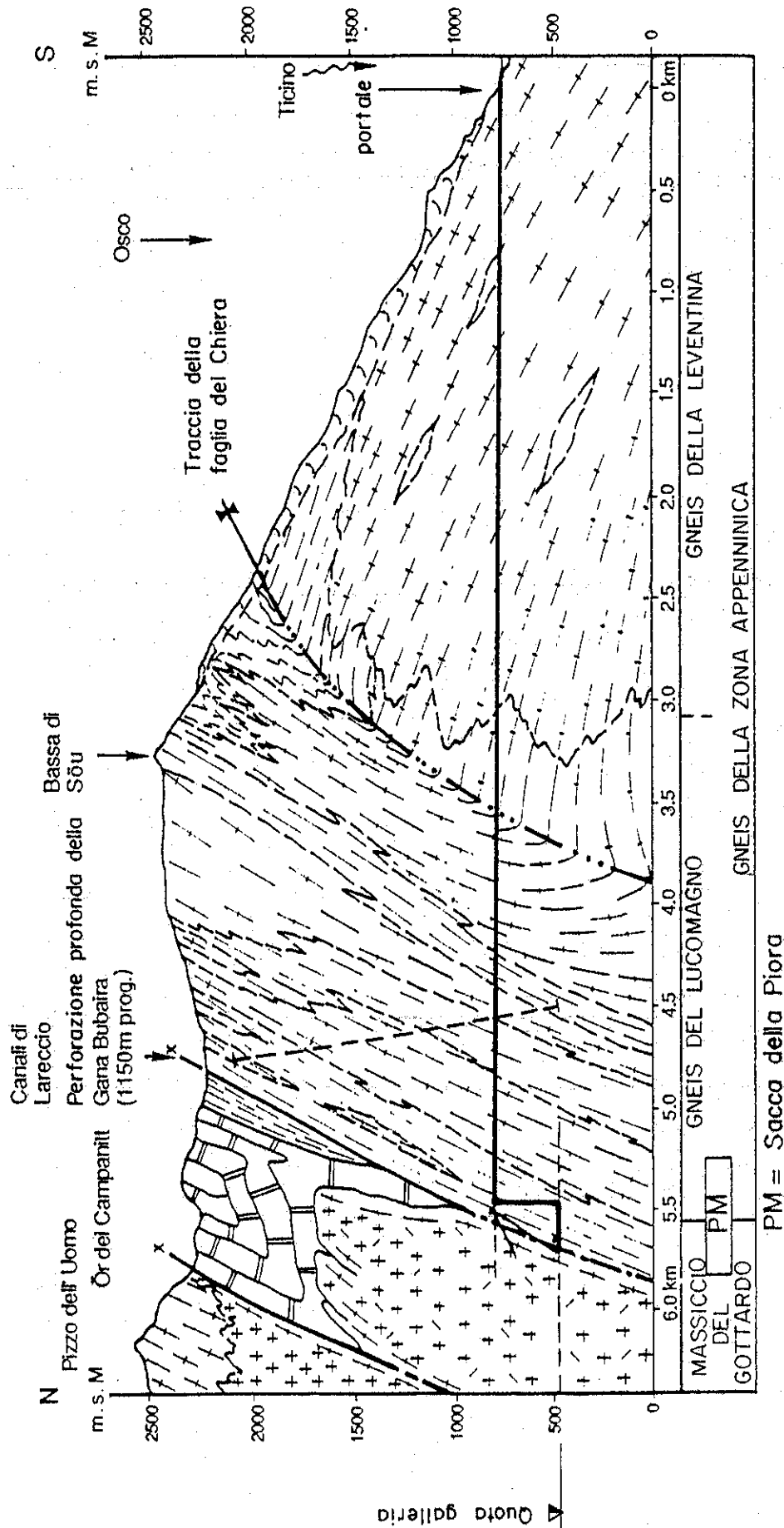


Figura 10 Galleria di base del S. Gottardo. Cunicolo di sondaggio - Zona della Piora

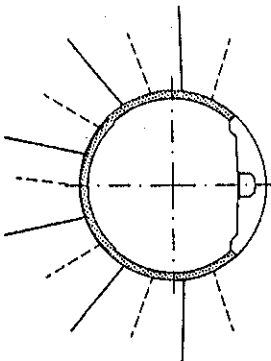
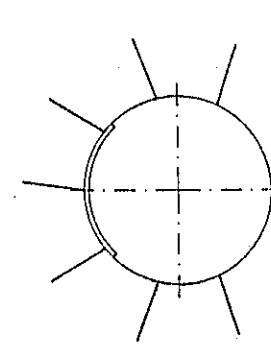
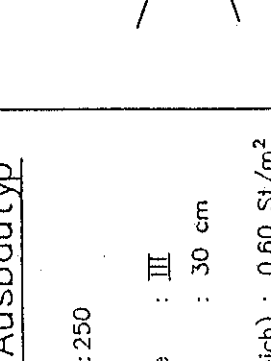
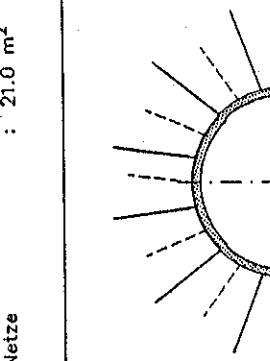
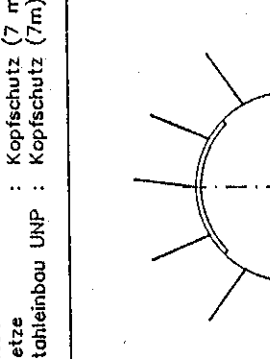
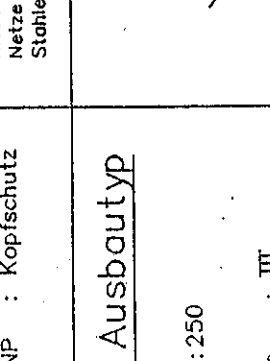
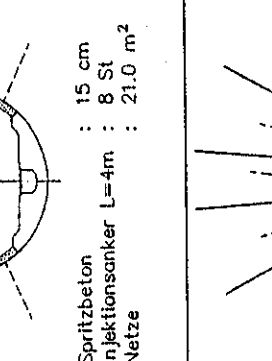
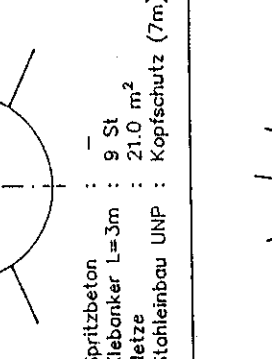
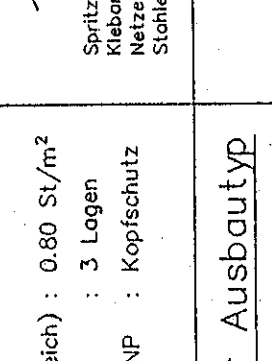
Profiltyp Endzustand	Ausbruchsicherung Bereich L1	Ausbruchsicherung Bereich L2	Verkleidung Bereich L3
<p><u>Leichter Ausbautyp</u></p> <p>Querschnitte 1:250</p> <p>Ausbruchklasse : III</p> <p>Spritzbeton : 30 cm</p> <p>Ankerdichte (exkl. Sohlbereich) : 0.60 St/m²</p> <p>Netze : 2 Lagen</p> <p>Stahleinbau UNP : Kopfschutz</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Klebanker L=3m : 7 St</p> <p>Netze : Kopfschutz (7 m²)</p> <p>Stahleinbau UNP : Kopfschutz (7m)</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Injektionsanker L=4m : 6 St</p> <p>Netze : 21.0 m²</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Anker : —</p> <p>Netze : 21.0 m²</p>
<p><u>Mittlerer Ausbautyp</u></p> <p>Querschnitte 1:250</p> <p>Ausbruchklasse : III</p> <p>Spritzbeton : 30 cm</p> <p>Ankerdichte (exkl. Sohlbereich) : 0.80 St/m²</p> <p>Netze : 3 Lagen</p> <p>Stahleinbau UNP : Kopfschutz</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Klebanker L=3m : 9 St</p> <p>Netze : 21.0 m²</p> <p>Stahleinbau UNP : Kopfschutz (7m)</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Injektionsanker L=4m : 8 St</p> <p>Netze : 21.0 m²</p>	 <p>Spritzbeton : 15 cm</p> <p>Anker : —</p> <p>Netze : 21.0 m²</p>
<p><u>Schwerer Ausbautyp</u></p> <p>Querschnitte 1:250</p> <p>Ausbruchklasse : V</p> <p>Spritzbeton : 40 cm*</p> <p>Ankerdichte (exkl. Sohlbereich) : 1.00 St/m²</p> <p>Netze : 4 Lagen</p> <p>Stahleinbau TH : Vollprofil</p> <p>* Profilvergrößerung durch Ueberschneiden</p>	 <p>Spritzbeton : 10 cm</p> <p>Klebanker L=3m : 11 St</p> <p>Netze : 21.0 m²</p> <p>Stahleinbau TH : Vollprofil</p>	 <p>Spritzbeton : 20 cm</p> <p>Injektionsanker L=6-8m : 10 St</p> <p>Netze : 2x21.0 m²</p>	 <p>Spritzbeton : 10 cm</p> <p>Anker : —</p> <p>Netze : 21.0 m²</p>

Figura 11 Profili tino e lunno di installazione del sosteano

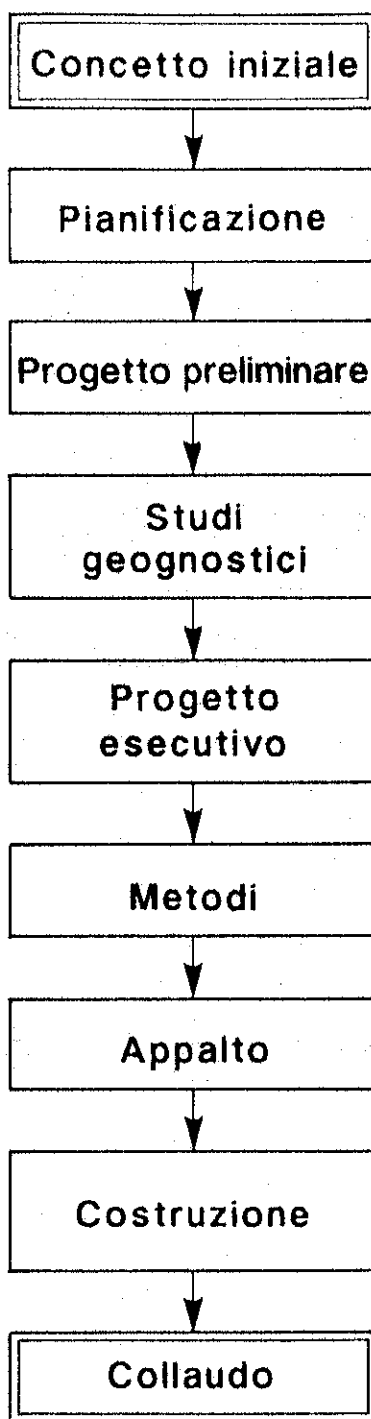


Figura 12

Flusso attività idealizzato

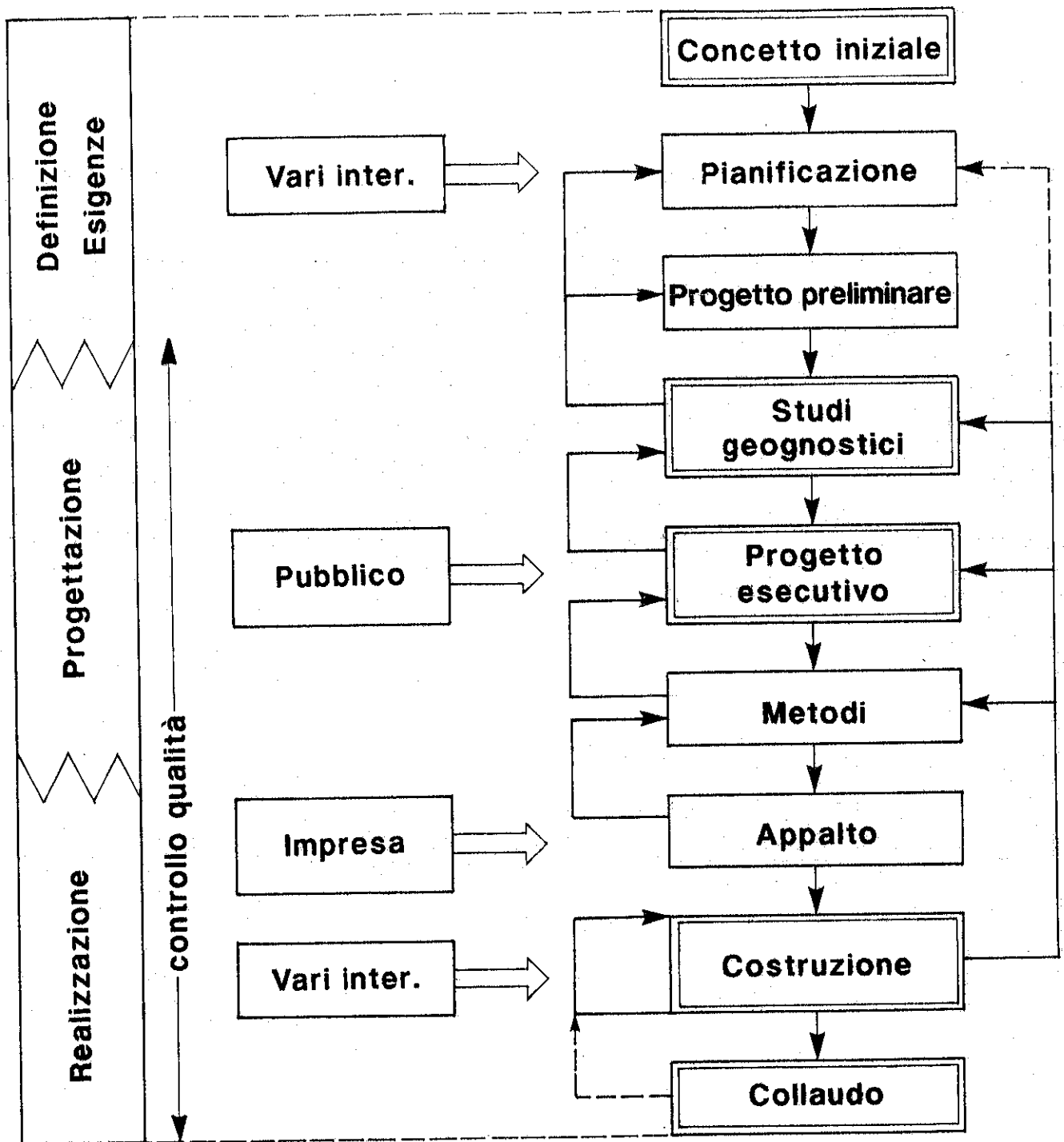


Figura 13

Sistema realistico semplificato