

Titolo della memoria:

ASPETTI PROGETTUALI E COSTRUTTIVI AFFRONTATI
NELL'AMBITO DEI LAVORI PER IL RADDOPPIO DELLA LINEA
FERROVIARIA BICOCCA-SIRACUSA (TRATTO TARGIA-
SIRACUSA)

Autori:

Prof. Ing. Pietro Lunardi
Studio di progettazione Lunardi, Milano

Dott. Ing. Alessandro Focaracci
ROCKSOIL S.p.A., Milano

Dott. Ing. Bruno Maturi
COLLINI S.p.A., Milano

Dott. Prof. Giuseppe Voza
Soprintendenza ai Beni Culturali, Siracusa

SOMMARIO: Nell'ambito dei lavori per il raddoppio della linea ferroviaria Bicocca-Siracusa tra le stazioni di Targia e Siracusa, si sono affrontati alcuni temi particolari:

- costruzione di una galleria a doppio binario di 3435 m utilizzando frese a controllo computerizzato (prima applicazione in Italia) e la tecnologia del pretaglio meccanico
- superamento all'aperto, presso un imbocco della galleria, di un'area archeologica mediante soluzioni tecniche idonee a preservare i siti di rilevante interesse scientifico

1 REALIZZAZIONE DI GALLERIA A DOPPIO BINARIO DI 3435 ML DI LUNGHEZZA CON L'UTILIZZO DI FRESE A CONTROLLO COMPUTERIZZATO E CON LA TECNOLOGIA DEL PRETAGLIO MECCANICO.

1.1 Premesse

Il tunnel ferroviario a doppio binario è composto dai due tratti di imbocco realizzati in galleria artificiale (lunghezza 69.60 ml e 74.15 ml) e dal tratto intermedio in galleria naturale di 3'290.94 ml. L'opera in esame fa parte dei lavori per il raddoppio della linea ferroviaria Bicocca-Siracusa, nel tratto Targia-Siracusa, dati in concessione dalle Ferrovie dello Stato all'Associazione di Imprese Collini S.p.A. – Romagnoli S.p.A. – Impregilo S.p.A. – Astaldi S.p.A.

I lavori di costruzione della galleria (raggio interno 5,10 m) sono avvenuti con attacco su due fronti (imbocco lato Targia e imbocco lato Siracusa). Lo scavo è iniziato dall'imbocco lato Targia e solo successivamente, per motivi connessi alla ricerca archeologica preventiva, si è potuto dare inizio ai lavori per l'imbocco lato Siracusa (Fig. 1). L'avanzamento è avvenuto in galleria naturale per ml 2.383,00 dall'imbocco lato Targia e per ml 907,94 dall'imbocco lato Siracusa. La situazione dei terreni e delle rocce attraversati durante lo scavo, già ben individuata con una campagna di indagini in fase di progettazione

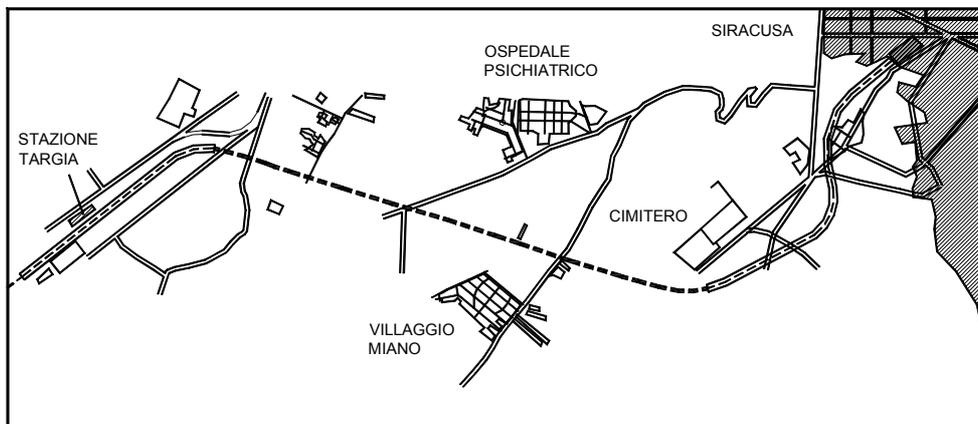


Fig. 1. Galleria di Targia: Planimetria

esecutiva, è stata caratterizzata dalla presenza di due differenti formazioni rocciose, con comportamento geomeccanico molto diverso, poste a contatto tra loro lungo una superficie ondulata: le calcareniti (“Formazione Palazzolo”) nella zona superiore e la ialoclastite nella zona inferiore. (Fig. 2) In particolare questo tipo di terreno, poco conosciuto nella pratica del tunnelling ha dato luogo ad un comportamento imprevedibile, determinato dal degrado delle sue caratteristiche di resistenza causato dall’alterazione chimico-fisica provocata dal contatto tra l’acqua e la matrice argillosa che costituisce, assieme a breccie e clasti basaltici di varie dimensioni, l’elemento preponderante della ialoclastite. Tali degenerazioni si sono estese a strati di notevole dimensione che hanno interessato lunghi tratti di galleria in quanto la linea ondulata di contatto tra le due formazioni rocciose (calcareniti-ialoclastite) segue l’andamento del tunnel intersecandolo a vari livelli (piedritti, reni, estradosso di calotta).

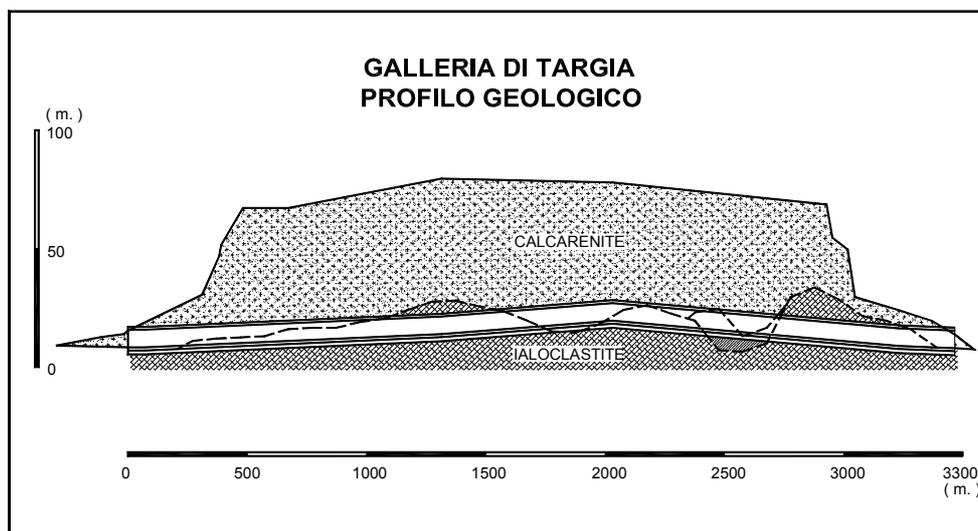


Figura 2. Profilo geologico

1.2 Scavo della galleria a sezione parzializzata dall'attacco lato Targia

La situazione geologica descritta in premessa e il rispetto dei tempi programmatici molto ristretti, ha imposto la necessità di organizzare due cantieri gemelli per l'avanzamento contemporaneo i due imbocchi. Considerato, inoltre, che la galleria interessa una zona urbanizzata della città di Siracusa, per cui era necessario limitare i disturbi in superficie, si era deciso di utilizzare per lo scavo in calotta due frese puntuali di grossa potenza (Eickhoff

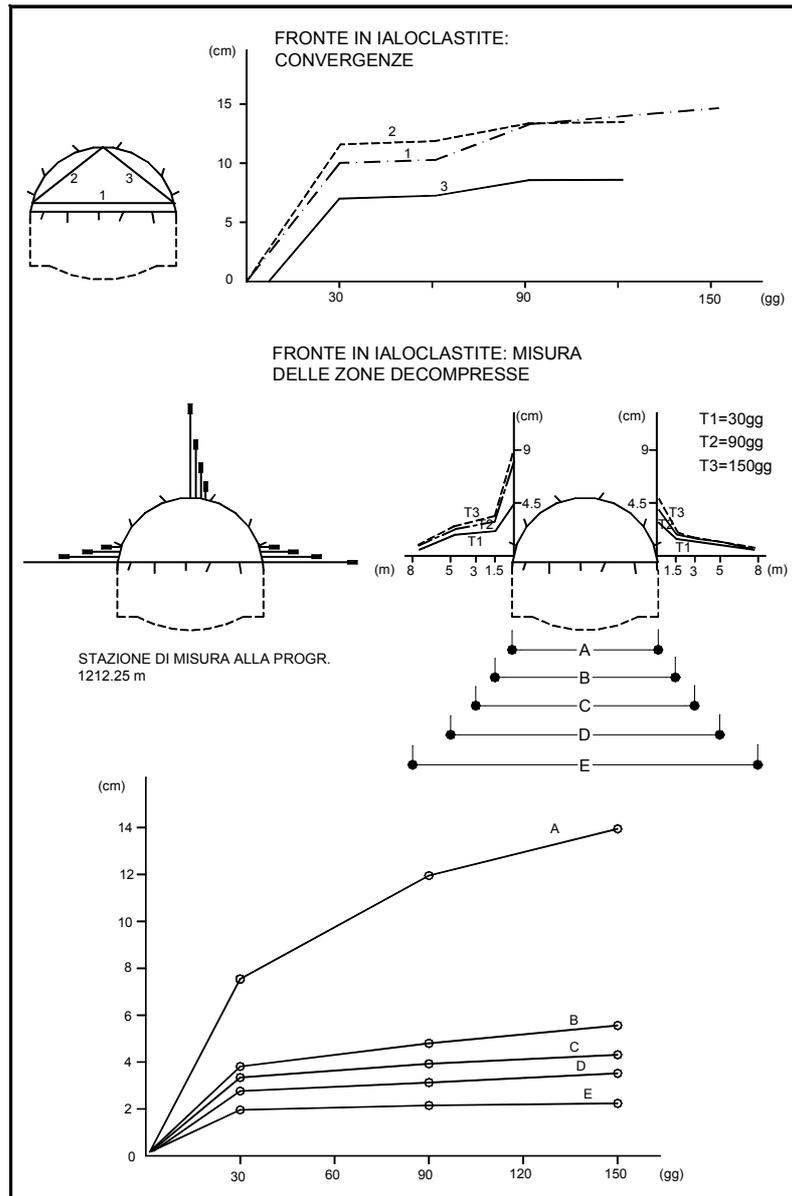


Figura 3. Misure di deformazione superficiale e profonda nelle ialoclastiti

ET300 lato Targia e Westfalia AV178 lato Siracusa) e CAT D9 con ripper e martelli demolitori per lo scavo di strozzo e piedritti. Le due frese, mediante sofisticate apparecchiature automatizzate di controllo, garantivano il rispetto del profilo di scavo con tolleranza di 10 cm.

Le previsioni di attacco contemporaneo sui due imbocchi sono state ostacolate dal ritrovamento, presso l'imbocco lato Siracusa, di una necropoli di grandi dimensioni e di rilevante interesse archeologico. Pertanto i lavori sono stati realizzati secondo il programma previsto dal solo imbocco lato Targia.

Da tale fronte, le previsioni di avanzamento medio giornaliero di 5 metri (circa 100 m/mese) sono state confermate esclusivamente durante l'esecuzione dei lavori in condizioni geomeccaniche ottimali al contorno. Il lavoro veniva sviluppato su due turni per lo scavo della calotta e sul terzo turno per strozzo e piedritti. A seguire si provvedeva al getto per calotta e piedritti del rivestimento definitivo in calcestruzzo, mediante cassero meccanizzato a tutta sezione. Quando il fronte di avanzamento ha incontrato la ialoclastite, i lavori di scavo sono stati notevolmente rallentati da forti fenomeni deformativi anche a carattere dissimetrico (Fig. 3) Ciò ha portato alla necessità di operare con interventi di consolidamento differenziati (prerivestimenti con spritz-beton fibrorinforzato, centine e sistemi di captazione e drenaggio delle acque con aggiunta di eventuali tirantature radiali in

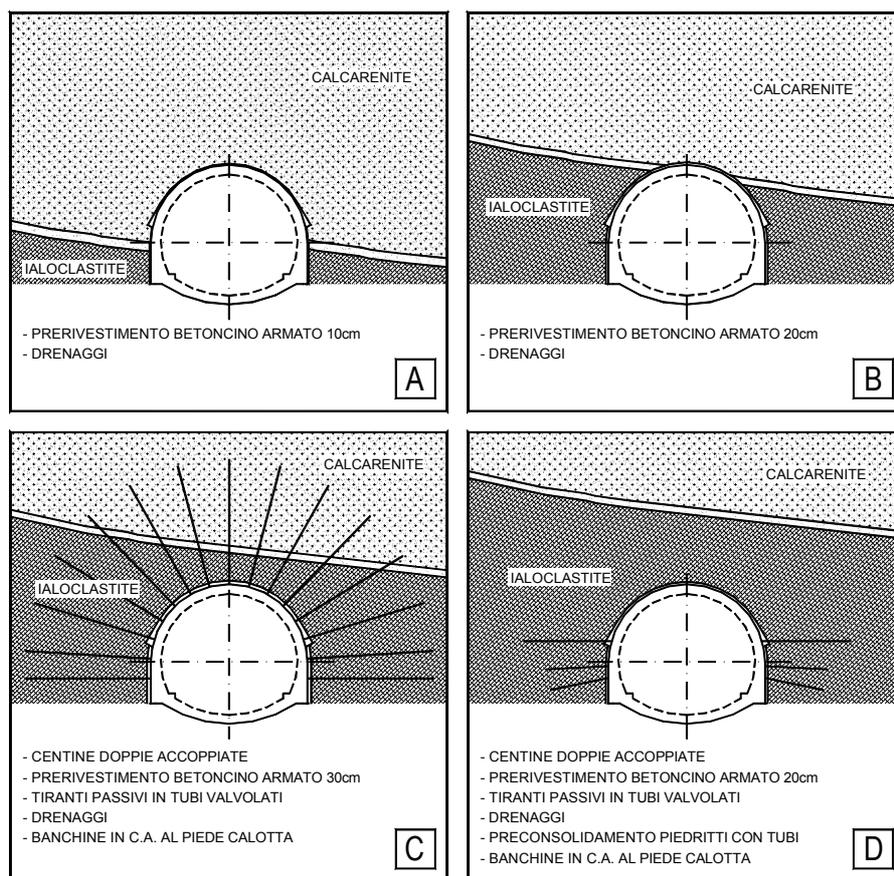


Figura 4 Interventi di rinforzo sulla sezione parzializzata

calotta o sui piedritti) da adeguare di volta in volta alle diverse, repentine ed imprevedibili situazioni geomeccaniche, provocate dalla presenza di materiali di diversa rigidità (calcarenite sommitale e ialoclastiti), i cui effetti sono stati accentuati dalla rilevante presenza di acqua nell'ammasso roccioso (Fig. 4).



Foto 1. Operazioni di scavo con fresa a controllo computerizzato

1.3 Scavo della galleria a piena sezione con la tecnologia del pretaglio meccanico dell'attacco lato Siracusa

La tecnologia di consolidamento preventivo con “pretaglio meccanico” è stata adottata nei lavori di scavo della galleria lato Siracusa per la necessità di operare con una metodologia che garantisca la risoluzione in maniera univoca dei problemi già riscontrati in presenza di ialoclastite al contorno del cavo durante lo scavo lato Targia (Fig. 5).

In particolare durante i lavori di scavo lato Targia si era dovuto operare con interventi di consolidamento differenziati (prerivestimenti con spritz-beton fibrorinforzato, centine e sistemi di captazione e drenaggio delle acque con aggiunta di eventuali tirantature radiali in calotta o sui piedritti) da adeguare di volta in volta alle diverse ed imprevedibili situazioni geomeccaniche, provocate dalla presenza di materiali di diversa rigidità costituiti dalla calcarenite sommitale e dalle ialoclastiti sottostanti, i cui effetti sono stati accentuati dalla rilevante presenza di acqua nell'ammasso roccioso.

L'adozione del “pretaglio meccanico” ha consentito di evitare i problemi di cui sopra, garantendo avanzamenti programmabili e sicurezza operativa. In particolare l'intervento è avvenuto creando nel terreno, ancor prima dello scavo, un taglio di spessore e lunghezza predeterminato (18 cm di spessore per una lunghezza di 3.00 – 4.00 m), la cui traccia ha seguito il profilo di estradosso della galleria con un andamento sub-circolare. Il taglio è avvenuto a settori, con l'impiego di macchina fresatrice provvista di sega a catena, e viene

immediatamente riempito con betoncino fibrorinforzato opportunamente additivato per ottenere elevate resistenze in tempi brevi. Terminato il taglio ed il successivo riempimento dell'intero profilo di estradosso, dopo la maturazione del getto, si è proceduto alle operazioni di scavo a piena sezione per una tratta inferiore alla lunghezza della volta in

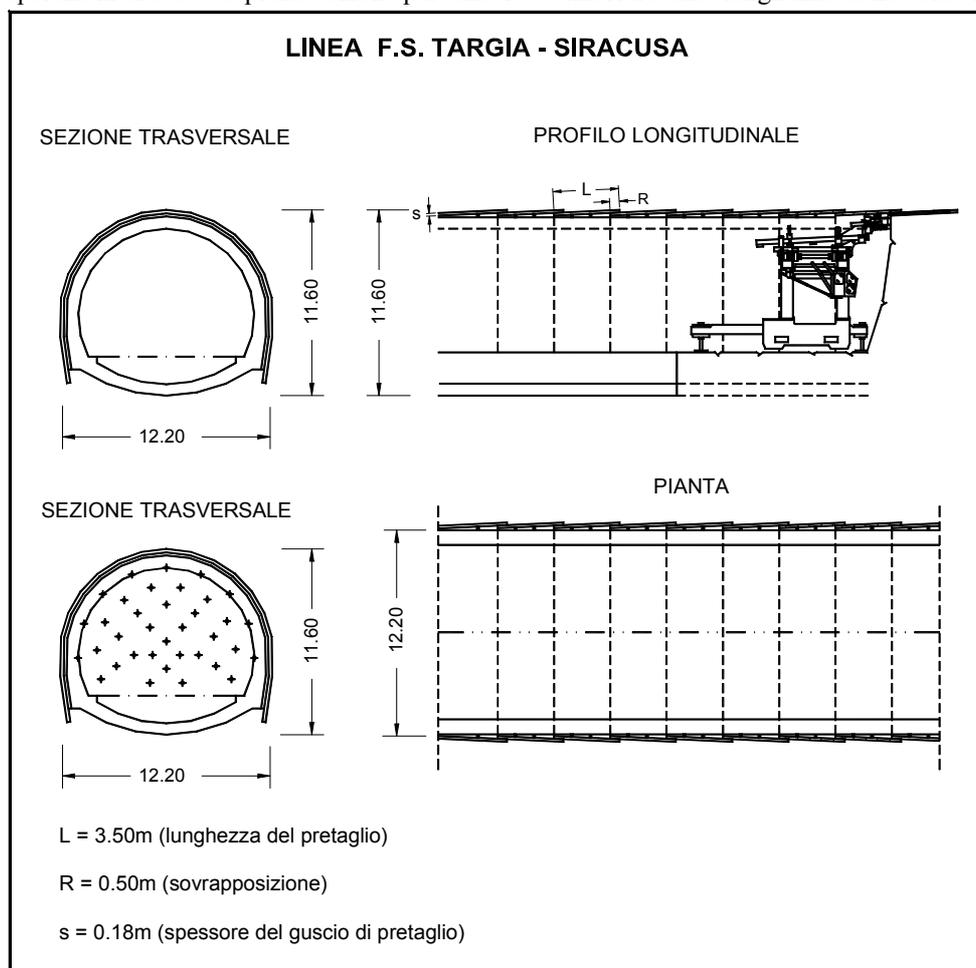


Figura 5. Sezione con pretaglio meccanico

modo tale da garantire sempre una sovrapposizione di almeno 50 cm con la volta successiva. Si realizza in tal modo un priverivestimento, al contorno del profilo di scavo, di resistenza tale da fornire un contenimento capace di impedire gli allentamenti del terreno a breve termine (rigonfiamenti ed estrusioni). Ciò permette di procedere nelle successive fasi operative sotto la garanzia di un "effetto arco" già operativo e non in via di formazione. E' stato necessario completare l'intervento generale con l'adozione di rinforzi sulle volte retrostanti quella in corso di scavo realizzati con centine metalliche poggianti su calaggi e travi di ripartizione per contrastare l'attenuazione degli effetti tridimensionali al fronte con incremento dei carichi agenti sulle volte. Un ulteriore presupposto fondamentale all'esecuzione dell'intervento con "pretaglio meccanico" è stato il consolidamento del fronte di scavo con spritz-beton (15 cm di spessore) e chiodature in vetroresina iniettate e

drenaggi preventivi, per garantire la conservazione delle caratteristiche geomeccaniche della ialoclastite, con conseguente mantenimento di velocità di avanzamento costanti.

La stabilità trasversale del cavo è stata realizzata con il getto delle murette e dell'arco rovescio a distanza dal fronte non superiore a $1-1,50 \phi$ e con il successivo completamento del rivestimento definitivo (getto calotta e piedritti) a distanza dal fronte non superiore a $4-5 \phi$.

L'adozione della tecnologia del "pretaglio meccanico" è avvenuta per un tratto di lunghezza pari a 851.00 ml ed ha consentito di realizzare lo scavo della galleria ed il rivestimento definitivo in circa 18 mesi, con un avanzamento medio giornaliero di circa 2,00 m, pari a più del doppio della produzione effettuata nei tratti eseguiti dall'imbocco lato Targia con le identiche problematiche ed affrontati con metodologie "tradizionali" (scavo a mezza sezione, centine e priverestimenti con spritz-beton).

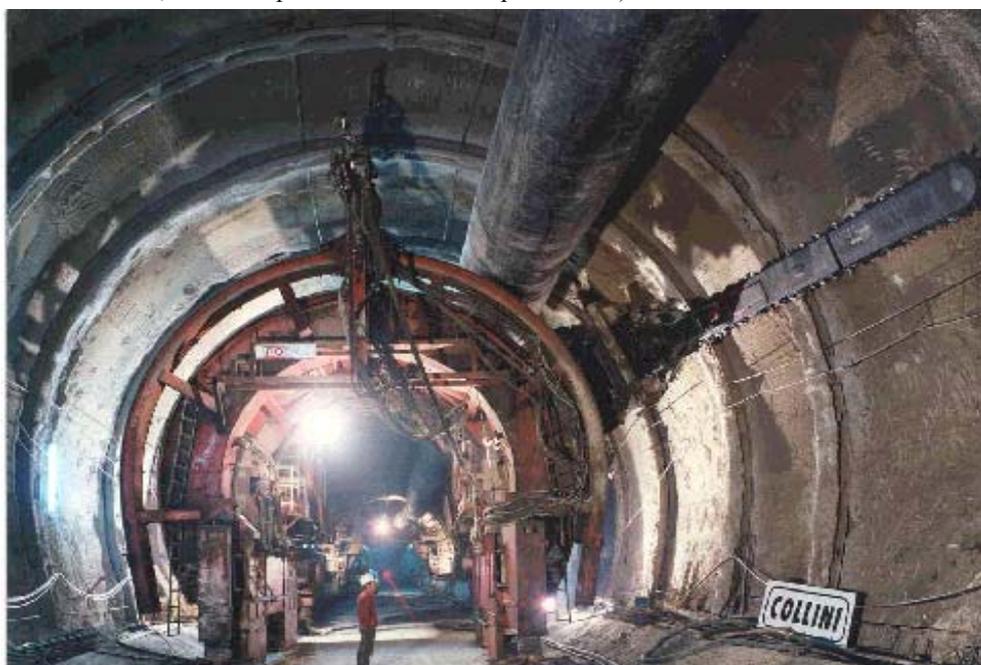


Foto 2. Macchina fresatrice con sega a catena per l'esecuzione del "pretaglio" e scorcio della galleria scavata con tale metodologia

2 SUPERAMENTO ALL'APERTO, PRESSO L'IMBOCCO DELLA GALLERIA LATO SIRACUSA, DI DEPOSITI PALEONTOLOGICI E DELLA NECROPOLI GRECA DEL FUSCO (RISALENTE AL 400 A.C.) MEDIANTE SOLUZIONI TECNICHE IDONEE A PRESERVARE L'INTEGRITÀ DEI SITI DI GRANDE INTERESSE SCIENTIFICO

2.1 Premesse

Si sostiene in genere che in aree densamente interessate da insediamenti archeologici il controllo del territorio è estremamente problematico soprattutto per l'impossibilità di essere costantemente presenti per gli interventi di ricerca o di tutela non solo nei siti già ampiamente noti come di interesse archeologico, ma soprattutto in quelli e sono tanti, forse

la maggioranza, ancora del tutto sconosciuti. La carenza di mezzi e di personale che da sempre affligge l'Amministrazione dei Beni Culturali e ancora più, oggi, la quasi totale mancanza di applicazione di tecniche avanzate per l'identificazione su estese aree territoriali delle presenze archeologiche, in tempi rapidi, pensiamo, per esempio, alle indagini geoelettriche e georadar, al telerilevamento, fa correre grossi rischi al patrimonio archeologico contenuto nel sottosuolo. Il fenomeno ha incominciato ad assumere dimensioni preoccupanti da quando, alla fine del secondo conflitto mondiale, la società, e di conseguenza, l'economia di grandi regioni meridionali come la Sicilia, sono rapidamente cambiate.

Lo sviluppo esplosivo e caotico dei centri urbani, la trasformazione dei sistemi di coltivazione della terra divenuta dominio di mezzi meccanici, lo sviluppo industriale incontrollato nella sua fase espansiva, la creazione di grandi infrastrutture, hanno fatto divenire il territorio teatro di grandiose trasformazioni alle quali non hanno potuto tener dietro coloro che, dotati di risibili possibilità operative, hanno avuto la responsabilità del controllo del paesaggio e delle stratificazioni archeologiche rimaste per millenni nell'archivio del sottosuolo.

Le occasioni di scoperte archeologiche sono state infinite e farvi fronte, in qualche modo, rappresenta il fondamentale compito istituzionale delle Soprintendenze. Compito gravosissimo, se si tiene conto delle modestissime risorse disponibili, in mezzi e personale, e degli strumenti legali facilmente eludibili. Ma laddove tempestiva e preveggenze è stata l'opera di sorveglianza, con l'attivazione di preziosissime collaborazioni, non solo è stato possibile realizzare le nuove opere, ma anche rispettare o conservare l'antico.

E' proprio il caso trattato in questa sede, quello, cioè, relativo alla realizzazione a Siracusa del passante ferroviario che, ormai costruito, ha risolto un grosso e annoso problema per la città di oggi. Non è nostra intenzione ripercorrere l'iter di una difficilissima operazione durata circa 15 anni e che è stata un grande banco di prova per tutti coloro che vi hanno partecipato. Ma se oggi si pensa che la grande opera pubblica è stata realizzata e che, con l'occasione, è stato possibile mettere in atto una straordinaria impresa di ricerca scientifica, con risultati di enorme interesse non solo archeologico e paleontologico, ma unici nel loro genere, per quanto attiene alla ricostruzione dell'ambiente del Pleistocene nell'area interessata dalla ricerca medio-superiore, allora si dimenticano le difficoltà tecniche, le polemiche infinite e i disagi vissuti.

L'impresa di ricerca è stata possibile grazie alla disponibilità e alla collaborazione dell'Ente Ferrovie dello Stato come delle imprese che operarono nel sito, alla grande capacità di coloro che, di fronte a opposti interessi, seppero trovare soluzioni tecniche e operative tali da superare problemi a primo acchito insuperabili, all'abilità, alla dedizione, all'applicazione di studiosi, ricercatori, maestranze, tecnici e operai, di tutti coloro, cioè, che vissero in prima persona l'esaltante esperienza.

Restano le opere realizzate, i risultati delle ricerche, la straordinaria messe di materiali archeologici dall'età neolitica a quella medioevale e un immenso deposito paleontologico senza confronti in Sicilia che ormai sono solida premessa conoscitiva per gli sviluppi futuri che è facile prevedere di grande fortuna.

Resta l'insegnamento che deriva da questa esperienza. Essa indica, di fronte a situazioni in cui il patrimonio paleontologico, archeologico e monumentale è spesso vandalicamente ignorato o distrutto nei territori del nostro Paese, come assolutamente necessario, specialmente nella realizzazione di grandi opere pubbliche, che gli studi preliminari relativi all'impatto ambientale e alla salvaguardia del patrimonio monumentale del soprassuolo, come di quello archeologico del sottosuolo, siano costantemente e sistematicamente oggetto di indagini approfondite, accompagnate da previsioni di finanziamenti adeguati ai risultati

delle indagini stesse. Per converso, l'Amministrazione preposta alla tutela del patrimonio culturale dovrà essere in condizione di mettersi al passo con i tempi dotandosi di risorse, mezzi e personale tecnico-scientifico, per consentire di intervenire immediatamente per tutte le opportune operazioni di ricerca e salvaguardia.

L'obiettivo che il progresso e lo sviluppo della vita moderna si pone deve avere come corrispettiva la capacità di salvaguardare e conservare il patrimonio culturale.



Foto 3. Scavi archeologici all'imbocco lato Siracusa

2.2 Esecuzione lavori e soluzioni tecniche adottate

Nei pressi dell'imbocco della galleria lato Siracusa, durante le operazioni di scavo preliminari all'esecuzione dei lavori, sono stati individuati dalla locale Soprintendenza BB.CC.AA. siti di rilevante interesse scientifico consistenti in depositi paleontologici pleistocenici ed in una serie di tombe della Necropoli greca del Fusco (V sec. a.C.). A seguito dei suddetti rinvenimenti è stato disposto, in accordo tra le Ferrovie dello Stato e la Soprintendenza di Siracusa, l'avvio di una vasta campagna di ricerca archeologica preventiva per consentire la prosecuzione dei lavori. Il protrarsi delle indagini archeologiche ha reso necessario lo studio di una soluzione tecnica che consentisse di attivare il raddoppio Targia-Siracusa nei termini previsti dalle Ferrovie dello Stato. In tal senso, dopo un preventivo studio di fattibilità, validato dalla Soprintendenza e dalle F.S., si è intrapresa la progettazione esecutiva per realizzare un'opera di scavalco dei siti archeologici. Gli input progettuali sono stati quelli di superare il banco di sedime pleistocenico ancora non indagato con una struttura che permettesse l'ultimazione della sede ferroviaria e garantisse alla Soprintendenza, anche con la linea in esercizio, la prosecuzione delle ricerche archeologiche.

L'opera maggiormente idonea è stata individuata in un ponte ferroviario ad unica campata con luce di 62 ml realizzato secondo lo schema a via inferiore (travata reticolare in acciaio

con struttura a maglia triangolare chiusa superiormente) che ha consentito di ridurre al minimo le dimensioni strutturali al di sotto del piano-ferro. Le fasi preliminari alla realizzazione del ponte ferroviario sono state quelle di completamento dello scavo archeologico realizzato sia a mano che con tecnologia di taglio in blocchi dell'ammasso roccioso con filo diamantato sino alla quota prevista. La collocazione dell'opera di scavalcamento è avvenuta pertanto all'interno di una trincea le cui pareti laterali sono state oggetto di studio geologico-geotecnico di stabilità con realizzazione di opere di sostegno provvisorio con chiodature di rinforzo e rivestimento protettivo con spritz-beton. Il sostegno definitivo delle pareti è stato realizzato successivamente con muri in terra-armata, rivestiti con vegetazione locale, per rispondere sia alle esigenze statiche e sia alle esigenze di tutela ambientale del sito archeologico. La costruzione delle spalle del ponte è avvenuta con fondazioni dirette in calcestruzzo armato all'interno di aree in cui la ricerca archeologica era ormai ultimata.

Prima della costruzione della struttura di scavalcamento si è, inoltre, provveduto alla preservazione del sedime pleistocenico con un massetto di protezione in cls debolmente armato con pendenza trasversale idonea ad agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche superficiali. Solo in ultima fase dopo la conclusione della ricerca archeologica preventiva si è provveduto all'inizio dei lavori di costruzione della travata metallica che ha consentito, anche dopo l'attivazione della linea ferroviaria, il libero accesso al sedime ad essa sottostante attraverso una rampa collocata nei pressi di una spalla tra la sede ferroviaria ed una parete laterale della trincea di scavo. Con la progettazione delle opere di scavalcamento sono stati previsti gli interventi necessari per lo smaltimento delle acque meteoriche. In particolare sono state realizzate due tubazioni di raccolta delle acque provenienti dalla galleria ancorate alla struttura del ponte e cunette alla francese collocate ai margini della zona di intervento per la raccolta delle acque meteoriche superficiali, con convogliamento complessivo nel canale naturale Grimaldi.



Foto 4 e 5. Opere di conservazione dell'area archeologica presso l'imbocco lato Siracusa (area per collocazione struttura di scavalcamento, sostegno pareti laterali con muri in terra-armata). Sulla destra sono visibili le nicchie funerarie della necropoli del Fusco. – Ponte ferroviario a campata unica con luce 62 m.

Durante i lavori di costruzione della sede ferroviaria a circa 100 ml dall'imbocco lato Siracusa è stata richiesta dalla Soprintendenza BB.CC.AA. una ulteriore variante al progetto necessaria per ridurre al minimo l'impatto delle opere con l'area archeologica della collina Tor di Conte in cui sono state rinvenute tombe risalenti al III sec. a.C. e strutture murarie a blocchi di epoca precedente. La soluzione adottata, in alternativa alla sede in trincea con muri di sostegno a gravità, è stata quella di eseguire una galleria artificiale di 56 ml e muri di sostegno d'ala con tipologia in c.a. migliorando notevolmente

l'impatto ambientale delle opere e riducendo al minimo il volume di intervento sui sedimenti archeologici.

REFERENCES:

Lunardi P., Bindi R., Focaracci A., 1989, "Nouvelles orientations pour le projet et la construction des tunnels dans des terrains meubles. Etudes et experiences sur le preconfinement de la cavite et la preconsolidation du noyau au front". Colloqui international "Tunnels et micro-tunnels en terrain meuble" – Parigi 7-10 febbraio 1989

Arsena F.P., Lunardi P., Focaracci A., Volpe C., 1991, "La prima applicazione in Italia del pretaglio meccanico." Convegno Internazionale su "Il consolidamento del suolo e delle rocce nelle realizzazioni in sotterraneo" – Milano 18-20 Marzo 1991

Lunardi P., De Paoli G., Focaracci A., Granata A., 1992 "Shotcreting applied to shell construction in the precutting tunnelling method" – International Congress "Towards New Worlds in Tunnelling" – Acapulco 16-20 maggio 1992