

Il raccordo “Garfagnana” nell’itinerario pontremolese: aspetti progettuali ed esecutivi delle gallerie

Marco PUCCINELLI

Progettazione esecutiva di dettaglio, Libero professionista, Parma

Giuseppe AGRIMONTI

Responsabile di progetto, Impresa Pizzarotti & C. S.p.A., Parma

Roberto GIOVANNINI

Responsabile ufficio tecnico di cantiere, Impresa Pizzarotti & C. S.p.A., Parma

Guido ONTANO

Direttore Lavori, Italferr SpA, La Spezia

Nell’ambito del piano di ammodernamento delle linee della rete ferroviaria italiana (RFI) si inquadra il progetto di raddoppio dell’itinerario Pontremolese, che collega Parma a La Spezia.

In tale contesto nel tratto a cavallo della città di Aulla è previsto l’adeguamento, al nuovo tracciato dell’itinerario Pontremolese, del tratto a singolo binario che collega Aulla con Lucca, denominato “Raccordo Garfagnana”.

Tale adeguamento finalizzato ad una piena fruibilità della nuova Stazione di Aulla permette di evitare l’interferenza del tracciato stesso con la città di Aulla.

Infatti, il nuovo tracciato del Raccordo Garfagnana nei pressi di Aulla, individuato tra i vari corridoi alternativi esaminati come quello a minor impatto ambientale, si sviluppa per buona parte in sotterraneo, immettendosi in galleria prima dell’ingresso in città e ritornando a cielo aperto in corrispondenza della nuova stazione di Aulla.

Il presente articolo fornisce un inquadramento generale del nuovo Raccordo Garfagnana ed una descrizione degli aspetti progettuali ed esecutivi più salienti nello scavo delle due gallerie naturali presenti.

1. Introduzione

Nell’ambito del piano di ammodernamento delle linee della rete ferroviaria italiana (RFI) si inquadra il progetto di raddoppio dell’itinerario Pontremolese, che collega Parma a La Spezia (vedi Figura 1.1).

Attualmente risultano completate le tratte La Spezia – Aulla, Aulla – Chiesaccia e Berceto - Solignano, mentre la tratta Solignano - Osteriazza (circa 12 km) è in corso di realizzazione e le tratte Chiesaccia – Pontremoli – Berceto (circa 40 km) e Fornovo – Parma (circa 25 km) sono nella fase di progettazione.

In tale contesto, in corrispondenza della città di Aulla, è previsto il collegamento, attraverso una nuova tratta, di circa 1.8 km,



Fig. 1.1. – Linea Parma-La Spezia: inquadramento generale.

realizzata in variante di tracciato a partire dalla nuova stazione di Aulla, con la linea a singolo binario proveniente da Lucca (denominato “Raccordo Garfagnana”).

L’adeguamento del Raccordo Garfagnana è finalizzato ad una piena fruibilità della nuova Stazione di Aulla e permette, contestualmente, di evitare l’interferenza del tracciato stesso con la città di Aulla.

Infatti, il nuovo tracciato del Raccordo Garfagnana, nei pressi di Aulla, si sviluppa prevalentemente in sotterraneo, immettendosi in galleria prima dell’ingresso in città e ritornando a cielo aperto in corrispondenza della nuova stazione di Aulla.

Il presente articolo fornisce un inquadramento generale del nuovo Raccordo Garfagnana, una descrizione degli aspetti progettuali ed esecutivi più salienti relativamente alle opere in sotterraneo.

2. Inquadramento dell’opera

Il tracciato del Raccordo Garfagnana è stato realizzato in variante rispetto a quanto originariamente previsto.

In particolare lo studio del tracciato in variante del raccordo Garfagnana si è sviluppato con l’obiettivo di ottimizzare l’inserimento ambientale che un tracciato ferroviario ex-novo può esercitare nei confronti dell’ambiente circostante, ponendo attenzione nel limitare gli impatti che lo stesso può arrecare a ridosso di un centro urbano.

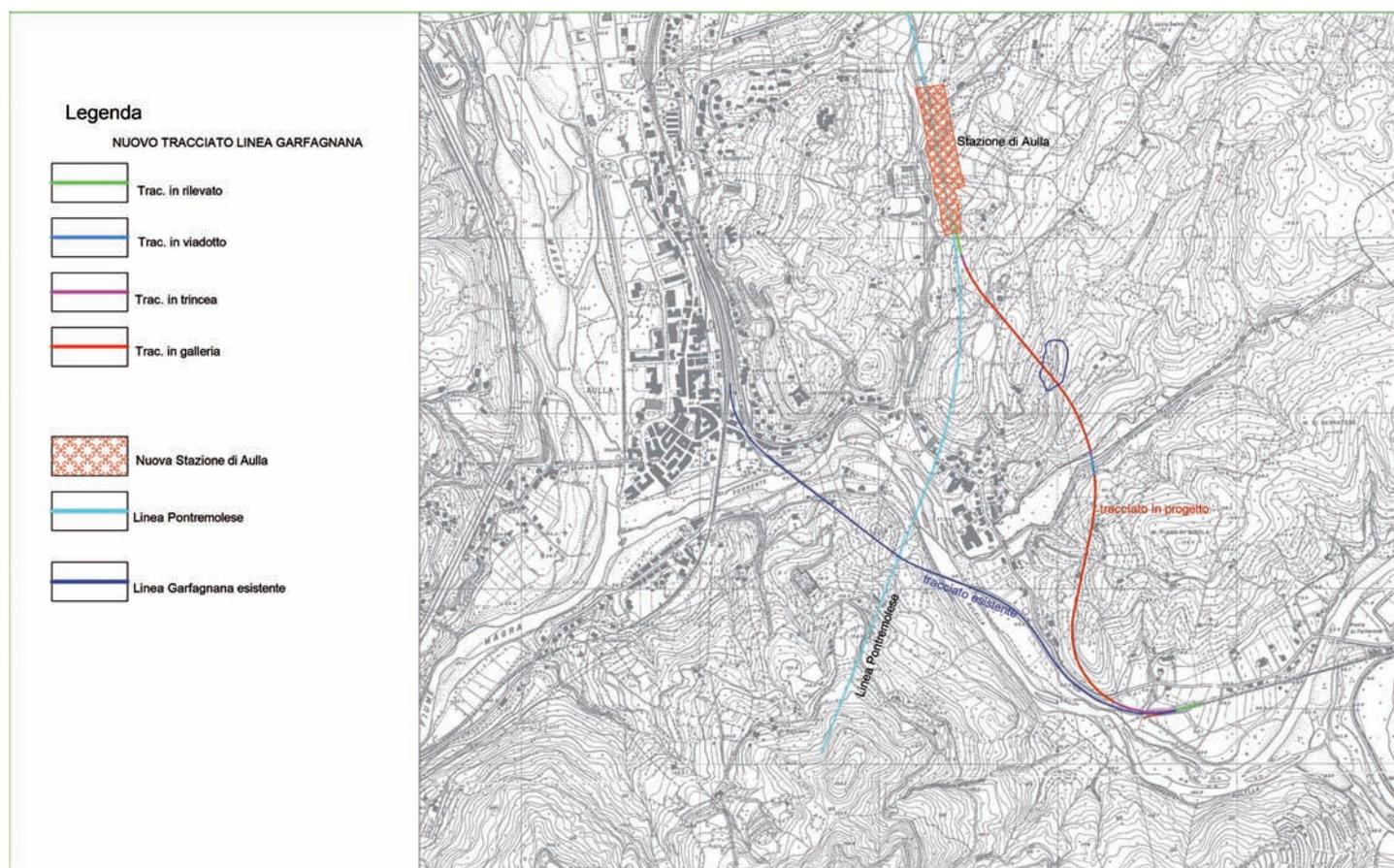


Fig. 2.1. – Raccordo Garfagnana – scelta dei corridoi alternativi.

Per tale motivo si è articolato in più fasi, esaminando diversi corridoi alternativi di confronto, denominati rispettivamente “tracciato 1”, “tracciato 2”, “tracciato 3” e “tracciato 4” (si veda Figura 2.1.). Dall’esame delle varie soluzioni alternative la scelta è ricaduta nel “tracciato 1” (linea rossa in Figura 2.1.), dimostrandosi quello che assicurava il minimo impatto in termini di localizzazione nel contesto circostante e di conservazione delle preesistenze, soddisfacendo anche le esigenze e le necessità degli enti locali, senza interferire, nel contempo, nella parte più meridionale, con l’alveo del torrente Aulella. Inoltre la soluzione scelta ha ricevuto il benestare della marina militare per l’attraversamento della loro area.

2.1. Descrizione del tracciato scelto

Il tracciato in variante scelto si sviluppa in destra idrografica del torrente Aulella per una lunghezza di circa 1778 m prevalentemente in galleria (1280 m – 72.0% del

tracciato), attraversando in viadotto il rio Dorbola e sottopassando il canale Pescigola.

Nello specifico il tracciato scelto presenta la prerogativa di mantenersi in destra orografica del torrente Aulella, innestandosi con la linea esistente del raccordo Garfagnana e mantenendosi in sede con il rilevato

Tab. 2.1. – Riepilogo opere presenti nel Raccordo Garfagnana.

Opera	Lunghezza [m]
Rilevato/trincea	261
Galleria Bibola	668
Trincea/rilevato	32
Viadotto Dorbola	50
Trincea/rilevato	24
Galleria Dorbola	612.5
Trincea/rilevato	130.5
Tot.	1778

to esistente, sovrappassando un tombino esistente.

Dopo il tratto in rilevato il tracciato prosegue con un tratto in trincea, con pendenza pari a quella della linea esistente a scendere verso Aulla, per poi immettersi, circa alla pk 420, in galleria (Galleria Bibola), previo un cambio di pendenza appena prima dell’imbocco della galleria stessa, assumendo un andamento a salire verso Aulla (pendenza 10.8‰).

All’uscita della galleria Bibola (circa alla pk 1+088) la linea attraversa un breve tratto di trincea/rilevato, per poi passare in viadotto (Viadotto Dorbola) alla pk 1+120, dovendo attraversare la stretta valle del torrente Dorbola.

Quindi si incontra un breve tratto di rilevato/trincea, per poi passare nuovamente in galleria (galleria Dorbola) circa alla pk 1+194, con pendenza monotona a salire del 6.3‰.

Lungo la galleria Dorbola è prevista, in corrispondenza di un’area depressa, localizzata in passato come discarica dei lavori relativi alla tratta già costruita dell’itinerario Pon-

tradizionali, e due tratti in artificiale in corrispondenza dei due imbocchi.

A livello di sistemazione definitiva gli imbocchi sono previsti con portali aventi la forma geometrica degli imbocchi attualmente presenti lungo la linea esistente per Lucca.

Nel prosieguo si illustreranno gli aspetti progettuali ed esecutivi limitatamente alle opere in sotterraneo.

3. Contesto geologico-geotecnico generale

Dal punto di vista tettonico-strutturale la zona in esame è ubicata in un bacino intramontano caratterizzato da una diffusa tettonica estensionale la cui evoluzione spazio-temporale è geneticamente legata alla formazione del bacino tirrenico (Bernini M. et Al. 1990). In particolare l'alta valle del Fiume Magra corrisponde ad una depressione tettonica disposta longitudinalmente alla catena appenninica (localmente sono distinguibili bacini ben delimitati come nel caso del bacino di Aulla-Olivola) con allungamento da NW verso SE. Il bacino del "Magra" è asimmetrico e contraddistinto da una Master faults listrica posizionata in sponda sinistra Magra (versante orientale). La tettonica estensiva si è impostata, a partire dal Tortoniano sup. sopra un edificio costituito da falde di ricoprimento a vergenza appenninica (strutturato tra il Miocene ed il Tortoniano).

La distensione prosegue attualmente come testimoniato dall'attività sismica attuale e storica.

L'area in oggetto è interessata da Unità Liguri, da depositi quaternari terrazzati e da sedimenti fluvio-lacustri Villafranchiani. Schematicamente il territorio è costituito dalle seguenti formazioni geologiche riportate in ordine geometrico dal basso verso l'alto e distinte tra formazioni geologiche di origine marina e successioni continentali.

3.1. Le Formazioni geologiche

Unità di m. Caio

Nell'area in esame questa unità del dominio ligure, a differenza di altre zone, presenta una successione con un detritismo ofiolitico volumetricamente molto rilevante facente parte dei complessi di base del Flysch di M.te Caio. L'unità è costituita dalle seguenti sottunità.

Flysch di M.te Caio (fC o CAO). (Campaniano medio-Maastrichtiano).

Sono costituiti da torbiditi calcareo-marnose, a base arenitica in strati da medi a molto spessi, con intercalazioni di torbiditi arenaceo-pelitiche in strati medio-sottili. Nella porzione inferiore e media della formazione sono intercalati stratigraficamente lembi discontinui di paraconglomerati, breccie poligeniche ed olistoliti con clasti di calcari silicei.

Complessi di base del Flysch di M.te Caio indifferenziati (cb) (Campaniano inf.). Negli affioramenti visionati sono costituiti da argilliti prevalenti varicolorate (argille varicolori AVV) e da argilliti e marne calcaree stratificate molto deformate a costituire un ammasso caotico; la successione può presentare anche paraconglomerati matrice sostenuti o clasto sostenuti, con clasti da centimetrici a metrici. All'interno dei complessi di base è possibile distinguere: *Ofoliti e breccie ofiolitifere cementate*: spesso in facies di olistoliti di basalti e di ultramafiti serpentizzate, fanno parte del complesso di base del F. di M. Caio e sono inglobate nelle Argilliti e breccie in assetto caotico.

Unità Ottone

Nella cartografia legata ai fogli geologici scala 1:50.000 (Foglio 233 – Pontremoli – collaudato, consultabile e non pubblicato; Foglio 216 Borgo Val di Taro – Pubblicato) viene ampiamente rivisto il complesso di base del Flysch di M.te Caio e viene, in vaste aree, distinto il complesso di Casanova al quale è stratigraficamente associato il Flysch di Ottone; muta quindi la dicitura geologica evolvendo la conoscenza locale. Una delle aree in cui si propone una nuova classificazione è proprio costituita dall'area compresa tra Aulla ed il t. Aulella. Nella carta geologica allegata al progetto sono descritti i parallelismi tra le diciture precedentemente usate e quelle del foglio 1:50.000; si è ritenuto infatti non opportuno modificare la terminologia e la simbolistica in quanto già ampiamente utilizzate nella varie fasi di progettazione della linea ferroviaria Pontremolese.

Flysch di Ottone (OTO). Torbiditi calcareo-marnose grigio-scure in strati da medi a molto spessi (talvolta a base calcarenitica), costituite da calcari e marne calcaree (prevalenti) a cui si intercalano marne siltose, argilliti calcaree, arenarie fini e siltiti. Nella

porzione inferiore e media della formazione sono intercalati paraconglomerati (matrice-sostenuti) polimitici (con clasti di più litologie), breccie ed olistoliti con clasti di calcari silicei di radiolariti o di ofioliti. Campaniano inf. Maastrichtiano inf.

Complesso di Casanova (CCV). Unità ad assetto prevalentemente caotico costituita da più membri senza un preciso ordine stratigrafico. Si distinguono:

CCV2. Paraconglomerati polimitici grigio scuri o grigio-verdi matrice-sostenuti o casto-sostenuti; clasti da subangolosi a subarrotondati, da centimetrati a metrici, sono costituiti da calcari silicei, radiolariti, ofioliti e più raramente da marne e graniti; la matrice è generalmente scagliosa;

CCV3. Breccie clasto-sostenute a prevalente elementi calcarei con clasti di calcilutiti silicee ed in subordine di radiolariti, ofioliti e graniti;

CCV4. Breccie clasto-sostenute oligomitiche a prevalenti elementi ofiolitici;

CCV5. Arenarie di Casanova in s.s. costituite da arenarie ofiolitiche gradate grigio-verdi e, in subordine, quarzoso-feldspaticomicacee, in strati sottili e medi più raramente grovacche feldspatiche. Al passaggio con il Flysch di Ottone si intercalano rare e spesse torbiditi calcareo-marnose.

Sono anche compresi Olistoliti di: basalti (Δ), ultramafiti serpentizzate (Σ) ed in subordine di lembi di successioni molto deformate riferibili alle Argille a Palombini (ap-APA) o agli scisti della Val Lavagna (sVL). Età. Coniaciano Sup.-Campaniano inf.

3.2. I Depositi continentali

Peliti di Aulla (pA_AUL). Argille siltose e siltoso-sabbiose grigio azzurre con livelli di argille lignitifere nerastre e locali lenti conglomeratiche e livelli sabbiosi. (Ruscignano-Villafranchino inf.).

Conglomerato della Val Magra (cM). Conglomerato a grossi ciottoli di "Macigno", monogenico non organizzato, matrice sabbiosa. Fortemente pedogenizzato. Pleistocene medio.

Alluvioni terrazzate (bn). Rappresentano il risultato delle azioni deposizionali e, successivamente, erosive del corso d'acqua, questo litotipo non presenta classazione, è privo di coesione; nelle aree in esame sono stati distinti due ordini di terrazzi.

Alluvioni recenti e vegetate. Circondano l'area

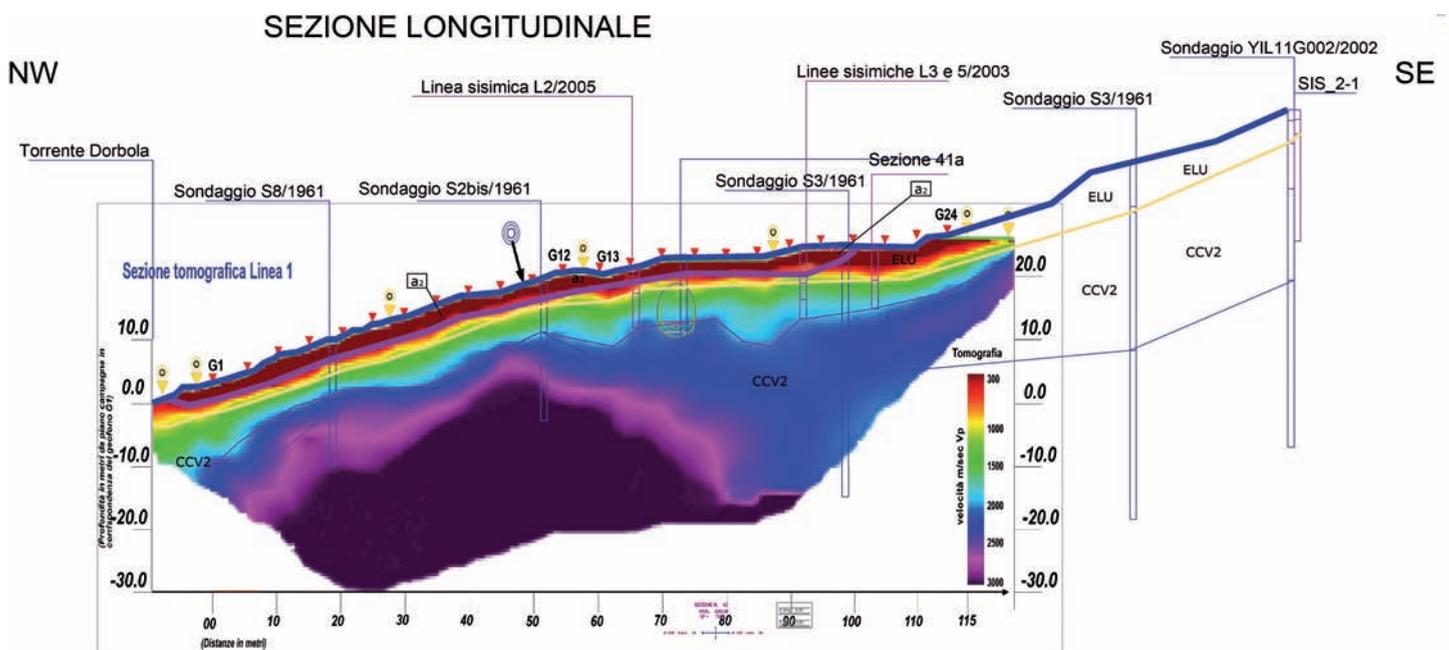


Fig. 3.1 – Galleria Bibola – Imbocco Nord: Restituzione tomografiche di indagine sismiche a rifrazione, con interpretazione contatti stratigrafici con evidenza della sezione della galleria.

esondabile del corso d'acqua e sono ricoperti da vegetazione ripariale fluviale. Alluvioni attuali mobili e ghiaiose. Occupano l'alveo e rappresentano i sedimenti più recenti dell'azione deposizionale fluviale.

Depositi sartumosi. Limi argillosi ubicati in corrispondenza di depressioni morfologiche che attualmente sono in avanzato stato di riempimento o impaludamento.

Materiali di riporto. Ghiaie e sabbie in matrice argilloso-limoso; prodotti di origine antropica.

Per quanto riguarda le coperture quaternarie di origine gravitativa è stata operata la distinzione fra frane attive e quiescenti.

Frane attive: si tratta di fenomeni in atto o temporaneamente assestati per i quali sussistono i rischi di una rimovimentazione della massa detritica.

Frane quiescenti: vengono incluse in questa categoria i movimenti gravitativi avvenuti in un passato recente, che in generale possono ritenersi stabilizzati, a meno di eventi naturali particolarmente intensi o di interventi antropici non correttamente effettuati.

3.3. Caratterizzazione geotecnica

Sulla base delle informazioni desumibili dalle indagini geognostiche (sono stati eseguiti carotaggi continui, prove in sito ed in laboratorio, indagini geofisiche, rilie-

vi geostrutturali) si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica dei litotipi. In particolare le tipologie dei terreni incontrati ed attraversati durante gli scavi risultano differenziabili in due principali classi geotecnico-meccaniche:

- gli ammassi rocciosi;
- i terreni sciolti.

In corrispondenza degli imbocchi delle gallerie sono state eseguite indagini geofisiche con elaborazione tomografica, finalizzate ad una migliore definizione delle successioni stratigrafiche, attese anche le basse coperture nella zona degli imbocchi.

Un maggiore approfondimento, con più stese sismiche comparate a sondaggi eseguiti, è stato condotto all'imbocco Nord della galleria Bibola ove era registrata una frana quiescente, allo scopo di cogliere il contatto tra il corpo di frana ed il sub-strato (si veda Figura 3.1.).

3.3.1. Descrizione degli ammassi rocciosi

Le indagini geognostiche eseguite ed analizzate permettono di distinguere i due principali litotipi interessati dallo scavo delle gallerie:

1. Le argilliti del membro CCV2.
 2. Le breccie ofiolitiche del membro CCV4.
- L'imbocco nord della galleria Dorbola è interessato da un'unità geologica definita "Peliti di Aulla"; tale unità è stata trattata come un terreno sciolto anche se con di-

scritti valori meccanici quasi a rappresentare il passaggio tra l'ammasso roccioso in s.s. ed i terreni sciolti.

Di seguito sono descritti i litotipi e gli ammassi rocciosi di riferimento.

3.3.1.1. Le argilliti del membro CCV2

Tale unità è arealmente la più diffusa ed è descrivibile come: argilliti inglobanti clasti, blocchi e stratoidi di calcari e in prevalenza di basalti, arenarie basaltiche e ultramafiti. L'aspetto strutturale è generalmente caotico e localmente assumono un assetto stratigrafico tipo paraconglomerato. Si presentano scagliose con superfici traslucide e talvolta abbonda la calcite secondaria. Il colore è grigio-nero e grigio. Generalmente asciutte. Lo stato di fratturazione e la disorganizzazione strutturale permette di distinguere due differenti ammassi strutturali:

- Le argilliti omogenee (ammasso roccioso AO).
- Le argilliti disarticolate (ammasso roccioso AD).

Per quello che riguarda il complesso idrogeologico delle argilliti (CCV2) sono state eseguite diverse prove tipo Lugeon e tipo Lefranc a carico variabile che hanno sempre evidenziato una scarsa permeabilità. In fase progettuale non si sono tuttavia escluse occasionali venute d'acqua legate alla presenza di porzioni fortemente fratturate.

3.3.1.2. Le breccie ofiolitiche del membro CCV4

Con tale terminologia si comprendono sia le breccie ofiolitiche in senso stretto sia i grossi olistoliti di basalto e ultramafiti presenti nel settore più settentrionale. Tale unità è così sinteticamente descrivibile: breccie clasto sostenute con elementi (clasti) di arenarie ofiolitiche, basalti, ultramafiti e secondariamente calcari e diaspri. La matrice è prevalentemente argillitica e frequentemente scagliosa; il colore è variabile dal nero al viola al verde. Sono presenti orizzonti di arenarie ofiolitiche nere. Localmente si presentano umide con calcite secondaria.

Anche per le breccie ofiolitiche lo stato di fratturazione e la disorganizzazione strutturale ha permesso di distinguere due differenti ammassi strutturali:

- Le breccie ofiolitiche omogenee (ammasso roccioso OO).
- Le breccie ofiolitiche degradate (ammasso roccioso OD).

Il complesso acquifero delle breccie ofiolitiche (CCV4) ha evidenziato una permeabilità, ricavata da prove tipo Lugeon, di circa 5 U.L. Analogamente a quanto riportato per le argilliti si sono escluse possibili venute d'acqua legate alla presenza di porzioni fortemente fratturate.

Per la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso attraversato dallo scavo delle gallerie Bibola e Dorbola si è fatto riferimento all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek et al., (1995) [B6].

In particolare si è ritenuto opportuno procedere alla stima dei valori di GSI a partire dalle tabelle predisposte dagli autori citati, le quali consentono di definire il possibile campo di variabilità dell'indice a partire dalle condizioni dell'ammasso roccioso osservate in superficie e dal tipo di struttura, nonché dalle informazioni desumibili dai sondaggi a carotaggio continuo.

Data la particolarità dei litotipi presenti lungo il tracciato della galleria, si è utilizzato lo schema originale per la valutazione dell'indice GSI per i litotipi ofiolitici, mentre per le rocce flyshoidi si è impiegato lo schema di Hoek e Marinos (2000) [B7], sviluppato specificamente per tener conto della particolare complessità di questo tipo di rocce.

I parametri meccanici degli ammassi roc-

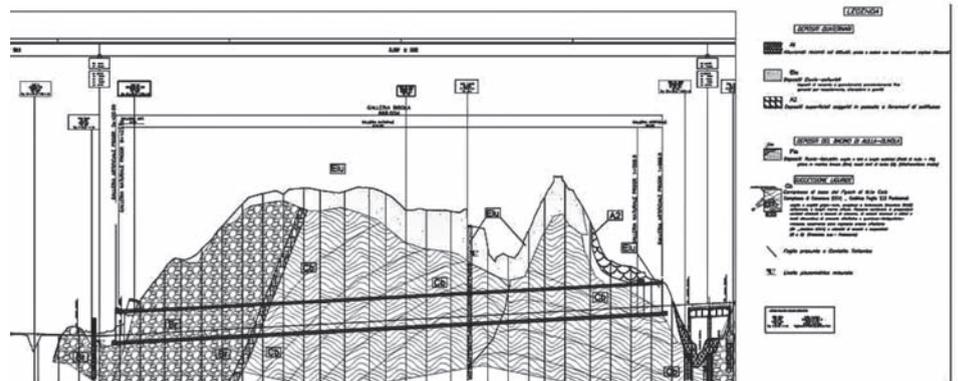


Fig. 3.2. - Galleria Bibola - Profilo geomeccanico di previsione.

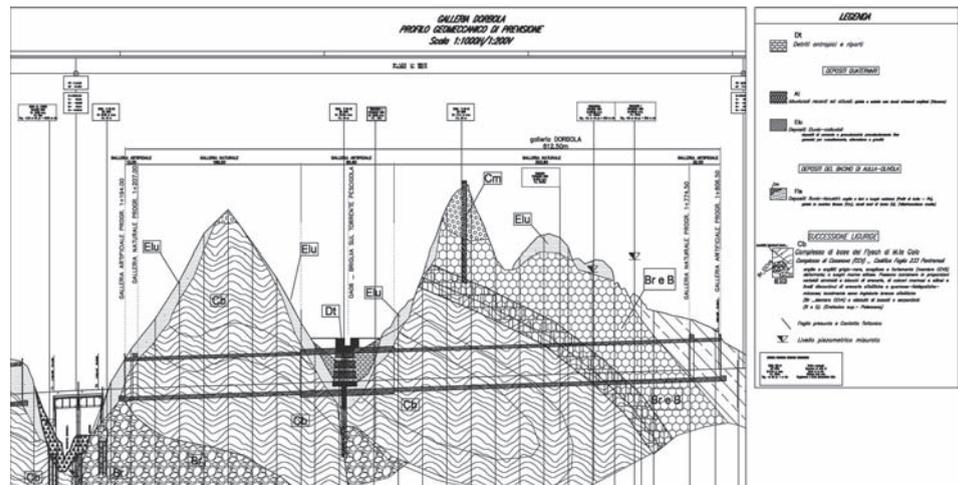


Fig. 3.3. - Galleria Dorbola - Profilo geomeccanico di previsione.

ciosi sono stati ricavati dall'elaborazione delle prove in sito, dall'interpretazione delle prove di laboratorio, dal confronto con i parametri desumibili dall'indice GSI, dalle analisi ed interpretazione delle condizioni tensio-deformative presenti durante gli scavi della vicina galleria Aulla (anch'essa ha attraversato le unità CCV2 e CCV4).

3.3.2. Descrizione dei terreni sciolti

I terreni sciolti presenti lungo il tracciato sono così distinguibili:

- Depositi villafranchiani (Peliti di Aulla);
- Depositi eluvio-colluviali;
- Accumuli di frana;
- Depositi alluvionali.

Per ricavare le caratteristiche meccaniche dei terreni sciolti sono state utilizzate le prove in sito (es. Nspt) e le prove di laboratorio effettuate e pregresse disponibili. In figura 3.2 e 3.3 si riportano i profili geomeccanici di previsione per la galleria Bibola e Dorbola con scale differenti tra lunghezze ed altezze.

4. Aspetti progettuali ed esecutivi nello scavo delle gallerie naturali

4.1. La fase progettuale

Definito il quadro geomeccanico di riferimento si è proceduto all'individuazione lungo lo sviluppo di ciascuna galleria di tratte a comportamento omogeneo.

Per la suddivisione in tratte omogenee (zonazione geotecnica) si è fatto riferimento all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek et al., (1995).

Ai fini della definizione delle categorie a comportamento omogeneo, e quindi della definizione delle sezioni tipo della galleria, gli intervalli di GSI stimati per le diverse condizioni geotecniche sono stati associati alle condizioni di copertura lungo il tracciato, giungendo alla valutazione di una classe di comportamento atteso allo scavo, tramite la verifica della risposta deformativa all'apertura del cavo nell'ipotesi teorica di assenza di interventi di stabilizzazione, e,

Tab. 4.1. – Valutazione delle classi di comportamento e di scavo per le diverse litologie presenti lungo il tracciato del Raccordo Garfagnana.

Litologia	Intervallo di GSI	Copertura [m]	Classe di comportamento	Classe di scavo
Brecce ofiolitiche	25-30	<10m	B	IV-V
Brecce ofiolitiche	30-40	15-20m	A	III-IV
Argilliti disarticolate	10-20	<10m	C	V
Argilliti disarticolate	10-20	10-30m	C	V
Argilliti omogenee	20-40	10-30m	B	IV-V

conseguentemente, di una classe tecnica di scavo dell'ammasso roccioso (Tabella 4.1), secondo la classificazione di Bienawsky [B1]

La risposta deformativa allo scavo è stata riferita alla classificazione del comportamento della galleria basata sulle condizioni di stabilità del fronte e del cavo, così come proposto dal metodo ADECO RS [B8] che individua tre categorie di comportamento: **comportamento A:** Sia il fronte che la cavità sono stabili.

comportamento B: Fronte stabile a breve termine e cavità instabile.

comportamento C: Sia il fronte che la cavità sono instabili.

Per le condizioni di copertura da superficiale a poco profonda (definite in riferimento alle raccomandazioni AFTES, 1988) ai fini della valutazione della stabilità del fronte di scavo e quindi del cavo si sono adottati metodi dell'equilibrio limite, mentre per le condizioni di galleria profonda

si è fatto ricorso al metodo delle linee caratteristiche.

Dalle analisi svolte è emerso la necessità di eseguire interventi di preconsolidamento del fronte per la categoria B al fine di evitare eventuali fenomeni di decompressione dell'ammasso che altrimenti potrebbe evolvere verso condizioni di instabilità del cavo in corso di realizzazione.

Per le categorie di comportamento C è risultato necessario eseguire, oltre che un intervento di stabilizzazione del fronte, anche un intervento di preconsolidamento al contorno del cavo con l'intento di creare una sorta di arco artificiale di terreno consolidato che potesse regolare il flusso delle tensioni deviato dall'apertura della cavità.

Al fine del dimensionamento dei sostegni radiali del cavo e del rivestimento definitivo della galleria si è fatto ricorso a metodi numerici agli elementi finiti (FEM), trami-

te l'ausilio dei codici di calcolo Phase2 e SAP2000.

Le analisi delle sequenze di scavo sono state affrontate con modelli FEM bidimensionali, ove le fasi esecutive e l'effetto del passaggio del fronte di scavo, attraverso la generica sezione di calcolo, sono stati simulati modificando le proprietà di resistenza e di rigidezza dei materiali interessati. In particolare, l'effetto del fronte è stato simulato tramite un decadimento delle caratteristiche di rigidezza del materiale all'interno della sezione di scavo (Equivalent material softening).

Inoltre lungo lo sviluppo delle gallerie si sono affrontate situazioni singolari per le quali sono state svolte analisi e studi specifici:

- La tratta di imbocco lato Aulla della galleria Bibola interferente con una zona interessata dalla presenza di una frana quiescente. In questa circostanza oltre che alla valutazioni di cui sopra sono state eseguiti analisi di stabilità del versante ante e post-operam.

In particolare le analisi ante-operam si sono suddivise in due fasi:

- Analisi a ritroso (back analysis): volte ad individuare i parametri geotecnici, in condizioni residue, caratterizzanti la porzione superficiale di versante che fu soggetta ai fenomeni franosi.
- Analisi di stabilità del versante nella configurazione attuale, a seguito caratterizzazione e taratura dei parametri geotecnici tramite le informazioni desumibili dalle indagini eseguite e dalle analisi a ritroso svolte per la porzione dissestata. Successivamente si è proceduto ad ese-

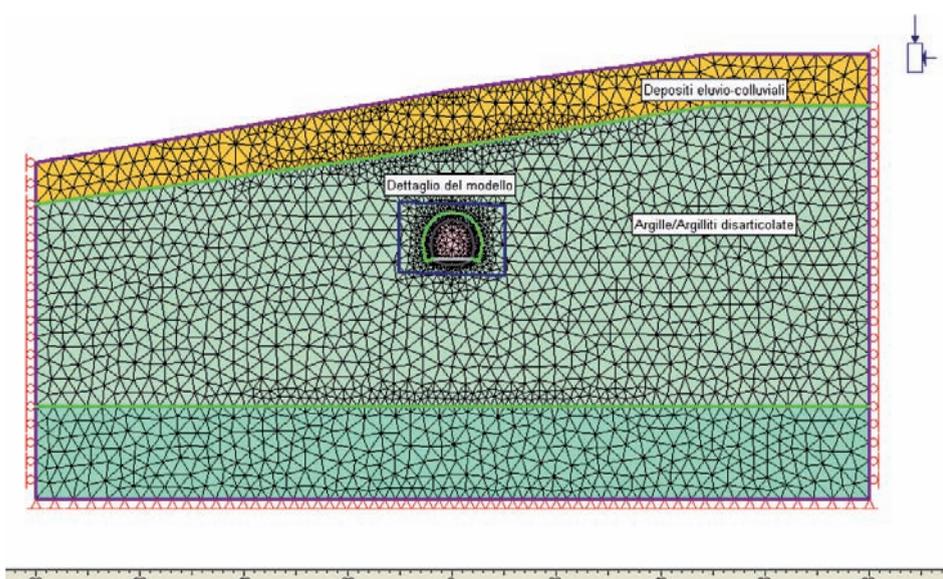


Fig. 4.1. – Esempio di modellazione numerica in campo bidimensionale. Configurazione generale del modello.

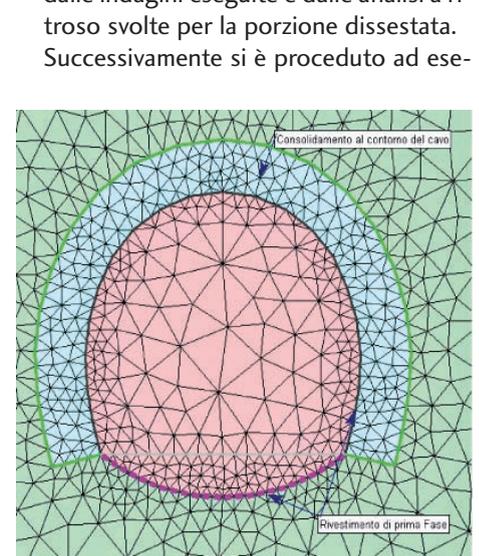


Fig. 4.2. – Particolare sezione di scavo per sez. tipo V/C2 con fascia di terreno consolidato al contorno del cavo.

Tab. 4.2. - Definizione sezioni tipo gallerie naturali presenti lungo il tracciato del Raccordo Garfagnana.

SEZIONI TIPO "MEDIE" GALLERIA							
Sezione tipo	III	IV	V/B	V/C1	V/C2	V/C3	ConcioAttacco
Applicazione per Categoria Comportamento	A	A	B	C	C	C	C
Modalità di scavo	esplosivo/mezzi meccanici	con mezzi meccanici	con mezzi meccanici	con mezzi meccanici	con mezzi meccanici	con mezzi meccanici	con mezzi meccanici
lunghezza singolo sfondo	max 3m	max 2.5m	max 1.5m	max 1.2m	max 1.2m	max 1.2m	max 1.2m
Cls proiettato	sp. 16cm	sp. 20cm	sp. 20cm	sp. 25cm	sp. 20cm	sp. 20cm	sp. 20cm
Armatura Cls proiettato	si; rete elettr.	si; rete elettr.	si; rete elettr.	si; rete elettr.	si; rete elettr.	si; rete elettr.	si; rete elettr.
Cls fibrinforzato	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3	in alternativa a rete elettr.; dosaggio fibre acciaio >=30kg/m3
Centine	1HEB140, passo=1.5m	1HEB160 (ad appoggio maggiorato), passo=1.2m	1HEB160 (ad appoggio maggiorato), passo=1.0m	1HEB160, passo=1.0m	1HEB160 (ad appoggio maggiorato), passo=1.0m	1HEB160 (ad appoggio maggiorato), passo=1.0m	1HEB160 (ad appoggio maggiorato), passo=1.0m
arco puntone di prima fase	-	-	eventuale, sp. 25cm + centina 1HEB160 passo =1.0m	-	sp. 25cm + centina 1HEB160 passo =1.0m	sp. 25cm + centina 1HEB160, passo=1.0m	sp. 25cm + centina 1HEB160, passo=1.0m
Drenaggi suborizzontali in avanzamento	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 12m	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 12m	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 12m	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 16m	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 12m	eventuali n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 24m ogni 12m	n. 2+2 dreni microfessurati in PVC da 15m, sovr. 6m
consolidamento del fronte di scavo	-	-	profilatura forma concava e 10cm cls proiettato; n.10 tubi in VTR Ø60/40mm, L=18m, sovr. 6m, cementati in foro con miscele cementizie espansive	profilatura forma concava e 10cm cls proiettato; n. 15 colonne jetgrouting diam 30cm, armate con elem. In VTR, Lperf=16m, Liniez=15m, sovr.=8m	profilatura forma concava e 10cm cls proiettato; n.19 tubi in VTR Ø60/40mm, L=18m, sovr. 6m, iniettati con miscele cementizie tramite valvole (2vlv/m)	profilatura forma concava e 10cm cls proiettato; n.19 tubi in VTR Ø60/40mm, L=18m, sovr. 6m, iniettati con miscele cementizie tramite valvole (2vlv/m)	profilatura forma concava e 10cm cls proiettato; n.19 tubi in VTR Ø60/40mm, L=15m, sovr. 6m, iniettati con miscele cementizie tramite valvole (2vlv/m)
Infilaggi in acciaio	-	-	-	-	-	-	infilaggi cilindrici con n°25 tubi metallici Ø127/10mm L=13.0m perforo Ø160mm, sovrapposizione minima 3.0m, iniettati con miscele cementizie tramite valvole (2vlv/m)
Preconsolidamento del contorno del cavo	-	-	-	n° 17 colonne jet-grouting Ø60cm armate con tubi metallici (L=12m) per un settore di calotta di 120°; lunghezza colonne L=12m, sovr. minima 4.0m, Lper.vuoto=1.5m; + n° 20colonne jet-grouting Ø60cm lunghezza colonne L=12m, sovr. minima 4.0m, Lper.vuoto=1.5m	n.33 tubi in VTR Ø76/40mm, L=20m, sovr. 8m, cementati in foro con miscele cementizie espansive	Infilaggio con n°23 tubi in PVC e tubo metallico Ø127/10mm L=20.0m (6+14m), perforo Ø160mm + n.(5+5) tubi Ø76/40mm in VTR perforo Ø110mm, sovr. minima 8.0m iniettati con miscele cementizie tramite valvole (2vlv/m)	-
Preconsolidamento piede centine	-	-	-	n.9+9 colonne jet-grouting Ø600mm (L=12m), con perforazioni iniziali a vuoto, lunghezza colonne L=4m, 8m, 9.5m	-	-	-
Lunghezza campo di avanzamento	-	-	12m	8m	12m	12m	9m
Geometria sezione di scavo	cilindrica	cilindrica	cilindrica	tronco conica	cilindrica	cilindrica	cilindrica
Rivestimento arco rovescio	50cm	60cm	75cm	75cm	75cm	75cm	75cm
Armatura Murette	no	si	si	si	si	si	si
Armatura Arco Rovescio	no	si	si	si	si	si	si
Rivestimento calotta	40cm	50cm	60cm	40-110cm	60cm	60cm	80cm
Armatura calotta	no	no	no	si	si in caso di rinvenimento in calotta di terreni sciolti e/o in zone di faglia; nei primi 48m Gn Bibola lato Aulla	si in caso di rinvenimento in calotta di terreni sciolti e/o in zone di faglia; nei primi 48m Gn Bibola lato Aulla	si
Impermeabilizzazione	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT	calotta e piedritti - membrana poliolefine (FPO) + strato di TNT
Vincoli per il getto del rivestimento	Calotta non vincolato; Arco rovescio eventualmente entro 24m dal fronte di scavo	Calotta non vincolato; Arco rovescio entro 24m dal fronte di scavo	Calotta non vincolato; Arco rovescio entro 2-3Ø dal fronte	Calotta entro 4-5Ø dal fronte; Arco rovescio entro 2Ø dal fronte	Calotta entro 5Ø dal fronte; Arco rovescio entro 2-3Ø dal fronte	Calotta entro 4-5Ø dal fronte; Arco rovescio entro 2-3Ø dal fronte	Calotta come sez. tipo campo successivo; Arco rovescio entro 2-3Ø dal fronte

(*) Ø= diametro equivalente di scavo (mediamente circa 8m)

quire analisi di stabilità globale post-operam, nell'ipotesi di valutare la stabilità del versante a galleria realizzata.

- La tratta di imbocco lato Lucca della galleria Bibola interferente con la SS n. 63 Del Cerreto (per la sua descrizione si veda in seguito).
- La tratta centrale della galleria Dorbola che prevede il suo sottoattraversamento del rio Pescigola, tramite la realizzazione di una colmata costituita dal materiale di scavo delle gallerie.

4.2. Definizione delle sezioni tipo e loro applicazione lungo il tracciato

Delineata la distribuzione lungo lo svi-

luppo della galleria delle categorie di comportamento, in funzione degli stati tensionali esistenti, delle caratteristiche dei materiali, delle coperture e della geometria della sezione di scavo, individuando tratte a comportamento geomeccanico omogeneo, si sono, quindi, associati a ciascuna categoria di comportamento individuata, gli interventi di consolidamento, preconsolidamento e rivestimento più idonei in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dell'ammasso definendo la sezione tipo "media".

Per ogni tratta si è individuata una sezione tipo "media prevalente" (ordinaria) ed in relazione alla variabilità delle caratteristiche

dei terreni e ad una certa alea geologica dei contatti stratigrafici una sezione "media alternativa".

Di seguito si illustrano le sezioni tipo adottate per le gallerie naturali Bibola e Dorbola, conseguenti alla valutazione del comportamento del cavo.

Sezione tipo III

La sezione tipo III si applica per la classe di comportamento allo scavo tipo A (fronte stabile), come alternativa alla sezione tipo IV in funzione dei valori di GSI e del comportamento tensio-deformativo osservati in corso d'opera.

Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

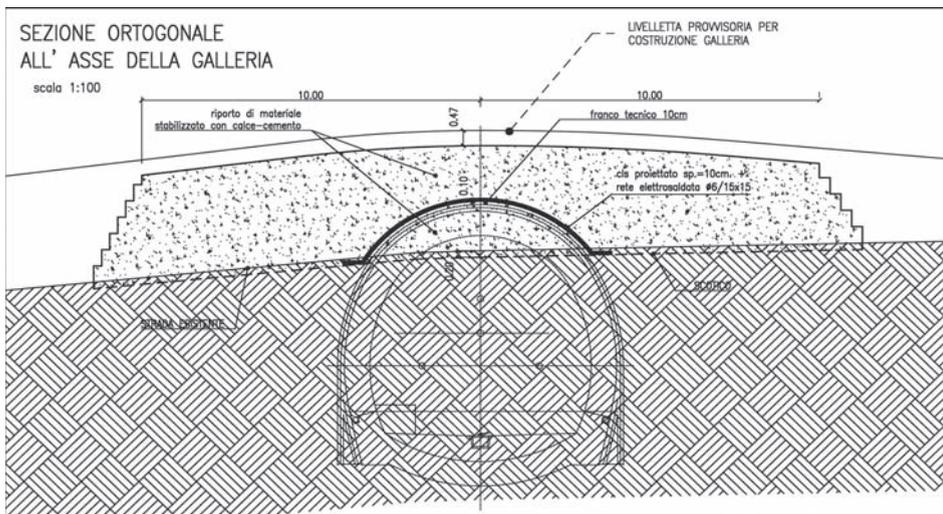


Fig. 4.3. - Sezione ortogonale all'asse della galleria indicante il riporto di materiale preliminare alla costruzione della galleria (si nota la porzione di calotta che sarà scavata nel materiale di riporto).

Sezione tipo IV

La sezione tipo IV si applica per la classe di comportamento allo scavo tipo A (fronte stabile), per valori di GSI = 30-40. Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

Sezione tipo V-B

La sezione tipo V-B si applica per la classe di comportamento allo scavo tipo B (fronte stabile a breve termine). Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

Sezione tipo V-C1

La sezione tipo V-C1 si applica per condizioni geotecniche di materiale sciolto e per la classe di comportamento allo scavo tipo C (fronte instabile). L'impiego di questa sezione tipo è previsto lungo il tracciato della galleria Bibola come ipotesi alternativa alla sezione tipo prevalente. Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

Sezione tipo V-C2

La sezione tipo V-C2 si applica per la classe di comportamento allo scavo tipo C (fronte instabile). Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

Sezione tipo V-C3

La sezione tipo V-C3 si applica per la classe di comportamento allo scavo tipo C (fronte instabile), in condizioni di copertura molto ridotta. Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

Sezione tipo Concio d'Attacco

La sezione tipo Concio d'Attacco si applica in corrispondenza degli imbocchi, dove si riscontrano condizioni di copertura molto ridotte e caratteristiche geotecniche dei terreni particolarmente scadenti. Per la composizione della sezione tipo vedi tabella Tabella 4.2.

L'avvio dello scavo della galleria naturale dovrà essere successivo alla realizzazione della dima di attacco, che fornirà un adeguato contrasto durante la disattivazione dei tiranti disposti sul fronte di scavo.

Sezione tipo con protesi (sotto attraversamento s.s. del Cerreto)

In corrispondenza della tratta di sotto attraversamento della s.s. Del Cerreto non si raggiungono condizioni di copertura adeguate per lo scavo in galleria naturale.

Allo scopo di limitare l'impatto sulla circolazione della s.s. e di evitare l'interruzione della stessa per consentire l'esecuzione dell'opera, si è prevista la realizzazione di una protesi strutturale, da eseguirsi in fasi successive, ricaricando la sede stradale sino a quote idonee e consentire, quindi, il sottoattraversamento della S.S. tramite uno scavo in condizioni assimilabili a quelle della galleria naturale.

Lo scavo sotto protesi prevede i seguenti interventi, per uno sviluppo di circa 17 m sotto la s.s. del Cerreto:

- Formazione di protesi strutturale in calotta, con spessore in chiave di calotta del materiale riportato pari a 2 m; la realiz-

zazione della protesi è preceduta da scavi di sbancamento atti a preparare il piano di imposta del materiale da riportare. A profilatura e protezione del futuro scavo della galleria viene realizzato un manto di cls proiettato ($sp=10\text{ cm}$) armato con rete elettrosaldata;

- Il rinterro è costituito da materiale di risulta degli scavi trattato con calce-cemento e adeguatamente compattato, allo scopo di migliorarne le caratteristiche di resistenza e rigidezza. Il materiale così trattato viene posto in opera per strati di spessore di circa 30 cm singolarmente compattati sino a raggiungere la quota di ricoprimento prestabilita;
- Scavo a foro cieco con geometria della sezione cilindrica;
- Preconsolidamento del fronte con n.15-22 tubi in VTR, $L=18\text{ m}$, $sovr.=6\text{ m}$, cementati con miscele a ritiro controllato;
- Eventuali N.2+2 drenaggi in avanzamento, $L=27\text{ m}$, $sovr.=12\text{ m}$;
- Prerivestimento in cls proiettato fibrinforzato armato con centine metalliche;
- Impermeabilizzazione in membrana di poliolefine (FPO);
- Rivestimento definitivo $sp=0.75\text{ m}$ sia in calotta che arco rovescio;
- Arco rovescio a ridosso del fronte di scavo (distanza max 6 m).

Sia l'arco rovescio che il rivestimento definitivo di calotta in tale tratta sono previsti armati.

Sezione tipo GA Attraversamento torrente Pescigola

In corrispondenza della tratta di sottoattraversamento del torrente Pescigola non si raggiungono condizioni di copertura adeguate per lo scavo in galleria naturale e si prevede pertanto il riporto di materiale sino a quota idonea per consentire, alla nuova conformazione dell'alveo, il sormonto della galleria. Per esigenze operative in fase di progettazione di dettaglio si è attuata una modifica esecutiva rispetto a quanto contemplato in Progetto Esecutivo.

In particolare la modalità esecutiva che prevedeva la realizzazione preventiva di un solettone di copertura poggiante su micropali e quindi relativo scavo dall'interno, assimilabile ad uno scavo a foro cieco, è stata sostituita dalla realizzazione di una galleria artificiale confinata lungo il perimetro dell'area interessata entro strutture di contenimento



Fig. 4.6. – Galleria Bibola imbrocco lato Aulla. Si intravede nella parte inferiore della foto il viadotto Dorbola.



Fig. 4.7. – Scavo galleria Dorbola Zona Rio Pescigola. Fasi di ribasso paratia in micropali con tiranti passivi costituiti da bulloni autopercoranti.

discenderia per consentire lo smarino del materiale scavato.

4.2.1. Criteri di applicazione delle sezioni tipo lungo lo sviluppo della galleria

Come detto per ogni tratta si è individuata una sezione tipo "media prevalente" (ordinaria) ed in relazione alla variabilità delle caratteristiche dei terreni e ad una certa alea geologica dei contatti stratigrafici una sezione "media alternativa".

In corso d'opera sulla base dei rilievi geostutturali e del comportamento deformativo del fronte (estrusioni) e del cavo (convergenze) monitorato, in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite in progetto, potrà essere verificata l'adeguatezza delle sezioni progettate, apportando, eventualmente, alcune variazioni all'interno della variabilità della sez. tipo ordinaria e/o introducendo la sez. tipo alternativa e la relativa variabilità, oppure adottando sezioni tipo previste in progetto per altre tratte ed infine, qualora, anche a seguito delle precedenti modifiche, il comportamento monitorato non collimasse con quello atteso, ricorrendo alla definizione di una nuova sezione tipo. La variabilità all'interno di una generica sezione tipo individua:

- una sezione tipo ordinaria (sezione tipo "prevalente media"), caratterizzata da valori medi degli interventi di stabilizzazione previsti (vedi Tabella 4.2);
- una sezione tipo derivata più leggera, caratterizzata da interventi meno intensi;

- una sezione tipo derivata più pesante, caratterizzata da interventi più intensi.

4.3. La fase realizzativa delle gallerie

La realizzazione delle gallerie Dorbola e Bibola è iniziata così come era stata preventivata, in sede di progetto, a partire dai due imbocchi all'interno del cantiere della marina militare per proseguire poi rispettivamente con la galleria Dorbola (612.5 m) verso la nuova stazione di Aulla e con la galleria Bibola (668 m) verso il punto di interconnessione con l'esistente binario lato Lucca. Durante il corso delle lavorazioni si è poi deciso, per ottimizzare i tempi del programma lavori, di procedere con una parte degli scavi partendo anche dai rispettivi imbocchi opposti a quelli originariamente preventivati. Il cantiere principale, ubicato all'interno di uno stabilimento-deposito munizioni della Marina Militare (M.M.) ad Aulla in provincia di Massa-Carrara (sito a circa 2 km dal casello autostradale di Aulla sulla A15 La Spezia-Parma), aveva l'accesso ai mezzi di cantiere e/o ai mezzi per le forniture dei materiali (centine, ferro lavorato, combustibili, calcestruzzo, ecc.). Dalla porta principale dello stabilimento presidiata notte e giorno da forze dell'ordine e guardiania della marina militare.

Questa particolarità ha provocato per diversi mesi una serie di rallentamenti nella logistica della cantiere, dovendo comunque avere, 3-4 giorni prima dell'accesso all'area da parte di qualsiasi persona e/o mezzo, un benessere preventivo da parte della marina militare.

Le aree di cantiere, vista la particolare ubicazione dell'opera erano molto ristrette, con poche possibilità di manovre per i mezzi e ridotti spazi per il deposito dei materiali da costruzione, il che ha costretto l'impresa ad approvvigionare i materiali strettamente necessari per brevissimi periodi di lavoro e costantemente monitorare l'avanzamento delle lavorazioni con la disponibilità a piè d'opera dei materiali (si veda Figura 4.6).

Per il deposito dei materiali di scavo (smarino) era stata progettualmente individuata una zona limitrofa al cantiere (ca. 800m), raggiungibile con una pista realizzata all'uopo; su questo sito (vallecola Rio Pescigola) al termine dei lavori era prevista una riqualificazione naturale.

Le prime fasi del lavoro hanno interessato l'eliminazione di una serie di interferenze della M.M. (linee elettriche, acqua surriscaldata, linee telefoniche-dati, gas) nella zona di scavo della galleria Dorbola e del viadotto Dorbola.

Durante l'inizio delle lavorazioni in prossimità dell'imbrocco della galleria, si è manifestato, a distanza di una decina di metri (in laterale) dallo stesso, un evento franoso che ha interessato la pista sovrastante l'imbrocco (pista che consentiva di raggiungere il luogo di deposito dello smarino e dei materiali di scavo in genere) ha impedito per più di un mese il regolare sviluppo delle attività di scavo; tanto è stato il tempo occorso per il ripristino del versante e della pista. Il fenomeno comunque non ha avuto ripercussioni sull'opera di imbrocco sino a quel momento



Fig. 4.8. - Galleria Dorbola. Abbattimento diaframma di uscita in corrispondenza galleria artificiale zona rio Pescigola.

parzialmente realizzata (era stati eseguiti i micropali ed il cordolo di testa della paratia di imbocco).

La galleria Dorbola nel suo tratto centrale ha intersecato un'incisione morfologica, caratterizzante la vallecola del Rio Pescigola, con la necessità di eseguire un tratto della stessa (circa 100 m) a cielo aperto tramite una galleria artificiale.

La galleria artificiale è stata un'opera particolare in quanto, intersecando appunto il corso d'acqua del Rio Pescigola, ha comportato, a fine lavori con il riempimento ed il rimodellamento morfologico di una sua parte pianeggiante, la modifica del fondo alveo, alzandolo al di sopra della nuova opera.

Lo scavo di questa tratta è stato effettuato dalla parte superiore, a cielo aperto (si veda Figura 4.7, Figura 4.8, Figura 4.9), consentendo così di non attendere che l'avanzamento arrivasse alla progressiva prevista ma anticipandone i tempi.

Durante lo scavo della galleria Dorbola, a poche decine di metri dalla sezione di

attacco dal fronte della galleria artificiale del Rio Pescigola in direzione di Aulla, si è verificato un fornello a causa dell'improvviso manifestarsi in chiave di calotta di materiale incoerente imprevisto ed imprevedibile.

Lo scavo è ripreso, dopo alcune settimane, a seguito di un consolidamento in avanzamento, del materiale in calotta, con miscele cementizie.

Sul fronte degli scavi della galleria Bibola, una volta portate a termine le opere di presidio sull'imbocco, le lavorazioni sono proseguite con l'utilizzo del martellone in quanto la consistenza dell'ammasso argilloso consentiva tale attività.

Pur se in presenza di una frana quiescente a poche decine di metri dall'imbocco, il cavo non ha avuto alcuna deformazione apprezzabile e si è potuto avanzare in rispetto delle classi di scavo previste dal progetto.



Fig. 4.9. - Esecuzione galleria artificiale zona Rio Pescigola.

Lo scavo della galleria Bibola è avvenuto prevalentemente nelle argilliti (disarticolate in prossimità dell'imbocco lato Aulla e quindi omogenee nella zona centrale della galleria).

Su questa galleria si è manifestata una presenza di acqua quasi costante e molto insistente, percolazioni anche di una certa entità che provenivano da ruscellazioni superficiali presenti in incisioni profonde presenti lungo il versante in attraversamento. Questa situazione ha in parte condizionato lo sviluppo degli scavi e nonostante la presenza di pompe per l'allontanamento di acqua e fango le maestranze hanno dovuto subire un certo disagio durante le lavorazioni al fronte.



Fig. 4.10. - Scavo galleria Bibola alla pk1+029 (a 29m da progressiva di imbocco lato Aulla). Fronte misto in argilliti disarticolate e depositi eluvio-colluviali in sommità calotta. Sezione tipo applicata V/C2.



Fig. 4.11. - Scavo galleria Bibola alla pk1+004 (a 54m da progr. di imbocco). Fronte in argilliti omogenee. Sezione tipo applicata IV.



Fig. 4.12. – Scavo galleria Dorbola da Aulla. Prime progressive di imbocco, si notano i depositi fluvio-lacustri a sormonto delle argilliti. Nel lembo inferiore sx iniziano ad affiorare le Ofioliti. Sezione tipo applicata V/C2.



Fig. 4.13. – Scavo galleria Dorbola da Aulla (progr. 1+545). Fronte di scavo in Ofioliti. Sezione tipo applicata III.

In fase di lavorazione all'avanzamento, la produzione media è stata di 5/6 m al giorno, con squadre che operavano 24 ore su 24 dedicando il sabato alle rifiniture e/o alle manutenzione dei mezzi. Durante il corso dei lavori sono stati aperti anche gli altri due fronti di scavo delle gallerie Dorbola e Bibola.

L'imbocco della galleria Dorbola lato stazione, dopo ca. 30/40 m dalla zona di imbocco, le argilliti (si veda Figura 4.12) hanno lasciato il posto ad un ammasso roccioso tipo ofiolitico (si veda Figura 4.13) per il quale l'avanzamento è avvenuto tramite esplosivo.

Si è proceduto quindi con cariche control-

late ad effettuare volate di 3.5-4.5 m con cadenza giornaliera per una lunghezza di ca. 200 m di galleria.

Questa lavorazione effettuata in parallelo con lo scavo della galleria artificiale Pescigola e la prosecuzione successiva dello scavo verso l'imbocco lato stazione ha consentito di restare in linea con il programma lavori.

Le cariche di esplosivo sono state predisposte con rinora a "V" con fori convergenti. Si è optato a per l'impiego di esplosivo tipo Premex3300 Ø40x400 che in base al tipo di roccia affrontato si è ritenuto essere idoneo per rapporto di velocità di detonazione e sviluppo di gas.

miccia detonante di grossa grammatura (60gr/m).

Nel caso di uno sfondo di 4 m si è adoperata una carica cooperante di circa 18 kg (per carica cooperante si intende il quantitativo di esplosivo che detona contemporaneamente innescato con lo stesso ritardo nell'ambito della volata).

L'imbocco lato Lucca della galleria Bibola invece è stato aperto con una duplice motivazione, oltre a quella del contenimento dei tempi (con l'avanzamento su due imbocchi i tempi si riducono notevolmente per lo scavo della galleria naturale), nella zona terminale della galleria il tracciato ha incrociato la S.S. n. 63 Del Cerreto che mette in comunicazione tutta la valle con la zona di Aulla e soprattutto di La Spezia il cui disagio per le lavorazioni doveva essere ridotto al minimo.

Nella fattispecie il progetto prevedeva l'innalzamento della strada statale per poter realizzare al di sotto la nuova infrastruttura e, a lavoro eseguito, il riabbassamento della strada; il tutto ovviamente senza interdire il traffico veicolare che, come detto, per le zone circostanti (Lunigiana e parte della Garfagnana) è l'unico transito verso la Liguria e verso l'autostrada A15.

Preliminarmente alla fase realizzativa per esigenze logistiche e per tempistiche esecutive si optò nel modificare i fasaggi di scavo della galleria, le modalità di stabilizzazione del terreno riportato e la gestione della circolazione sulla S.S. del Cerreto che venne ripristinata su entrambe le corsie pre-



Fig. 4.14 – Scavo galleria Dorbola da Lucca (progr. 1+233). Fronte di scavo in Argilliti. Sezione tipo applicata V/B.

Sono stati impiegati detonatori elettrici ad alta intensità con modulo di ritardo sia da 25 ms che da 250 ms.

Particolare attenzione si è rivolta alla profilatura del cavo adottando la tecnica dello Smooth-blasting.

Tale metodologia, che prevede particolari accorgimenti nella perforazione e nel caricamento dei fori al contorno, è stata prevista mediante l'uso di

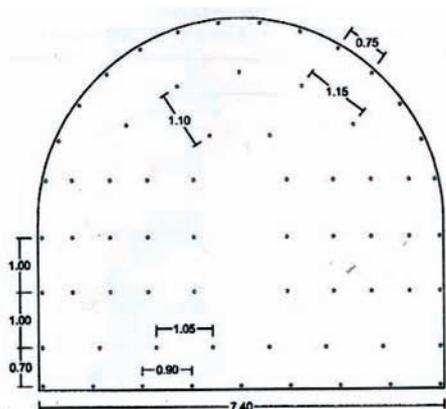


Fig. 4.15. - Cariche di esplosivo - Schema di perforazione per sfondo di 4m: sezione.

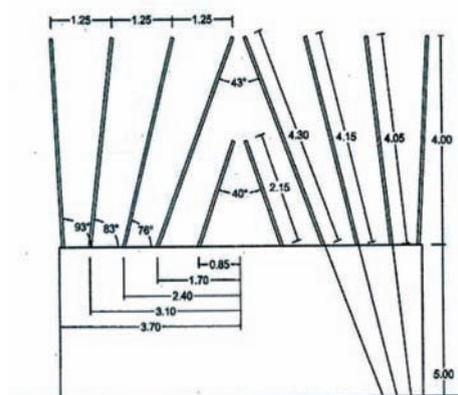


Fig. 4.16. - Cariche di esplosivo - Schema di perforazione per sfondo di 4m: pianta.

liminariamente all'esecuzione del rivestimento definitivo di calotta.

Il materiale riportato venne stabilizzato a cemento ed avvolto ogni 30-50 cm in strati di TNT (con opportuna sovrapposizione) e data la ridotta capacità strutturale del materiale così riportato, rispetto a quello preventivato in progetto, si è prevista una coronella di infilaggi metallici come presostegno degli scavi, mentre per accelerare le operazioni di completamento della galleria Bibola si decise, come detto, di attuare lo scavo sotto protesi in direzione opposta (quindi procedendo da Lucca verso Aulla), in modo da poter attaccare la galleria stessa su due fronti di scavo.

Non appena realizzati i primi metri di scavo, già in corrispondenza della S.S. 63, il fronte si è presentato con brecce ofiolitiche e,

come per la galleria Dorbola, dopo il sotto attraversamento della S.S. stessa, si è reso necessario procedere per ca. 150 m con l'utilizzo dell'esplosivo per poter avanzare, utilizzando anche in questo caso cariche controllate per sfondi di 3.5-4.5 m ad ogni volata.

La fase di lavoro interferente con la S.S. n. 63 si è rivelata molto delicata, in quanto pur rialzando notevolmente le quote rispetto al piano viario originario, il franco tra la strada ed il pre-spritz della galleria in avanzamento (con le centine posizionate ad interasse 60 cm ed i consolidamenti a coprire l'intera luce) era comunque non superiore ai 60/70 cm.

Anche le operazioni di attacco sono state molto delicate dovendo abbattere parzialmente il muro di sostegno esistente della

S.S. n. 63. Si è eseguito il primo campo di scavo (trapezoidale) della galleria, con parziale demolizione del muro esistente e del muro ex-novo ad "L" (costruitosi sopra a causa dell'innalzamento della sede stardale). Esso è avvenuto dal lato Est per avanzamenti pari al passo delle centine 2IPN160 (Passo=0.75 cm) con cls proiettato di spessore 25 cm armato con rete elettrosaldata fino a circa 14 m e per circa 4 m dal lato Ovest con le stesse modalità fino a raggiungere la piena sezione. Durante questa fase lo scavo è proceduto al di sotto della corsia di valle, mentre il traffico stradale si è sviluppato a senso alternato sulla corsia di monte (si veda Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19).

Nella situazione particolare si è proceduto ad eseguire l'arco rovescio a non più di 6m dal fronte di scavo, in modo tale da rendere la struttura immediatamente rigida senza che potesse esserci la possibilità di qualsiasi movimento/cedimento delle centine.

Lo scavo delle nicchie nelle due gallerie è avvenuto dopo la fase di scavo della cavità principale; utilizzando il martellone su escavatore o l'esplosivo così come era avvenuto nell'avanzamento del fronte.

Non appena le lavorazioni di avanzamento lo hanno permesso si è iniziata anche la fase di realizzazione del marciapiede sulle due gallerie, utilizzando casseri in legno da 24 m.

A seguire, ed a completare l'intervento delle attività affidate dalla committente RFI,



Fig. 4.17. - Fase di scavo al di sotto della SS Del Cerreto (1° campo di avanzamento) . Si nota ancora parzialmente la paratia di imbocco gradatamente demolita.



Fig. 4.18. - Fase di scavo al di sotto SS Del Cerreto (si nota il pacchetto stradale esistente ed i brandelli di TNT a delimitare il materiale riportato in calotta) .



Fig. 4.19. – Fase di scavo a valle SS Del Cerreto (si nota muro esistente ancorato e paratia in micropali alla sua base).

l'esecuzione del rivestimento definitivo delle due gallerie con l'utilizzo di un cassero metallico per ciascuna galleria; tali attività, nonostante si siano svolte sempre con ritmi molto serrati, non hanno mai presentato problematiche particolari.

Conclusioni

Nel presente articolo dopo una breve descrizione del progetto in variante del nuovo Raccordo Garfagnana, inserito all'interno del raddoppio dell'itinerario "Pontremolese" che si inquadra nell'ambito del piano di ammodernamento delle linee della rete ferroviaria italiana (RFI), sono stati trattati gli aspetti progettuali più salienti che hanno ispirato la definizione delle sezioni tipo in galleria e le evidenze costruttive rimarchevoli di interesse incontrate nello scavo delle gallerie naturali.

Da quanto illustrato, a fronte di un quadro geomeccanico piuttosto vario con situazioni difficili affrontate, si può affermare che le soluzioni progettuali adottate, orientate a definire compiutamente non solo la soluzione più probabile, ma anche le possibili variabilità con i loro criteri di applicazione, senza, quindi, lasciare spazi di indeterminazione in cantiere, si sono dimostrate valide ed efficaci come testimoniato anche dalle evidenze di corso d'opera.

Ciò ha contribuito a consegnare la piattaforma ferroviaria con due mesi di anticipo sul termine contrattuale dei lavori, dando mo-

do a RFI di attivare la linea, anticipando le previsioni iniziali. Nè ha tratto così vantaggio la comunità della Lunigiana ed in particolare la città di Aulla che ha potuto beneficiare della soppressione di fastidiosi P.L. (passaggio a livello) generatori di lunghe code di autoveicoli in corrispondenza del centro storico della città, grazie anche alla scelta progettuale di un tracciato prevalen-

temente in sotterraneo.

I lavori condotti con particolare attenzione all'aspetto securistico-ambientale, non hanno fatto registrare incidenti di rilievo né tantomeno contestazioni di carattere ambientale da parte delle Autorità locali.

Si conclude così, nel migliore dei modi, un'avventura iniziata il 29 luglio 1999 con l'inizio dei lavori del raddoppio dell'itinerario Pontremolese tratta Aulla-Chiesaccia.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Il Geom. Piccini, già Direttore di cantiere dell'impresa Pizzarotti, per la sapiente cura e gestione del cantiere, ed il Geom. Borghesi, dell'Impresa Pizzarotti, per la professionalità e gentilezza sempre dimostrate.

Bibliografia

- [B1] Bieniawski Z.T., (1984): "Rock mechanics design in mining and tunneling", Balkema.
- [B2] Cornejo L., (1988): "El fenomeno de la inestabilidad del frente de excavacion y su repercusion en la construccion de tuneles", Tunnels and water, ed. Serrano, Balkema.
- [B3] Csi, "SAP2000 – Analisis reference, input file format, basic analisis reference" (1999).
- [B4] Grasso P., Xu S., (1999): "Il monitoraggio nelle costruzioni in sotterraneo. Strategia per l'applicazione delle contromisure nel superamento

di incognite ed incertezze residue", R.I.G., supplemento, settembre 2000.

- [B5] Hoek E. and Brown E.T. (1980): "Underground excavations in rock" - Instit. Min. Metall., London, First Edition.
- [B6] Hoek E., Kaiser P.K. and Bawden W.F. "Support of underground excavations in hard rock". p. 215. Rotterdam, Balkema. (1995).
- [B7] Hoek E. and Marinos P., (2000): "Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses" – T&T Int. Nov.-Dec 2000.
- [B8] Lunardi P., (1994-96): "Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli", Quarry and construction, Marzo 1994, Marzo 1995, Aprile 1996.
- [B9] Lunardi P., (1997): "L'influenza della rigidità del nucleo d'avanzamento sulla sicurezza degli scavi in galleria", Gallerie e grandi opere sotterranee, n.52 Luglio 1997.
- [B10] Mahtab A., Xu S., Grasso P. (1993): "Quantification of the effective Coulomb and Hoek-Brown parameters of the pre-reinforced rock mass", Proc.Int.Conf. Geomechanics 93, Ostrava of Czech Republic, ed. Rakowski, A.A.Balkema.
- [B11] Mammino A., Tonon F., (1997): "Opere strutturali per l'ingegneria territoriale – Vol.1 Tomo 2 – Parte prima, seconda – Le opere in sotterraneo in roccia: alcuni metodi di progetto e di decisione", Ed. Alinea.
- [B12] Marinos V, Marinos P., Hoek E., (2005): "The geological strength index: applications and limitations" – Bull. Eng. Geol. Environ (2005), 64, pp.55-65.
- [B13] O'Reilly M.P. e New B.M., (1982): "Settlement above tunnelling UK – their magnitude and prediction", Tunnelling 1982.
- [B14] Oreste P.P., (1999): "Aspetti notevoli dell'analisi e dimensionamento dei sostegni di gallerie attraverso i metodi di calcolo numerici", Gallerie e grandi opere in sotterraneo, n.57 (1999).
- [B15] Panet M., Guenot A., (1982): "Analysis of convergence behind the face of a tunnel". Tunneling '82. Institution of Mining and metallurgy, London, pp 197-204.
- [B16] Peck R.B., (1969): "Deep excavations and tunnelling in soft ground", 7th ICSMFE, 3, 225-290, Mexico.
- [B17] Pigorini A., Puccinelli M., Caldini S., Giovannini R., (2004): "Linea ferroviaria Pontremolese tra progettazione e costruzione: superamento di passaggi difficili sulla via per Parma – Parte Prima", Gallerie e grandi opere sotterranee, n.72 maggio 2004.
- [B18] Rockscience Inc., "Phase2 – user's manual (1998-2001)", Rockscience Inc. Toronto – Canada.

Summary of:

“Garfagnana siding” in the Pontremolese rail way line: tunnel design and executive aspects

M. PUCCINELLI

Construction Design, Consultant engineer, Parma

G. AGRIMONTI

Project manager, Impresa Pizzarotti & C. S.p.A., Parma

R. GIOVANNINI

Chief On-site Technical Office, Impresa Pizzarotti & C. S.p.A., Parma

G. ONTANO

Construction Manager, Italferr SpA, La Spezia

The doubling project of the Pontremolese rail way line, which connects Parma to La Spezia is set in the plane of modernization of the Italian railway network lines (RFI).

In this context in the part astride Aulla town, the adjustment is foreseen at the lay-out of the Pontremolese rail way line, of the part with the single track which connects Aulla to Lucca, named “Garfagnana siding”.

This adjustment, which is finalized to a full use of the new Aulla station, permits to avoid the interference of the lay-out with Aulla.

Infact, the new lay-out of the “Garfagnana siding” near Aulla, located, among the different alternative passages examined, as the one with less environmental impact, develops underground for a good part, getting into the tunnel before the entrance in town and coming back to “open sky” connected with the new Aulla station.

This article provides a general framing of the “Garfagnana siding” and a description of the most important design and executive

aspects in the excavation of the two present natural tunnels.

The present tunnels (Bibola and Dorbola tunnels) along the stretch in variant of the “Garfagnana siding” have been projected respecting the gabarit B (no electrificable), present a polycentric section, with a medium excavation area of about 55 m², and they are characterized by overburden with maximum values of 25-30 m.

Every tunnels consists of a natural part, realized with traditional excavation methods, and two parts in artificial near the two tunnel portals.

At a level of definitive arrangement, the portals are foreseen with portals having the geometric form of the portals actually present along the existing line to Lucca.

The excavation of the tunnels has taken place in a rather varied geo-mechanical context, concerning whether weak rocks (as the claystone) or rocks more suitable and massive as the ophiolitic, also if for both the formations we have met different grades of alteration. The excavation has taken place with mechanical machine in the altered claystone and ophiolitic, instead with explosive in more massive ophiolitic.

Moreover along the tunnel development we have faced particular situations for which we have made analysis and specific studies:

- the part of tunnel portal Aulla side of the Bibola tunnel interfering with an

area interested by the presence of a quiescent landslide.

- The part of tunnel portal Lucca side of the Bibola tunnel interfering with the “SS n. 63 of the Cerreto” Road, the tunnel excavation has taken place in conditions of very short overburden under “structural artificial ground”.
- The central part of the Dorbola tunnel which has under-passed the Pescigola brook, making higher its natural river bed by the realization of a fill of excavation materials of the tunnels.

In conclusion in a rather varied geo-mechanical context with difficult situations faced, we can affirm that the design solutions adopted, oriented to define fully not just the most probable solution, but also the possible variability with their criterions of application, without leaving spaces of indetermination in site, they appeared valid and effective also by evidences in course of work.

This has contributed to consign the railway platform two months before the contractual term of the works, giving the way to RFI to activate the line, advancing the starting forecast. In this way the Lunigiana community has had advantage and in particular Aulla, which has benefited by the suppression of troublesome P.L. (level crossing) creating long queues of cars next to the historical centre of the town, thanks also to the project choice of a tracing mostly underground.

“Gallerie e Grandi opere sotterranee”

Organo ufficiale della Società Italiana Gallerie

Abbonamento annuale Italia €72,00 Subscription abroad €105,00

Abbonarsi è facile!

Versamento sul c.c.p. n° 16141400 intestato a:

Pàtron Editore

Via Badini 12, Quarto Inferiore, 40057 Granarolo dell'Emilia - Bologna

Tel. 051.767003 - e-mail: abbonamenti@patroneditore.com