



L'esecuzione di due gallerie con scavo meccanizzato a Settingiano (CZ)
sulla variante ferroviaria a singolo binario della tratta Lamezia-Terme-Catanzaro Lido

TUNNEL UNIVERSALI: UNA FRONTIERA CHE SI ABBATTE

Aristodemo Busillo*
Gianluca Raimondo**

Il progetto in esame prevede l'esecuzione di una variante ferroviaria, a singolo binario e lunga circa 40 km, comprendente una serie di viadotti, di rilevati e di gallerie, queste ultime eseguite sia in modo tradizionale sia in scavo meccanizzato.

La linea attuale risale ai primi anni del dopoguerra e ne è stata ammodernata solo una piccola parte; inoltre la predisposizione per la linea elettrica si presenta molto difficile. Appare quindi di vitale importanza la realizzazione di questa variante, anche in relazione alla prossima costruzione della nuova S.S. 106.



Figura 1

1. Introduzione

Al di là degli aspetti legati alla destinazione d'uso, in questa sede interessa trattare gli aspetti tecnici del progetto, in particolare l'esecuzione dei tunnel presenti nella variante in esame.

La variante ferroviaria, commissionata da Italferr e appaltata alla ATI Maire Engineering S.E.L.I., prevede tra l'altro l'esecuzione di tre gallerie, due da eseguirsi con scavo meccanizzato, e una con metodo tradizionale. Le gallerie denominate con il nome della località che attraversano sono:

- ◆ galleria Monaci: 1.384 m;
- ◆ galleria Chiana Munda: 1.076 m;
- ◆ galleria Planicello: 300 m.

L'esecuzione delle prime due è stata affidata alla S.E.L.I., che ha fatto uso di una TBM (Tunnel Boring Machine) EPB. La galleria Monaci è già stata ultimata.

L'acronimo EPB sostituisce il concetto di "Earth Pressure Balance", ovvero pressione bilanciata di terra. Si tratta di una tecnologia che permette l'applicazione di una controspinta al fronte di scavo con la quale è possibile controllare il detensionamento prodotto al cavo, eliminando di conseguenza la possibilità che si determinino cedimenti superficiali.



Figura 2a



Figura 2b



2. I due tunnel

Le due canne, realizzate con sistema meccanizzato, sono lunghe rispettivamente 1.384 m e 1.076 m circa. Dal punto di vista plano-altimetrico, il tracciato non presenta particolari difficoltà. Infatti si rileva una debole salita all'1,3‰ e due curve con un raggio di curvatura superiore a 6,2 km. Alla fine della galleria Chiana Munda è situato il viadotto Planicello e, poco più avanti, ha inizio l'imbocco della galleria omonima, da eseguirsi con metodo tradizionale.

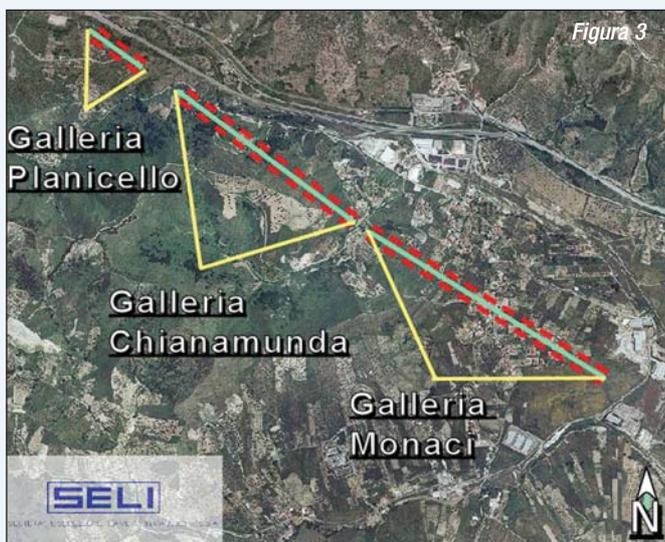


Figura 3

Il diametro delle due gallerie sarà pari a 8,7 m e, come rivestimento definitivo, saranno utilizzati conci prefabbricati aventi uno spessore di 35 cm; la sezione finale della galleria sarà pertanto di 8 m circa. La TBM utilizzata è una NFM EPB, macchina che in provincia di Belluno aveva precedentemente realizzato per RFI un tunnel ferroviario, lungo circa 3 km, e un lotto della metropolitana automatica di Torino, lungo circa 2 km; per questo lavoro è stata aumentata di diametro: dagli originali 8 m agli attuali 8,7 m. La S.E.L.I. si è occupata direttamente della revisione nonché dell'adeguamento al nuovo diametro di scavo.

correlazione tra i sondaggi antecedenti ai sondaggi destinati al progetto (sondaggi eseguiti dal Comune, da privati e da varie Aziende);

- ◆ installazione di piezometri e di letture inclinometriche a vari stadi: caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce (ove pertinente).

E' stata eseguita anche una classificazione dell'ammasso roccioso tramite il metodo Bieniawski, con il calcolo dell'RMR e dell'RQD. Dall'analisi geologica si sono dovuti correlare i vari sondaggi eseguiti in questa tratta, in epoche diverse e soprattutto con operatori diversi.

Nonostante tutto ciò, si deve ammettere che a grandi linee, alla luce della esecuzione quasi completa della tratta, l'interpretazione è risultata poco discostante dalla situazione reale.

La situazione geologica risulta varia, ma in certi sensi eterogenea; vi sono infatti depositi quaternari e fasi di formazione del periodo Pliocene e del Miocene.

La prima galleria (Monaci) è risultata molto eterogenea: verso la metà, ha presentato argille siltose grigio-azzurre mediamente costipate e presenze di fossili, intercalate a sabbie brune con frammenti carbonatici.

L'inesattezza dell'interpretazione geologica, ma di lieve caratterizzazione, sta nel fatto che le intercalazioni sabbiose vengono schematizzate come lenti isolate e non comunicanti tra loro.

Questo dato apparentemente insignificante ha causato qualche difficoltà in fase di scavo: tali lenti sono risultate il veicolo di consistenti venute di acqua che hanno reso più difficoltoso il condizionamento, procurando il rallentamento della penetrazione e quindi riducendo l'avanzamento giornaliero.

Nella prima tratta alcuni imprevisti geologici sono stati rappresentati da trovanti:

- ◆ metà galleria trovante di calcarenite proveniente dal "terrazzo di Tirio";
- ◆ trovanti ora granitici, ora gneissitici provenienti dall'ammasso roccioso di Girifalco.

In entrambe le situazioni si sono riscontrati danneggiamenti, talvolta importanti, agli utensili di scavo.

Per quanto concerne la seconda galleria (Chiana Munda), i depositi sono del periodo del Miocene.



Figura 4

3. La geologia

E' stata redatta una relazione geologica per le tratte in esame, compresa la galleria tradizionale, in modo molto dettagliato. Lo studio geologico si è infatti basato su vari elaborati e varie prove, dirette e indirette, nonché su prove in situ e meccaniche.

Questi i test effettuati:

- ◆ analisi delle carte geologiche presenti nonché studio della letteratura e della formazione degli ammassi in questa area calabrese;
- ◆ campagna di indagini tramite sondaggi diretti e indiretti;
- ◆ interpretazione dei dati delle prove geotecniche in laboratorio e

La prima tratta di circa 230 m è costituita da argille e silt non fossiliferi con intercalazioni di gesso; si attende l'arrivo del conglomerato in matrice sabbiosa con clasti da arrotondati a debolmente arrotondati. Verso la fine della galleria si prevede di intercettare un banco di gesso macrocristallino compatto. Al passaggio tra la argilla e il conglomerato, si prevede una faglia verticale di notevoli dimensioni che potrebbe rappresentare un'ulteriore difficoltà all'avanzamento.

Dall'analisi granulometrica delle argille si è verificata la scarsa percentuale di sabbia (intorno al 2%), che ha reso particolarmente complicato il condizionamento del materiale in camera di scavo.



Grossi problemi di usura si stanno riscontrando avanzando nel conglomerato a causa della forte presenza di quarzo nei materiali che costituiscono la matrice.

adattarla alla nuova geologia si è conclusa in soli 20 giorni. La TBM era pronta a iniziare lo scavo della seconda galleria il 20 Novembre 2006.

Figura 5 - La sezione geologica interpretativa (Scala orizzontale 1:5000 - Verticale 1:500)

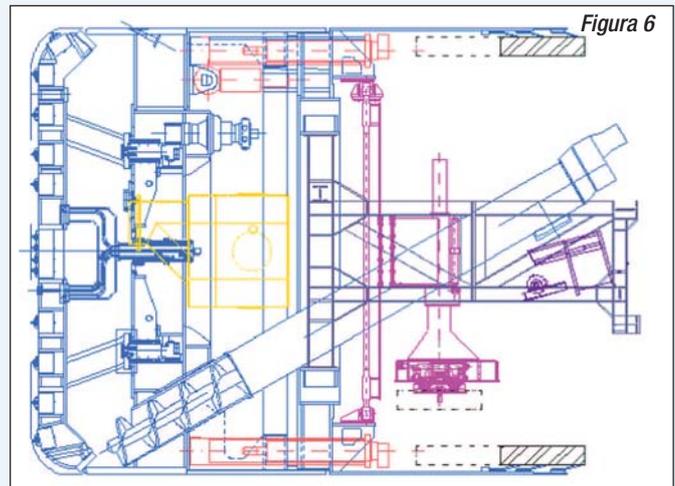
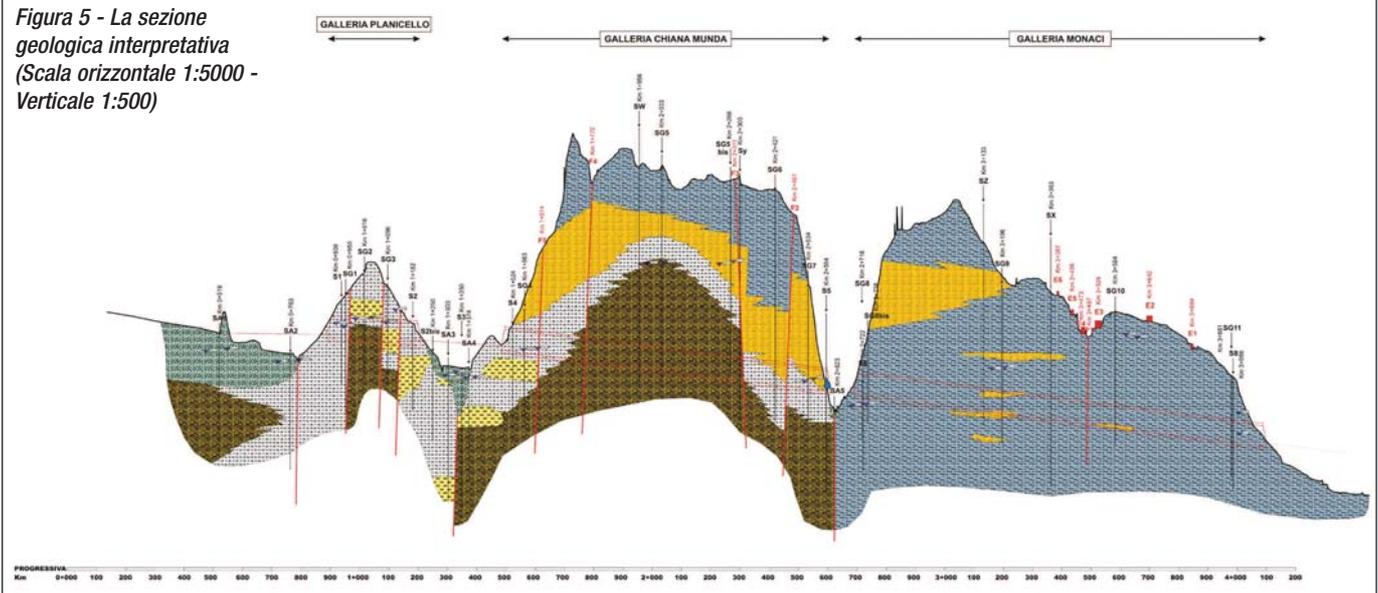


Figura 6

4. Le modalità tecniche

Di seguito sono brevemente esaminate le fasi di trasporto, di assemblaggio e di scavo con la TBM.

4.1. Il montaggio della TBM

La posizione del cantiere di imbocco e la discreta viabilità ha permesso un gestione non gravosa dei trasporti eccezionali. La TBM, ovvero i componenti "fuori sagoma", sono giunti in cantiere nei tempi previsti e senza grandi difficoltà.

Si prevede qualche complicazione in sede di smontaggio, dal momento che il piazzale di uscita è di dimensioni ridotte e la viabilità di accesso alle strade principali è interpodereale.

L'approccio alla seconda galleria - Chiana Munda - è stato anticipato da una traslazione dell'intera attrezzatura sul rilevato, in quota provvisoria, che collegherà definitivamente le due gallerie. L'attraversamento dei 134 m di rilevato, la manutenzione di tutte le attrezzature a bordo, la riconfigurazione della testa fresante per



Figura 7



4.2. Lo scavo

Le due gallerie, come già accennato, sono state realizzate adoperando una TBM EPB 8700. La macchina, di proprietà della S.E.L.I.-Monti, è stata adeguata al diametro richiesto da RFI per le gallerie di Settingiano. La S.E.L.I., divisione tecnologie, ha provveduto alla progettazione e realizzazione di tutti gli interventi necessari a rendere disponibile la TBM con il nuovo diametro. L'intervento è stato

Il condizionamento del materiale di scavo nella fase di EPB mode è stato complicato dalla scarsa umidità in banco delle argille presenti al fronte. La sopravvenuta necessità di incrementare la disponibilità di acqua da iniettare unitamente alle schiume ha richiesto il potenziamento dell'impianto di adduzione in galleria e sul back-up. In questo modo si è riusciti a condizionare nel giusto modo il materiale senza dover ricorrere all'utilizzo di speciali additivi disgreganti che di norma, ma con costi notevoli, riducono l'adesività delle argille.

In corrispondenza dello sbocco della galleria Monaci, ultimata il 30 Ottobre 2006, si sono intercettati una serie di grossi trovanti prevalentemente costituiti da gessi microcristallini di notevole consistenza.

La difficoltà degli utensili di "rompere" il trovante è derivata dalla scarsa consistenza della matrice in cui il trovante stesso era immerso. L'argilla, infatti, si comportava come un letto di molle, incapace quindi di trasferire al blocco duro l'impulso dell'utensile.

La conseguenza dell'atipica eterogeneità dell'ammasso è stata la rottura di molti utensili e, in qualche caso, la rottura dell'intero supporto dell'utensile sulla testa frestante. La seconda tratta presenta un contesto geologico vario, per cui l'intercambiabilità degli utensili rappresenta un dato importante per garantire un regime di produzione adeguato.

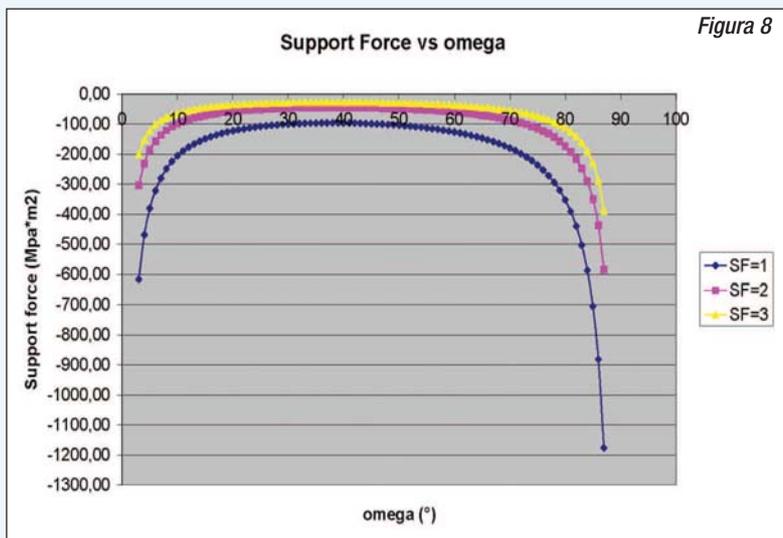


Figura 8

concepito in modo tale che la macchina possa essere riutilizzata anche con il diametro originario (8 m), semplicemente riasssemblandola con i pezzi immagazzinati presso il centro costruzioni e revisioni di Aprilia.

La fresa presenta i seguenti dati caratteristici:

- ◆ massa dello scudo: 525 t;
- ◆ massa del "back-up" (dieci carri): 200 t;
- ◆ numero di rippers, scrapers: 55;
- ◆ diametri dei rulli: 17";
- ◆ numero dei rulli: 40;
- ◆ diametro di scavo: 8,7 m;
- ◆ velocità di rotazione massima: 2,4 giri/min.;
- ◆ coppia di lavoro massima: 900 t/m;
- ◆ coppia di lavoro nominale: 1.350 t/m;
- ◆ cilindri:
 - ◆ numero: 19
 - ◆ diametro di alesaggio: 350 mm
 - ◆ corsa: 2.200 mm
 - ◆ pressione: 250 bar
- ◆ lunghezza dello scudo: 9,2 m;
- ◆ motori e potenza testa: 10 x 200 kW.

Vi è la possibilità di intercambiare gli utensili di taglio, in modo da rispondere in modo più flessibile alle realtà geologiche che si possono incontrare. Le TBM "universali" sono sempre più richieste.

Il Progettista ha eseguito la verifica del fronte tramite la relazione di Anagnostu per tre fattori di sicurezza (Figura 6).

Per tutti e tre i fattori il fronte è risultato stabile.

In corrispondenza del centro abitato di Martelletto, unico attraversamento su preesistenze superficiali, si è avanzato pressurizzando il fronte a 1 bar ed effettuando un continuo monitoraggio topografico superficiale. Non è stato riscontrato alcun cedimento. Le curve di subsidenza sono risultate piatte.

4.3. La guida TBM

All'interno dello scudo è montato un target dotato di inclinometro verticale, attraverso il quale vengono elaborati i dati relativi all'asse teorico del tunnel ed eventuali scostamenti.

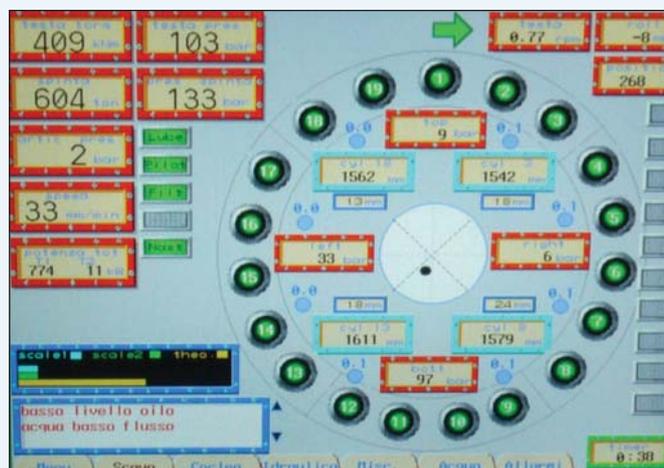


Figura 9 - Il pannello generale TBM

L'operatore della TBM, agendo sui settori dei cilindri di spinta, dirige la pressione di spinta garantendo il perfetto allineamento della macchina al tracciato teorico. Lo scudo della TBM presenta uno snodo, dove agisce l'articolazione passiva che permette un recupero più repentino.

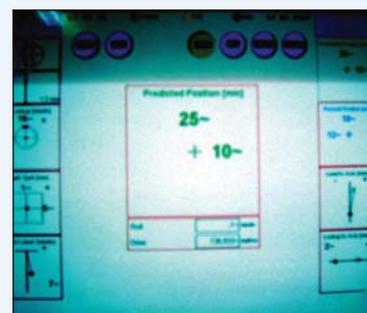


Figura 10 - Il sistema guida ZED



4.4. La produzione

I fermi della produzione sono stati generati per la maggior parte da problemi geologici; in qualche caso si è stati costretti a rallentare o addirittura a sospendere la produzione per problematiche relative alla collocazione del marino nei siti destinati a discarica.

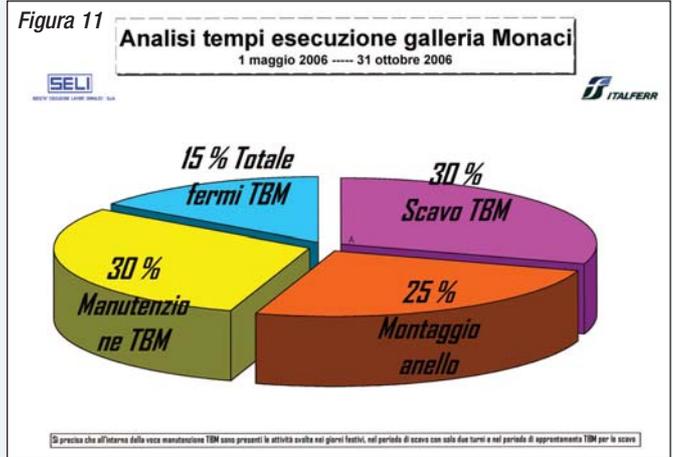
Indicativamente una tempistica dei fermi è data dal grafico di Figura 11.

Da questi dati si evince che la fase produttiva e quello di fermo quasi si equivalgono. In sostanza, l'avanzamento medio è da considerarsi medio-alto.

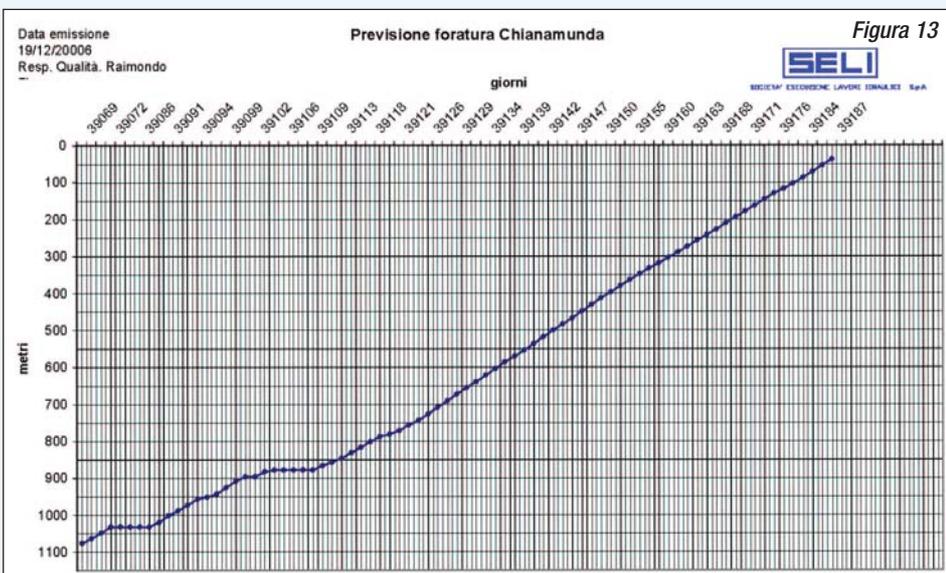
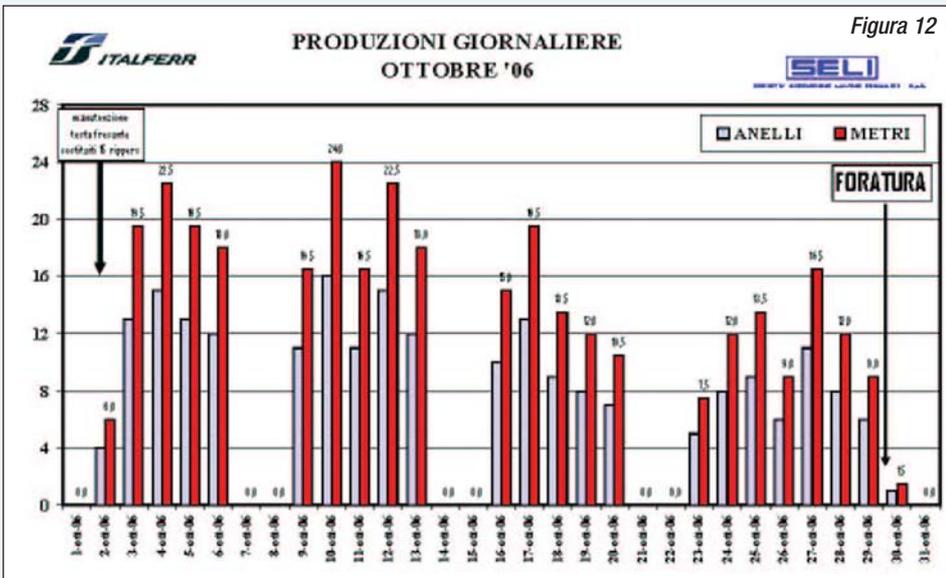
La turnistica adottata è quella standard: tre squadre per 24 ore al giorno cinque giorni su sette. La flessibilità di tale turnistica ha permesso il saltuario recupero del Sabato per interventi di manutenzione straordinaria, di ispezioni al fronte e, solo in casi eccezionali, di scavo di avanzamento.

In sintesi:

- ◆ produzione massima giornaliera: 24 m/g;
- ◆ produzione media giornaliera: 16,67 m/g;
- ◆ produzione massima mensile: 334,50 m.



Sulla base dei risultati consolidati è possibile prevedere la foratura della galleria Chiana Munda, in corso di realizzazione, come si evince nelle Figure 12 e 13.



Conclusioni

La produzione ottenuta - ma soprattutto la capacità di standardizzare l'avanzamento giornaliero - rappresentano un risultato che rende significativo il tunnel di Settingiano.

Il rapporto tra Personale impegnato nel ciclo produttivo e quello nella produzione media mensile è molto buono; pertanto la scelta di limitare la produzione ai giorni lavorativi si è rivelata corretta.

Gli imprevisti geologici avrebbero rappresentato un vero ostacolo per una TBM "da terra". La scelta di adottare una macchina in grado di offrire la massima flessibilità a tutte le formazioni geologiche fino alla roccia si è rivelata vincente. Ciò ha comportato un continuo adattamento della TBM sia dal lato meccanico sia dal punto di vista del "ground conditioning system".

Considerando i risultati, si può davvero reputare le "Universal TBM" come un ottimo passo avanti.

L'ottimizzazione dei tempi di montaggio e di smontaggio delle attrezzature, la facilità di trasferimento delle macchine sia su mezzo sia a terra rendono ancora più versatile e adattabile a tutti i progetti la soluzione del meccanizzato.

* Ingegnere e Deputy Site Manager S.E.L.I. Società Esecuzione Lavori Idraulici SpA
** Ingegnere e Project Manager S.E.L.I. Società Esecuzione Lavori Idraulici SpA