

APPROCCIO ADECO-RS

RISOLUZIONE DELLE PROBLEMATICHE RELATIVE AL SOTTOATTRAVERSAMENTO DELL'AUTODROMO INTERNAZIONALE DEL MUGELLO IN CONDIZIONI DI RIDOTTA COPERTURA

PROF. ING. PIETRO LUNARDI - STUDIO DI PROGETTAZIONE LUNARDI, MILANO, ITALIA
 DOTT. ING. ANDREA BELLOCCHIO - ROCKSOIL S.P.A., MILANO, ITALIA

Generalità

Nella realizzazione di opere in sotterraneo, la difficoltà a prevedere in maniera attendibile le caratteristiche geologiche e geomeccaniche dei terreni da attraversare e la mancanza di strumenti e tecniche d'attacco validi per affrontare anche i terreni più difficili hanno, da sempre, rappresentato dei veri e propri punti di

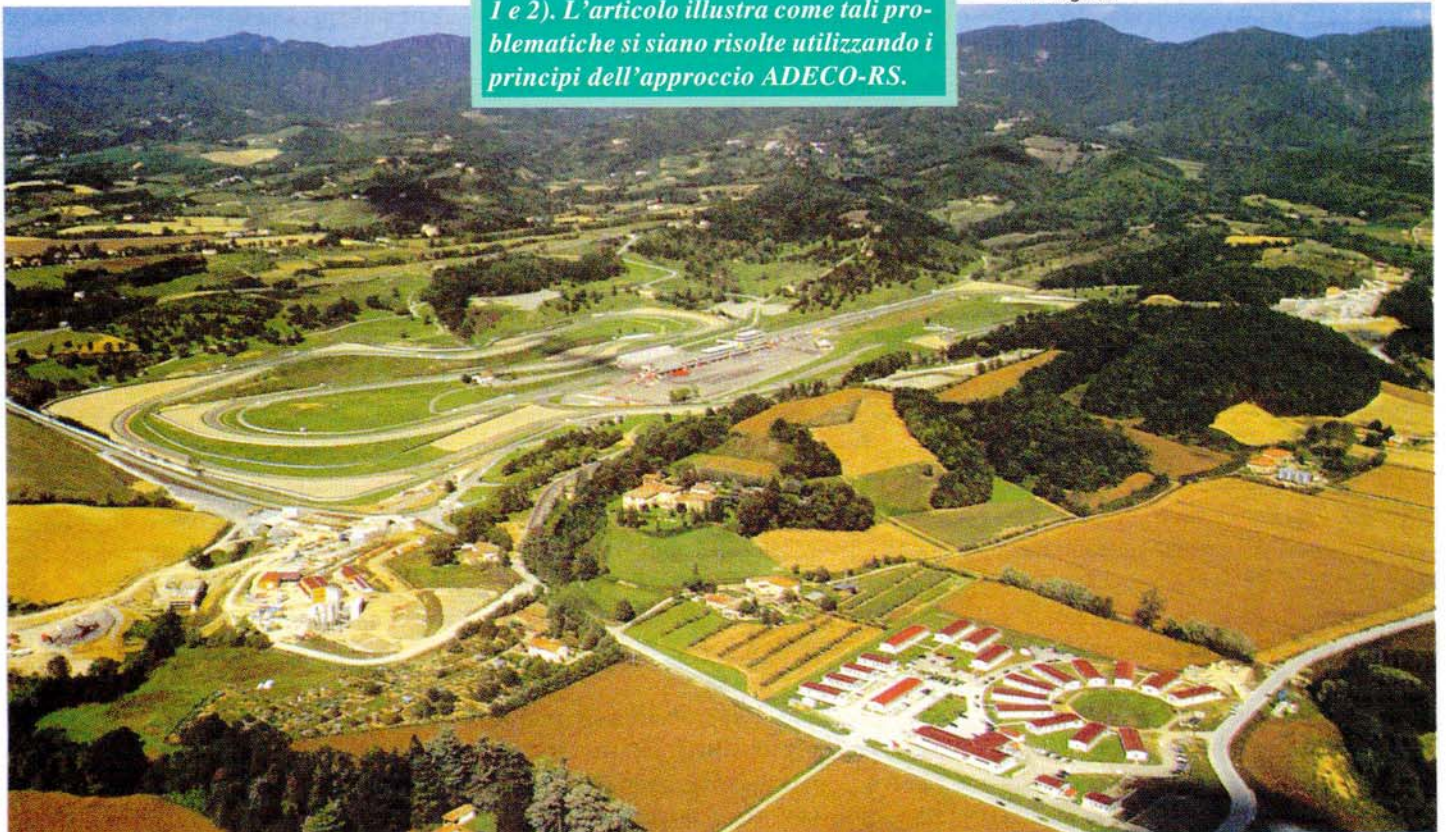
RIASSUNTO

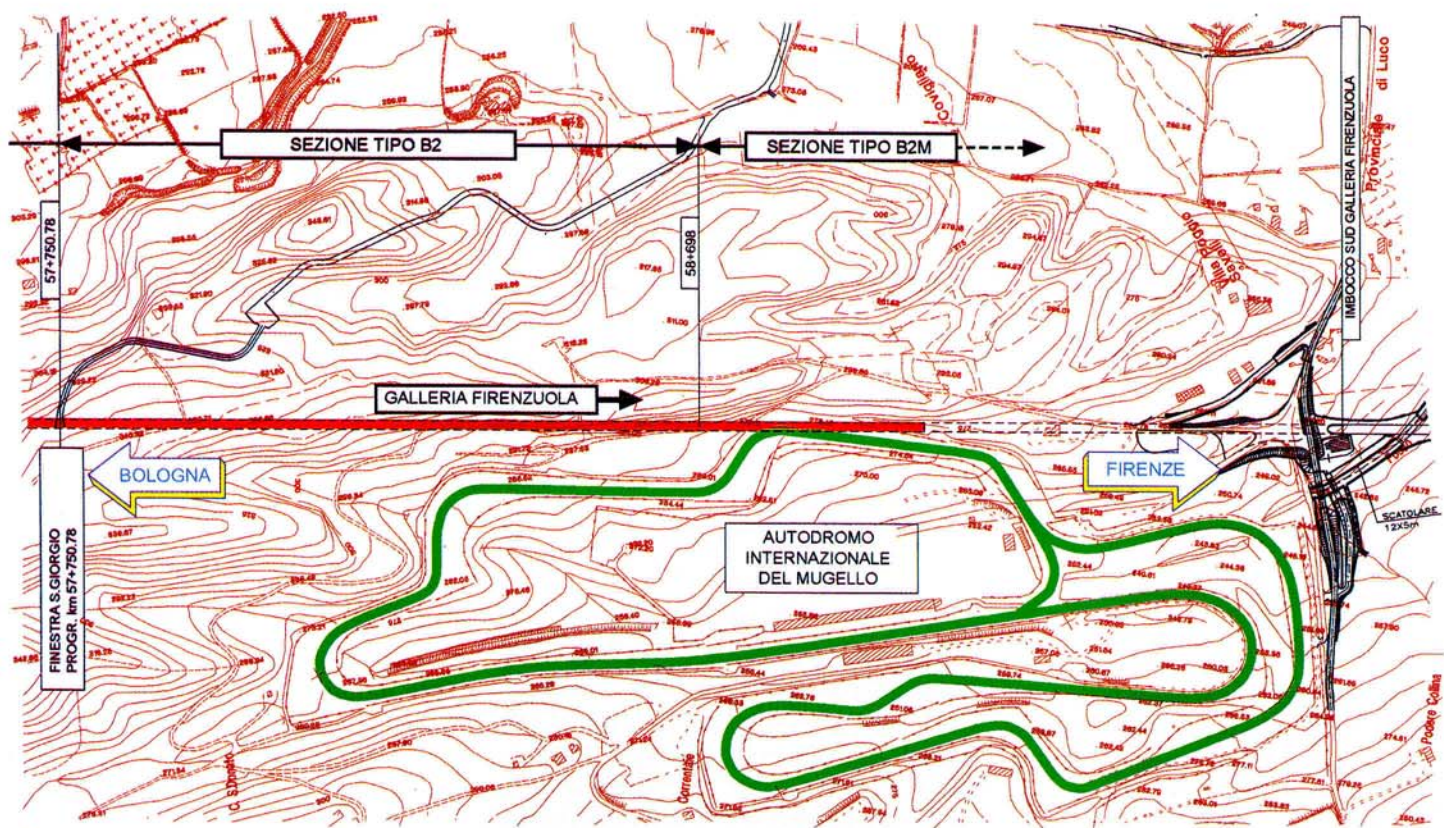
Nell'ambito della progettazione e della costruzione della galleria Firenzuola, particolare rilevanza hanno assunto le problematiche connesse al sottoattraversamento della pista dell'Autodromo del Mugello in corrispondenza della curva denominata "Borgo S.Lorenzo, circuito, come noto, utilizzato per gare motociclistiche e automobilistiche a carattere nazionale e internazionale (figg. 1 e 2). L'articolo illustra come tali problematiche si siano risolte utilizzando i principi dell'approccio ADECO-RS.

debolezza ai fini di una pianificazione delle opere stesse.

Negli ultimi quindici anni, però, sono stati fatti progressi importanti in fatto di tecniche geognostiche e di sistemi d'attacco e stabilizzazione adatti per affrontare con successo qualsiasi tipo di terreno e qualsiasi condizione tenso-deformativa (jet-grouting in orizzonta-

▼ **Figura 1** - Vista dell'Autodromo Internazionale del Mugello





▲ **Figura 2** - Galleria Firenzuola, sottoattraversamento dell'Autodromo Internazionale del Mugello: corografia

le, pretaglio meccanico, preconsolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina, ecc.). Questo ha costituito la premessa indispensabile per poter pensare a razionali approcci progettuali e costruttivi, che permettessero di progettare le opere in sotterraneo prima di iniziarne la costruzione, prevedendone attendibilmente i tempi e i costi esecutivi come normalmente da sempre fatto per le altre opere d'ingegneria civile.

Più di dieci anni fa, in Italia, è stato proposto l'A.DE.CO.-RS, un approccio progettuale e costruttivo innovativo, che focalizza l'attenzione del progettista sulla risposta deformativa del mezzo all'azione dello scavo.

Tale risposta, dapprima viene analizzata e prevista, utilizzando gli strumenti disponibili (misure in scala reale e in laboratorio, modelli numerici, ecc.), poi viene controllata con appropriati interventi di stabilizzazione.

Contrariamente agli approcci tradizionali derivati dal NATM, che considerano solo la deformazione che si manife-

sta a valle del fronte di scavo, l'approccio A.DE.CO.-RS studia la risposta deformativa sin dal suo nascere a monte del fronte e poi, naturalmente, anche a valle dello stesso, avendo riconosciuto, sulla scorta di ricerche teoriche e sperimentali compiute negli ultimi 15 anni, ch'essa evolve sotto forma di estrusione, pre-convergenza e, infine, convergenza.

Di conseguenza, l'approccio A.DE.CO.-RS controlla detta risposta agendo soprattutto a monte del fronte di scavo, con azioni di precontenimento del cavo, e non solo a valle dello stesso, con azioni di semplice contenimento, come usano fare gli approcci tradizionali. In particolare, l'azione di precontenimento è ottenuta utilizzando il nucleo di terreno a monte del fronte di scavo (opportuna-mente protetto e/o consolidato) come elemento strutturale di stabilizzazione della galleria nelle fasi di scavo e di costruzione.

Così operando, l'approccio è in grado, per la prima volta, di affrontare con successo qualsiasi tipo di terreno e di condizione tenso-deformativa, comprese le più

difficili, e poiché il progetto può venir verificato e tarato in corso d'opera confrontando parametri omogenei (risposta deformativa prevista dal calcolo con risposta deformativa misurata) viene superata anche quella che è sempre stata la principale pecca degli approcci tradizionali: confrontare tra loro parametri non omogenei (classi geomeccaniche con risposta deformativa).

Altra importante caratteristica che contraddistingue l'approccio A.DE.CO.-RS da quelli tradizionali, è ch'esso si basa sulla netta distinzione tra momento della progettazione e momento della costruzione dell'opera. Ciò rende possibile stimare attendibilmente in via preventiva, anche per le opere in sotterraneo, costi e tempi di realizzazione, col risultato che tra Committenti e Costruttori cominciano a venir stipulati contratti a *forfait*, nei quali questi ultimi si fanno carico di tutti i rischi, compreso quello geologico.

È il caso delle opere in sotterraneo in corso costruzione per l'attraversamento appenninico tra Bologna e Firenze del

sistema ferroviario italiano ad alta velocità (oltre 102 km di scavi sotterranei tra gallerie di linea, finestre e gallerie di servizio), appaltate interamente, sulla base di un approfondito progetto esecutivo redatto secondo i principi dell'approccio A.DE.CO.-RS, con un contratto di questo tipo.

Rimandando alle pubblicazioni riportate in bibliografia chi fosse interessato a una più esaustiva trattazione dell'approccio in questione, nel seguito vedremo, attraverso l'illustrazione della sua applicazione a un caso pratico significativo, com'esso si presti anche ad una corretta applicazione dei criteri osservazionali ai fini della taratura e dell'ottimizzazione del progetto in corso d'opera.

Linea ferroviaria ad alta velocità Milano-Napoli, tratta Bologna-Firenze: aspetti progettuali e costruttivi del sottoattraversamento della pista dell'Autodromo Internazionale del Mugello in condizioni di ridotta copertura

Nell'ambito dei lavori di costruzione

della galleria Firenzuola, per la nuova linea ferroviaria ad alta velocità tra Bologna e Firenze, particolare rilevanza hanno assunto le problematiche connesse al sottoattraversamento, in condizioni di ridotta copertura (circa 20 m), della pista dell'Autodromo del Mugello, circuito, come noto, utilizzato per gare motociclistiche e automobilistiche a carattere nazionale e internazionale (figg. 1 e 2).

Quadro geologico-geotecnico e idrogeologico (fase conoscitiva)

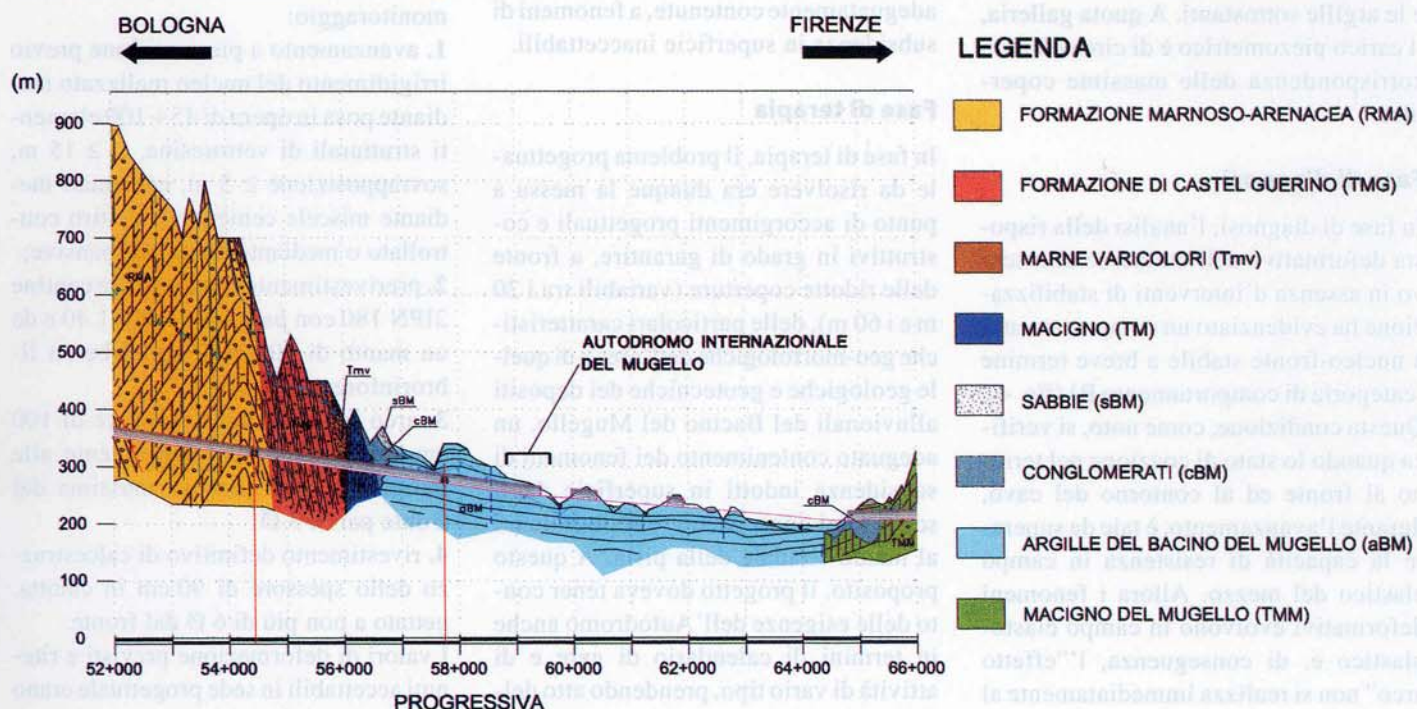
L'area interessata dai lavori per il sottoattraversamento dell'autodromo è ubicata all'interno del Bacino del Mugello e attraversa obliquamente la valle creata dal torrente Bagnone. Dal punto di vista geologico i terreni da scavare appartengono alla formazione delle Argille del Mugello (aBM), costituita da depositi fluvio-lacustri pleistocenici a stratificazione suborizzontale. Si tratta di limi argillosi debolmente sabbiosi di colore grigio-azzurro, a struttura compatta, non alterati né ossidati, con disperse lenti torbose nerastre e livelli o lenti di sabbia fine frammista a limo. Una coltre alluvionale o eluviale costituita da sabbie,

ghiaie e conglomerati di apparati conoidi spesso li ricopre in superficie (fig. 3). Dal punto di vista geotecnico, le Argille del Bacino del Mugello possono essere classificate come argille inorganiche di plasticità medio-bassa (CL) e buona consistenza, leggermente sovraconsolidate (OCR compreso tra 2 e 5). I parametri di resistenza e deformabilità del materiale sono stati indagati in condizioni drenate e non drenate mediante prove di compressione semplice e triassiali (CD, CU e UU), che hanno evidenziato valori di coesione non drenata crescenti con la profondità e comunque compresi tra 1 e 5 Kg/cm² (0,1 + 0,5 MPa). In condizioni drenate, la resistenza del materiale intensamente sollecitato decade in due fasi distinte:

- al raggiungimento dei valori di resistenza di picco, a seguito di piccoli scorrimenti relativi, si distruggono i legami particellari che conferiscono al materiale la coesione efficace c', invece l'angolo d'attrito efficace non subisce variazioni rispetto al valore di picco;
- a seguito di scorrimenti relativi maggiori, l'angolo d'attrito efficace decade al valore residuo.

In sintesi le indagini hanno permesso di

▼ **Figura 3** - Galleria Firenzuola, sottoattraversamento dell'Autodromo Internazionale del Mugello: geologia



attribuire al terreno, in prima analisi, i seguenti parametri geotecnici:

- peso di volume: 1,9 - 2 t/m³
- coesione eff. di picco: 0,2 - 0,3 Kg/cm² (0,02 - 0,03 MPa)
- coesione eff. residua: 0
- angolo d'attrito eff. di picco: 24° - 28°
- angolo d'attrito eff. residuo: 15° - 18°

Il modulo elastico, valutato sulla base di prove pressiometriche, è risultato variabile linearmente con la profondità secondo la legge:

$$E(z) = 115 + 30,2 * z \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

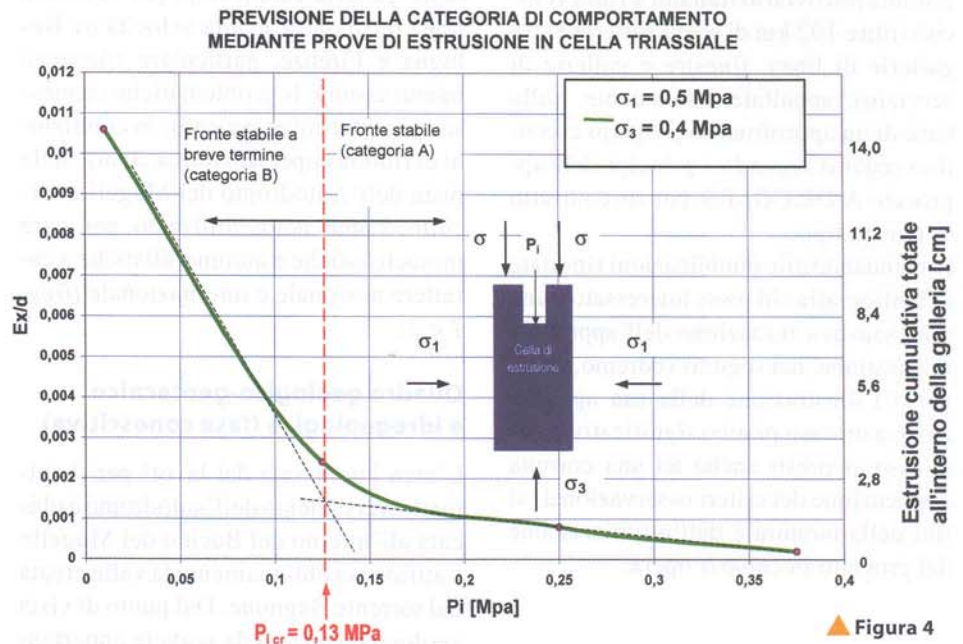
Anche il coefficiente di consolidazione (C_v), ottenuto da prove di consolidazione, è risultato variabile con la profondità e compreso tra 5×10^{-7} e 3×10^{-7} m/s.

Sono state infine eseguite alcune prove di estrusione in cella triassiale il cui risultato è riportato in fig. 4.

Dal punto di vista idrogeologico, le Argille del Mugello sono una formazione essenzialmente impermeabile, al cui interno possono tuttavia incontrarsi livelli e lenti di sabbia di spessore fino a 3 metri, possibili sedi di falde artesiane. Una serie di piezometri installati lungo il tracciato della galleria da realizzare hanno evidenziato la presenza di una falda la cui linea piezometrica tende ad alzarsi seguendo grossomodo il contatto stratigrafico tra la copertura alluvionale e le argille sottostanti. A quota galleria, il carico piezometrico è di circa 40 m in corrispondenza delle massime coperture.

Fase di diagnosi

In fase di diagnosi, l'analisi della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza d'interventi di stabilizzazione ha evidenziato un comportamento a nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria di comportamento B) (fig. 4). Questa condizione, come noto, si verifica quando lo stato di coazione nel terreno al fronte ed al contorno del cavo, durante l'avanzamento, è tale da superare la capacità di resistenza in campo elastico del mezzo. Allora i fenomeni deformativi evolvono in campo elastoplastico e, di conseguenza, l'"effetto arco" non si realizza immediatamente al



contorno del cavo, bensì ad una distanza che dipende dalla potenza della fascia dove il terreno subisce il fenomeno della plasticizzazione.

In una tale situazione la stabilità del fronte sarebbe stata fortemente condizionata dalla velocità d'avanzamento e le deformazioni del nucleo, sotto forma di estrusioni, a fronte delle ridotte coperture, avrebbero dato luogo, se non adeguatamente contenute, a fenomeni di subsidenza in superficie inaccettabili.

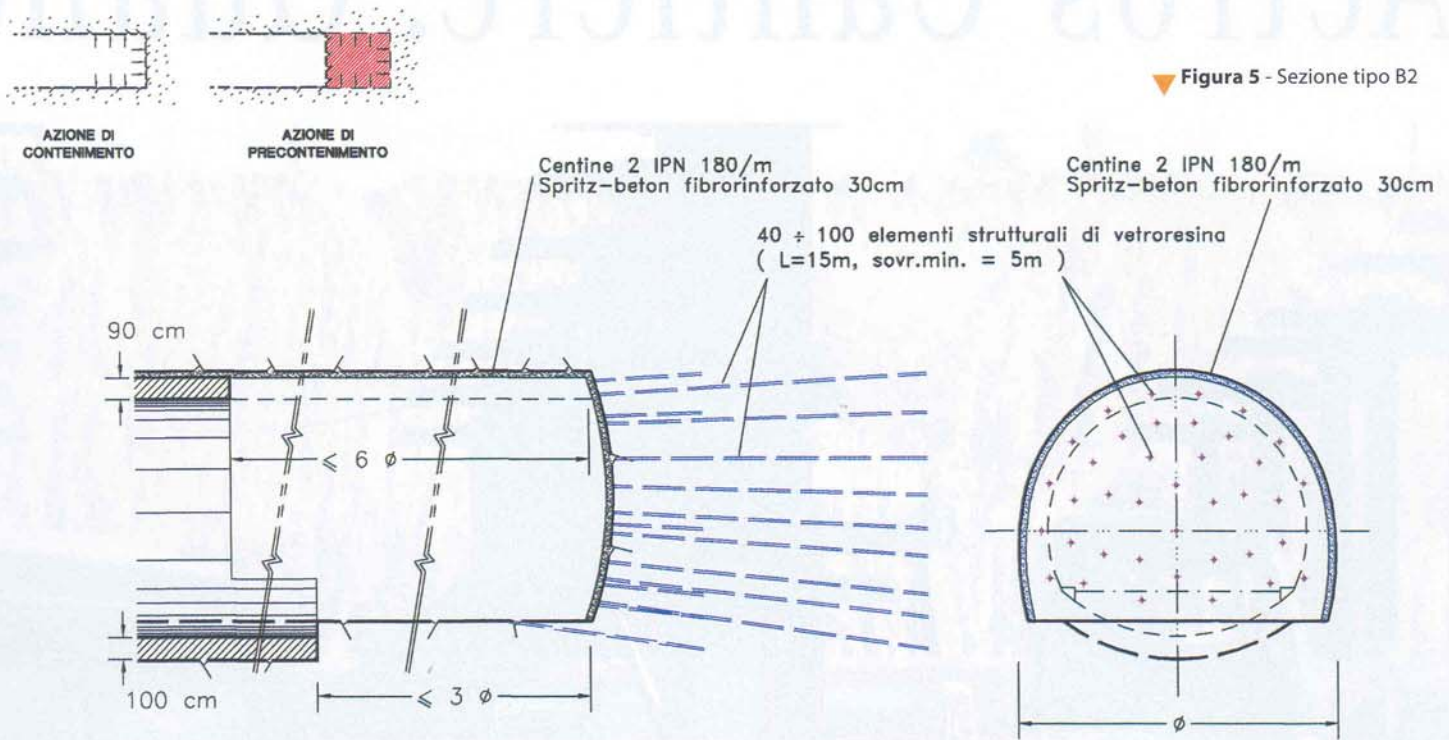
Fase di terapia

In fase di terapia, il problema progettuale da risolvere era dunque la messa a punto di accorgimenti progettuali e costruttivi in grado di garantire, a fronte delle ridotte coperture (variabili tra i 20 m e i 60 m), delle particolari caratteristiche geo-morfologiche dell'area e di quelle geologiche e geotecniche dei depositi alluvionali del Bacino del Mugello, un adeguato contenimento dei fenomeni di subsidenza indotti in superficie dagli scavi e dei conseguenti, possibili danni al manto stradale della pista. A questo proposito, il progetto doveva tener conto delle esigenze dell'Autodromo anche in termini di calendario di gare e di attività di vario tipo, prendendo atto del-

la inderogabilità dall'aver la pista in perfette condizioni in tempo utile per l'omologazione in vista del Campionato Mondiale di motociclismo (Aprile-Maggio 2000).

Tenuto conto di tutte le esigenze, in sede di progettazione costruttiva si è messo a punto il seguente schema d'avanzamento (fig. 5), da tarare poi in fase operativa sulla base delle misure di monitoraggio:

1. avanzamento a piena sezione previo irrigidimento del nucleo realizzato mediante posa in opera di $45 \div 100$ elementi strutturali di vetroresina, $L \geq 15$ m, sovrapposizione ≥ 5 m, cementati mediante miscele cementizie a ritiro controllato o mediante miscele espansive;
 2. priverivestimento composto da centine 2IPN 180 con passo $p = 1.00 \div 1.40$ e da un manto di 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato;
 3. arco rovescio dello spessore di 100 cm, gettato contemporaneamente alle murette ad una distanza massima dal fronte pari a $3 \varnothing$;
 4. rivestimento definitivo di calcestruzzo dello spessore di 90 cm in calotta, gettato a non più di $6 \varnothing$ dal fronte.
- I valori di deformazione previsti e ritenuti accettabili in sede progettuale erano



▼ Figura 5 - Sezione tipo B2

pari a 5 cm per l'estrusione cumulativa totale e a 8 cm per la convergenza radiale media. Riguardo all'estrusione differenziale totale, si sono fissati i seguenti valori limite: 0,5 % per la soglia di vigilanza e 1 % per quella di allarme (fig. 6).

Programma di monitoraggio

Considerata la delicatezza della situazione, nel mese di Giugno 1999, approssimandosi l'interferenza con la pista, si è dato inizio ad un programma di moni-

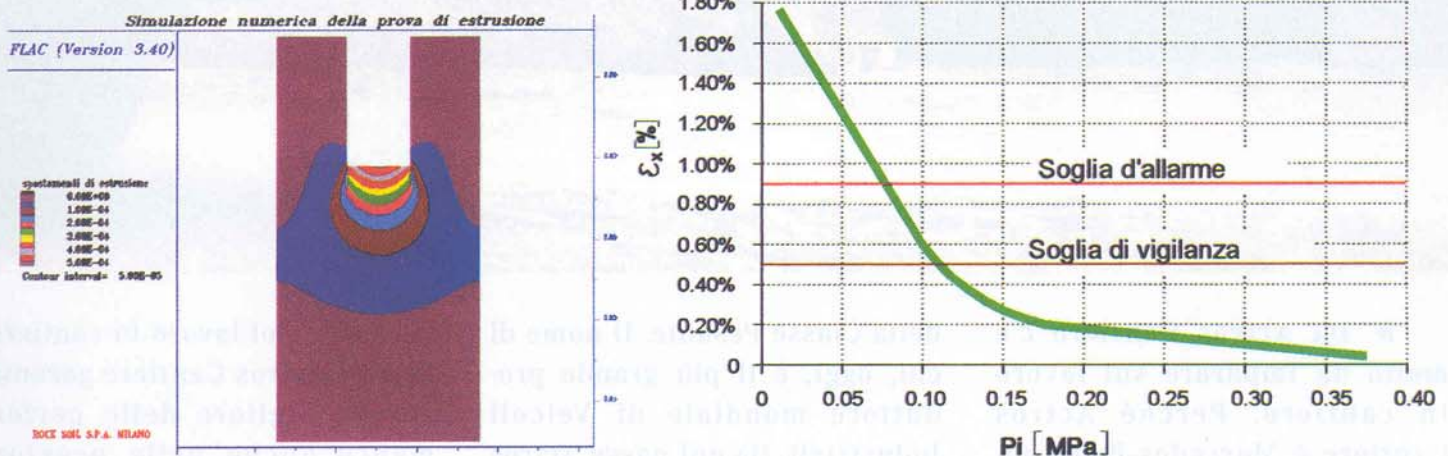
toraggio in tempo reale, sulla base di quanto già previsto in sede di progetto, anche allo scopo di assicurare all'Autodromo la sicurezza necessaria per il mantenimento dell'attività già programmata.

La risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è stata monitorata accuratamente sia dall'interno del cavo in avanzamento, sia dalla superficie. Dall'interno del cavo essa è stata analizzata attraverso il rilievo sistematico delle estrusioni del fronte (sia mediante *sliding micrometer* sia mediante rilevamento topografico) e delle convergenze della cavità, dalla superficie la stessa è stata studiata attraverso la realizzazione di un idoneo sistema di controllo topografico in tempo reale delle subsidenze indotte dal passaggio del fronte di scavo.

Il sistema di monitoraggio esterno, che è stato studiato e realizzato dalla struttura di progettazione (Rocksoil S.p.A di Milano) in collaborazione col Consorzio Treesse, era strutturato in modo tale che

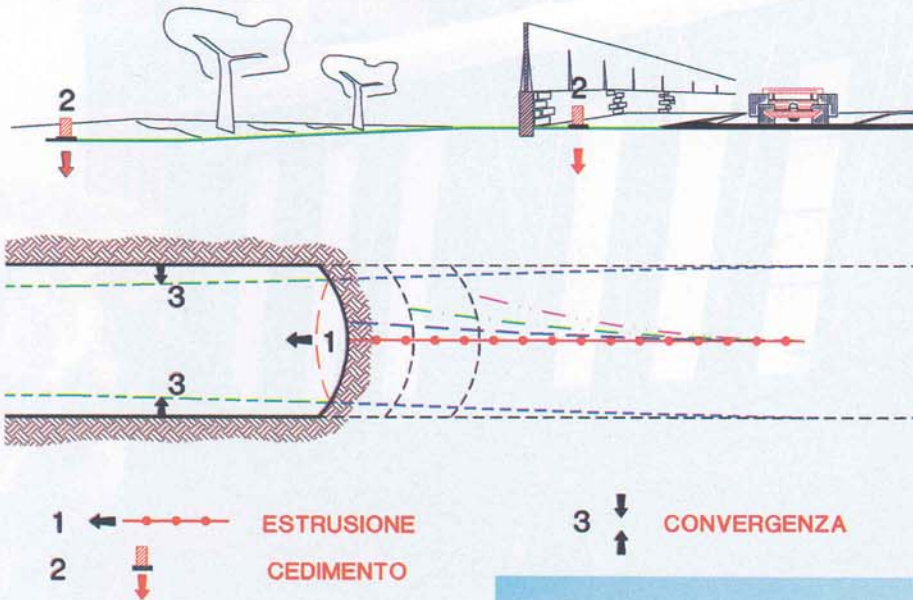
▼ Figura 6

Scelta delle soglie di vigilanza e d'allarme sulla base delle prove di estrusione in cella triassiale (ricostruite mediante un modello assialsimmetrico)





▲ **Figura 7** - La curva «Borgo San Lorenzo»



▲ **Figura 8** - Tipi di misure eseguite

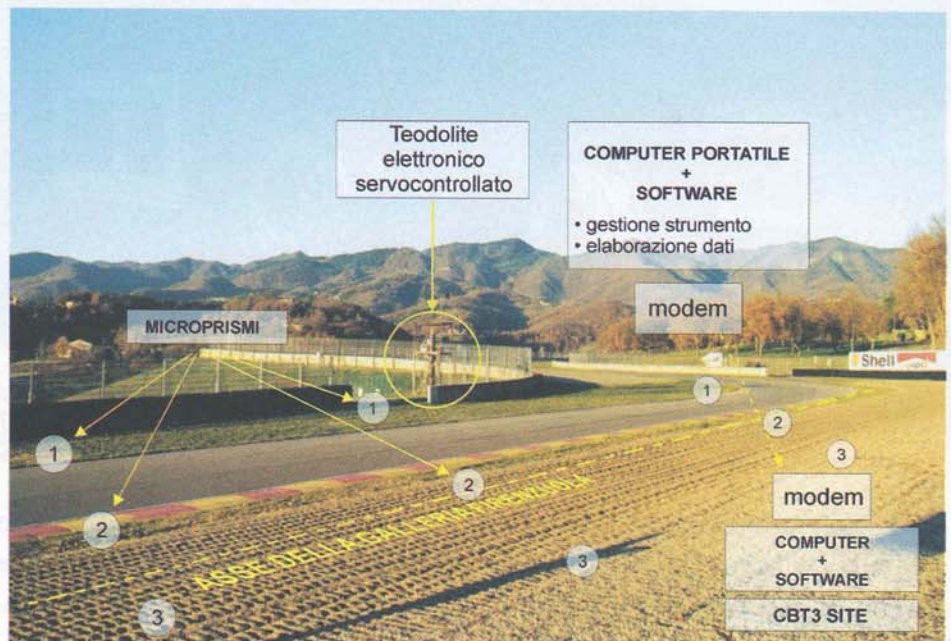
da una "torre faro", costruita appositamente vicino alla zona d'interferenza tra la galleria e l'autodromo, fosse possibile battere automaticamente, con cadenza oraria, una serie di mire ottiche, disposte secondo una maglia di circa 10 x 5 m sulla fascia di terreno a cavallo dell'asse della futura galleria, precedente e seguente la zona d'interferenza con la pista presso la curva "Borgo San Lorenzo" (figg. 7, 8 e 9). I dati rilevati, trasmessi in tempo reale alla centrale di controllo, venivano immediatamente elaborati e trasmessi in cantiere alla struttura di progettazione.

La taratura del progetto sulla base dei dati di monitoraggio

Il monitoraggio ha permesso di evidenziare che i fenomeni di subsidenza avevano inizio circa 60 m prima dell'arrivo del fronte di scavo per poi evolvere verso valori di cedimento significativamente superiori a quelli previsti per la sezione tipo adottata, facendo registrare circa 14 cm di subsidenza in asse galleria alla progressiva Km 58+690, che sono diventati 22 dopo il passaggio del fronte (fig. 10). Riportando su un grafico l'andamento del cedimento in funzione della distanza dal fronte di scavo, si poteva notare lo svilupparsi di circa il 60% della subsidenza totale prima dell'arrivo del fronte di scavo. Un'ulteriore quota pari al 30% si sviluppava nei 20 m successivi al passaggio del fronte (prima che venisse gettato l'arco rovescio) e il restante 10% nei successivi 40 m.

Contemporaneamente, all'interno della galleria venivano misurati valori di estrusione totale dell'ordine di 10 cm e valori medi di convergenza radiale dell'ordine di 10÷12 cm. L'estrusione differenziale totale superava abbondantemente la prefissata soglia d'allarme (fig. 11).

▼ **Figura 9** - Monitoraggio topografico in superficie



Queste differenze tra valori previsti e valori misurati erano riconducibili principalmente ad una situazione geotecnica reale diversa da quella evidenziata dalla campagna geognostica su cui si erano basate le previsioni.

Si poneva quindi il problema di tarare opportunamente l'intensità e la distribuzione degli interventi di stabilizzazione previsti tra il fronte e il cavo, in modo da ottimizzare la soluzione progettuale, sia dal punto di vista dei cedimenti (danni alla pista), sia dal punto di vi-

CEDIMENTO LONGITUDINALE IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DAL FRONTE

Figura 10

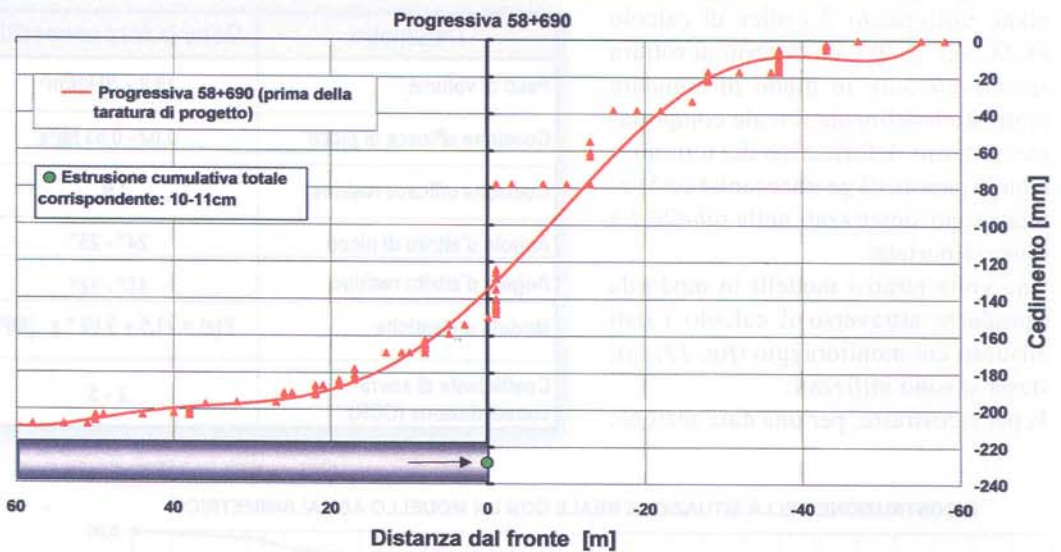
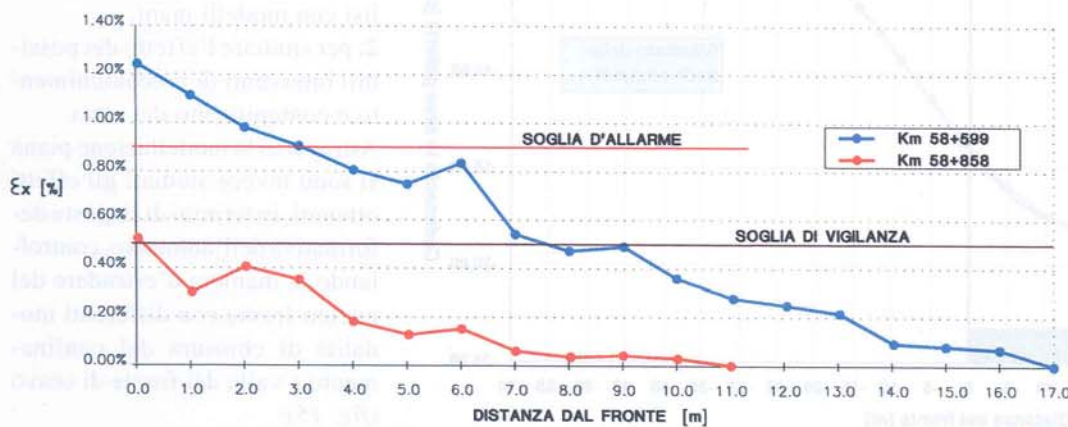


Figura 11 - Impiego del principio di estrusione differenziale totale per valutare la sicurezza dello scavo



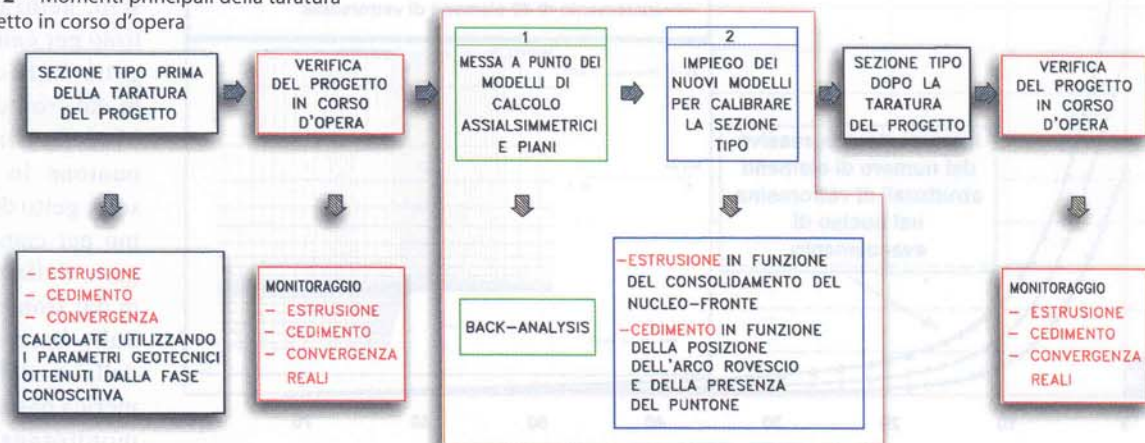
sta economico, sia dal punto di vista dei tempi (superamento della zona dell'Autodromo entro il mese di Febbraio 2000). Per risolverlo, si è proceduto attraverso

ai seguenti passi (fig. 12):
1. ricostruzione mediante modellazione numerica, mettendo a frutto tutti i dati forniti dal monitoraggio (estrusioni, con-

vergenze, cedimenti del piano campagna) attraverso una procedura di *back analysis*, della situazione reale al fine della determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità e delle procedure numeriche più adatte a rappresentarla;

2. messa a punto, utilizzando i modelli numerici tarati nel passo precedente, degli interventi di pre-contenimento e contenimento del cavo da eseguirsi al fine di limitare i fenomeni di estrusione e di subsidenza entro i limiti desiderati. Al fine di ricostruire numericamente la situazione reale si sono realizzati diversi modelli numerici alle diffe-

Figura 12 - Momenti principali della taratura del progetto in corso d'opera



renze finite, 12 assialsimmetrici e 32 piani, utilizzando il codice di calcolo FLAC ver. 3.40 e un criterio di rottura *strain softening* in grado di simulare piuttosto fedelmente il reale comportamento tenso-deformativo del terreno.

I nuovi parametri geomeccanici così valutati sono sintetizzati nella *tabella 1* a fianco riportata.

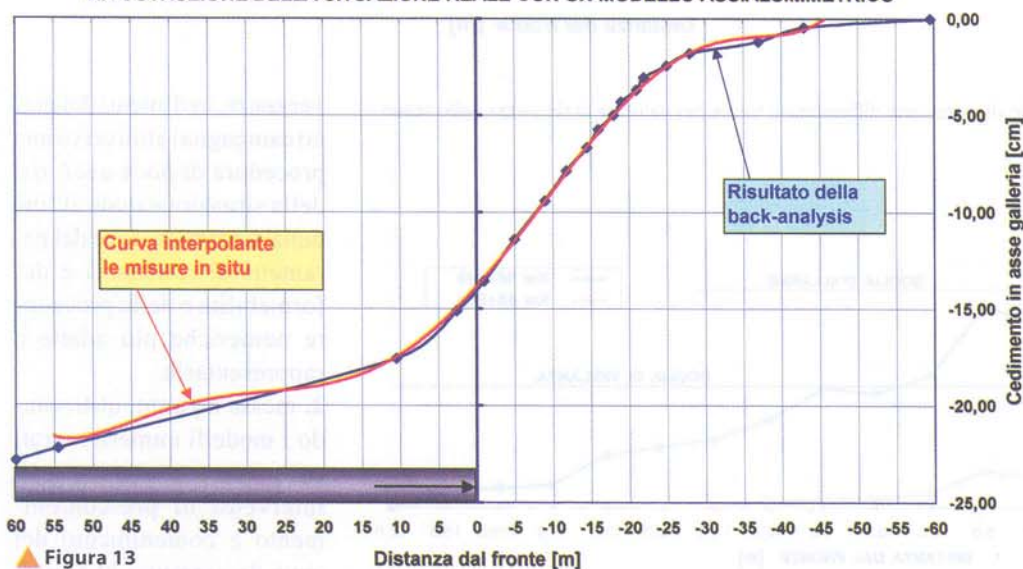
Una volta tarati i modelli in modo da riprodurre attraverso il calcolo i dati misurati col monitoraggio (*fig. 13*), gli stessi si sono utilizzati:

1. per ricostruire, per una data sezione,

▼ **Tabella 1** - Parametri geomeccanici delle Argille del Bacino del Mugello

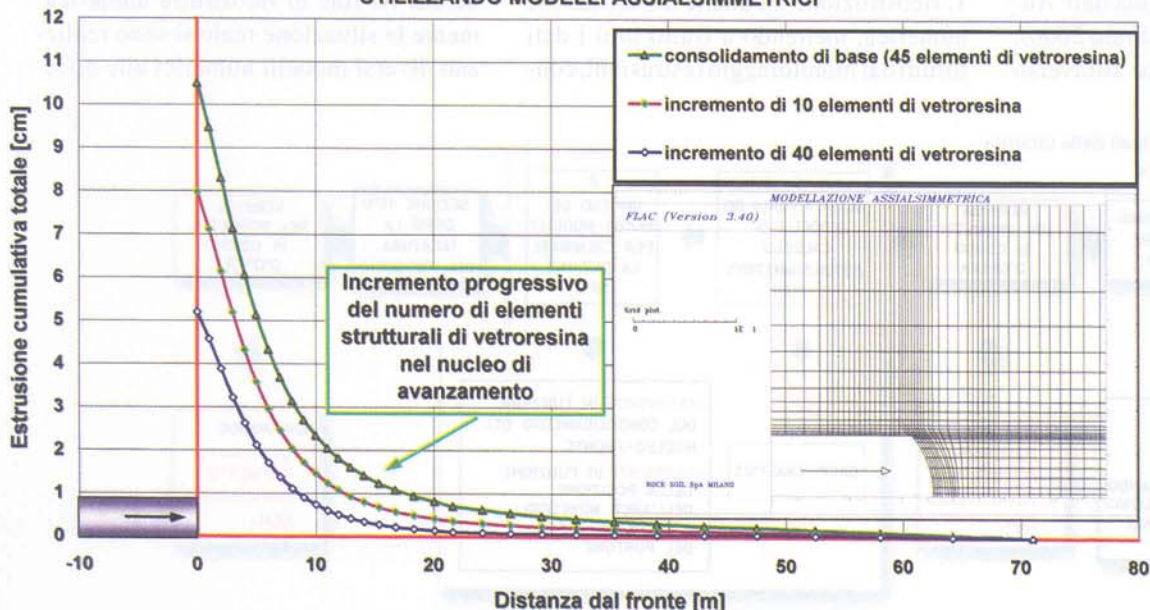
Parametro	Dopo la fase conoscitiva	Dopo la back-analysis
Peso di volume	19,9 - 20 kN/m ³	19,9 - 20 kN/m ³
Coesione efficace di picco	0,02 - 0,03 MPa	0,015 MPa
Coesione efficace residua	0	0
Angolo d'attrito di picco	24° - 28°	22°
Angolo d'attrito residuo	15° - 18°	15°
Modulo d'elasticità	$E(z) = 11,5 + 3,02 * z$ [MPa]	$E(z) = 11,5 + 0,5 * z$ [MPa]
Coefficiente di sovraconsolidazione (OCR)	2 - 5	2 - 5

RICOSTRUZIONE DELLA SITUAZIONE REALE CON UN MODELLO ASSIALSIMMETRICO



▲ **Figura 13**

▼ **Figura 14** OTTIMIZZAZIONE DEL CONSOLIDAMENTO DEL NUCLEO D'AVANZAMENTO UTILIZZANDO MODELLI ASSIALSIMMETRICI



l'andamento della curva di deconfinamento in funzione della distanza del fronte, la cui conoscenza è essenziale per poter condurre attendibilmente delle analisi con modelli piani;

2. per studiare l'effetto dei possibili interventi di precontenimento e contenimento del cavo.

Attraverso la modellazione piana si sono invece studiati gli effetti ottenuti, in termini di risposta deformativa dell'ammasso, controllando la maniera d'estrudere del nucleo-fronte con differenti modalità di chiusura del confinamento a valle del fronte di scavo (*fig. 15*):

Modello A): presenza del puntone in arco rovescio, getto di quest'ultimo per campi di 4 m, getto della calotta a 40 m dal fronte;

Modello B): presenza del puntone in arco rovescio, getto di quest'ultimo per campi di 12 m, getto della calotta a 40 m dal fronte;

Modello C): assenza del puntone in arco rovescio, getto di quest'ultimo per campi di 12 m, getto della calotta a 40 m dal fronte.

Sulla base dei risultati della modellazione numerica basata sui dati di monitoraggio si sono

quindi decise le seguenti azioni di taratura del progetto costruttivo (fig. 16):

- utilizzazione per il consolidamento del nucleo d'avanzamento di 93 elementi strutturali di vetroresina di 24 m di lunghezza, con sovrapposizione minima di 12 m;
- puntone in arco rovescio;
- campi di getto dell'arco rovescio di 12 m;
- utilizzazione di miscele espansive per la cementazione degli elementi strutturali nel nucleo d'avanzamento.

Figura 15 OTTIMIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI AL FRONTE E AL CONTORNO DELLA CAVITA'

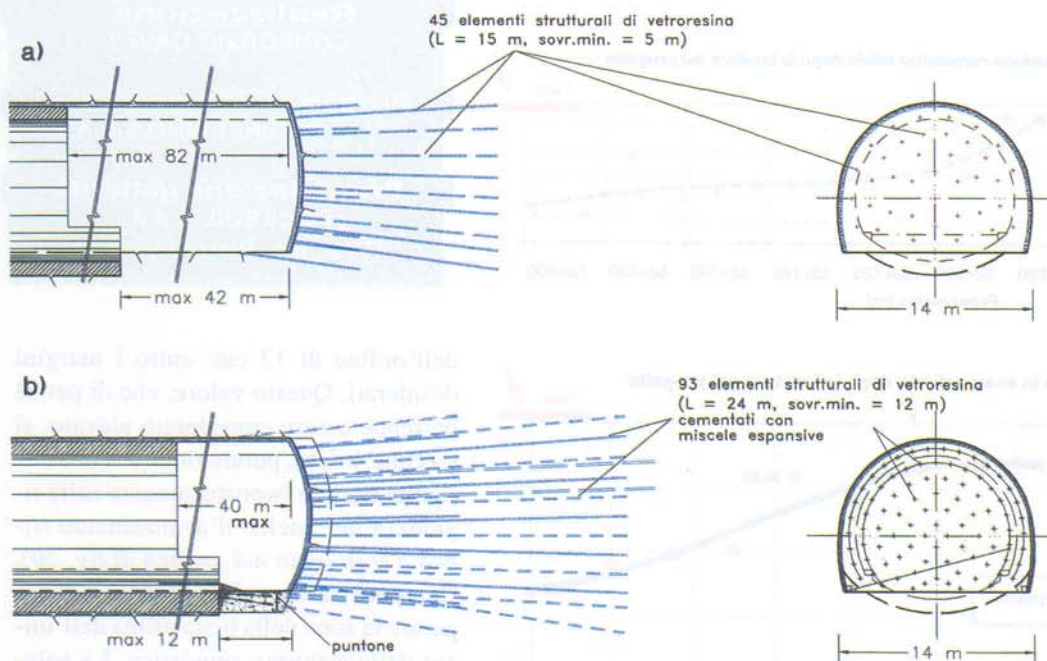
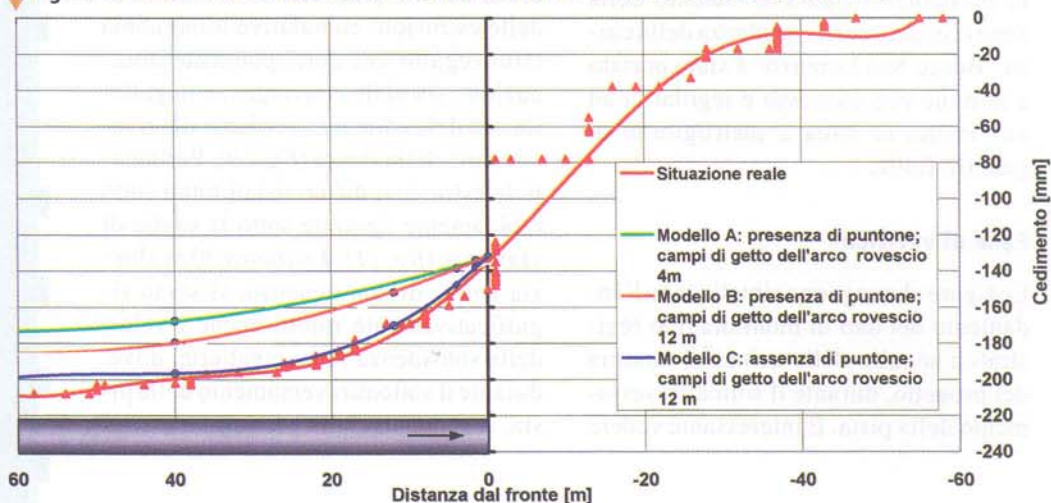


Figura 18 - Particolare dello scavo per il posizionamento del puntone a ridosso del fronte



Figura 16 - Sottoattraversamento dell'Autodromo Internazionale del Mugello:

- sezione tipo B2 prima della taratura del progetto in corso d'opera
- sezione tipo B2M dopo la taratura del progetto in corso d'opera

Figura 17 - Il fronte a piena sezione durante il sottoattraversamento dell'Autodromo: posizionamento del puntone in arco rovescio

Fase operativa

L'avanzamento della galleria in corrispondenza dell'Autodromo è avvenuto in conformità con le decisioni prese in fase di terapia (figg. 17 e 18) ed a seguito della messa a punto eseguita sulla base dei dati di monitoraggio, rispettando fedelmente le previsioni progettuali, sia in fatto di fenomeni deformativi che di tempi esecutivi.

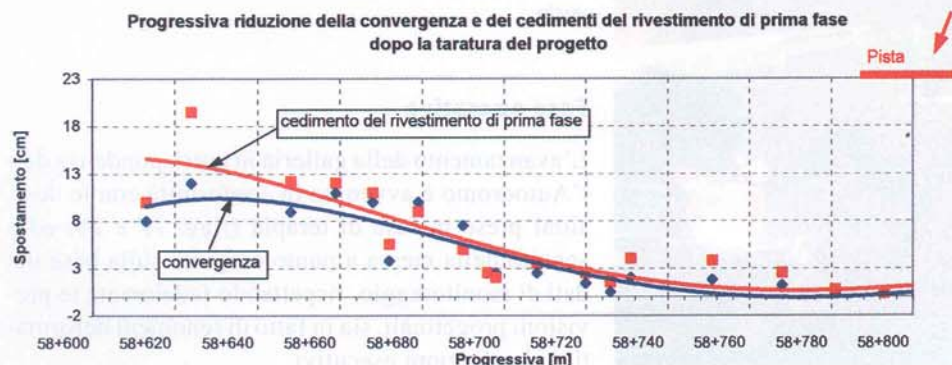
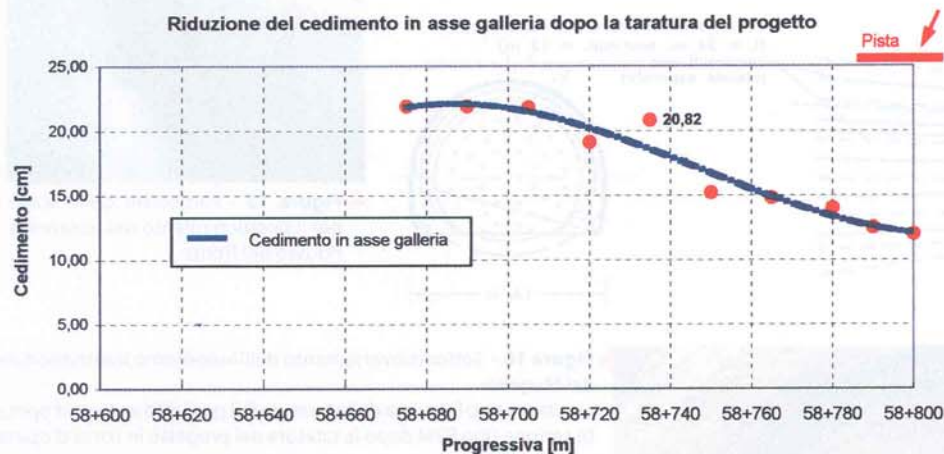
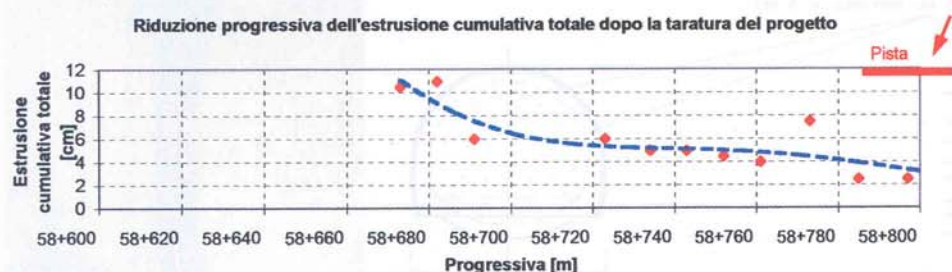
In particolare, l'attraversamento della zona critica in corrispondenza della curva "Borgo San Lorenzo" è stato portato a termine con successo e regolarità ad una media di circa 2 metri/giorno di galleria finita.

Fase di verifica

Le figure che seguono sintetizzano l'andamento dei dati di monitoraggio registrati a seguito delle azioni di taratura del progetto, durante il sottoattraversamento della pista. È interessante vedere

come ad una progressiva diminuzione delle estrusioni cumulative totali abbia fatto seguito una corrispondente diminuzione sia delle convergenze in galleria, sia del cedimento verticale del rivestimento della stessa (fig. 19). Parimenti, le estrusioni differenziali totali sono rapidamente rientrate sotto la soglia di vigilanza (fig. 11). La figura 20 evidenzia come, di conseguenza, si siano significativamente ridotti anche i valori della subsidenza in asse galleria, dove, durante il sottoattraversamento della pista, si sono misurati cedimenti massimi

Figura 19 - Sottoattraversamento dell'Autodromo Internazionale del Mugello: effetto della taratura del progetto in corso d'opera



lavoro
SISTEMA ALTA VELOCITÀ
Linea Milano-Napoli
Tratta Bologna-Firenze
Opere in sotterraneo

Concedente
Ferrovie dello Stato S.p.A.

Concessionaria
T.A.V. S.p.A.

Alta Sorveglianza
ITALFERR-SIS.T.A.V. S.p.A.

General Contractor
FIAT S.p.A.

Realizzazione:
CONSORZIO CAVET

Progettazione generale:
FIAT ENGINEERING S.p.A.

Progettazione gallerie:
ROCKSOIL S.p.A.
(Prof. Ing. Pietro Lunardi)

dell'ordine di 13 cm, entro i margini desiderati. Questo valore, che di per sé potrebbe essere considerato elevato, si sarebbe, infatti, potuto ridurre senza difficoltà agendo opportunamente sulla rigidità del nucleo d'avanzamento (linea a tratteggio nel grafico di fig. 20). Ciò, però, non avrebbe permesso di superare la zona della pista prima dell'inizio della stagione agonistica. La soluzione adottata, oltre a garantire la stabilità e la sicurezza degli scavi, si è dunque confermata ottimale sia sotto il profilo dei tempi esecutivi, sia sotto il profilo economico.

Conclusioni

Il caso illustrato, tratto dall'esperienza maturata durante la realizzazione delle opere in sotterraneo per la nuova linea ferroviaria ad alta velocità tra Bologna e Firenze, evidenzia come l'approccio A.DE.CO.-RS, utilizzato per la progettazione e la costruzione di tutte le gallerie della linea, dia una nuova e più corretta interpretazione dei criteri osserva-

zionali ai fini della verifica e della taratura finale del progetto in corso d'opera, che viene intesa come ottimizzazione e bilanciamento degli strumenti di stabilizzazione tra il fronte e il contorno del cavo nell'ambito della sezione tipo prevista al momento della progettazione.

Bibliografia

Lunardi P., Bindi R., Focaracci A., 1993. Technical and financial planning of underground works: the ADECO-RS method, VI Forum Europeo di Ingegneria Economica - Università Bocconi - Milano, 13-14 Maggio 1993.

Lunardi P., Bindi R., Focaracci A., 1993. Pianificazione tecnico-economica delle opere in sotterraneo mediante l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli, Costruzioni, settembre 1994.

Lunardi P., 1994-1996. Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli, (Italiano e france-

se), Quarry and Construction, Marzo 1994, Marzo 1995, Aprile 1996.

Lunardi P., 1997-1999. Conception et execution des tunnels d'après l'analyse des déformations contrôlées dans les roches et dans les sols, Revue Française de Géotechnique, n. 80, 84, 86.

Lunardi P., 1998. Storia del collegamento ferroviario tra Bologna e Firenze - Aspetti progettuali e costruttivi delle opere in sot-

terraneo, Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 54, (Italiano e inglese).

Lunardi P., 1999. L'influenza della rigidità del nucleo d'avanzamento sulla stabilità degli scavi in galleria, Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 59 (Italiano e inglese).

Lunardi P., 2000. Design & constructing tunnels - ADECO-RS approach, T&T International special supplement, Maggio 2000. ■

EFFETTO DELLA TARATURA DEL PROGETTO SUI VALORI DI CEDIMENTO IN SUPERFICIE

Figura 20

