

Pietro Lunardi

PROGETTARE GALLERIE COME OPERE D'INGEGNERIA

Seminario su "Le opere in sotterraneo nell'Alta Velocità e nelle gallerie metropolitane"

Roma – Università "La Sapienza", 16 ottobre 1999

PROGETTARE LE GALLERIE COME OPERE D'INGEGNERIA

1. Premessa

Da circa vent'anni nel mondo industrializzato si è presa coscienza dell'importanza di salvaguardare l'ambiente in cui viviamo. Ne sono testimonianza, da un lato l'impegno crescente profuso dai singoli cittadini per portare il loro fattivo contributo, dall'altro lato il conseguente notevole peso politico, gradatamente acquisito, dai movimenti ambientalisti.

La salvaguardia perché sia davvero efficace deve essere esercitata in tutte le direzioni: non solo nei riguardi dell'inquinamento chimico o acustico, bensì nel totale rispetto della natura. La realizzazione, da parte dell'uomo, di strutture ed infrastrutture funzionali alla vita associata, ad esempio, può avere conseguenze dannose irreversibili se condotta in maniera selvaggia e poco lungimirante. I numerosi esempi negativi realizzati in passato hanno contribuito a generare nell'opinione pubblica il desiderio di partecipare in modo critico alle grandi scelte, fino a creare la spinta decisiva affinché il problema fosse affrontato anche a livello legislativo.

Così anche nel nostro paese, sebbene in ritardo rispetto ad altri tradizionalmente più attenti a temi di questo tipo, sono entrate in vigore normative che impongono di studiare ogni opera di una certa importanza anche sotto il profilo dell'impatto ambientale

I risultati ottenuti sono stati apprezzabili, se si confrontano ad esempio, in campo stradale e ferroviario, i progetti più recenti con le realizzazioni risalenti a pochi anni fa. Proprio considerazioni di impatto ambientale hanno suggerito il tracciato, attualmente in via di ultimazione, dell'autostrada Aosta-Monte Bianco, che si snoda per l'80% in galleria [1]. Analogamente si sta procedendo per la nuova linea

ferroviaria ad Alta Velocità Bologna - Firenze (fig. 1) e per le opere in corso di ultimazione a Roma per il giubileo dell'anno 2000.

E' importante evidenziare come in queste realizzazioni il ricorso al sotterraneo abbia avuto un'importanza decisiva, avendo permesso di costruire opere dall'impatto ambientale ridotto o nullo laddove le stesse, costruite in superficie, sarebbero state devastanti.

Questa considerazione ha portato ad interessanti sviluppi a livello legislativo: la proposta di legge promossa in Italia da Progetto Quarta Dimensione [2], se approvata dal Parlamento, imporrà di pensare e progettare le grandi infrastrutture considerando obbligatoriamente anche l'opzione sotterranea, privilegiandola qualora questa sia suscettibile di ridurre gli effetti pregiudizievoli per l'ambiente.

Se il ricorso al sotterraneo può portare realmente a notevoli benefici in termini ambientali, economici e di sicurezza, d'altra parte è anche vero che, affinché questo avvenga, occorre che si dissolva la diffidenza che tutt'oggi lo stesso suscita. Non possiamo nasconderci, infatti, che le opere in sotterraneo ancor oggi, nell'immaginario collettivo, non sono percepite come vere e proprie opere di ingegneria, poichè generalmente vengono ritenute opere da improvvisare in relazione alle situazioni incontrate durante lo scavo e quindi caratterizzate da una elevata imprevedibilità. Vediamo di analizzarne meglio i motivi.

2. Tridimensionalità del problema statico della realizzazione di una galleria

Per opera d'ingegneria si intende comunemente (ed è corretto che sia così) un'opera che dapprima viene progettata interamente a tavolino, prevedendone in maniera precisa ed attendibile i costi ed i tempi di realizzazione, e che solo dopo questa fase di studio e progettazione viene costruita, nel completo rispetto del progetto e delle previsioni economiche e temporali deducibili da esso.

L'opera in sotterraneo, al contrario, è sempre stata "l'opera che si progetta costruendo", che si sa come inizia, ma non come e se sarà portata a termine, nè con

quali tempi ed oneri economici. Certamente una tale opera non è un'opera d'ingegneria. Ma corrisponde al vero tutto ciò?

Certamente la realizzazione di un'opera in sotterraneo è assai più complessa di una analoga in superficie (fig. 2). Prendiamo, ad esempio, la realizzazione di un ponte. La sua costruzione avviene per assemblaggio di materiali tutti confezionati (il calcestruzzo, l'acciaio, ecc.), le cui caratteristiche di resistenza-deformabilità sono abbastanza ben conosciute così come le azioni (carichi permanenti ed accidentali) alle quali sarà sottoposto durante le varie fasi della sua costruzione e dell'esercizio. Di conseguenza sono agevolmente prevedibili le reazioni (caratteristiche di sollecitazione, caratteristiche di deformazione) delle strutture il cui dimensionamento risulta ben definibile.

L'opera in sotterraneo è assai meno predeterminabile nei suoi dati essenziali per la progettazione. La sua costruzione avviene per asportazione di materiale da un mezzo le cui caratteristiche sono di non facile valutazione, già sottoposto in natura a stati tensionali che le azioni di scavo e di costruzione modificano irreversibilmente, innescando delle reazioni (risposta deformativa) dal cui controllo dipende la stabilità dell'opera [3].

Purtroppo, durante la realizzazione di una galleria l'unica risposta deformativa sempre visibile, benché non sia la sola né la più importante, è la convergenza del cavo. Di conseguenza, la maggior parte dei progettisti e dei costruttori di gallerie sino ad oggi hanno considerato solo essa, mettendo a punto procedure progettuali e costruttive che trattano la galleria come un semplice problema piano.

In realtà il problema è assolutamente tridimensionale [4]. Infatti, consideriamo una sezione di terreno trasversale alla galleria davanti al fronte di scavo e lontana da questo, ed un'altra dietro al fronte, anch'essa lontana da questo (fig. 3): se entro queste due sezioni lo stato di deformazione e quello di tensione (trascurando l'influsso della sollecitazione longitudinale parallela all'asse della galleria) si può considerare piano, ciò non si può assolutamente fare per la zona a cavallo del fronte

(quella perturbata dall'azione d'avanzamento), dove devono per forza generarsi delle sollecitazioni tangenziali di deviazione del flusso di tensioni longitudinale.

La risposta deformativa, che nasce a monte del fronte di scavo nell'ambito della zona perturbata (definita dal raggio d'influenza R_f del fronte di scavo), s'identifica nell'estrusione del nucleo (che normalmente non viene osservata), e dà luogo ai movimenti di preconvergenza (non rilevabili dall'interno della galleria) e di convergenza (fig. 4). La convergenza, dunque, è solo una conseguenza dell'estrusione.

Trattando la galleria come un problema piano si è trascurato questo importante aspetto portando fuori strada intere generazioni in Italia ed all'estero [5], che sono state indotte a concentrarsi sulla cura degli effetti (convergenza del cavo) e non delle cause dell'instabilità di una galleria (estrusione del nucleo). In particolare, questo ha significato:

1. incapacità di fare previsioni attendibili sul comportamento della galleria in fase di avanzamento, quindi assenza di una fase di diagnosi nelle procedure progettuali;
2. improvvisazione delle misure di contenimento dei fenomeni deformativi, che non si era capaci di prevedere in anticipo;
3. mancanza di sistemi di stabilizzazione efficaci, capaci di curare la causa dell'instabilità (estrusione) e non solo l'effetto (convergenza);
4. incapacità di valutare preliminarmente l'opera sotto il profilo dei rischi, dei tempi e delle produzioni prevedibili.

Per uscire dalla situazione di stallo che, di conseguenza, si è creata, occorre ricondurre il problema alla realtà e trattarlo come problema tridimensionale quale effettivamente è. Solo per questa via è possibile, pur con le inevitabili indeterminatezze, ricondurre le procedure di progettazione e costruzione di un'opera in sotterraneo entro schemi paragonabili a quelli seguiti per tutte le altre opere d'ingegneria, ridando dignità a questa branca della disciplina.

3. Dalla ricerca sperimentale un nuovo tipo d'approccio: l'Analisi delle DEformazioni COntrollate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)

Quanto sopra è ciò che si è inteso perseguire con la messa a punto dell'approccio secondo l'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS), una nuova procedura progettuale e costruttiva la cui correttezza si è definitivamente dimostrata nello scavo di gallerie in condizioni tenso-deformative particolarmente difficili, dove l'applicazione dei concetti del NATM (che in situazioni più semplici non mostra i propri difetti intrinseci) aveva sortito risultati deludenti, se non addirittura catastrofici come nel caso della galleria San Vitale per il raddoppio della linea ferroviaria Caserta-Foggia.

[L'avanzamento dello scavo, iniziato nel marzo 1986 ed impostato secondo i criteri del NATM, era proceduto tra alterne vicende sino alla fine del 1988. Qui, al momento di attraversare la formazione delle argille varicolori, fortemente tettonizzata, si cominciarono ad incontrare crescenti difficoltà, tali da impedire praticamente la prosecuzione dei lavori. L'avanzamento, ripreso dopo circa un anno in seguito ad una radicale revisione del progetto basata sui principi dell'ADECO-RS, è potuto finalmente continuare senza interruzioni e con crescente successo man mano che il cantiere prendeva confidenza con l'impiego delle nuove tecnologie, facendo registrare produzioni medie anche superiori a 50 m/mese contro i circa 2 precedenti (fig. 5) [6]].

L'ADECO, partendo dalla semplice osservazione che il problema statico di una galleria in fase di avanzamento è assolutamente tridimensionale e non riducibile ad un semplice schema piano, giunge, sulla scorta dei risultati di oltre 25 anni di ricerche (fig. 6) [7], alle seguenti conclusioni:

1. la stabilità di una galleria dipende dalla formazione di un "effetto arco" nel terreno al contorno del cavo;
2. la formazione dell'effetto arco è segnalata dal tipo e dall'entità della risposta deformativa;

3. la risposta deformativa s'identifica nell'estrusione del nucleo, che dà luogo alla preconvergenza ed alla convergenza del cavo;
4. la risposta deformativa è condizionata dalla rigidità del nucleo;
5. la stabilizzazione di una galleria si persegue con azioni di precontenimento del cavo, oltre che di semplice contenimento.

Tra le caratteristiche peculiari dell'ADECO-RS sono di particolare importanza [8]:

- il riferimento ad un nuovo tipo d'inquadramento delle opere in sotterraneo che, facendo riferimento ad un unico parametro comune a tutti gli scavi, quale il comportamento tenso-deformativo del sistema fronte di scavo-nucleo d'avanzamento (fig. 7), è in grado, con l'introduzione del concetto di precontenimento del cavo (fig. 8) e dei "sistemi conservativi" (fig. 9), di dare una risposta a tutte le situazioni geologico-geomeccaniche possibili;
- la distinzione netta tra momento della progettazione e momento della costruzione di un'opera in sotterraneo, fondamentale per programmare tempi e costi esecutivi, in quanto conduce ad una corretta impostazione del manuale di progettazione, del capitolato di costruzione e del manuale di controllo qualità.

In particolare, il momento della progettazione si articola in (figg. 10 e 11):

- una fase conoscitiva: durante la quale il progettista, in relazione ai terreni interessati dalla galleria, procede alla caratterizzazione del mezzo in termini di meccanica delle rocce o dei suoli, indispensabile per compiere l'analisi degli equilibri naturali preesistenti e per poter operare correttamente nella successiva fase di diagnosi;
- una fase di diagnosi: durante la quale, sulla base degli elementi raccolti in fase conoscitiva, il progettista è chiamato a fare, per via teorica, previsioni attendibili riguardo alla risposta deformativa del mezzo all'azione dello scavo. Esse sono intese in termini di genesi, localizzazione, evoluzione ed entità dei probabili fenomeni deformativi che, in assenza di interventi di stabilizzazione, si innescerebbero al fronte di scavo e, di conseguenza, nella fascia di terreno al contorno del cavo. Dall'analisi combinata della risposta deformativa del sistema

fronte di scavo-nucleo d'avanzamento e del cavo egli deduce quale sarà il comportamento della futura galleria, per giungere, infine, ad una suddivisione della stessa in tratte a comportamento deformativo omogeneo nell'ambito delle tre categorie di comportamento fondamentali (Categoria A: **fronte stabile**, Categoria B: **fronte stabile a breve temine**, Categoria C: **fronte instabile**);

- una fase di terapia: durante la quale, a seguito delle previsioni fatte in fase di diagnosi, il progettista opera la scelta del tipo di azione da esercitare (precontenimento o semplice contenimento) e degli interventi necessari, nell'ambito delle tre categorie di comportamento A, B, C, per ottenere la completa stabilizzazione della galleria e la perfeziona in termini di sistemi, cadenze e fasi di scavo. Opera quindi la composizione delle sezioni tipo longitudinali e trasversali dimensionandole e verificandone l'efficacia attraverso gli strumenti del calcolo matematico.

Il momento della costruzione comprende:

- una fase operativa: durante la quale si realizza l'avanzamento della galleria mettendo in opera, secondo le previsioni progettuali, gli strumenti di stabilizzazione, adattandoli in termini di contenimento e precontenimento alla reale risposta deformativa dell'ammasso e controllandoli secondo prestabiliti piani di controllo qualità;
- una fase di verifica: in cui, mediante la lettura e l'interpretazione dei fenomeni deformativi (che sono la risposta del mezzo all'azione d'avanzamento), durante la costruzione dell'opera si verifica la correttezza delle previsioni fatte in fase di diagnosi e di terapia, onde perfezionare la messa a punto del progetto attraverso il bilanciamento degli strumenti di stabilizzazione tra il fronte e il cavo. La fase di verifica non si esaurisce a galleria ultimata, ma va proseguita per tutto l'arco della sua vita allo scopo di controllarne costantemente la sicurezza d'esercizio.

Attraverso questa impostazione concettuale ed operativa, l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli, mettendo a frutto le evidenze di uno studio approfondito della dinamica evolutiva dello scavo, offre ai

progettisti una semplice guida per inquadrare l'opera in sotterraneo nell'ambito di tre categorie di comportamento fondamentali e giungere ad una suddivisione della stessa in tratte a comportamento deformativo omogeneo. A ciascuna di queste tratte vengono poi associate sezioni tipo che prevedono sistemi di attacco ed opere di stabilizzazione di prima e di seconda fase di cui sono definiti i costi ed i tempi esecutivi.

L'introduzione dell'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli nei manuali e nei capitolati presenta allora, come immediata ed intuibile conseguenza, due aspetti principali:

- a) la valorizzazione del momento progettuale, in quanto il progettista è in grado di fornire le soluzioni tecniche adeguate prima dell'affidamento dei lavori;
- b) la programmazione economica delle opere in sotterraneo, che risulta assai più aderente alla realtà ed affetta da percentuali d'errore molto modeste.

Si rende così per la prima volta possibile una attendibile programmazione dei tempi e dei costi esecutivi.

Quanto affermato trova la propria dimostrazione nelle positive esperienze compiute ultimamente per la realizzazione di alcune gallerie progettate e costruite secondo i canoni dell'ADECO-RS, dove l'impiego delle moderne tecnologie di meccanizzazione dell'avanzamento [9] ha consentito di ottenere, anche in terreni in condizioni tenso-deformative difficili, eccellenti velocità d'avanzamento e, soprattutto, una marcata linearità della produzione (fig. 12), che è la migliore conferma della nostra tesi: anche le gallerie, oggi, possono essere progettate come vere opere d'ingegneria.

Ad ulteriore prova citiamo l'esempio delle gallerie Malenchini e Rimazzano dell'autostrada Livorno-Civitavecchia, dove, nonostante che il tracciato in sotterraneo si snodasse entro terreni eterogenei di natura sciolta o argillosa in situazioni tenso-deformative difficili (categorie di comportamento a fronte instabile o stabile a breve termine), l'adozione di appropriati interventi di precontenimento del cavo ha consentito di avanzare speditamente con cadenze costanti dell'ordine di 2 m/giorno, permettendo di terminare entrambe le gallerie con scostamenti di tempo e di costo,

rispetto alle previsioni, di circa il 7 ed il 5,6 %, rispettivamente per la prima e la seconda (figg. 13 e 14).

Tra i successi più recenti, vale la pena ricordare quello assolutamente rilevante colto nella realizzazione della galleria "Tartaiguille" in Francia, il cui avanzamento con i vecchi concetti del NATM aveva dovuto essere arrestato all'ingresso della formazione delle "Argiles du Stampien", altamente rigonfianti. L'applicazione dei criteri d'avanzamento tipici dell'approccio ADECO-RS ha consentito di riprendere i lavori di scavo e di terminare la galleria (di 180 m² di sezione) addirittura con un mese di anticipo sul programma previsto, a 1,4 m/giorno di produzione media [10].

4. Conclusioni

Da quanto precedentemente illustrato appare lecito affermare che l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli:

- valorizzando la figura del progettista;
 - introducendo nei capitolati le nuove tecnologie;
 - inducendo all'adozione di elenchi prezzi congrui, che compensino il giusto valore delle opere secondo parametri reali;
 - garantendo alle Amministrazioni gli strumenti necessari per programmare e controllare efficacemente lo svolgimento dei lavori con sistemi di controllo qualità;
- rende finalmente attuabile l'introduzione di:
- una normativa per la progettazione e la costruzione delle opere in sotterraneo universalmente valida, che valorizzi il momento progettuale, propedeutico alla costruzione, e la sua prerogativa di fare previsioni attendibili su tempi e costi di costruzione;
 - un capitolato d'appalto valido per terreni di qualsiasi tipo, che comprenda tutte le più moderne tecnologie costruttive e sia facilmente aggiornabile per le future;
 - un sistema di controllo di qualità di tutti gli interventi strutturali previsti in progetto e realizzati;
 - un elenco prezzi che compensi il giusto valore delle opere secondo parametri reali;

coi quali sarà possibile la stesura di contratti d'appalto che prevedano, indipendentemente dal tipo di terreno attraversato, lo stretto rispetto dei costi e dei tempi di costruzione previsti e adeguate penali in caso di inadempienze. Il contratto "a forfait" con cui sono stati appaltati i lavori per la realizzazione di oltre 84 Km di gallerie per la nuova linea ferroviaria ad alta velocità Bologna - Firenze costituisce, a questo proposito, un primo importantissimo esempio: il costruttore, avendo ritenuto sufficientemente completo e affidabile il progetto base d'appalto, redatto sulla base dei principi introdotti per la prima volta dall'ADECO-RS, ha accettato di farsi carico di tutti i rischi, compreso quello geologico.

Dall'attuazione di detti principi si è dunque finalmente giunti alla stipulazione di contratti d'appalto che vincolano l'Impresa costruttrice allo stretto rispetto dei costi e dei tempi previsti dal progetto. Questo darà un contributo decisivo sulla strada della chiarezza e della trasparenza nell'appalto di tutti quei lavori che prevedono la realizzazione di opere in sotterraneo, nello spirito e negli intenti dei più recenti orientamenti legislativi in tema di opere pubbliche.

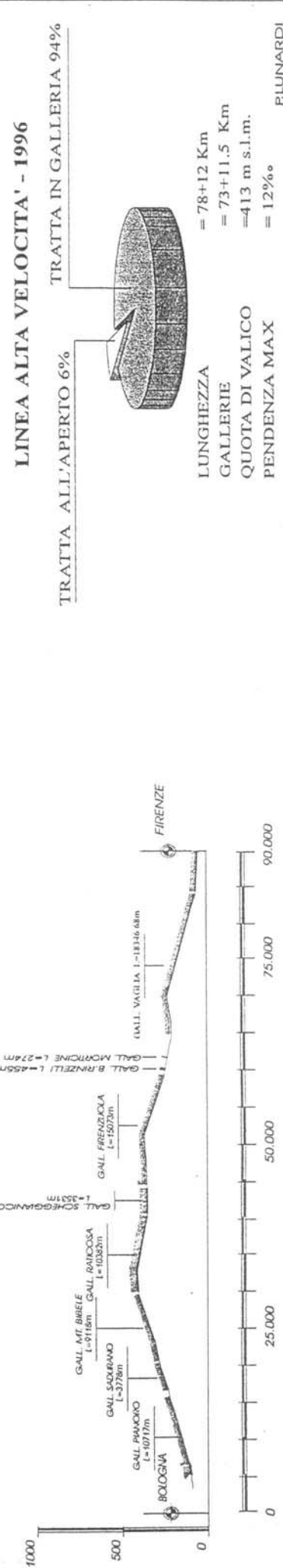
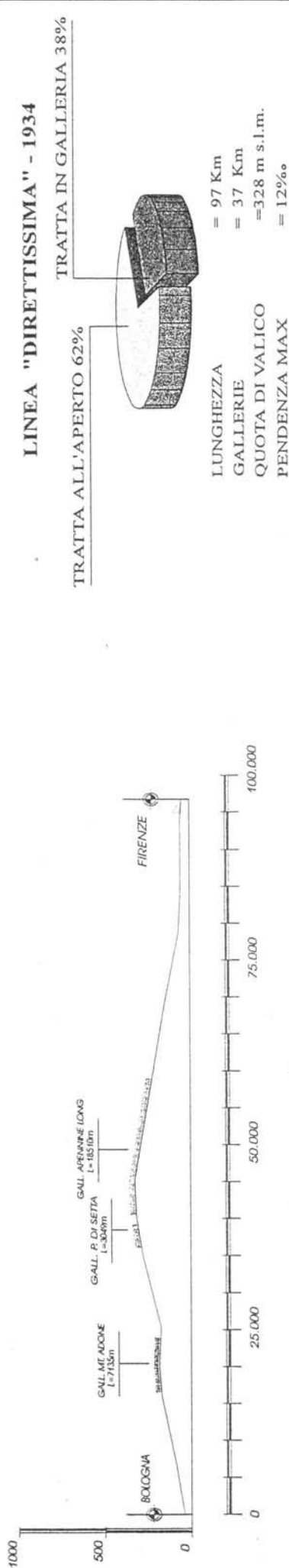
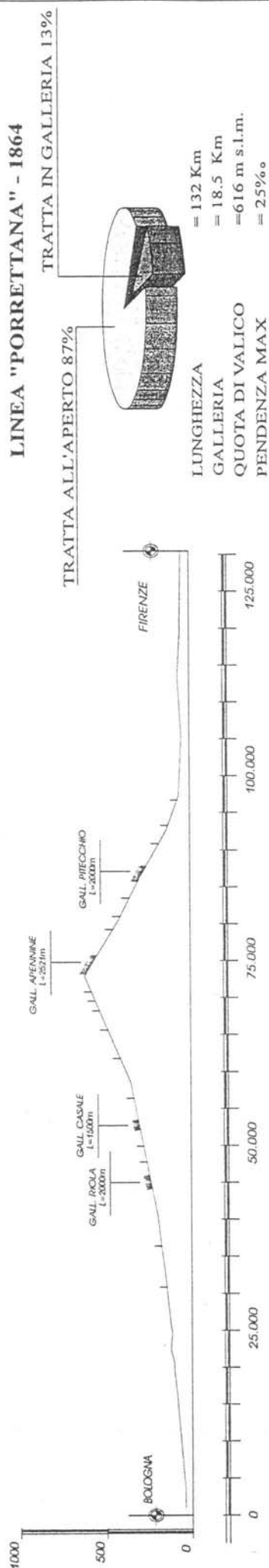
Bibliografia

- [1] COLOMBO F., "Aosta-Monte Bianco: un'autostrada per la valle e per l'Europa" - Quarry and Construction, Febbraio 1991
- [2] LUNARDI P., "Sottosuolo: una risorsa per la tutela ambientale e la riqualificazione delle aree urbane" - Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 44, Dicembre 1994
- [3] LUNARDI P., "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - Parte prima: Presostegno e preconfinamento", Quarry and Construction, Marzo 1994
- [4] LOMBARDI G., "Nuovi concetti sulla statica delle gallerie" - Ingegneria Ferroviaria, n. 2, Febbraio 1975

- [5] KOVARI K., "Sull'esistenza del NATM: concetti erronei del Nuovo Metodo Austriaco per la costruzione di gallerie" - Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 44, Dicembre 1994
- [6] LUNARDI P., "The excavation of tunnels in difficult stress-strain conditions: the example of the San Vitale Tunnel", 8th ISRM Congress on Rock Mechanics, Workshop on "Tunnelling in difficult ground" - Tokyo, 30 Settembre 1995
- [7] LUNARDI P., "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - Parte seconda: Ruolo e risultati della ricerca sperimentale", Quarry and Construction, Marzo 1995
- [8] LUNARDI P., "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - Parte terza: Proposta del nuovo approccio", Quarry and Construction, Aprile 1996
- [9] LUNARDI P., "Avanza la galleria meccanica" - Le Strade, Maggio 1996
- [10] LUNARDI P., "La galleria Tartaiguille, ovvero l'applicazione dell'approccio ADECO-RS per la realizzazione di un tunnel impossibile", Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 58, Agosto 1999

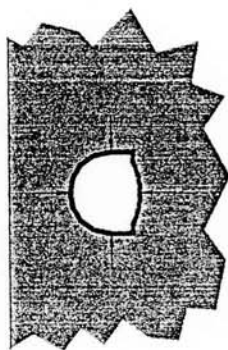
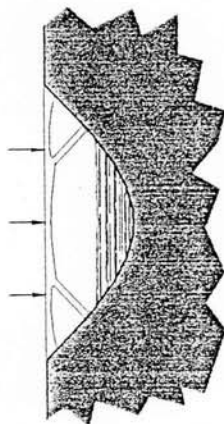
LINEA FERROVIARIA BOLOGNA-FIRENZE - ATTRAVERSAMENTO APPENNINICO

LINEA "PORRETTANA" (1864), "DIRETTISSIMA" (1934), ALTA VELOCITA' (1996)



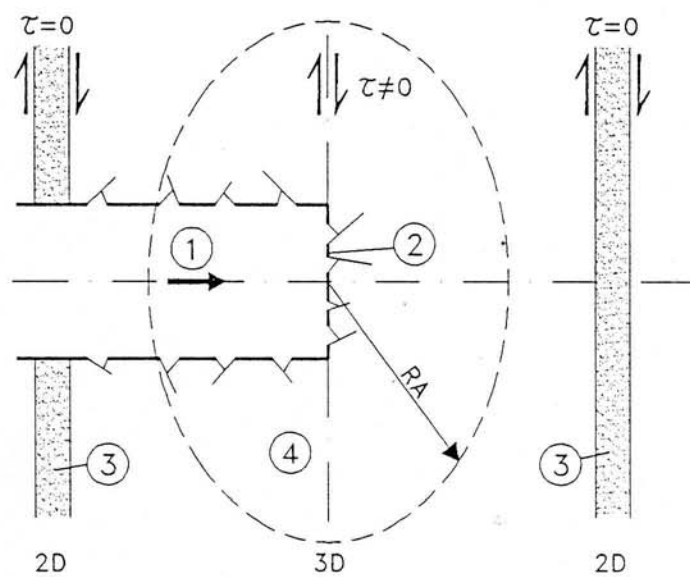
PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

DIFFERENZE TRA LA PROGETTAZIONE DI OPERE
IN SUPERFICIE ED OPERE IN SOTTERRANEO



	OPERE IN SUPERFICIE	OPERE IN SOTTERRANEO
<u>MEZZO</u> (materiale da costruzione)	●	○
<u>AZIONE</u> (carichi sulle strutture)	●	○
<u>REAZIONE</u> (risposta in termini di tensioni e deformazioni)	●	○
● Determinabile a priori ○ Non predeterminabile		

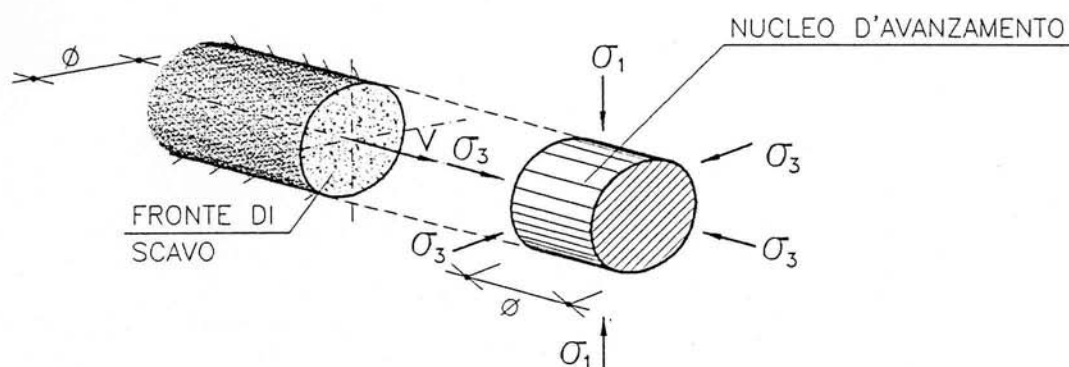
TENSIONI E DEFORMAZIONI NELLA ZONA D'INFLUENZA DEL FRONTE



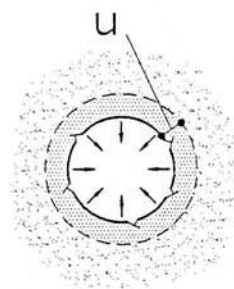
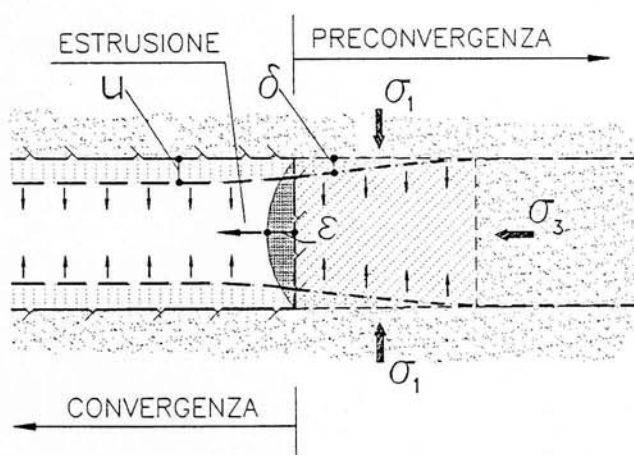
- ① : direzione avanzamento galleria
- ② : fronte di scavo
- ③ : zone dove lo stato di tensione e' considerato bidimensionale
- ④ : zone dove lo stato di tensione e' tridimensionale
- RA : raggio d'azione del fronte di scavo

PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

DEFINIZIONE DI NUCLEO D'AVANZAMENTO



TIPOLOGIE DI DEFORMAZIONE



TIPOLOGIE DI DEFORMAZIONE

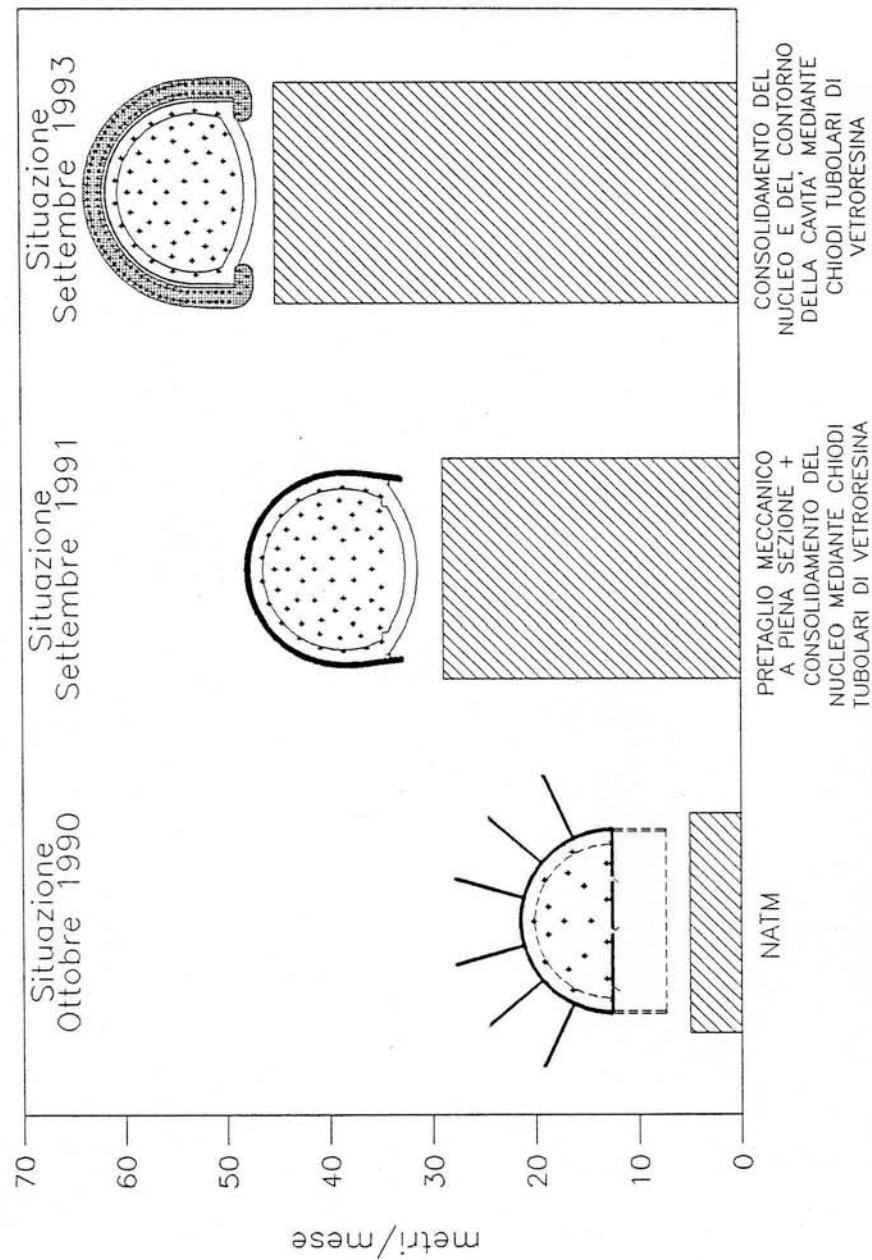
- 1 - ESTRUSIONE (ε)
- 2 - PRECONVERGENZA (δ)
- 3 - CONVERGENZA (u)

----- Converggenza
----- Preconverggenza

TERRENO INTRUSO ATTRAVERSO
IL PROFILO TEORICO DEL CAVO

PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE
APPROCCIO ADECO-RS

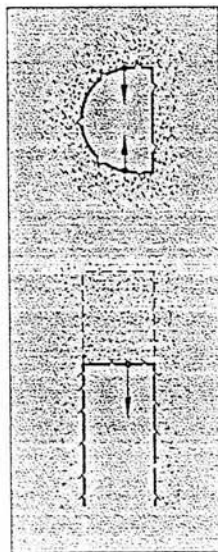
LINEA FERROVIARIA CASERTA-FOGGIA - GALLERIA S.VITALE
PRODUZIONI PER TIPOLOGIA DI AVANZAMENTO



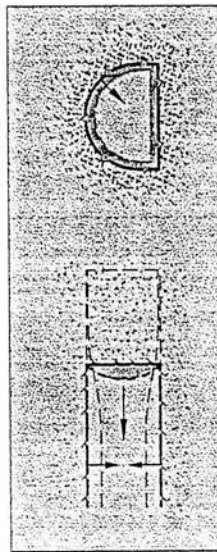
PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

FASI DEL PROGRAMMA DI RICERCA SULLA GENESI E
L'EVOLUZIONE DEI FENOMENI DEFORMATIVI DEL SISTEMA "FRONTE DI SCAVO-NUCLEO D'AVANZAMENTO"

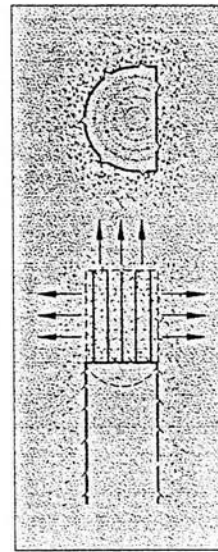
① OSSERVAZIONE SISTEMATICA DEL COMPORTAMENTO
'DEFORMATIVO DEL SISTEMA "FRONTE DI SCAVO-NUCLEO
D'AVANZAMENTO" E NON DELLA SOLA CAVITÀ



② VERIFICA DELL'ESISTENZA DI COLLEGAMENTI TRA IL
COMPORTAMENTO DEFORMATIVO DEL SISTEMA
FRONTE DI SCAVO-NUCLEO D'AVANZAMENTO
E QUELLO DELLA CAVITÀ

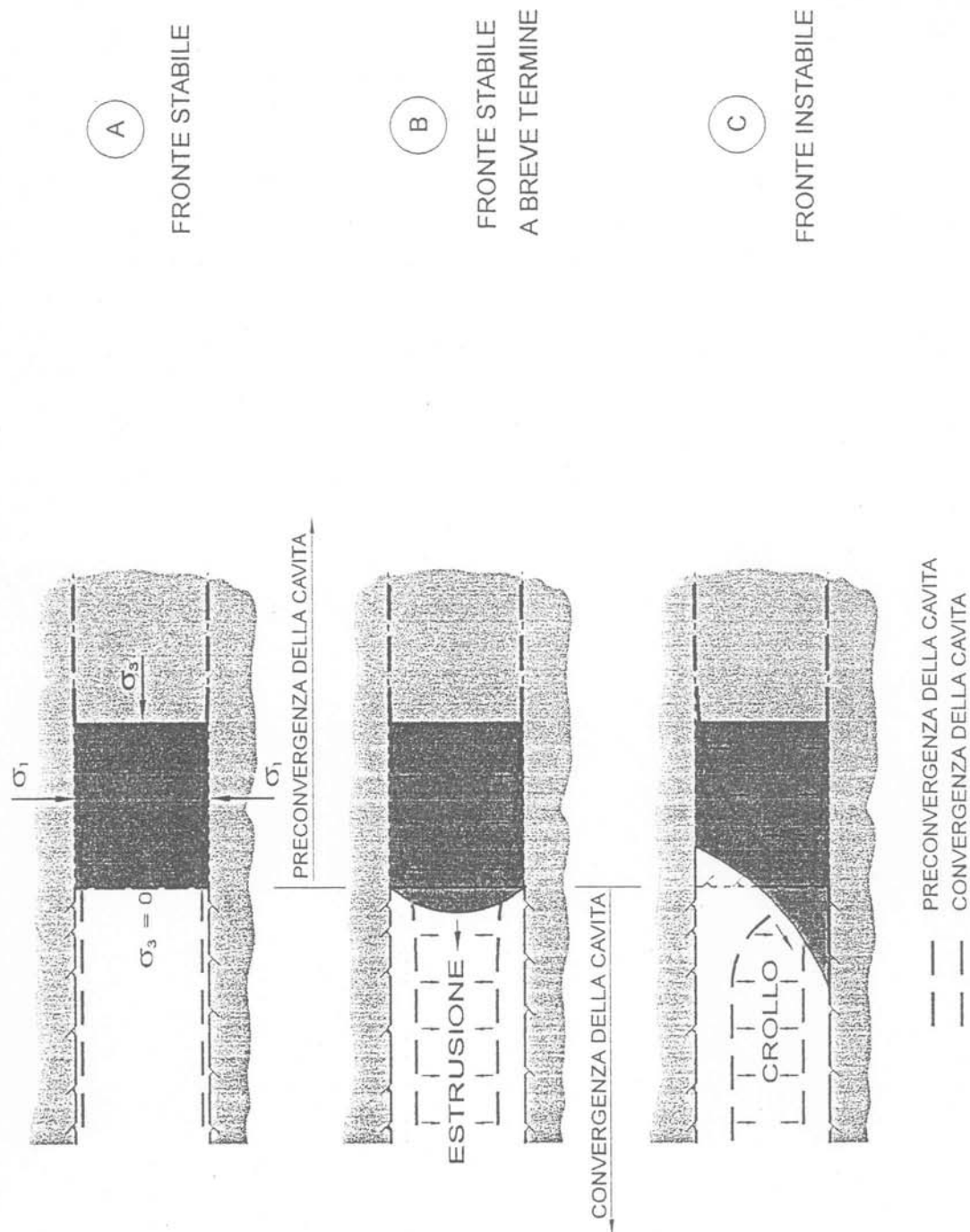


③ VERIFICA DI COME REGOLANDO LA RIGIDEZZA
DEL NUCLEO D'AVANZAMENTO SI POSSA CONTROLLARE
LA RISPOSTA DEFORMATIVA DELLA CAVITÀ



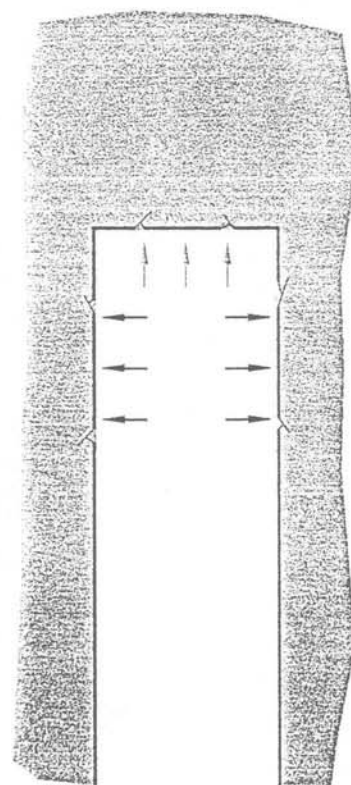
PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

Definizione di CATEGORIA DI COMPORTAMENTO con riferimento al nucleo
d'avanzamento visto come strumento di stabilizzazione

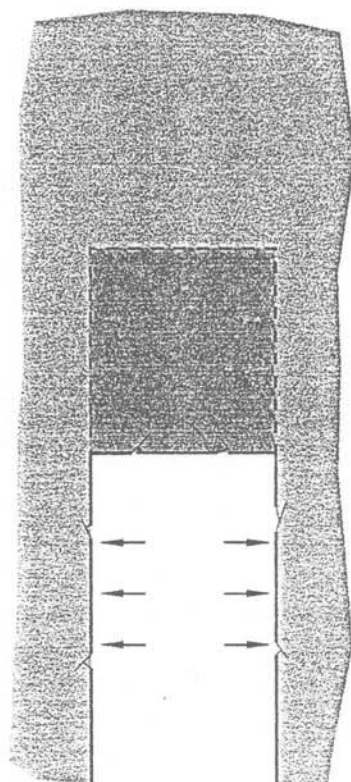


PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE
APPROCCIO ADECO-RS

AZIONE DI CONTENIMENTO E PRECONTENIMENTO DEL CAVO



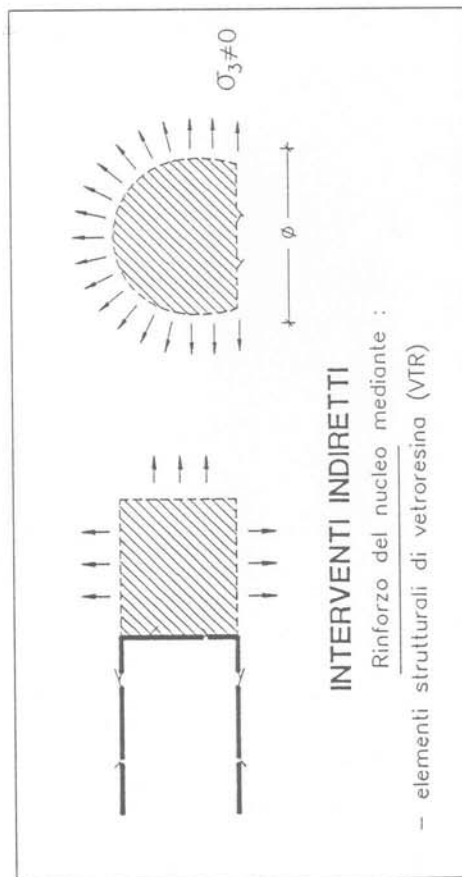
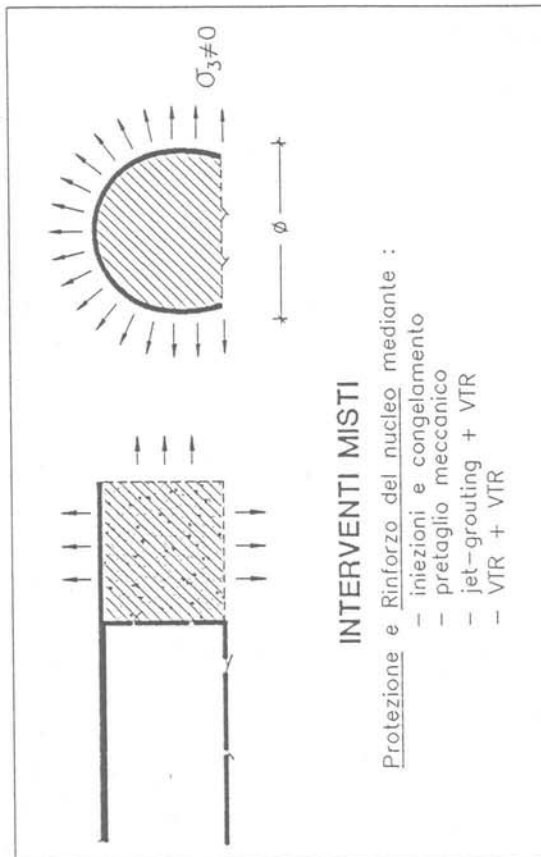
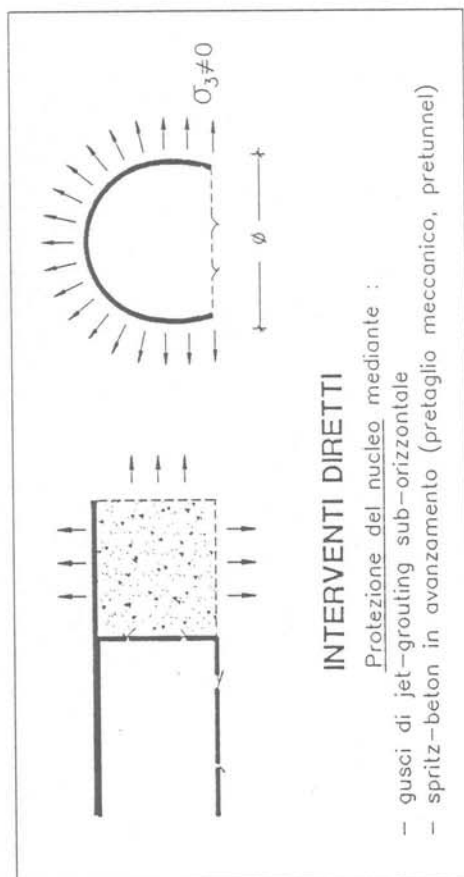
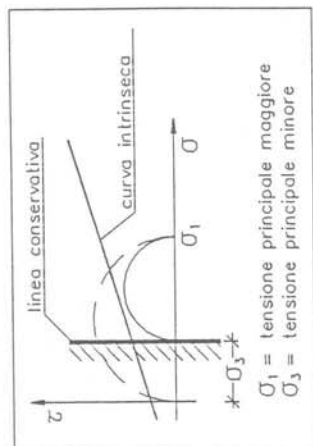
AZIONE DI
CONTENIMENTO



AZIONE DI
PRECONTENIMENTO

PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

INTERVENTI CONSERVATIVI CON AZIONE DI PRECONTENIMENTO DEL CAVO



PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

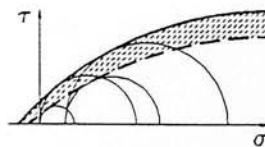
MOMENTO	FASE	ARGOMENTO
DELLA PROGETTAZIONE	- CONOSCITIVA - DIAGNOSI - TERAPIA	- analisi degli equilibri naturali preesistenti - studio e previsione dei <u>fenomeni deformativi(*)</u> in assenza di interventi di stabilizzazione - regimazione dei <u>fenomeni deformativi(*)</u> in termini di scelte dei sistemi di stabilizzazione
DELLA COSTRUZIONE	- OPERATIVA - VERIFICA IN CORSO D'OPERA - MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	- applicazione degli interventi di stabilizzazione per la regimazione dei <u>fenomeni deformativi(*)</u> - controllo e lettura dei <u>fenomeni deformativi(*)</u> come risposta dell'ammasso durante l'avanzamento degli scavi (rilevamento estrusione del fronte e convergenze superficiali e profonde del cavo) - interpretazione dei <u>fenomeni deformativi(*)</u> - bilanciamento dei sistemi di stabilizzazione tra il fronte ed il perimetro di scavo

(*) Fenomeni deformativi in termini di estrusione del fronte e convergenze superficiali e profonde della cavita'

PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

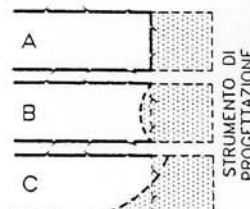
FASE
CONOSCITIVA

CARATTERIZZAZIONE DEL MEZZO
in termini di meccanica delle rocce e dei suoli



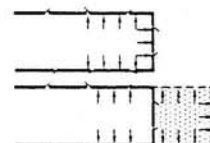
FASE DI
DIAGNOSI

**DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE
DI COMPORTAMENTO (A,B,C)**
basata sulla previsione della stabilità del nucleo
d'avanzamento con metodi matematici
in assenza di interventi di stabilizzazione

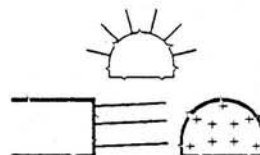


FASE DI
TERAPIA

**SCELTA DELL'AZIONE DI CONTENIMENTO E/O DI
PRECONTENIMENTO DA ESERCITARE**
nell'ambito delle categorie di comportamento (A,B,C)



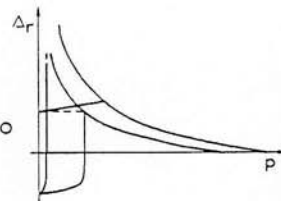
**SCELTA DEGLI INTERVENTI DI CONTENIMENTO E/O
PRECONTENIMENTO**
basata sui recenti progressi in campo tecnologico



COMPOSIZIONE DELLE SEZIONI TIPO
longitudinali e trasversali

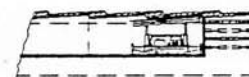


DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO
in termini di convergenza-contenimento,
estrusione-contenimento ed estrusione-precontenimento



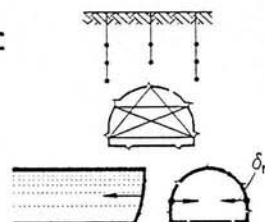
FASE
OPERATIVA

MESSA IN OPERA DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE
in termini di contenimento e/o precontenimento



FASE DI
VERIFICA

**CONTROLLO DELLA CORRETTEZZA DELLE PREVISIONI FATTE
IN FASE DI DIAGNOSI E DI TERAPIA**
attraverso la lettura dei fenomeni deformativi come
risposta del mezzo durante l'avanzamento degli scavi



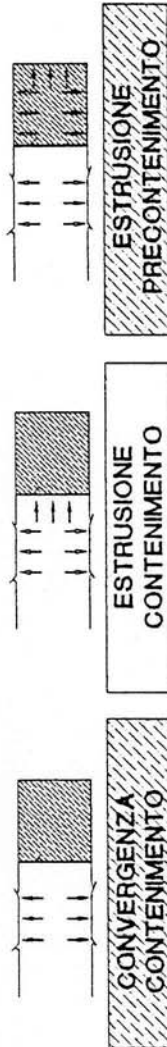
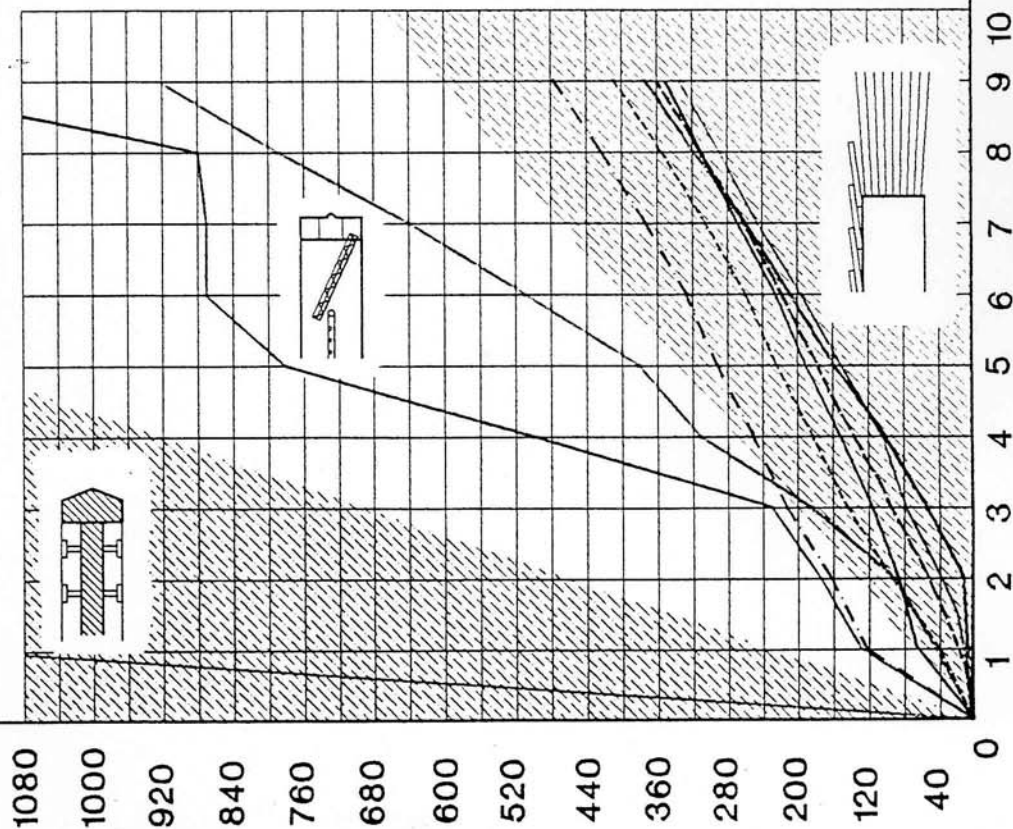
MESSA A PUNTO DEL PROGETTO
mediante il bilanciamento degli interventi tra il fronte e il cavo

**CONTROLLO DELLA SICUREZZA DELLA GALLERIA IN FASE
DI ESERCIZIO**

PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE
APPROCCIO ADECO-RS

SCAVO MECCANIZZATO
DIAGRAMMI DELLE PRODUZIONI MENSILI

Metri di
galleria



OPERA	Ø [m]	TERRENO	TECN. DI SCAVO	PRODUZ. [m/gi]	
				MEDIA	MAX
GALLERIA F.S. "PRATO TIRES"	3.5	IGNIMBRITE	TBM	35	80
PASSANTE DI MILANO F.S.	8	SABBIA E GHIAIA	SCUDO EPB	5.3	22
METRO. DI ROMA	10.64	ETEROGENEO DALLE SABBIE ALLE ARGILLE	SCUDO HDS	4.0	5.5
GALLERIA F.S. "CAMPIOLO"	12.20	DETRITO	J.G.O.	1.7	2.5
GALL. LINEA F.S. SIBARI-COSENZA	10.50	ARGILLA	PRETAGLIO	2.3	3.2
GALL. LINEA F.S. FIRENZE-AREZZO	12.20	ARGILLA	PRETAGLIO+VTR	2.0	3.2
GALLERIA F.S. "S.VITALE"	12.50	ARGILLA	VTR + VTR	1.6	2.4
GALLERIA F.S. "VASTO"	12.20	SABBIA LIMOSA LIMO ARGILLOSO	JG + VTR	1.8	2.3
T. TARTAGUILLE [SNCF]	15.00	ARGILLA MARNOSA	VTR	1.4	1.9

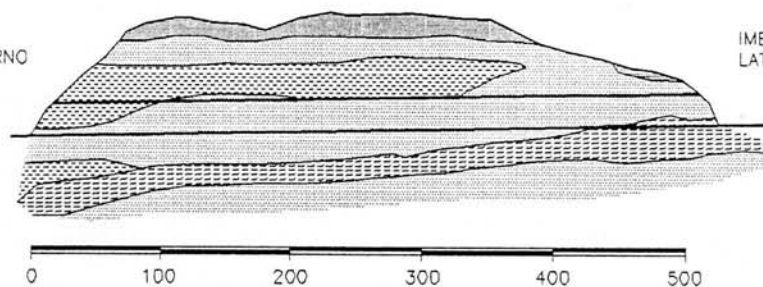
PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

L'APPROCCIO ADECO-RS NELLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DELLE GALLERIE DELL'AUTOSTRADA LIVORNO - CIVITAVECCHIA TRATTA LIVORNO - CECINA

GALLERIA MALENCHINI LOTTO 3

IMBOCCO
LATO LIVORNO

IMBOCCO
LATO CECINA



PROGETTO ESECUTIVO	1 RIVESTIMENTO NON ARMATO L=383m
-----------------------	--



PROGETTO COSTRUTTIVO	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=227m	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=156m	CANNA NORD
	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=383m		CANNA SUD

GALLERIA	MALENCHINI				
PROGETTO	ESECUTIVO		COSTRUTTIVO		
SEZIONE TIPO	1		1 A'		1 A''
	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO
SVILUPPO (ml)	120	766	120	156	610
COSTO TOTALE (esclusi imbocchi)	23.530.000.000		25.244.310.000		
DIFFERENZA	7.3%				

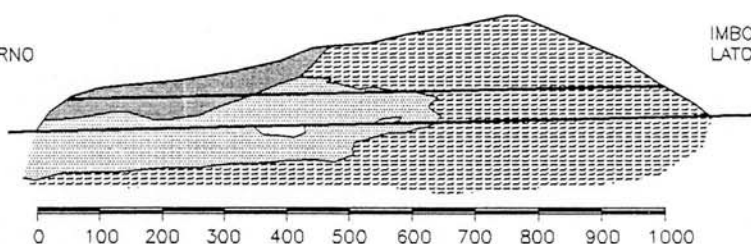
PROGETTO E COSTRUZIONE DI GALLERIE APPROCCIO ADECO-RS

L'APPROCCIO ADECO-RS NELLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DELLE GALLERIE DELL'AUTOSTRADA LIVORNO - CIVITAVECCHIA TRATTA LIVORNO - CECINA

GALLERIA RIMAZZANO LOTTO 5

IMBOCCO
LATO LIVORNO

IMBOCCO
LATO CECINA



PROGETTO ESECUTIVO	1 RIVESTIMENTO NON ARMATO L=425m	2 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=343m	2 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m
-----------------------	--	--	---



PROGETTO COSTRUTTIVO	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=75m				2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m				CANNA NORD	
	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=75m	1 B RIVESTIMENTO NON ARMATO L=110m	1 C RIVESTIMENTO NON ARMATO L=100m	1 D RIVESTIMENTO NON ARMATO L=200m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m
PROGETTO COSTRUTTIVO	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=75m				2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m				CANNA SUD	
	1 A RIVESTIMENTO NON ARMATO L=75m	1 B RIVESTIMENTO NON ARMATO L=110m	1 C RIVESTIMENTO NON ARMATO L=100m	1 D RIVESTIMENTO NON ARMATO L=200m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m	2 F RIVESTIMENTO NON ARMATO L=35m

GALLERIA	RIMAZZANO													
PROGETTO	ESECUTIVO						COSTRUTTIVO							
SEZIONE TIPO	1		2 A		1 A		1 A'	1 B		1 C	1 D	2 F'	2 F	
	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO	RIVESTIMENTO ARMATO	RIVESTIMENTO NON ARMATO
SVILUPPO (ml)	150	850	70	686	75	5	60	15	205	204	400	53	70	668
COSTO TOTALE (esclusi imbocchi)	39.952.081.070						42.199.963.000							
DIFFERENZA	5.6%													