



25...

...lunghi 100 anni



25...

...lunghi 100 anni

	<i>prefazione</i> Venticinque... lunghi cent'anni! <i>F. Bellone</i>	5
	<i>storia delle gallerie</i> Gallerie nel mondo antico <i>A. Zechini</i>	9
	<i>Le opere significative</i> Variante di Valico	68
Savona – Collegamento sotterraneo dal porto		71
Metropolitana automatica di Torino		74
	<i>miscellanea 1986/1996</i>	78
Il nuovo metodo austriaco dopo 50 anni di applicazioni	<i>Cos'è il NATM?</i> <i>A. Zechini</i>	81
	<i>Le opere significative</i> Metropolitana di Roma – Linea C	96
	Galleria del Frejus	101
	<i>miscellanea 1996/2001</i>	104
	Approccio ADECO-RS <i>G. Lunardi</i>	106
	<i>Le opere significative</i> Alta Velocità	108
Metropolitana di Genova, tratta De Ferrari-Brignole		116
Gallerie stradali sulla SS106 "Jonica"		124
	Roma sotterranea <i>I. Della Portella</i>	128
	<i>Le opere significative</i> Prolungamento Linea A Metro Roma	152
Parcheggio del Gianicolo – Città del Vaticano		158
	<i>miscellanea 2001/2006</i>	162
il vanto dell'ingegneria civile borbonica in sotterraneo	Tunnel borbonico <i>G. Minin, E. De Luzio</i>	166
	<i>Le opere significative</i> Parcheggio Morelli a Napoli	172
Metropolitana di Napoli – Linea 1		176
	<i>miscellanea 2006/2011</i>	186
Carrellata su altre opere significative		192
<p>Forte Belvedere (Firenze) Impianto Premadio (Bormio) Linea 6 Metropolitana di Napoli Galleria delle Monache - Futani (SA) Strada dei Marmi - Miseglia (MS) Galleria Villa di Via Tenuta della Maglianella (Roma) Galleria Moggio Udinese Galleria Filippella - Passo Martino (CT) Galleria Pulz e Val Rosna (BZ) Galleria Antica Via di Francia - Avigliana (TO) Galleria Fenis (AO) Pozzo a Savona Discenderia FS Mergellina (NA) Galleria Lerca (GE) Metanodotto di Tarvisio Pozzi e stazione Metropolitana di Brescia Pozzi Metropolitana di Roma Ammodernamento Linea A Roma</p>		
	<i>miscellanea 25 anni/16 settembre 2011</i>	210

Venticinque... lunghi cent'anni !



Venticinque anni sono un'enormità di tempo, eppure questa avventura sembra iniziata ieri.

Il 1986 era ancora un'epoca nella quale "Costruttore" significava grandi margini di guadagno, ma anche grandi ingiustizie sociali, epoca, infatti, di subappalti a cascata, di manodopera al nero, di scarsa, o nulla, attenzione alla sicurezza ed alla qualità.

Nonostante il vento del '68, all'epoca, nella provincia di Napoli, la maggior parte degli occupati nell'edilizia non aveva un contratto regolare, essere malpagati ed a nero era prassi consolidata e ... normale.

CIPA, al contrario, ha voluto sin dal suo inizio percorrere strade diverse e fare scelte altrettanto controcorrente per quei tempi. Venticinque anni fa, però, scelte di

tal natura, soprattutto nel Meridione del nostro Paese, rendevano un'azienda assai poco competitiva, di qui la necessità di rivolgersi ai Grandi Committenti, offrendo prestazioni specialistiche eseguite da personale di qualità adeguatamente addestrato, attrezzato e disposto, se necessario, a prendere una valigia per il... profondo Nord. La nostra sfida è stata quella di dimostrare, a noi stessi ed alla società, che si può imprendere pur rimanendo "persone perbene", nei confronti, innanzitutto dei collaboratori (oltre 1300 dall'inizio della nostra avventura!), ma anche dei Committenti, dei Fornitori e, ovviamente, del Paese cui, nonostante tutto siamo fieri, di appartenere. In uno Stato che, senza favoritismi, senza ingiustizie sociali, senza evasione fiscale sarebbe il posto più giusto del pianeta, potere affermare di aver fatto impresa con senso etico è motivo di orgoglio personale, ed anche per tutti quelli che non intendono omologarsi, dimostrandolo quotidianamente, allo stereotipo cui, immeritadamente, per colpa di alcuni veniamo condannati. Molte volte le difficoltà incontrate in questi lunghi cinque lustri ci hanno indotto alla tentazione di mollare tutto per una vita più tranquilla, per dei week end non in ufficio, per poter vivere momenti senza la preoccupazione di quella lavorazione, di quella macchina, di quel committente che non paga o di quella banca; è bastato però un giro in cantiere, una parola scambiata con le tante persone che considerano CIPA come "il posto sicuro", il ricordo dei tanti momenti vissuti in questa grande famiglia, per farci desistere altrettante volte da qualsiasi pensiero di abbandono. Un signore di nome Adriano Olivetti, molti anni fa, creò un'azienda che aveva come filosofia il concetto per il quale la produzione non fosse strumento di mero arricchimento di pochi, ma bensì fonte di benessere per i più; lungi dall'avvicinarci a tanto traguardo, molto dimessamente, chi scrive ha cercato di perseguire quella filosofia.

Altrettanto sommessamente, viviamo la responsabilità di garantire benessere a tante famiglie, ma anche l'orgoglio di vedere che, grazie a noi, queste famiglie prosperano, crescono, esaudiscono non solo bisogni, ma anche desideri.

Pensare che per molti di loro CIPA è una certezza, leggere che in loro non esiste neppure il germe della preoccupazione che in futuro la loro casa comune possa non esserci più, è motivo di grande orgoglio da un lato, ma anche di grande responsabilità.

Va da sé che non sta a chi scrive certificare la riuscita dell'intento, ma certamente venticinque anni, senza cambi di ragione sociale e di vestito, rappresentano un buon lasso di tempo per un consuntivo.

Venticinque anni fa le e-mail erano praticamente sconosciute, lo stesso telefax era strumento per le grandi aziende, il cellulare era la grande novità dal peso di quasi un chilo e con una durata delle batterie assai limitata, ma nel nostro mestiere, il secondo più antico del mondo, innovazioni assai poche. Cosa c'è dunque di più tecnologico degli spingitubi? Ecco dunque il mestiere "di nicchia"! Il certificato Albo Nazionale Costruttori, i primi lavori, le riunioni fiume per

l'acquisto delle prime attrezzature, i primi addetti, le prime banche con cui interloquire, Tangentopoli con le prime difficoltà di incasso dai clienti, tutti più o meno coinvolti in una rivoluzione ancor oggi ben lontana dalla conclusione ! Ben presto la scelta di dedicarsi alle sole opere a spinta, seppur felice, si rilevò limitativa per il funzionamento aziendale. Dette tipologie di opere, per loro natura tanto specialistiche, risultano enormemente condizionate da numerosi permessi ed autorizzazioni, i cui ritardi nel rilascio comportano dei lunghi fermi nella produzione o, paradossalmente, delle punte anomale di attività. Tali contingenze e la presenza di un personale addestrato, professionalizzato e, soprattutto, stabile, hanno comportato la scelta di acquisire le prime opere di gallerie in tradizionale, inevitabilmente di piccolo diametro per potere limitare gli investimenti di attrezzature.

Dato, dunque, che con gli spingitubi non si cresce e, soprattutto, non si da continuità all'azienda, ecco l'evoluzione nelle gallerie di piccolo diametro con quanto di più tecnologico e moderno un'azienda possa mettere in campo: le sue risorse umane. Il motto "Il nostro vero capitale è quello umano", insieme a "Passione e dedizione", diventa, ed ancora rimane, la fotografia dell'azienda. Oggi, la CIPA Spa è una realtà presente in tutto il territorio nazionale e con un'attenzione ed una presenza su alcuni mercati esteri, ben conscia che solo una proiezione internazionale può, in questo momento, garantire continuità di lavoro e crescita aziendale.

Alla terna FAI, primo acquisto, negli anni si sono aggiunte attrezzature per molti milioni di euro, ed i sei addetti di vent'anni fa oscillano oggi intorno ai trecento, assistiti da una logistica intellettuale e materiale commisurata alle necessità. Dal deposito in affitto di trecento metri quadri dei primi anni, oggi l'azienda possiede un deposito con strutture di officina meccanica di proprietà per 12.000 metri quadri in Roma e 25.000 metri quadri con destinazione industriale, nel comune di Giove, ove ha in animo di organizzare un centro logistico di riparazione attrezzature.

L'attenzione resta sempre, però, rivolta principalmente al nostro vero capitale: quello umano. I "tupamaros della CIPA", come affettuosamente fummo definiti nel 1993 dai vari Committenti delle opere del prolungamento della Linea A della Metropolitana di Roma, sono ancora tutti presenti in azienda, sicuramente più incanutiti, ma assolutamente con lo stesso entusiasmo di quegli anni. Manca solamente Osvaldo, matricola N°1, che dal 2001 non c'è più, se n'è "andato" lasciando un grande vuoto, ma, in realtà, con la sua bella famiglia, è sempre con noi in ogni pensiero e in ogni ricordo. Questo libro è dedicato a Lui.

La CIPA svolge uno dei pochi mestieri rimasti che, in un'era supertecnologica, valorizza le capacità dell'uomo: lungi dal fare della retorica, abbiamo riscontrato che molte volte l'occhio esperto di un minatore di lungo corso ha anticipato le più raffinate misure di convergenza, segnalando, ad esempio, un fronte instabile ben prima di ogni pur tecnologica strumentazione; l'esperienza acquisita sul campo in molte occasioni ha evidenziato quanto fosse o meno pericoloso un fornello; più volte si è dovuto ricorrere alla posa della centina, lottando contro il tempo e con il solo ausilio del proprio istinto, riuscendo a metterla in stazione con errori di pochi centimetri.

Senza nulla togliere (prestando anzi la massima attenzione e rispetto!) ai progressi che, anche nel campo del sottosuolo, si stanno compiendo, CIPA vuole tutelare quel patrimonio di conoscenza che nessuna macchina potrà mai sostituire e del quale (fortunatamente!) qualsiasi macchina avrà sempre bisogno per ben funzionare.

Ma la CIPA, poiché non è stata vissuta solamente come mero strumento di lavoro, in questi anni si è rivelata anche catalizzatore e fucina di amicizie, di rapporti interpersonali, di collaborazioni lavorative e non; tra le sue creazioni il C.I.S. (Club Ingegneri Sottosuolo) e l'istituzione, oltre della consueta quanto classica festa di Santa Barbara, anche della Santa Barbara Estiva, occasione gradevole e serena di incontro tra tante persone che, spesso, nel quotidiano non hanno l'opportunità di vedersi o talvolta sono in accanita concorrenza.

Infine, un sogno nel cassetto rimandato nella sua attuazione causa... "crisi del settore", ma da realizzare nei prossimi anni, speriamo con l'ausilio di

molti: la Fondazione FEMA, così ben sintetizzata da uno dei suoi mentori Massimo Grisolia. Vogliamo, da ultimo, ringraziare tutti i Collaboratori, i Committenti, i Professionisti, i Fornitori e coloro che, anche nei momenti duri, hanno creduto in una realtà che ha sempre cercato di preservare quell'etica d'impresa che, sin dall'inizio, è stata alla base del nostro operare.

Ma una mission per i "nostri" deve essere chiara: "crescere mantenendo la mentalità di una piccola azienda", ben consci di quanto la crescita sia, talvolta, foriera di sprechi e dispersioni, e questa è una cosa che noi "tupamaros" non possiamo e non vogliamo permetterci.

Questo Libro

Tante vicende, tanti lavori, tante attrezzature in questi anni: di molto abbiamo provato a dare testimonianza in queste pagine, altro non è documentabile, perché è un capitale di sensazioni e di momenti, belli e brutti, esaltanti e tragici, che ciascuno di noi si porta dentro e che considera troppo personale e privato per metterlo su carta. Abbiamo però anche voluto, grazie al contributo di tanti amici, non limitare il contenuto di questo libro al solo ricordo dei nostri trascorsi con il rischio di renderlo una mera autocelebrazione, ma allargare ad argomenti più vari e "dotti", seppur attinenti al mondo del sottosuolo cui apparteniamo. Diceva Baudelaire che "lavorare è meno noioso che divertirsi", cosa certamente vera, e di questo "viziato" dobbiamo fare ammenda al privato di ciascuno di noi per essere stato, valga la ridondanza, privato troppe volte della nostra presenza con la scusa... "ho da lavorare"; ma va anche detto che senza il lavoro non ci si sarebbe arricchiti di tante preziose amicizie, impossibili da citare tutte perché numerosissime, che tante testimonianze ci

hanno dato in questi anni.

Primus inter pares e per tutti, vogliamo citare e ringraziare l'amico e mentore Antonio Zechini, presidente del C.I.S., per l'importante contributo che ci ha donato in questo libro, contributo che Lalla Romano ben definisce dicendo che "amare la memoria è anche amare il futuro".

Nelle interne di copertina sono effigiati "i principali elementi di avanzamento" che ci piacerebbe raccontare tutti, ciascuno con la propria storia, i propri aneddoti e, spesso, i propri soprannomi, ma ci vorrebbe un altro libro.

Infine, qualche inserto di miscellanea, immagini extra lavorative, di feste, l'affettuosa irriverenza nelle vignette di Pasquale, le nostre Santa Barbara, le pubblicità negli anni, ed i gadget che, anch'essi nel loro piccolo, hanno fatto la storia della nostra CIPA.


SAPIENZA
Università di Roma
Prof. Ing. Massimo Grisolia
Ordinario di Geotecnica

FE.MA.

Per riflettere sulla mente, l'ingegno, l'oblio

L'Associazione FE.MA. nasce dalla volontà di alcuni operatori nel campo dell'ingegneria delle costruzioni di dare un contributo di conoscenza e di riflessione su alcune affezioni che possono aggredire le capacità intellettive e mentali tranciando in modo improvviso ed irriverente quel meraviglioso percorso della mente che accompagna l'attività creativa e produttiva che passa dall'osservazione, la conoscenza, l'ingegno, le opere.

L'esperienza diretta vissuta da alcuni fondatori dell'Associazione ha fatto vivere e comprendere questo drammatico aspetto della vita che comunque ha sollecitato e suggerito la spinta a fare qualcosa, ad inviare un messaggio, un monito aperto a tutte le interpretazioni.

In questo senso l'Associazione ha inteso rivolgere l'attenzione ai due aspetti limiti della questione. Il primo riguardante l'ingenuità delle applicazioni nel campo delle costruzioni. Il secondo di riflessione su quelle terribili malattie della mente per contribuire in qualche modo a comprenderle, studiarle e combatterle.

In questo modo è stato ritenuto interessante accostare due mondi scientifici apparentemente molto distanti tra loro rivolti il primo allo studio di tecniche e tecnologie innovative nel campo delle ingegneria delle costruzioni ed il secondo alla ricerca in campo medico verso la comprensione delle malattie della mente.

La partecipazione diretta all'iniziativa di insiemi Docenti Universitari delle Facoltà di Ingegneria e di Medicina della Università di Roma Sapienza potrà costituire in questo senso importante elemento di riferimento ed aggregazione.

In tale quadro l'Associazione si propone di raccogliere adesioni e sostegno per organizzare iniziative momenti di incontro e di confronto finalizzati a promuovere iniziative di riflessione ed attività e di incentivo verso l'attività di studio e di ricerca.

Un primo segnale iniziale sarà rappresentato dalla istituzione di Borse di Studio per favorire l'avvio alla ricerca di giovani laureati nei due diversi settori disciplinari, con l'ambizione successiva di aiutare, anche materialmente, i "cavalli di razza" ad esprimere le loro capacità


Facoltà di Ingegneria - Via Eudossiana, 18 - 00184 Roma - Email: massimo.grisolia@uniroma1.it


Francesco Bellone

Gallerie nel mondo antico

Antonio Giuseppe Zechini

Georgius Agricola
DE RE METALLICA

Indice

PARTE PRIMA: CASI DI STUDIO

1. LE ORIGINI

- 1.1. Introduzione
- 1.2. Gallerie dell'antico Egitto
- 1.3. Tra mito e storia: galleria di Semiramide a Babilonia
- 1.4. Galleria di Ezechia a Gerusalemme

2. GALLERIE NELL'ANTICA GRECIA

- 2.1. Introduzione
- 2.2. Acquedotto dell'isola di Samo
- 2.3. Drenaggio del lago di Copais
- 2.4. Avanzamento con la tecnica del fuoco

3. GALLERIE NELL'ANTICA ROMA

- 3.1. Introduzione
- 3.2. Gallerie dei Campi Flegrei – Generalità
- 3.3. Gallerie dei Campi Flegrei – Crypta Neapolitana
- 3.4. Gallerie dei Campi Flegrei – Grotta di Seiano
- 3.5. Gallerie dei Campi Flegrei – Grotta della Sibilla
- 3.6. Gallerie dei Campi Flegrei – Grotta di Cocceio
- 3.7. Gallerie dei Campi Flegrei – Crypta Romana
- 3.8. Gallerie dei Campi Flegrei – Antro della Sibilla
- 3.9. Drenaggio del lago Fucino
- 3.10. Galleria maggiore del Furlo
- 3.11. Galleria di Saldæ

PARTE SECONDA: ASPETTI GENERALI E DI SINTESI

1. INTRODUZIONE

2. DESTINAZIONE D'USO DELLE GALLERIE

- 2.1. Minerario
- 2.2. Funerario
- 2.3. Idraulico
- 2.4. Militare
- 2.5. Stradale

3. REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE

- 3.1. Progetto
- 3.2. Tracciamento
- 3.3. Esecuzione

4. CONCLUSIONI

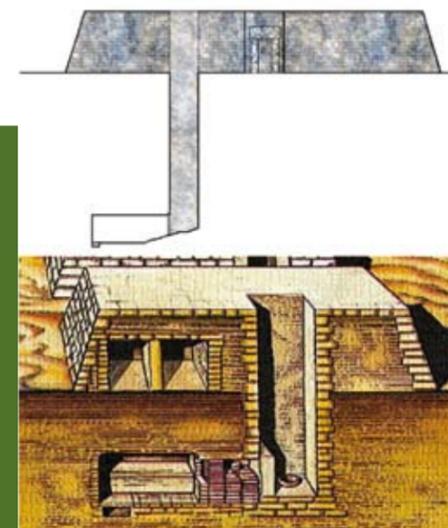
PARTE TERZA: RIFERIMENTI

1. LETTERATURA TECNICA

2. ANTICHI SCRITTORI

3. RIFERIMENTI DI LETTERATURA PER ARGOMENTO

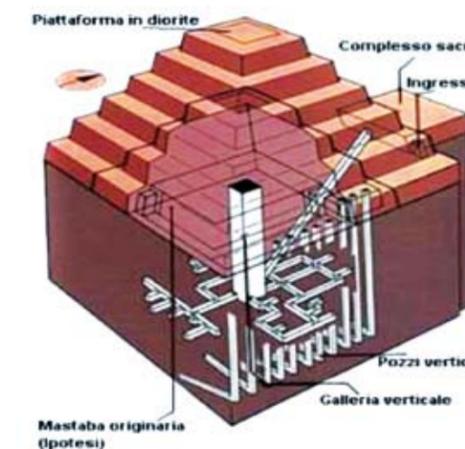
PARTE PRIMA: CASI DI STUDIO



1.2.1. Mastaba - Sezione e spaccato assonometrico



1.2.3.-1.2.4. Piramide di Zoser
Vista fotografica e spaccato assonometrico



Le dimensioni della piramide sono 140 m x 120 m x 70 m (altezza). La parte sotterranea è costituita da un pozzo di 8 m di lato e 31 m di profondità che dà accesso alla camera mortuaria, dove è sistemato il sarcofago in granito del faraone, e ad una rete di cunicoli, disposti nelle due direzioni paralleli ai lati della piramide; dall'esterno si accede al pozzo tramite un cunicolo inclinato; un sistema, poi, di 11 pozzi indipendenti tra loro e dal primo consente di arrivare alle camere mortuarie della famiglia reale.

La piramide di Cheope, la più grande delle tre piramidi di Giza, ha lato 230 m ed altezza 146 m (la costruzione più alta al mondo sino al medioevo) e ha un corridoio inclinato

ri: l'area archeologica di Menfi (19 km a sud del Cairo) con testimonianze dell'Antico Regno (I-X Dinastia, 3150-2055 a.C.), quali le Piramidi di Sakkara e di Giza e la Sfinge e l'area archeologica di Tebe (900 km a sud del Cairo) con testimonianze del Recente Regno (XVIII-XXX Dinastia, 1580-323 a.C.), quali le costruzioni funerarie della Valle dei Re, divenute in questi tempi unicamente manufatti sotterranei. L'esempio più elementare di costruzione funebre all'inizio dell'Antico Regno è costituito da un livello fuori terra e da uno sotterraneo; il primo chiamato mastaba (panca), cioè da un gradone in muratura di mattoni essiccati al sole di forma a tronco di piramide contenente alcune cappelle rituali, il secondo da un camerone, che è la tomba vera e propria, disposta ad una profondità anche di 20 m a cui si accede tramite un pozzo; la parte in sotterraneo è scavata nella roccia calcarea che è generalmente lo strato costituente il sottosuolo dell'area dove sorgono le piramidi. La piramide di Zoser è da vedersi come un'evoluzione della mastaba: basta immaginare sei mastabe sovrapposte di dimensioni decrescenti, tante quanti sono i gradoni della piramide. L'architetto della Piramide fu Imhotep, così noto ai suoi tempi che il nome è stato tramandato ai giorni nostri.

1. Le origini

1.1. Introduzione

Le prime gallerie sono state costruite dall'uomo per motivi di:

- coltivazione mineraria in concomitanza delle prime scoperte metallurgiche;
- coltivazione dei materiali da costruzione;
- costruzione di acquedotti e realizzazione di interventi di bonifica idraulica;
- realizzazione di opere di carattere religioso-funerario;
- esecuzione di cunicoli per scopi militari;
- uso stradale, ma rare sono le gallerie di questo tipo per ragioni di sicurezza come meglio si vedrà parlando delle gallerie nell'antica Roma.

Le fonti sono costituite dai reperti archeologici e dalla documentazione storica. Ad esempio lo storico greco Diodoro Siculo (90/27 a.C.) dà notizia di una galleria costruita a Babilonia nel 2180 a.C. sotto l'Eufrate lunga 1 km, lo storico Erodoto (484/425 a.C.) parla di una galleria costruita nell'isola di Samo.

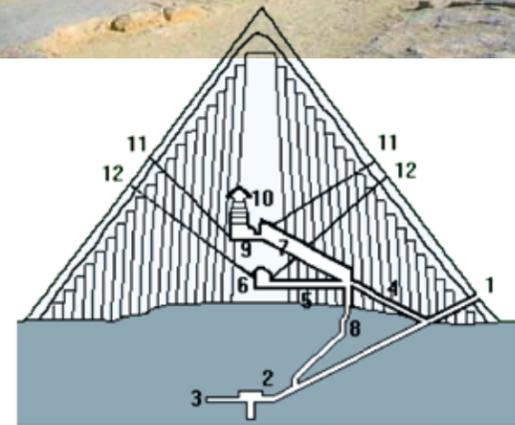
1.2. Gallerie dell'antico Egitto

Gli antichi Egiziani hanno effettuato scavi in galleria per tutti i motivi già esposti: minerari, di trasporto d'acqua, militari e stradali; ma l'aspetto più caratteristico della loro attività in sotterraneo è la motivazione di carattere religioso. Il grande interesse dato dagli antichi Egiziani alla vita dopo la morte li ha spinti a realizzare opere in sotterraneo per le tombe dei loro defunti. Vi sono due importanti aree archeologiche dove si trovano le costruzioni funerarie per i faraoni e alti dignita-



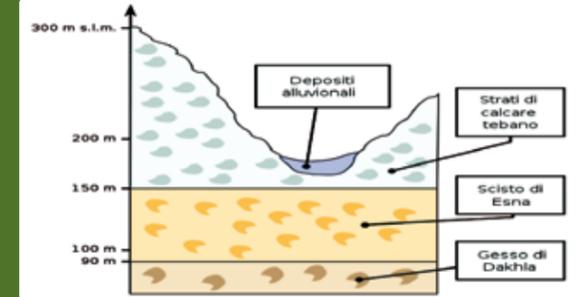
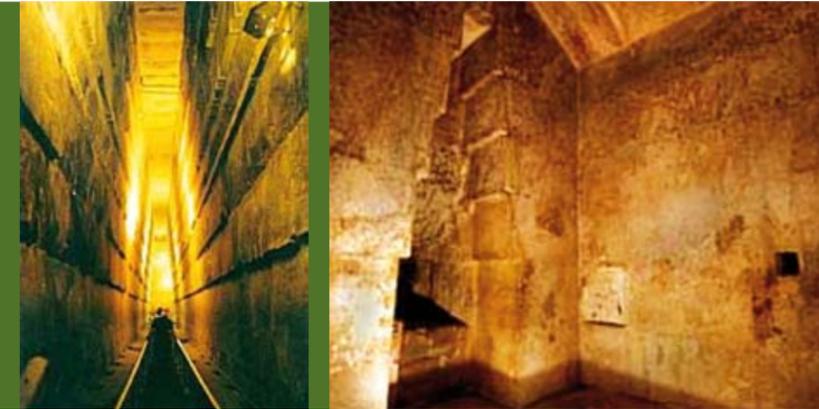
1.2.2. Fiume Nilo - Corografia
con indicate le aree di Menfi e Tebe

1.2.5.-1.2.6. Piramide di Cheope - Vista fotografica e sezione

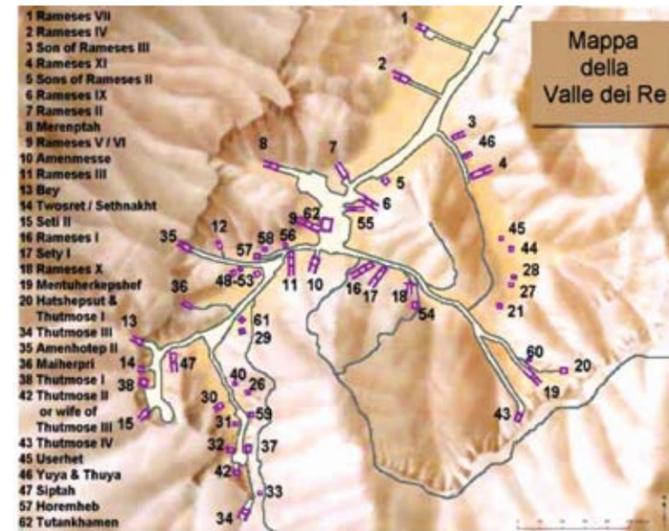


1: ingresso al corridoio discendente; 2: camera sotterranea incompiuta; 3: corridoio cieco; 4: corridoio ascendente; 5: corridoio orizzontale; 6: camera della regina; 7: Grande Galleria; 8: cunicolo scavato dai ladri; 9: camera del sarcofago; 10: vani di scarico; 11: condotti della camera del re; 12: condotti della camera della regina

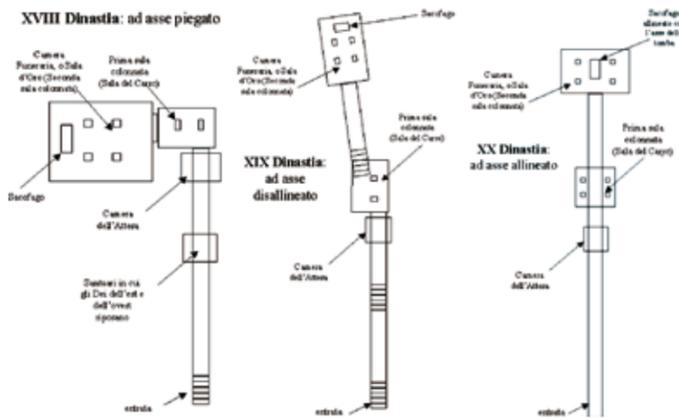
1.2.7.-1.2.8. Piramide di Cheope - Vista della grande galleria a volta trapezia e particolare della Camera della Regina: in evidenza parete con apertura trapezoidale



1.2.10.-1.2.11. Valle dei Re - Vista di dettaglio e Stratigrafia



1.2.9. Valle dei Re - Planimetria con indicazione del rilievo, dei percorsi e degli ingressi alle tombe sotterranee

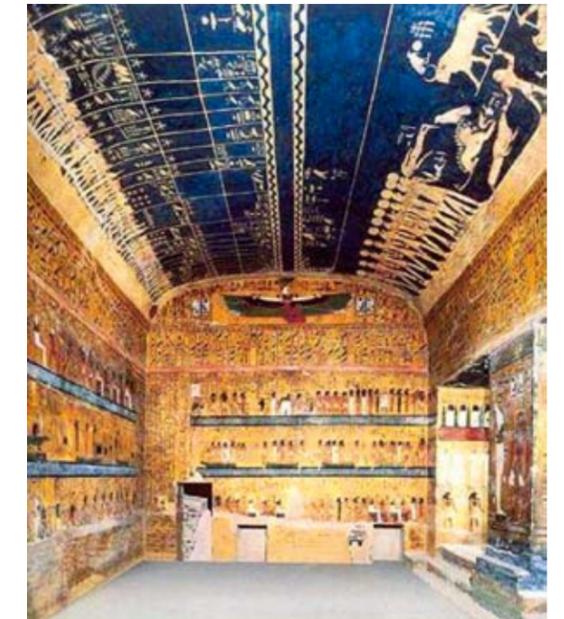


1.2.12. Valle dei Re - Tombe Sotterranee. Differenti schemi funzionali al variare delle Dinastie

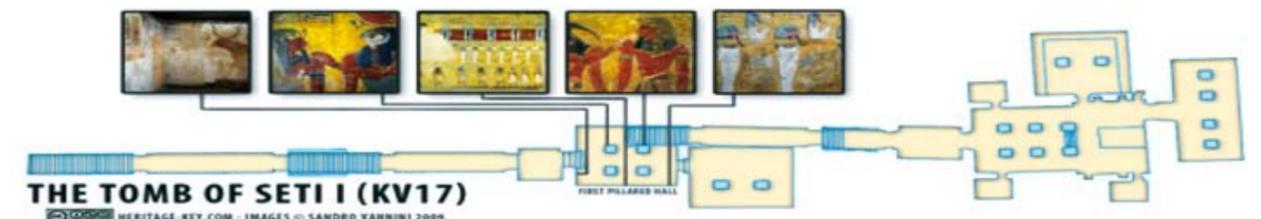
mite cunicoli; camere e cunicoli sono scavati in formazioni sedimentarie (vedi più avanti). Gli antichi Egiziani scelsero un'area, nota come Valle dei Re, ubicata presso la riva ovest del Nilo e nelle sue vicinanze, che si estende in una vallata ampia e configurata in modo che vi si arrivasse da un unico percorso per presidiarne più agevolmente l'accesso.

La sezione stratigrafica di figura mostra le formazioni di origine sedimentarie costituenti il sottosuolo della vallata, appartenenti all'Eocene inferiore: la prima, calcare di Tebe, è quella interessata dagli scavi, la seconda, scisto di Esna, viene interessata solo raramente dagli scavi più profondi; sono entrambe rocce tenere non difficili da scavare.

Da un punto di vista funzionale le tombe hanno uno sviluppo in pianta che si è evoluto nel tempo; durante la XVIII Dinastia si presentavano ad asse piegato o "a gomito": il corridoio che prevede due allarghi per il Santuario e la Camera dell'Attesa, dà accesso, dopo una rotazione a 90°,



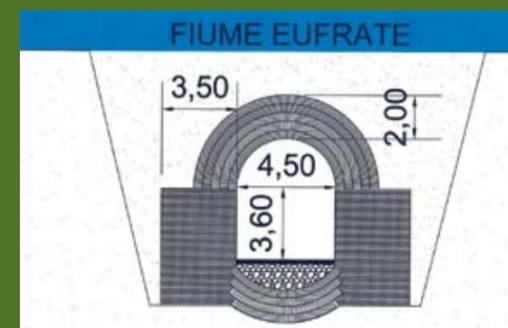
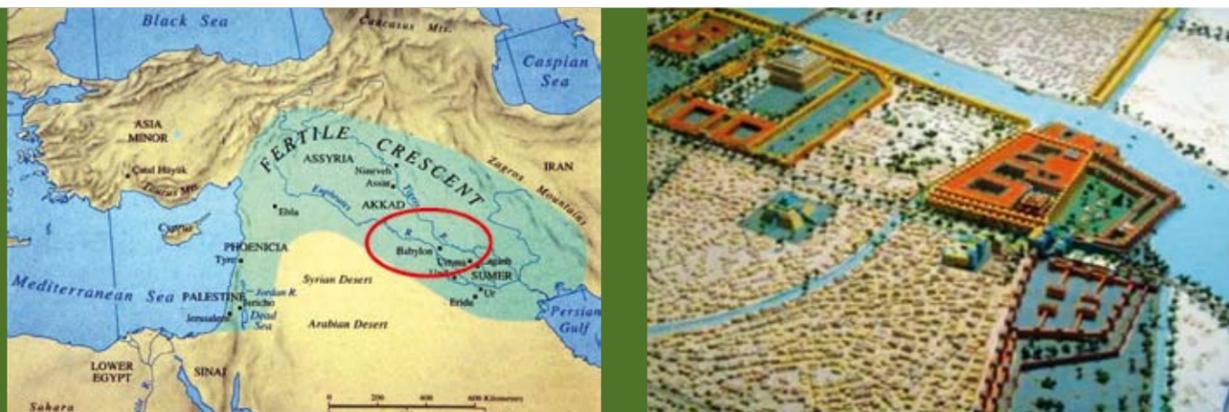
1.2.14.-1.2.13. Valle dei Re - Tomba di Seti I - Camera funeraria con volta a botte interamente decorata e planimetria con evidenziate le decorazioni a parete della prima sala colonnata



(26,5°); che doveva condurre alla Camera del Re (8x14 metri), disposta in sotterraneo, a circa 31 metri di profondità nella roccia calcarea; tale progetto fu abbandonato come dimostra l'incompiutezza del sarcofago di questa stanza e come dimostrano i corridoi e le stanze mortuarie ricavate superiormente nel corpo della piramide.

Ai tempi del Recente Regno, Menfi è già stata abbandonata (XII Dinastia) e Tebe è la nuova capitale; le piramidi come costruzioni funerarie sono state sostituite da tombe sotterranee (vedi planimetria degli accessi e foto) collocate in ampi ambienti, camere a pilastri, ai quali si accede tra-

1.3.1.-1.3.2. Mesopotamia storica - Carta geografica con indicata Babilonia lungo l'Eufrate e ricostruzione planovolumetrica di Babilonia storica



ad una prima sala colonnata, quella del Carro, e ad una seconda, più ampia che è quella funeraria.

Nelle due dinastie successive sono state introdotte diverse semplificazioni: un unico allargò lungo tutto il corridoio, che rimane dedicato alla Camera dell'Attesa, e, infine (XX Dinastia), un unico allineamento che consente un percorso diretto, senza deviazioni, dall'ingresso alla camera mortuaria; si è avuta una situazione intermedia (XIX Dinastia) che richiedeva di compiere una modesta deviazione, nella prima sala colonnata, nel passare dall'ingresso alla camera funeraria. Il percorso altimetrico è accidentato: si sale prima dell'accesso, si scende lungo il corridoio procedendo sempre verso il basso, sino alla camera funeraria; le scale disposte lungo i corridoi si realizzavano intagliando la roccia in modo da formare i gradini. Si riporta l'esempio della tomba di Seti I (XIX Dinastia), scoperta nel 1817 dall'italiano G. B. Belzoni, che è chiamata, per via delle decorazioni, la Cappella Sistina Egizia. Ha una lunghezza complessiva di 200 m circa.

I minatori egiziani usavano seghe di rame e perforatrici a canne attrezzate con polvere di smeriglio ed acqua; le perforatrici lasciavano un nucleo di roccia proprio come una moderna perforatrice a punta diamantata.

1.3. Tra mito e storia: galleria di Semiramide a Babilonia

Diodoro Siculo (Biblioteca Storica – Tomo 1 – Libro 2 – Cap. 3) narra che a Babilonia nel 2180 a.C. Semiramide, al fine di avere un percorso sotterraneo, ove non vista potesse passare da una reggia all'altra (i due palazzi reali erano separati dal fiume Eufrate), fece realizzare una galleria subalvea della lunghezza di circa 1 km. Diodoro ne dà una descrizione dettagliata, dalla quale si evince che è stata costruita come galleria artificiale, previa deviazione del fiume. Seguiamone la narrazione:

“...Semiramide in un certo luogo, disposto a bassa quota nel territorio all'intorno di Babilonia, scavò un lago quadrato di lato 160 stadi (48 km) e 35 piedi (10,50 m) di profondità; i fianchi del lago furono eseguiti con mattoni cotti legati con bitume. Dopo aver deviato il fiume su questo lago, essa da ambedue i palazzi condusse una strada sotterranea, la cui volta di mattoni cotti dello spessore di quattro cubiti (2 m) è stata intonacata da entrambe le parti con bitume fatto prima bollire. Le pareti di detta strada erano larghe la somma di 20 mattoni (~3,50 m) ed alte 12 piedi (3,60 m); 15 piedi (4,50 m) era la larghezza della strada. Finito il lavoro ricondusse il fiume nel suo primo letto; così mentre il fiume scorreva sopra,

1.3.3. Galleria di Semiramide

Libera ricostruzione della sezione trasversale seguendo le indicazioni di Diodoro Siculo

Semiramide poteva passare dall'uno all'altro palazzo a suo piacimento senza varcare il fiume. A quella strada sotterranea, poi, da una parte e dall'altra pose due porte di bronzo, che lì rimasero sino all'arrivo dei Persiani”.

La rappresentazione della sezione corrente della galleria è da considerarsi una libera ricostruzione perché il racconto di Diodoro non dà tutte le indicazioni necessarie per definirla; di seguito s'indicano i dettagli aggiunti:

- la volta di calotta, descritta come modalità esecutive e spessore, viene immaginata come volta a tutto sesto;
- l'arco rovescio, non nominato in alcun punto del racconto, è qui inserito come necessario complemento funzionale e strutturale di una galleria subalvea.

Il racconto di Diodoro non è convincente per i motivi: (1) l'invenzione della volta è datata 700 anni dopo; (2) le conoscenze idrauliche non erano adeguate per realizzare una galleria subalvea (Archimede, III sec. a.C.); per questo si ritiene che l'opera, se mai realizzata, lo sia stata in epoca più recente. D'altra parte gli storici ritengono non corretta la datazione di Diodoro riguardante Semiramide che Erodoto colloca tra IX e VIII secolo a.C.; inoltre Erodoto, ancorché accenni all'at-

1.4.1. Galleria di Ezechia
Vista interno cunicolo

tività di Semiramide come realizzatrice d'importanti opere pubbliche, non fa menzione della galleria sotto l'Eufrate, pur parlando della deviazione del fiume per costruire gli argini.

1.4. Galleria di Ezechia a Gerusalemme

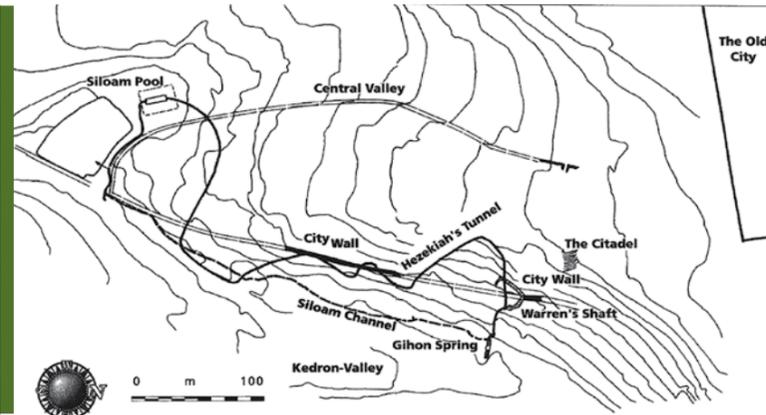
La galleria di re Ezechia (700 a.C.) è un tunnel lungo 500 m circa eseguito per portare l'acqua della sorgente di Gihon sul monte Ophel, da fuori le mura della città di Gerusalemme, dentro la città stessa, nella piscina di Siloam. La Bibbia racconta (Isaia 22, 9) che re Ezechia ordinò la costruzione di questo acquedotto nella previsione di un assedio da parte degli Assiri; in verità era già presente il canale di Siloam (1880 a.C.) che portava, sempre nella stessa piscina, l'acqua della stessa sorgente; ma il canale era stato realizzato con uno scavo nella roccia della profondità di 6 m ricoperto in modo precario e pertanto ritenuto particolarmente vulnerabile in fase di assedio.



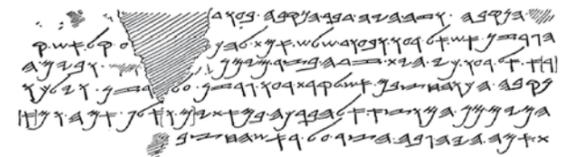
1.4.2. Gerusalemme – Antica mappa. Individuabili il monte Ophel, la sorgente del Gihon e la Piscina di Siloam

Il tunnel, attualmente reperto archeologico visitabile per l'intera lunghezza, è stato oggetto di studi che hanno portato a modificare la data presunta della sua realizzazione; si riteneva l'esecuzione del tunnel non anteriore al II secolo a.C., quando recentemente (2003) tre scienziati hanno effettuato prove di datazione con la metodica del carbonio 14, su campioni di legno e di piante prelevati dal profilo di scavo della galleria, arrivando ad una probabile data di esecuzione della stessa intorno alla fine dell'ottavo secolo a.C., quando appunto regnava re Ezechia.

D'altra parte la galleria, aveva già un significato particolare per il ritrovamento (1880) di un'iscrizione in lingua ebraica che celebra il momento dell'abbattimento del diaframma di

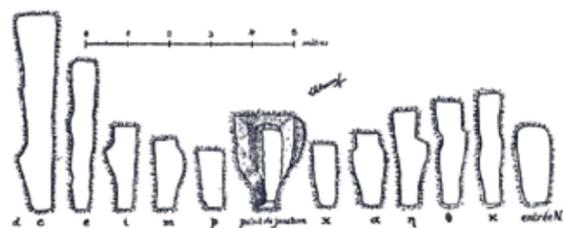


1.4.3. Gerusalemme – Monte Ophel: planimetria con i tracciati della galleria di Ezechia, del canale di Siloam e delle mura della città

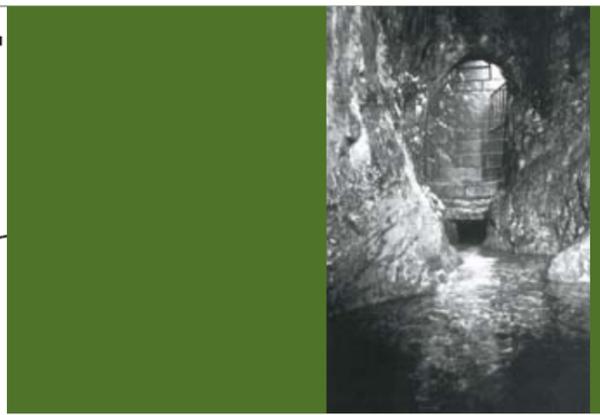


1.4.4. Reperto Archeologico: iscrizione di Siloam.

Traduzione:
 "Così avvenne lo scavo di ricongiungimento. Quando ancora... il piccone uno contro l'altro, e quando restavano ancora tre cubiti da scavare si sentì la voce di uno che chiamava l'altro, poiché si era verificata una fenditura nella roccia da destra a sinistra. E nel giorno dello scavo di ricongiungimento, i minatori batterono l'uno contro l'altro, piccone contro piccone. E allora le acque scorsero dalla sorgente alla piscina per mille e duecento cubiti, mentre cento cubiti era l'altezza della roccia sopra la testa dei minatori".



1.4.5. Galleria di Ezechia - Sezioni trasversali. Al centro, vista dall'alto del pozzo; a sinistra, le sezioni della tratta piscina di Siloam-pozzo; a destra, la tratta pozzo-entrata nord



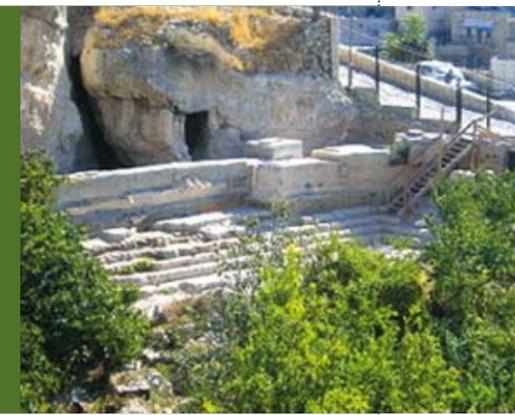
1.4.6. Sorgente del Gihon



1.4.7. Vista area Monte Ophel



1.4.9. Vista interna della galleria Ezechia



1.4.10. La piscina di Siloam



1.4.8. Iscrizione di Siloam

divisione dei due tratti di tunnel eseguiti a partire da due fronti di attacco contrapposti. La retrodatazione porterebbe a considerare questa galleria come la prima al mondo di cui si ha una testimonianza diretta che sia stata scavata con modalità tuttora adottate, togliendo così il primato a quella di Eupalino (vedi nel seguito). Il punto d'incontro dei due tronconi è collocato nella posizione intermedia, dove il tracciato procede a zigzag, forse a testimoniare i tentativi fatti, prima di trovare il punto giusto d'incontro.

2. Le gallerie nell'antica Grecia

2.1. Introduzione

"Le miniere d'argento del monte Lavrio costituirono il sostegno economico principale di Atene per i tre secoli durante i quali quello stato ebbe il predominio in Grecia." (Hoover nel commento alla traduzione di *De Re Metallica* di G. Agricola).

I redditi delle miniere di Lavrio nel 500 a.C. appaiono per la prima volta nei bilanci ateniesi; nel 484 a.C. forniscono i fondi per costruire la flotta greca che vinse i Persiani a Salamina (480 a.C.); dopo il 480 a.C. finanziano i lavori di Pericle per riedificare l'Acropoli.

Nelle miniere di Lavrio si ha la nascita dell'arte mineraria che rimase immutata attraverso i secoli. I Greci costruirono pozzi di 2,0 m di lato spinti sino a profondità di 120 m ma all'asciutto, impiegarono il legname per il sostegno di calotta, impiegarono picconi e scalpelli per l'avanzamento, nonché il fuoco come agente disgregatore (Agatharchides, geografo del II sec. a.C., racconta delle sofferenze degli schiavi minatori per il calore ed il fumo).

2.2. Acquedotto dell'isola di Samo

Policrate era il tiranno che governava Samo all'epoca (570-522 a.C.) e che aveva promosso la realizzazione di tre importanti opere pubbliche. Erodoto (484-425 a.C.) narra (*Le Storie*, III, 60):

"[Nell'isola di Samo] sono state realizzate le tre opere più importanti che ci siano tra i Greci tutti: in un colle, che si eleva sino a 150 orge (300 m), è stata scavata una galleria che



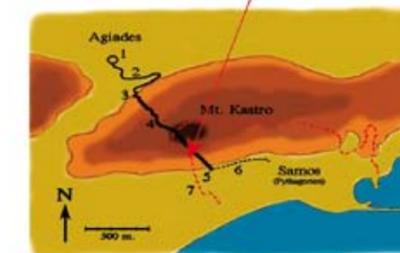
2.1.1. Carta geografica della Grecia con evidenziati i tre luoghi d'interesse per le gallerie nel mondo antico greco: (1) Monte Laurion (miniera); (2) Isola di Samo (acquedotto); (3) Lago di Copais (cunicolo di drenaggio)



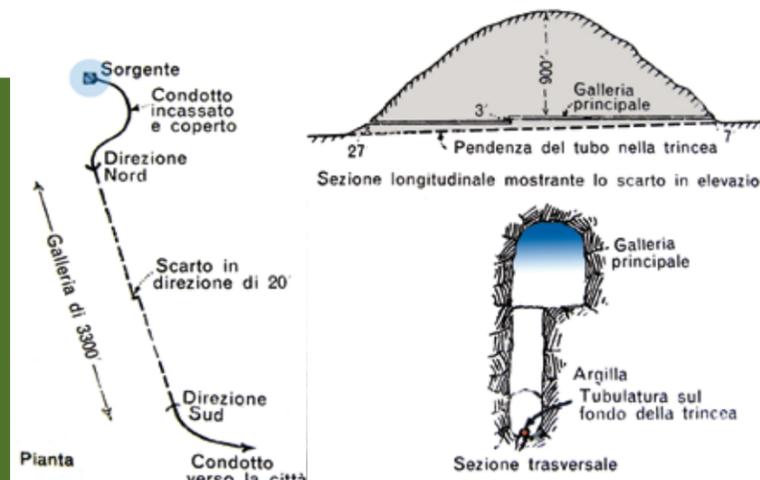
2.1.2. Monte Laurion



2.1.3. Isola di Samo



2.1.4. Monte Kastro: evidenziato con linea nera (la parte più spessa è la galleria) il tracciato dell'acquedotto 1,2,3...



2.2.1. Schemi grafici dell'acquedotto in planimetria, profilo e sezione



2.2.2. Vista interna del cunicolo di Eupalino

comincia proprio ai piedi del colle e va a sboccare sull'altro versante. La galleria è lunga sette stadi (1200 m), alta 8 piedi (2,60 m) e larga altrettanto; per tutta la sua lunghezza è stato compiuto un altro scavo, profondo venti cubiti (10 m) e largo 3 piedi (1 m) attraverso il quale, incanalata per mezzo di tubi, giunge alla città l'acqua derivata da una grande sorgente. L'architetto di quest'opera di scavo fu il megarese Eupalino, figlio di Naustrofo. Questa è una delle tre meraviglie. La seconda è il molo che si protende in mare a chiudere il bacino portuale, un molo profondo anche venti orge (40 m) e lungo più di due stadi (355 m). La terza opera è un tempio enorme, il più grande tempio mai visto, il cui primo architetto fu Reco figlio di Fileo, di Samo. È per merito di queste

tre costruzioni che mi sono soffermato più a lungo sui Sami". Precisiamo e completiamo la descrizione dell'acquedotto fatta da Erodoto. Il manufatto può essere suddiviso in tre tratte diverse per tipologia costruttiva e funzionale. Dalla sorgente ubicata in località, oggi nota come Agiades, disposta a nord est della città (1) l'acquedotto raggiunge il versante nord di monte Kastro mediante uno scavo in trincea di profondità variabile da 2 a 5 m, di larghezza appena sufficiente per consentirne lo scavo e di lunghezza di circa 900 m, coperto con lastre di pietra; (2) il tunnel, che segue, sottopassa il monte ed è scavato in una formazione calcarea, ha una lunghezza di 1036 m ed una sezione di larghezza di 1,80 m ed altezza confrontabile, sul

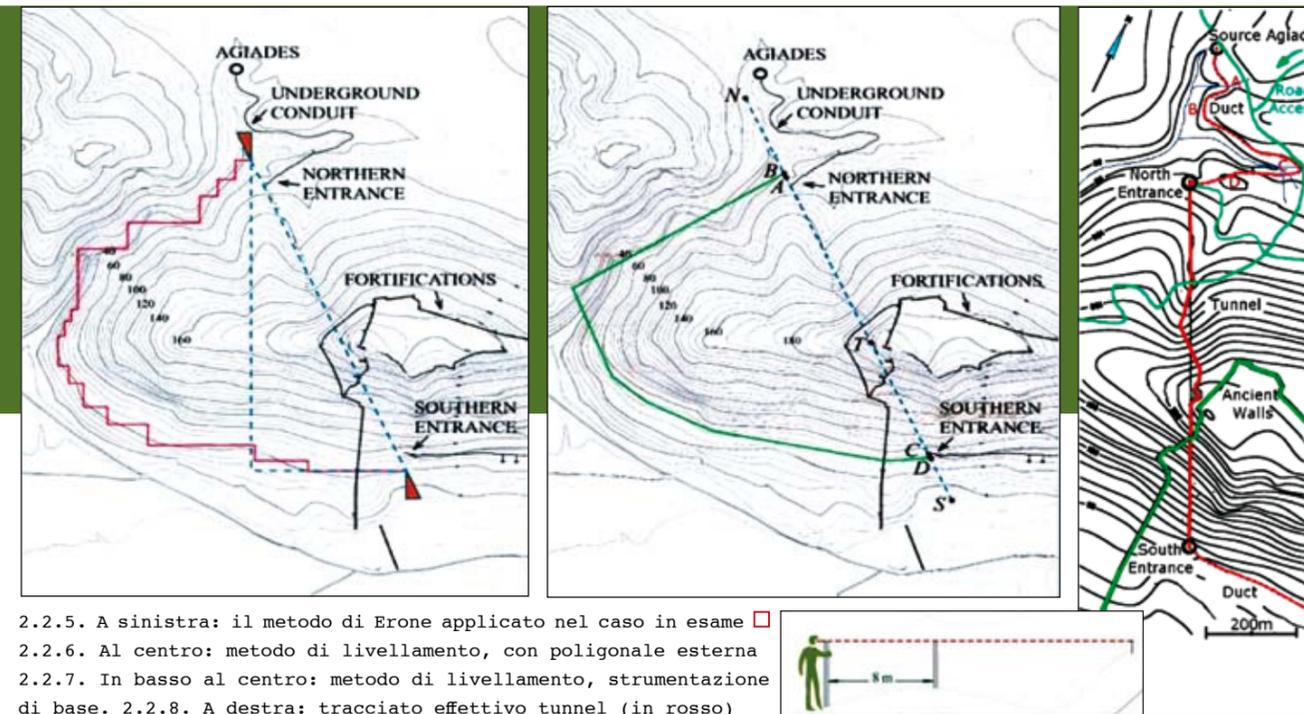
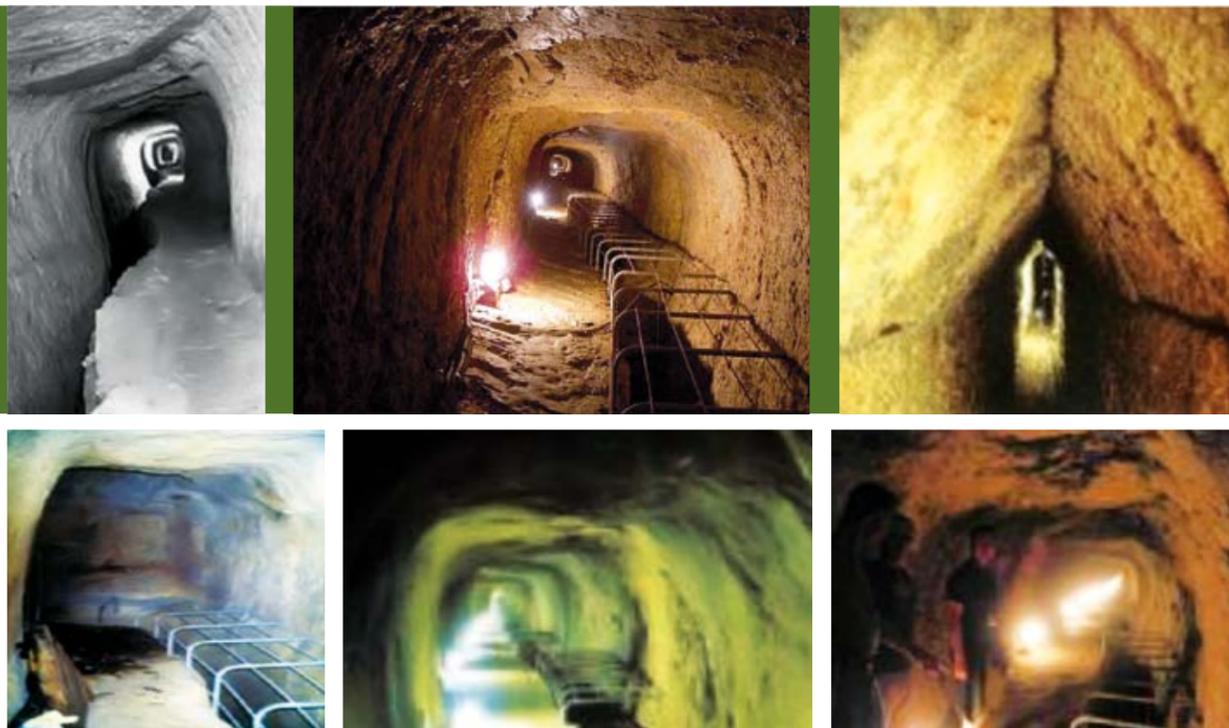
lato est viene realizzata una trincea in continuità con quella esterna già descritta; (3) all'uscita dal tunnel sul versante sud riprende la sezione in trincea ove l'acqua corre in tubi di terracotta per raggiungere la città.

Il monte Kastro ha un'altezza massima di 225 m s.l.m. e l'acquedotto sottopassa il monte con una pendenza dello 0,5% ad una quota di 55 m s.l.m. (180 m sotto il suo picco). L'acquedotto è un'eccezionale opera dell'ingegneria dell'antica Grecia non solo per gli aspetti tecnologici, legati alle dimensioni ed alla tecnica costruttiva dell'opera stessa, ma soprattutto per gli aspetti progettuali ed esecutivi. Il tunnel di Eupalino ha come primato quello di essere stato scavato per l'intera lunghezza (1 km) a partire da due fronti contrapposti; il tunnel di Ezechia, comunque di lunghezza inferiore, all'incirca la metà, è stato scavato 150 anni prima, sempre da due fronti contrapposti, ma, sembra, seguendo il percorso di una vena d'acqua. Il tunnel di Samo è stato oggetto di numerosi studi da parte di matematici, specie nel XIX e XX secolo, ma anche di oggi (T. M. Apostol, M. Mnatsakanian; 2004). L'interesse di questi studiosi è legato essenzialmente al metodo adottato da Eupalino per "tracciare" il tunnel sul terreno che ha condotto ad errori relativamente lievi

(6,50 m in pianta; 1 m in altezza), tenendo conto delle conoscenze geometriche e della strumentazione "topografica" dell'epoca.

Si è ritenuto per molto tempo che Eupalino, per tracciare la galleria sul terreno, avesse adottato il metodo che Erone (I sec a.C.) ha esposto cinque secoli dopo e che viene illustrato nell'immagine della pagina seguente.

Il procedimento richiede di aggirare la montagna (monte Kastro, nel caso di specie) per materializzare un piano orizzontale mediante una poligonale aperta costituita da punti disposti alla quota dei punti d'imbocco, assunti allo stesso livello, e che sono i punti estremi della poligonale stessa; se ogni lato, poi, risulta ortogonale al lato adiacente, con semplici considerazioni geometriche è possibile determinare i lati del triangolo rettangolo la cui ipotenusa è il segmento che unisce i due punti d'imbocco; si ottengono così la lunghezza complessiva dello scavo e la direzione dello scavo stesso (Pitagora, VI sec. a.C.); tale direzione può essere materializzata dietro ciascun imbocco costruendo un triangolo simile a quello trovato, di dimensioni ridotte, compatibili con l'area di cui si dispone sul luogo; nella figura citata le frecce, che indicano la direzione di scavo, sono appunto le ipotenu-



2.2.5. A sinistra: il metodo di Erone applicato nel caso in esame □
 2.2.6. Al centro: metodo di livellamento, con poligonale esterna
 2.2.7. In basso al centro: metodo di livellamento, strumentazione di base. 2.2.8. A destra: tracciato effettivo tunnel (in rosso)

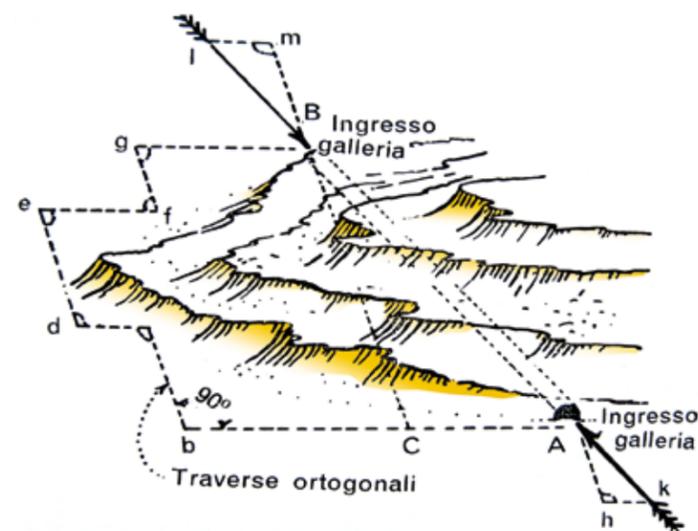
se dei triangoli costruiti per similitudine con quello ottenuto dalla costruzione della poligonale.

Applicando il metodo esposto al caso concreto (vedi figura), si osserva che la poligonale, per aggirare il monte Kastro, deve avere un numero rilevante di lati e pertanto, con riferimento ad una ipotizzata strumentazione "d'epoca" per realizzare allineamenti tra loro ortogonali, s'introdurrebbero errori marcatamente superiori a quelli realmente riscontrati (T. M. Apostol, M. Mnatsakanian; 2004). Anche se Eupalino avesse conosciuto il metodo di Erone, comunque non avrebbe potuto applicarlo per motivi legati alla precisione del procedimento.

Il criterio di aggirare la montagna rimane, sempre secondo gli stessi matematici, il metodo che più probabilmente è stato adottato per riportare la stessa quota da un imbocco all'altro; in questo caso è sufficiente, infatti, costruire una poligonale con un numero drasticamente ridotto di lati, che

□ 2.2.3. Altre viste interne del cunicolo di Eupalino

□ 2.2.4. Rappresentazione assonometrica del metodo di Erone per il tracciamento delle gallerie da scavare con due fronti di attacco



non sono più soggetti ad alcun vincolo angolare, ma al solo vincolo di essere di lunghezza tale da consentire una lettura altimetrica con sufficiente precisione. In questo caso effettuando il calcolo dell'errore teoricamente introdotto si ritrova all'incirca l'errore riscontrato.

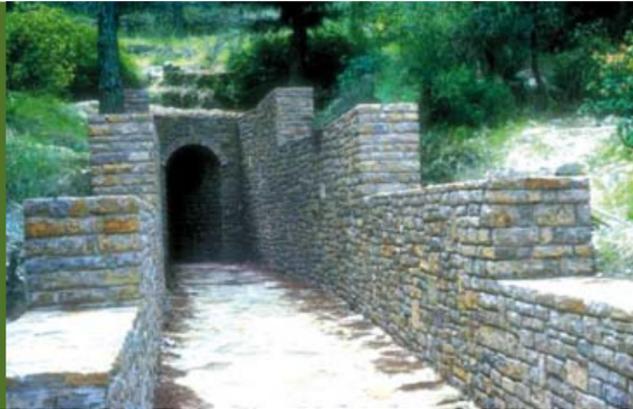
Tornando al criterio adottato per individuare la direzione di scavo, si ricorda che due storici della scienza (J. Goodfield, S. Toulmin) negli anni 1958/1961 arrivarono sulla base di sopralluoghi alla conclusione già esposta che il criterio di Erone non può avere avuto applicazione; come soluzione alternativa hanno proposto il criterio che l'allineamento sia stato tracciato ponendo ad occhio delle poste sul terreno, seguendo lungo il profilo della montagna idealmente il tracciato del tunnel da un imbocco all'altro prima in salita e poi in discesa.

Nel 1995/2001 H. Kienast, dell'Istituto Archeologico Tedesco, conferma l'ipotesi di J. G. e di S. T. che non si è

aggirata la montagna, ma si è seguito il tracciato lungo il profilo, salendo e discendendo sui due versanti ed aggiunge osservazioni interessanti volte a spiegare che non è necessario assumere un unico allineamento di scavo, quello che unisce i due imbocchi, ma gli allineamenti sui due versanti possono essere anche diversi se il punto d'incontro, come si verifica nel caso in esame, è collocato in corrispondenza della sommità della montagna.

In altri termini H. K. sostiene che non è necessario preoccuparsi di realizzare un unico allineamento tra monte e valle, perché basta collocare opportunamente il punto d'incontro (sotto il picco della montagna) per poter ammettere differenze angolari, sia pure piccole, tra l'allineamento di valle e quello di monte. Ed è quello che avviene nel tunnel di Eupalino dove il punto d'incontro è situato proprio sotto la cima del monte Kastro e divide il tunnel in due tronconi, quello lato nord di 620 m e quello lato sud di 420 m e la

- 2.2.9. Attuale Ingresso Nord al Cunicolo
- 2.2.10. Interno del cunicolo con vista di dettaglio della volta e della trincea

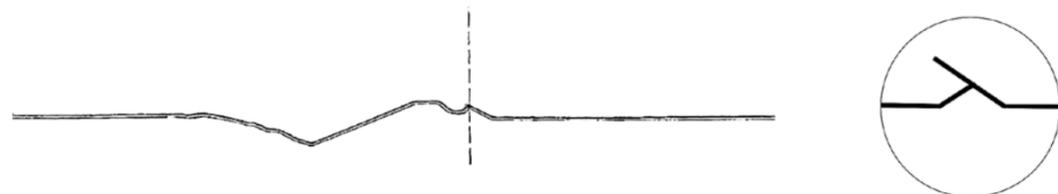


differenza angolare tra le direzioni di scavo è di $0,60^\circ$.
 H. K., poi, ipotizza alcune "astuzie" a suo avviso adottate per rendere più certo l'incontro: basta prevedere che un allineamento in prossimità di questo punto devii da un lato per una certa lunghezza ed anche l'altro devii dalla stessa parte. In tal modo l'incontro è un'intersezione tra due allineamenti che non deve avvenire in un unico punto, ma può avvenire in un qualsiasi punto di un segmento di data lunghezza; anche in questo caso viene data la prova, mostrando le deviazioni secondo la stessa inclinazione 2:3 dei due tratti terminali dei due tronconi di galleria.
 I due matematici, invece, si preoccupano di dimostrare come, con la costruzione sulla cima della montagna di una torre di limitata altezza (7 m), sia possibile travedere da un versante all'altro e quindi materializzare un allineamento unico, mentre con una poligonale che aggira la montagna con un limitato numero di lati si riporterebbe la quota da un imbocco all'altro.

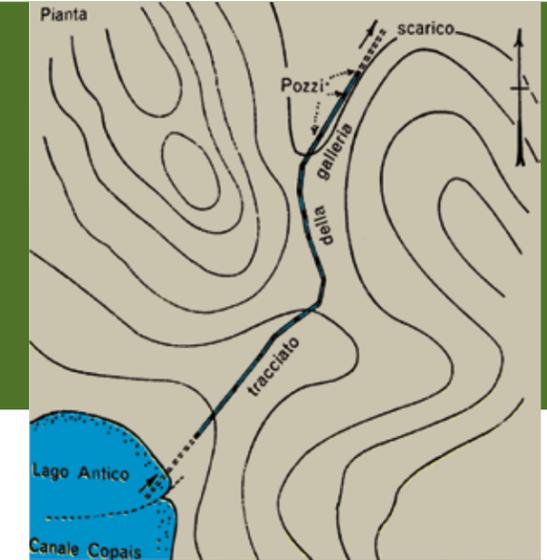
In conclusione si possono così riassumere le idee ad oggi elaborate sul metodo topografico che avrebbe adottato Eupalino:

- metodo che prevede di aggirare la montagna sia per stabilire le quote degli imbocchi, sia per stabilire la direzione di scavo (Erone, I sec. a.C.); questo metodo richiedendo, nel caso specifico, una poligonale a molti lati consecutivamente ortogonali introduce errori superiori a quelli riscontrati e pertanto non spiega quanto realizzato;
- metodo che prevede di affrontare la montagna percorrendo il profilo secondo il tracciato del tunnel sia per stabilire le quote degli imbocchi, sia la direzione di scavo che è unica (J. Goodfield, S. Toulmin; 1961) oppure diversa per i due imbocchi (H. Kienast, 2001); anche questo metodo introduce errori superiori a quelli riscontrati, almeno per quel che riguarda le quote altimetriche in quanto determinate per livellazioni

- 2.2.11. Tracciato effettivo cunicolo e dettaglio del punto teorico d'incontro



2.3.1. Lago di Copais – Dettaglio della sua posizione geografica. A destra, planimetria dell'area intorno al lago con l'indicazione del tracciato



successive lungo il profilo della montagna;

- metodo che richiede di aggirare la montagna per determinare le quote degli imbocchi e di affrontare la montagna per stabilire l'allineamento unico di scavo (T. M. Apostol, M. Mnatsakanian; 2004); questo metodo dà ragione degli errori riscontrati, planimetrici e altimetrici.

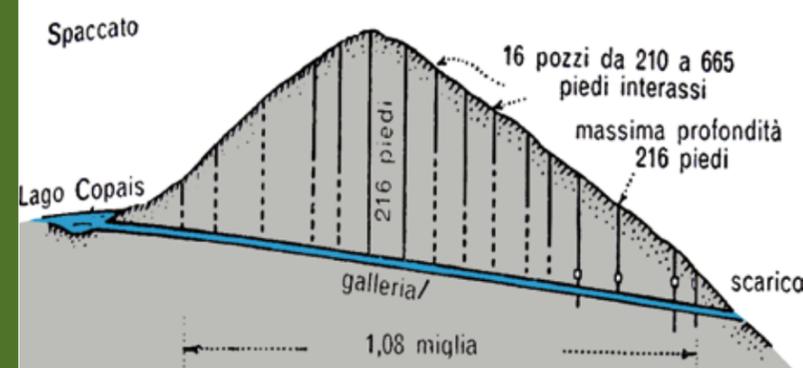
2.3. Drenaggio del lago di Copais

Crates di Calcide è un "architecton", che, come Eupalino, viene ricordato da uno scrittore greco, in questo caso Strabone, come esperto di problemi idraulici; è ricordato per la bonifica del lago di Copaide (Copais in greco antico), e per il progetto della galleria per il rifornimento idrico della città di Alessandria, lavori da Crates svolti accompagnando Alessandro il Grande nella sua guerra di conquista.
 Dice Strabone (IX, 20): "Sebbene i canali sotterranei fossero di nuovo ostruiti, Crates di Calcide, "metalleutes" (minatore), interruppe il suo lavoro di disostruzione a causa di lotte tra i Beoti, ed in una lettera ad Alessandro espresse il suo rammarico per aver dovuto interrompere un'attività che in altri

casi aveva consentito di conseguire il drenaggio dell'area".

I luoghi intorno al lago di Copais hanno una forte valenza storica e mitologica, il lago è ubicato in Beozia, a poco più di 60 km a nord-est di Atene, immediatamente a nord di Tebe, ad est di Delfi, a sud-est del monte Parnaso e vicino alla località di Cheronea.
 Omero lo ricorda come il lago di Cefiso, cioè del fiume, che è il suo principale affluente e che, secondo la leggenda, avrebbe formato il lago (prima per via sotterranea avrebbe raggiunto il mare) a seguito della deviazione del fiume stesso compiuta da Eracle per inondare la piana abitata da un'antica popolazione a lui ostile.
 Il lago, situato e formatosi sopra il materiale sedimentato a seguito della disgregazione delle montagne dolomitiche circostanti, era soggetto sin dai tempi storici a periodiche inondazioni del fertile territorio al contorno; tuttavia la mitologia greca ambienta nei luoghi del lago una ricchezza di miti tale (la leggenda sopra illustrata ne è soltanto un esempio) da poterla assumere come testimonianza certa di tempi ancora più remoti in cui il bacino doveva fornire ricchezza alle popo-

2.3.2. Profilo del cunicolo di drenaggio



lazioni residenti; doveva, dunque, essere terreno coltivato protetto da un efficiente sistema di drenaggio.

Strabone nel libro IX della sua *Geografia* dedicato alla Beozia, da cui è stato liberamente tratto il primo passo riportato all'inizio del paragrafo, spiega come il sottosuolo per via dei fenomeni carsici fosse dotato di una rete di cavità sotterranee naturali, katabothra, che permettevano il drenaggio del lago verso il mare; Strabone aggiunge che con il passare del tempo questi canali sotterranei sono andati via via riempiendosi e che, per di più, azioni sismiche hanno finito per chiudere fessure nel terreno, riducendo l'efficienza del sistema naturale di smaltimento delle acque.

Dalla testimonianza dell'antico scrittore si passa alle testimonianze archeologiche, rinvenute alla fine dell'Ottocento quando presero avvio i lavori di bonifica che risolsero definitivamente il problema del drenaggio.

Si sono rinvenuti: (1) nel fondo del lago tre canali all'incirca paralleli che attraversano la piana da ovest ad est, scavati a cielo aperto nel terreno oppure costruiti con banche laterali in terra e rinforzate con opere murarie, che hanno esito sul versante est in particolari punti in corrispondenza di grandi "katabothra" in comunicazione, per via dei canali sotterranei naturali, con il mare; (2) sulla collina di Kephalarì 16

pozzi quadrati di lato 3-4 m disposti, ad un interasse medio di 60 m e della profondità massima di 63 m, lungo un tracciato mistilineo che con buona approssimazione segue una curva di livello del rilievo; al fondo di alcuni di questi pozzi, svuotati per svolgere le indagini, si sono trovati dei monconi di cunicoli orizzontali di larghezza media ed altezza massima media di 2 m circa diretti verso il pozzo adiacente, disposti su due livelli distinti.

Sin qui le risultanze dei reperti, come rinvenuti; la ricostruzione storica è univoca nell'attribuire l'esecuzione dei canali a tempi molto antichi che risalirebbero alla civiltà micenea (XII secolo a.C.); questa ipotesi spiegherebbe la coltivabilità dei luoghi, sin dai tempi remoti, proprio grazie a questi lavori di ingegneria idraulica che potenziavano le caratteristiche drenanti naturali del sottosuolo; è univoca nell'interpretare quella successione di pozzi e relativi cunicoli come un'esecuzione interrotta di un progetto di un emissario artificiale e nello spiegare i due livelli come un "ripensamento" sulla quota di drenaggio che si sarebbe dovuta prevedere per il lago.

La ricostruzione storica non è univoca sulla datazione di questi pozzi: una prima ipotesi colloca l'interrotta costruzione negli stessi tempi dell'esecuzione dei primi lavori idraulici,

interpretandola come la realizzazione di un progetto di un ulteriore provvedimento drenante del lago per compensare il progressivo riempimento dei canali artificiali e/o naturali; una seconda ipotesi, invece, interpretando liberamente il passo di Strabone che attribuisce a Crates il solo compito di disostruire i canali, attribuisce allo stesso Crates il progetto dell'emissario e la sua esecuzione, parziale perché interrotta dalle lotte dei Beoti. Prima di altre considerazioni

di merito sulle due ipotesi, si completano i dati tecnici sulle caratteristiche tecniche dell'emissario. La distanza tra il primo ed il sedicesimo pozzo è di 1730 m, ma l'intervento doveva prevedere una lunghezza complessiva, tra l'opera di presa a monte e lo scarico a valle, di 2200 m circa.

Di questo progetto è da sottolineare un aspetto che lo differenzia marcatamente da quello della galleria di Eupalino; mentre quest'ultimo ha andamento rettilineo e non ha pozzi intermedi, il primo prevede un tracciato curvilineo ed un numero rilevante di pozzi. Il numero dei pozzi è legato alla scelta progettuale di rendere più semplice il problema topografico dell'incontro di opposti avanzamenti a partire da due pozzi adiacenti, ed insieme di ridurre i tempi esecutivi moltiplicando i fronti di attacco; l'andamento curvilineo del tracciato, invece, consegue dalla ricerca di un profilo altimetrico con bassa copertura sulla galleria, permettendo così di mitigare l'onere dell'esecuzione dei pozzi. Se, dunque, è vera la datazione più antica vi è da chiedersi come i popoli che abitavano la Grecia nel XII secolo a.C. avessero acquisite le conoscenze e le abilità necessarie per scavare pozzi e per tracciare e costruire cunicoli a quella profondità.

Se, invece, è vera la datazione più moderna, le caratteristiche dei lavori eseguiti e la concezione generale del progetto

sono adeguati alle conoscenze ed alla tecnologia del periodo storico a cui viene fatta risalire l'opera (330 a.C.), se si osserva che Eupalino operando 200 anni prima di Crates, ha realizzato una galleria che almeno sotto il profilo del tracciamento presentava difficoltà molto più consistenti. In ogni caso, anche accettando la datazione più recente, rimane un progetto di elevata e sorprendente concezione ingegneristica.

2.4. Avanzamento con la tecnica del fuoco

Trad. da P. Beaver "A history of tunnels"

Per allentare la roccia al fine di rimuoverla, gli antichi praticavano fori intorno a grandi blocchi e conseguivano la rottura finale con cunei inseriti a forza o con l'inserimento di tasselli in legno tra i blocchi che, imbibiti d'acqua, aumentavano di volume fino a disintegrare la roccia. Portare il fuoco al fronte è stato un altro metodo antico di avanzare in terreni lapidei. Si trattava di riscaldare la roccia e, poi, improvvisamente di raffreddarla con la conseguenza di disintegrarla.

Plinio aggiunge: "L'aceto riversato su rocce in quantità considerevoli ha l'effetto di dividerle, quando l'azione del fuoco da solo non è riuscito a produrre gli effetti attesi".

L'ingegnere romano Vitruvio conferma, ma aggiunge che "notevoli quantità" di acqua avrebbero prodotto lo stesso effetto. Le condizioni in sottosuolo durante un'operazione di fuoco al fronte devono essere simili a quelle descritte da Dante nell'*"Inferno"*. Oltre al fumo soffocante del fuoco confinato e il vapore caldo prodotto dall'acqua o dall'aceto, l'operazione di raffreddamento genera vapori velenosi in presenza di alcuni tipi di roccia. I fumi di minerali sulfurei o



3.1.1. Carta Geografica d'Italia attuale con evidenziati i tre luoghi d'interesse per le gallerie nel mondo antico romano: (a) Area Campi Flegrei (Napoli); (b) Piana del Fucino (Avezzano, L'Aquila); (c) Gola del Furlo (Pesaro)

3.2.1. Carta Geografica attuale dell'area dei Campi Flegrei con riportati i tracciati delle gallerie

3.2.2. Carta storica del centro navale militare lago Averno/lago Lucrino/Portus Iulius/Campi Flegrei con riportati i tracciati delle gallerie

arseniosi, per esempio, devono avere causato la sofferenza più terribile e la morte di innumerevoli operai. Ma poi, la risorsa fondamentale dell'ingegneria antica era una fonte inesauribile di manodopera, ed i popoli che potevano permettersi grandi progetti di costruzione hanno sempre avuto un buon afflusso di schiavi e di prigionieri.

La tecnica di portare fuoco al fronte, come mezzo di avan-



3.3.1. Crypta Neapolitana tracciato sulla mappa di Napoli



zamento nelle gallerie in roccia lapidea, è stata utilizzata, anche se raramente, fino alla fine del XIX secolo; in questi tempi il metodo è quello di impiegare una grande fornace su ruote, portata con un forte tiro al fronte dove investe con le fiamme direttamente la roccia. Nello stesso periodo l'antico sistema del fuoco è stato utilizzato per allargare cunicoli in roccia di eccezionale durezza, soprattutto nelle situazioni in cui era necessario demolire la calotta. Alcuni ingegneri hanno sostenuto che utilizzare il fuoco era più facile e meno costoso in grandi tunnel, che non richiedevano armature in legno. Ma anche se questo sistema risultava molto pratico, rimaneva il danno di disgregazione della volta che, con l'avanzamento ordinario si sarebbe presentata perfettamente sana.

3. Le gallerie nell'antica Roma

3.1. Introduzione

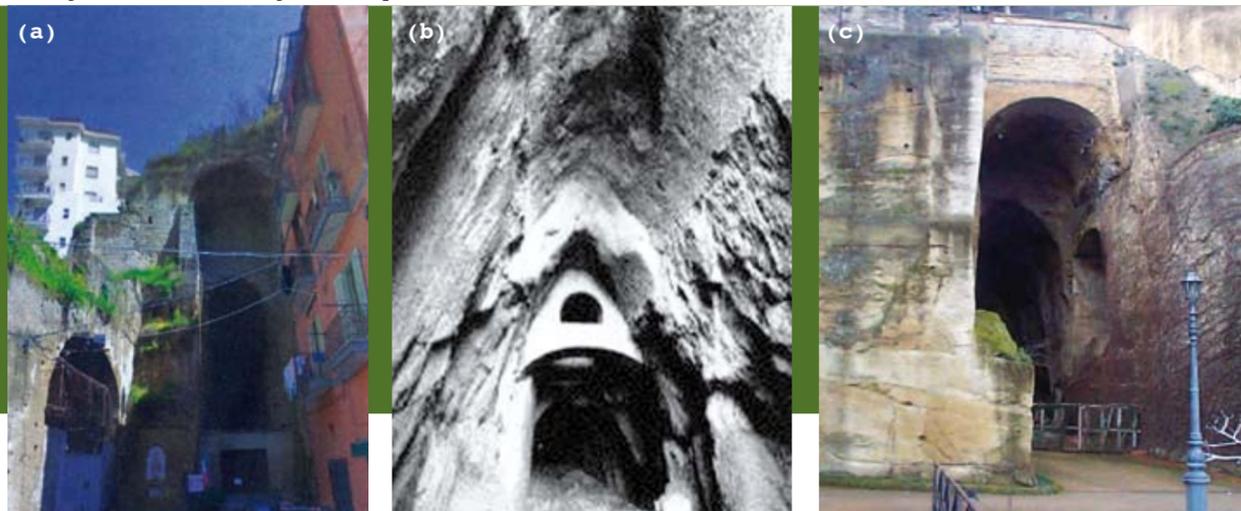
Anche nell'antica Roma l'arte mineraria costituiva elemento importante della vita economica a partire dal 200 a.C. Specie la Spagna (miniere di Rio Tinto) costituiva rifornimento di oro argento e rame e richiedeva una forza lavoro di

oltre 60.000 schiavi. Le tecniche dei greci sono state riprese con maggior ardimento. I romani scavano pozzi spinti sino ad una profondità di 250 m ed in presenza d'acqua, creano una fitta rete di cunicoli e formano anche ampie caverne, impiegano in modo generalizzato il legno come armatura e rivestimento delle gallerie. È d'interesse il sistema di pompaggio impiegato nelle miniere di Rio Tinto, costituito da batterie di ruote a cassette di legna azionate da un minatore per ruota; con 8 paia di tali ruote, ciascuna con sollevamento di 3,7 m, si sollevava una portata di 85 l/min. all'altezza di 30 m circa.

3.2. Gallerie dei Campi Flegrei - Generalità

Le gallerie dei Campi Flegrei, la crypta neapolitana, la grotta di Seiano, la grotta della Sibilla, la grotta di Cocceio e la crypta romana, sono state utilizzate per fini militari e in seguito per fini civili; la grotta di Seiano è stata costruita per uso privato. Erano i tempi della guerra civile tra Ottaviano e Sesto Pompeo, figlio di Pompeo il Grande; il quartiere generale della flotta di Ottaviano era il Portus Julius, costituito dal lago di Lucrino e di Averno; il porto è stato costruito nel 37 a.C. da Marco Vipsanio Agrippa, generale di Ottaviano,

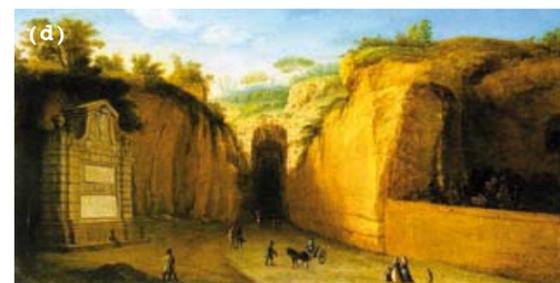
3.3.2.-3.3.3. Crypta Neapolitana – (a) Imbocco lato Fuorigrotta; (b) Vista interna; (c) (d) Imbocco lato Piedigrotta: vista fotografica e quadro di G. Van Wittel



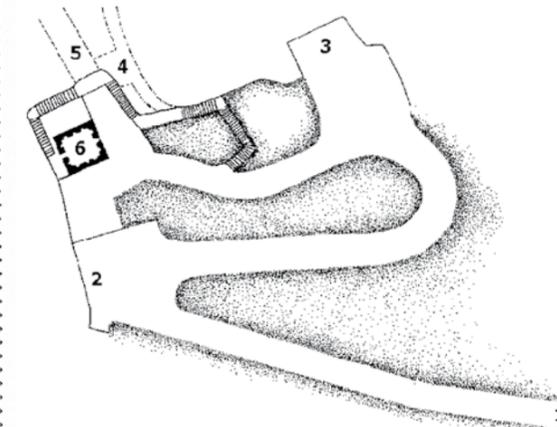
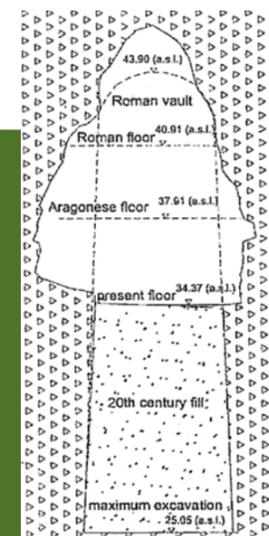
sotto la direzione dell'architetto Lucio Cocceio Aucto che allargò sino a 50 m l'esistente canale artificiale tra i due laghi e scavò ex novo il canale tra il lago di Lucrino ed il mare. Era, inoltre necessario migliorare i collegamenti viarii con il porto. A sud, lato Napoli, l'ostacolo orografico rappresentato dalla collina di Posillipo veniva sottopassato dalla crypta neapolitana e dalla galleria di Seiano; a nord, provenendo dal porto di Cuma, gli ostacoli rappresentati dall'Acropoli della città e a seguire dal monte Grillo, che divide la piana di Cuma dal lago Averno, e dal crinale, che separa il lago Averno dal lago Lucrino, sono stati sottopassati rispettivamente dalla crypta romana, dalla grotta di Cocceio e dalla grotta della Sibilla. Svetonio attribuisce a Cocceio la realizzazione della crypta neapolitana e della grotta che porta il suo nome; con molta probabilità sono da attribuirgli anche la grotta di Seiano, della Sibilla e la crypta romana.

3.3. Gallerie dei Campi Flegrei – la Crypta Neapolitana

La Crypta Neapolitana, ovvero la grotta di Posillipo dà nome ai quartieri di Napoli, Piedigrotta e Fuorigrotta, che sono le



due aree della città collegate dalla galleria; in particolare collega l'attuale Salita della grotta (Piedigrotta) con Via della grotta vecchia (Fuorigrotta). Dopo l'uso militare, al termine della guerra civile tra Ottaviano e Marco Antonio, è rimasta, unica tra le altre gallerie dei Campi Flegrei, come collegamento viario per fini civili, in questo caso tra Napoli e Pozzuoli. Ha una lunghezza di 711 m e, all'epoca, aveva una larghezza di 4,5 m (per permettere il passaggio di due carri) ed una probabile altezza di 3,5÷4,0 m; ha subito numerosi interventi di ampliamento ed infine di consolidamento: (1) nel 1455 Alfonso V d'Aragona, re di Napoli fece abbassare di 3÷4 m il piano viario; (2) a metà del Cinquecento il viceré Pedro di Toledo lo fece ulteriormente abbassare e pavimentare; (3) a metà del Settecento Carlo di Borbone fece effettuare un primo consolidamento statico; (4) nei primi anni



3.3.4. Crypta Neapolitana
Sezione studiata con F.E.M.
e pianta ingresso
lato Piedigrotta

Pianta del Parco della Tomba di Virgilio: 1=ingresso; 2=iscrizione di Sebastiano Bartolo; 3=Tomba di Giacomo Leopardi; 4=acquedotto del Serino; 5=Crypta Neapolitana; 6=Tomba di Virgilio

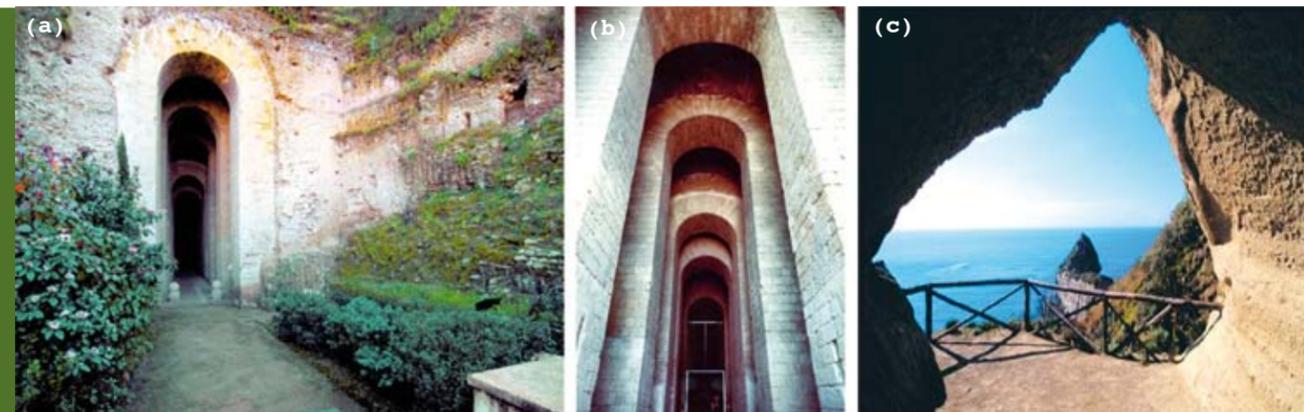
dell'Ottocento Giuseppe Bonaparte ordinò un nuovo consolidamento e attrezzò la crypta con un sistema d'illuminazione ad olio. La galleria rimase in esercizio fino alla fine dell'Ottocento quando fu chiusa per problemi statici, dopo l'apertura della Galleria delle Quattro Giornate; attualmente è per gran parte chiusa per restauro. Nella sezione di figura effettuata a 20 m dall'ingresso est, sono ricostruite, a partire dalla sezione romana a volta, i diversi interventi ed i dissesti verificatisi (Viggiani et al., 2001); è da notare il massivo riempimento eseguito in tempi più recenti riportando il piano di calpestio a 6,50 m da quello originario romano. Il commento di Seneca (*Epistulae morales ad Lucilium*; Libro VI, 57) dopo averla attraversata all'epoca: "Niente è più lungo di quella carcere, niente più fioco di quelle torce che ci servono non a vedere in mezzo alle tenebre, ma a vedere le stesse tenebre. Del resto anche se ci fosse luce, la toglierebbe la polvere che è fastidiosa e pesante anche all'aperto: cosa dire là dentro, dove la polvere così al chiuso, senza alcuno spiraglio girando su se stessa ricade su quelli che l'hanno sollevata?" Ed il commento più recente di Alexandre Dumas (padre): "Fummo impressionati ... dall'abominevole puzzo di olio emanato dai sessantaquattro lampioni accesi in quella grande tana". Attualmente si raggiunge l'imbocco lato

Mergellina (Piedigrotta) dall'interno del parco Vergiliano (da non confondere con il parco Virgiliano di Posillipo); sulla sinistra è presente un colombario di età imperiale dove si dice essere la tomba di Virgilio, nello stesso parco è presente la tomba di Leopardi (vedi pianta). Una leggenda di età medievale vuole che la crypta sia stata scavata da Virgilio, esperto di arti magiche, in una sola notte. La galleria è orientata approssimativamente nella direzione est (Napoli)-ovest (Pozzuoli) ed attraversa la collina con una copertura massima di 110 m circa; la collina di Posillipo (pausa dei dolori) separa con l'andamento nordest-sudovest del suo crinale la baia di Napoli da quella di Pozzuoli con un'altezza massima di 150÷160 m s.l.m.; un pozzo di ventilazione poco sopra l'ingresso est lungo 150 m e con una pendenza di circa il 6% raggiunge la galleria; l'altro pozzo lungo 100 m e con pendenza del 44% raggiunge la galleria ad una distanza di 200 m dall'ingresso ovest. La natura geologica dei terreni è costituita da materiali vulcanici: sotto i riporti il tufo giallo di spessore variabile 20÷30 m, sostenuto dal tufo antico. La galleria è quasi completamente scavata nel tufo antico, a meno di brevi tratti ai due imbocchi interessati dal tufo giallo. Uno studio effettuato (Viggiani et al., 2001) con il F.E.M. a valle di una campagna sperimentale per la corretta



3.4.1. Grotta di Seiano – Tracciato sulla mappa di Napoli

3.4.2. Grotta di Seiano – Sezione longitudinale e planimetria



3.4.3. Grotta di Seiano – (a) Ingresso lato Coroglio; (b) Dettaglio Ingresso; (c) Vista sul mare da cunicolo laterale

caratterizzazione geotecnica dei terreni ha dimostrato che i successivi ampliamenti ed abbassamenti non producono significativi effetti sulla stabilità della sezione, ma intorno al profilo di scavo romano si sono evidenziate zone plasticizzate che, tolte, consentono di ridisegnare la sezione attuale.

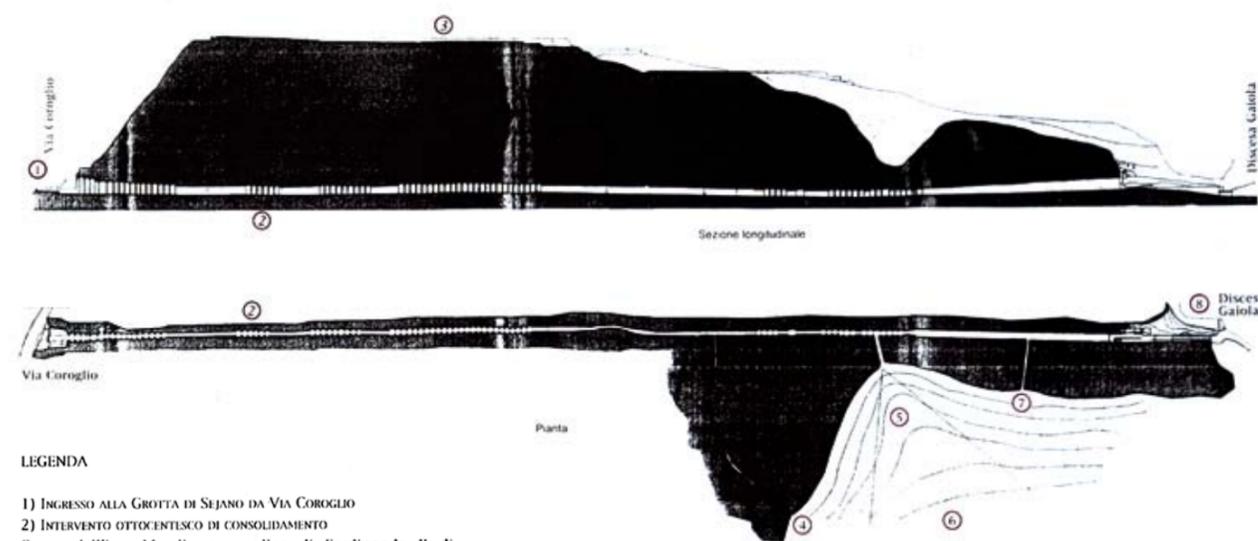
3.4. Gallerie dei Campi Flegrei – La Grotta di Seiano

La grotta di Seiano sottopassa la collina di Posillipo con una copertura massima di 80 m e, secondo i dati geologici generali, attraversa il tufo antico con la calotta molto prossima al

tufo giallo; peraltro, come testimoniato da Vitruvio (vedi più avanti), specie sul lato occidentale si sono incontrate pozzolane incoerenti che hanno reso problematico l'avanzamento. La pianta evidenzia i tre cunicoli, 4, 5, 7 che dipartono dalla grotta ed arrivano a vedere il mare (Porta Cavallo e Cala Trentaremi) portando aria e luce in una galleria dove gas velenosi rendono la ventilazione essenziale.

La grotta di Seiano prende il nome da un prefetto (Lucio Elio Seiano) di Tiberio che ampliò e sistemò una grotta (Pontano) costruita mezzo secolo prima (Cocceio, per volere di Agrippa?) come accesso, lato Pozzuoli, alla villa (Pausilypon) del patrizio Publio Vedio Polliione, villa che, dopo la sua morte divenne di proprietà imperiale. La galleria della lunghezza di 770 m sottopassa il promontorio di Posillipo alla sua estremità lato mare ed ha andamento rettilineo secondo la direzione est (Napoli)-ovest (Pozzuoli); con riferimento alla toponomastica attuale collega via Coroglio (ovest) con la discesa Gaiola (est) sottopassando il parco Virgiliano (non il parco Vergiliano della Crypta Neapolitana). Attualmente la galleria è l'ingresso al Parco Archeologico Pausilypon che comprende, oltre la grotta stessa, testimonianze di due

edifici per spettacoli, il teatro e l'odeion, di un tempio e di un ninfeo; tre cunicoli laterali dipartono dalla parete sud, oltrepassata la metà occidentale del tunnel, e arrivano a strapiombo sul mare (vedi foto) per consentire la ventilazione e l'illuminazione della galleria. Subì un primo restauro nel IV secolo d.C., abbandonata è stata riscoperta in epoca borbonica e consolidata; durante l'ultimo conflitto bellico è stata utilizzata come rifugio antiaereo; dopo, alcune frane è stata chiusa e solo recentemente riaperta e resa completamente percorribile. Vitruvio (Vitr., VIII, 6, 3) dà notizie delle difficoltà esecutive in relazione alla natura dei terreni incontrati: in presenza di tufo (sino a 150 m dall'ingresso est) si è avanzato speditamente e senza rivestimento, in presenza di pozzolana sciolta le pareti della galleria sono state rivestite in opus incertum ed opus reticulatum, mentre la volta in opus caementitium con spessori 50-80 cm. Il consolidamento ottocentesco è consistito nell'eseguire contrafforti ed archi riducendo la larghezza utile della grotta a 2,60 m. L'altezza della galleria è fortemente variabile, in particolare ai due imbocchi l'altezza è rilevante al fine di assicurare l'illuminazione.



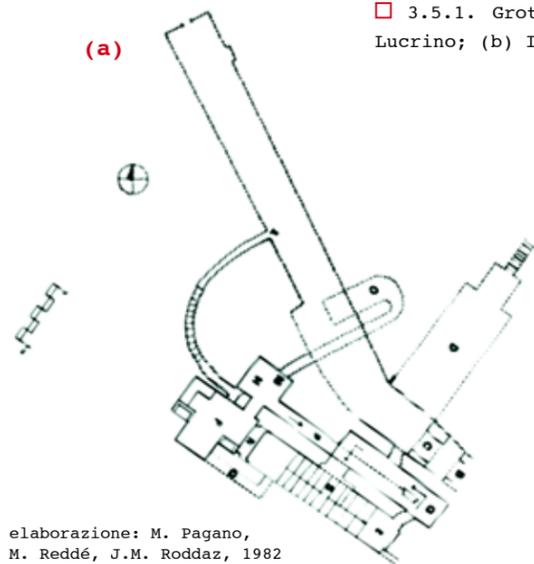
LEGENDA

- 1) INGRESSO ALLA GROTTA DI SEIANO DA VIA COROGLIO
- 2) INTERVENTO OTTOCENTESCO DI CONSOLIDAMENTO
Opera dell'ing. Mendia per ordine di Ferdinando II di Borbone.
- 3) PARCO DEL VIRGILIANO
Realizzato nel periodo fascista, il parco costituisce un pittoresco belvedere sul mare e sui luoghi di Cala Trentaremi e Discesa Coriglio.
- 4) CUNICOLO DI AREAZIONE DI ETÀ ROMANA
Non accessibile.
- 5) CUNICOLO DI AREAZIONE DI ETÀ ROMANA
Il cunicolo è percorribile e si conclude con un belvedere su Punta Cavallo e Cala Trentaremi.
- 6) CALA TRENTAREMI E PUNTA CAVALLO
- 7) CUNICOLO DI AREAZIONE DI ETÀ ROMANA
Non accessibile.
- 8) INGRESSO ALLA GROTTA DI SEIANO DALLA DISCESA GAIOLA

(Planimetria della Grotta di Seiano a cura dell'Archivio Disegni SANC, Studio Falanga)



3.5.1. Grotta della Sibilla – (a) Pianta manufatto all'ingresso lato Lucrino; (b) Ingresso lato Averno; (c) Vista prospettica interna



elaborazione: M. Pagano,
M. Reddè, J.M. Roddaz, 1982

3.5. Gallerie dei Campi Flegrei – La Grotta della Sibilla

La galleria scavata nel Monte della Ginestra, di collegamento tra i due laghi, Averno e Lucrino, è stata chiamata Grotta della Sibilla perché secondo un'antica tradizione, che vi riconosceva i luoghi descritti da Virgilio, era là dove la figura mitologica della Sibilla Cumana vaticinava; di recente viene indicata come Pseudogrotta della Sibilla perché negli anni '30 del novecento l'archeologo A. Maiuri scoprì, poco vicino, un luogo sotterraneo nell'ambito di quello che sarà

il Parco archeologico di Cuma, che è più rispondente alle descrizioni del poeta; questa nuova crypta è stata chiamata antro della Sibilla e di essa si parlerà nel seguito.

La grotta, come già detto, fu realizzata nell'ambito del piano militare di M. Vipsanio Agrippa per conseguire più facili collegamenti con il Portus Julius; nella sua struttura principale è costituita da una galleria rettilinea lunga 200 m, che proprio a causa della sua modesta lunghezza non prevede pozzi di ventilazione e di luce; è disposta secondo l'orientamento nordovest-sudest di larghezza 3,5÷4,0 m e di pari altezza con volta a tutto sesto ed è scavata nel tufo senza rivestimento.

Al termine della grotta sul versante del lago Lucrino e sul lato occidentale della grotta stessa, vi è un manufatto, strutturalmente indipendente dalla galleria, ma ad essa collegato che si ritiene sia appartenuto ad una villa patrizia; è un complesso molto articolato in quanto costituito da diversi vani disposti su più livelli che hanno avuto significative modifiche e trasformazioni sino all'età medievale; è proprio in quelle stanze sotterranee che l'antica tradizione popolare voleva ubicata l'antro della Sibilla.



3.6.1. Grotta di Cocceio □
Tracciato sulla mappa

3.6.2. Grotta di Cocceio □
(a) Ingresso lato Cuma;
(b) Vista interna;
(c) Ingresso lato Averno

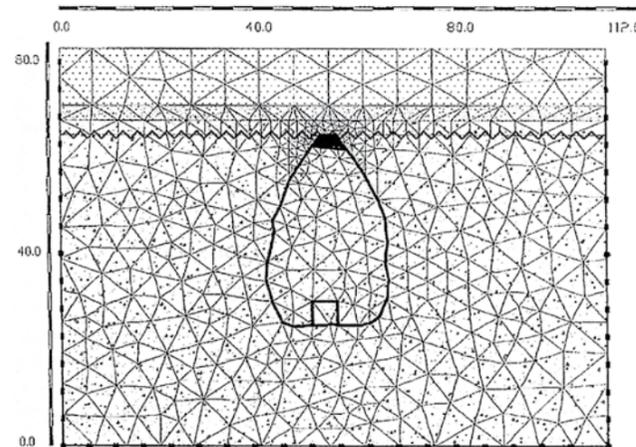
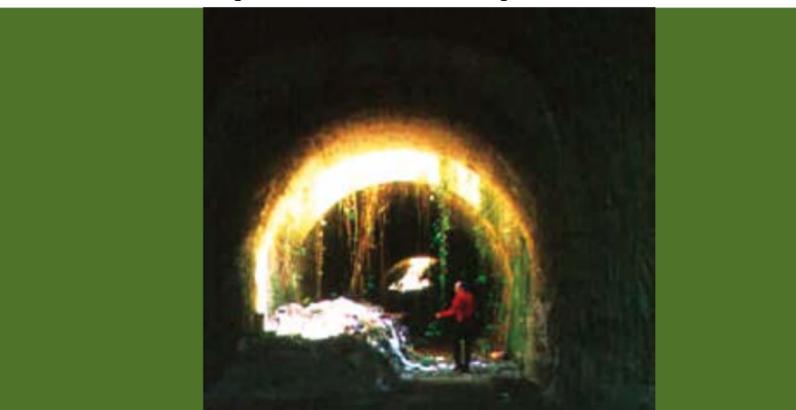
3.6. Gallerie dei Campi Flegrei – La Grotta di Cocceio

Secondo Strabone (Geografia, Libro V 4, 5) Cocceio fece eseguire questa "grotta" e quella che da Pozzuoli conduce a Napoli (Crypta Neapolitana) perché riteneva il far passare le strade attraverso gallerie una tradizione atavica di questi luoghi (un antico popolo, i Cimmeri, avrebbe qui abitato in case sotterraneee collegate da cunicoli). Si arriva, dunque, a conoscere la paternità di due gallerie dei Campi Flegrei che viene estesa verosimilmente, come già detto, anche alle altre due del percorso che collega il porto di Cuma con il lago Lucrino e cioè la grotta della Sibilla e la Crypta Romana. La grotta di Cocceio, nota anche come grotta della

Pace, ad andamento rettilineo, lunga ~ 1 km, larga ~ 4,5 m per consentire il transito di due carri nei due sensi, ed alta 5÷8 m, con profilo in lieve pendenza ascendente verso Cuma, collega, passando sotto monte Grillo con copertura massima di 90 m, la periferia orientale della città ed il lungolago occidentale dell'Averno. Sei pozzi di ventilazione e di luce, verticali ed inclinati, disposti nella parte centrale del tracciato permettono di illuminare, unitamente alle aperture dei due ingressi, l'intero percorso; più in dettaglio, oltre quattro pozzi verticali, con profondità massima 30 m, di sezione quadrata con lato crescente con la profondità e quindi con la maggior sezione all'attacco con la volta della galleria, vi è un pozzo inclinato nel piano verticale ed un ultimo laterale che parte



3.6.3.-3.6.4. Grotta di Cocceio – Vista in corrispondenza di un pozzo di luce e Studio piano F.E.M.

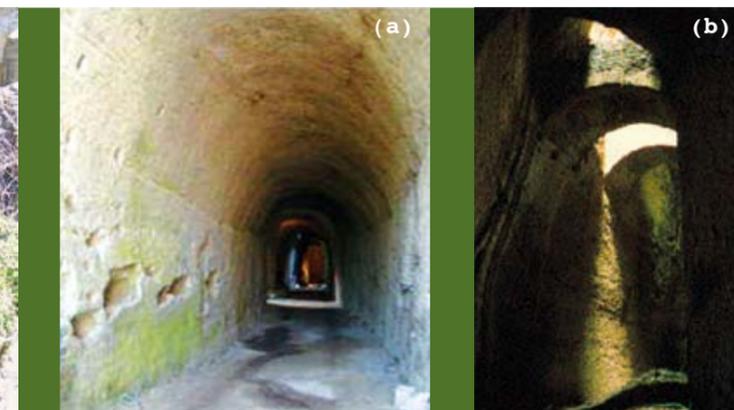


in superficie, dal fianco del monte; i pozzi in sommità sono rivestiti in opus reticulatum; l'intera galleria è scavata a volta nel tufo giallo senza rivestimento, a meno di un breve tratto, lato Cuma, dove lo scavo nella pozzolana poco cementata ha richiesto, un rivestimento realizzato con volta a tutto sesto in opera cementicia a scheggioni di tufo e muri a reticolato. È d'interesse ingegneristico l'interpretazione che viene data (Viggiani et al., 2001) della presenza di un gradino ad andamento longitudinale tra la volta e le pareti, quale testimonianza dello scavo in due fasi dell'intera sezione: in prima fase si ritiene che sia stata scavata la volta, in seconda fase il ribasso sino al piano di calpestio, che è rimasto quello attuale. Dopo l'uso militare la galleria è stata adibita ad uso civile: dalla fine del I sec. d.C. ci si immetteva, lato Cuma, sulla via Domitiana, della quale rimangono significative evidenze. L'opera è di grande interesse per la storia dell'ingegneria civile in quanto rappresenta una pietra miliare per la lunghezza della galleria, per l'abilità topografica impiegata per il tracciamento della "grotta" nonché dei pozzi, verticali ed inclinati, per le speciali tecniche adottate nell'esecuzione degli scavi che testimoniano un'ormai raggiunta abilità costruttiva di eccellenza ed infine per gli evoluti criteri progettuali con particolare riferimento agli accorgimenti adottati per l'illuminazione

della "grotta", ricorrendo a pozzi di luce opportunamente ubicati (nella parte centrale della galleria) e utilizzando l'illuminazione proveniente dagli accessi per le parti laterali configurate in modo da massimizzare l'ingresso della luce (pendenza longitudinale della generatrice di colmo della volta). La galleria a lungo dimenticata fu ripristinata nell'Ottocento dai sovrani borbonici; durante la seconda guerra mondiale fu utilizzata come deposito di esplosivi, e subì dei danni quando alcuni di questi esplosivi scoppiarono accidentalmente nel primo dopoguerra. Attualmente non è visitabile per problemi di sicurezza. L'esplosione ha prodotto una caverna dell'altezza massima di 37 m, larghezza massima 20 m e lunghezza di 50 m circa; in sommità la nuova cavità ha raggiunto la zona di transizione tra il tufo e le pozzolane addensate. È stato svolto uno studio F.E.M. 2D (Viggiani et al., 2001), per verificare la stabilità della caverna assumendo come costante la sezione di dimensione massima che dimostra la stabilità globale della cavità, mentre nella zona sommitale la porzione di tufo a contatto con le pozzolane è instabile e quindi potenzialmente soggetta a distacchi. Gli attuali dissesti che hanno determinato lo sgombrò di alcuni fabbricati (dicembre 2010) sono proprio in corrispondenza della caverna prodotta dall'esplosione.



3.7.1. Crypta Romana – Ingresso lato est



3.7.2. Crypta Romana – (a) Vista interna (b) Vista interna in corrispondenza di un pozzo di luce; (c) Ingresso lato ovest

3.7. Gallerie dei Campi Flegrei – La Crypta Romana

La Crypta Romana è una galleria della lunghezza di 300 m ca., di cui 100 m attualmente scoperti, scavata nel tufo giallo alla base del Monte di Cuma; più in dettaglio la galleria attraversa in direzione est-ovest l'acropoli di Cuma, con andamento planimetrico poligonale a quattro lati studiato in modo che lo scavo non avvenisse sotto il Tempio di Apollo, e collega la città bassa con il mare, in particolare il foro con il porto. Come le precedenti gallerie, già illustrate, alla fine della Guerra civile tra Ottaviano e Marco Antonio (31 a.C.) e con lo spostamento della flotta dal Portus Julius al porto di Miseno (12 a.C.), la crypta perse il suo scopo militare. In età cristiana fu utilizzata come catacomba; nel VI secolo venne utilizzata dal generale bizantino Narsete per fini ossidionali contro Cuma, ma i nuovi cunicoli scavati per questi fini provocarono il crollo della volta di un tratto di galleria: la rese impraticabile e ne causò il successivo abbandono. Fu riscoperta nella seconda metà degli anni '20 del Novecento dall'archeologo Amedeo Maiuri, che inizialmente identificò nel suo vestibolo i luoghi oracolari della Sibilla, spostandoli dal suo vestibolo i luoghi oracolari della Sibilla, spostandoli dall'omonima Grotta che collega il lago Lucrino con il lago

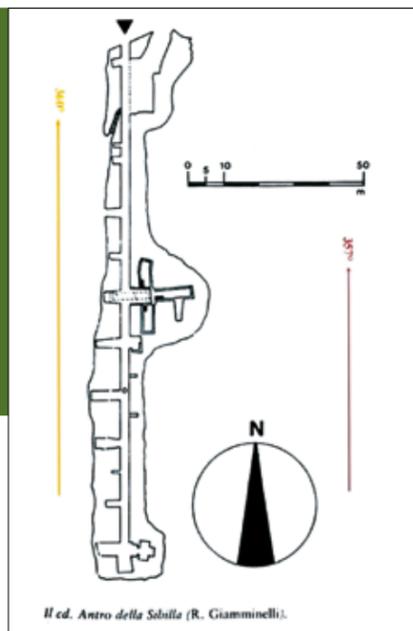


3.7.3. Crypta Romana Incisione degli arnesi di scavo sulla volta della galleria



Averno, dove un'antica tradizione popolare li aveva localizzati; ma un ulteriore spostamento avverrà (vedi in seguito) quando il Maiuri stesso scoprì l'Antro della Sibilla, a poca distanza, nell'area che diverrà il Parco Archeologico di Cuma. Si percorre all'inizio una galleria lunga 30 m ca. coperta da una volta a botte; le pareti di tufo sono rivestite in opera reticolata. Poi, per il crollo storico della volta (Narsete), si

3.8.1. Antro della Sibilla – Tracciato sulla mappa. La pianta mette in evidenza i numerosi cunicoli trasversali presenti



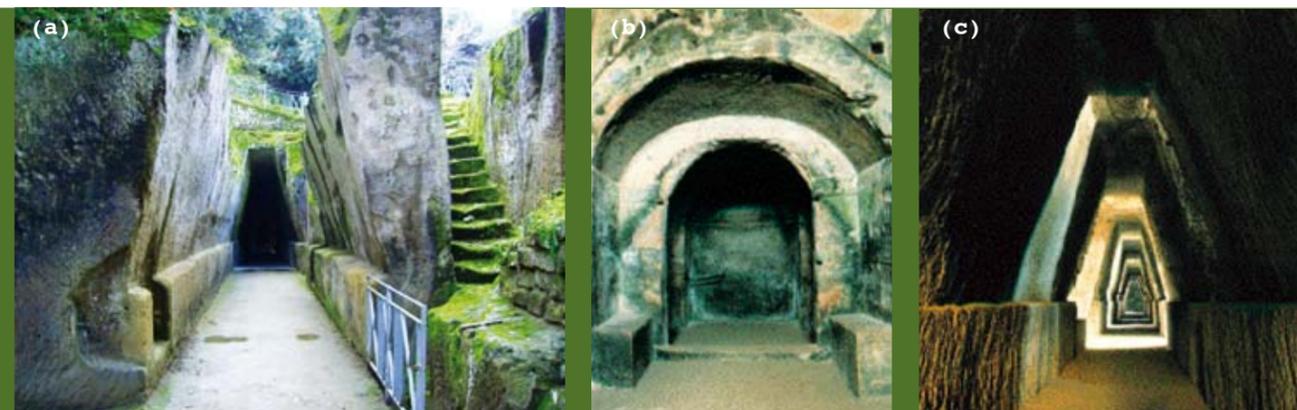
torna all'aperto, nel vestibolo che ha una lunghezza di 25 m: la parete a sinistra, in opera vittata, presenta quattro grandi nicchie in opera reticolata, destinate a ospitare statue; la parete di destra presenta evidenze di numerosi restauri. Percorso ancora un tratto all'aperto, si torna nella galleria che si sviluppa sotto il Monte di Cuma. L'attuale portale orientale d'uscita probabilmente ha subito successive modifiche di non facile ricostruzione per il suo cattivo stato di conservazione. All'aperto si percorre la strada romana che univa la galleria ed il Foro alla via Domitiana. Il tracciato poligonale è una caratteristica specifica di questa galleria dell'epoca di Augusto, risultando tutte le altre, realizzate nell'ambito di un unico piano strategico militare, rettilinee. Questa scelta è giustificata da criteri progettuali molto maturi che già coniugavano la tecnologia con i vincoli in superficie e gli aspetti funzionali dell'ubicazione degli accessi. In altri termini, scelti i punti d'ingresso con criteri di strategia militare, unitamente a criteri di continuità viaria, e prefissati i vincoli di "rispettare" il tempio di Apollo a Nord e le preesistenze sotterranee a Sud, la soluzione viene data con quel tracciato poligonale; le quattro aste della lunghezza di 65 m, 75 m, 130 m e 30 m, a partire da ovest, formano un

angolo costante di 10°, l'una rispetto alla precedente, alternativamente prima a Nord e poi a Sud. La sezione della galleria è rettangolare con volta a botte a tutto sesto.

Sulla volta non rivestita, furono scolpiti gli arnesi utilizzati dai minatori: piccone, maglio, bipenne e cunei. L'illuminazione e la ventilazione erano assicurate da sei evidenti pozzi di luce, tre laterali e tre verticali; altri due sono da ipotizzare. A metà della terza asta, sulla destra, furono scavate due ampie cisterne da considerarsi delle preesistenze collegate successivamente con la crypta. Nell'ultimo tratto sulle pareti si ha evidenza di circa 20 loculi che documenta l'uso sepolcrale della volta, come già anticipato.

3.8. Gallerie dei Campi Flegrei – L'antro della Sibilla

Si entra nell'antro della Sibilla, nel parco archeologico di Cuma, attraversando un tratto all'aperto prima di accedere al "dromos" (corridoio) lungo 130 m ca., scavato nel tufo giallo alla base dell'acropoli, perfettamente rettilineo, orien-



3.8.3.-3.8.4.-3.8.5. Antro della Sibilla – (a) Ingresso lato nord; (b) Vestibolo davanti alla stanza remota (c) Vista interna

tato da nord a sud con ingresso da nord. La galleria, alta 5 m e larga 2,4 m, ha, nella parte superiore, una caratteristica sezione a forma trapezia e rettangolare nella parte inferiore: il gradino longitudinale tra le due parti fa supporre che lo scavo di ribasso sino alla quota attuale del pavimento sia stato effettuato in tempo successivo: la ricostruzione storica prevede di attribuire la realizzazione di prima fase, quella a sezione trapezia, all'età sannitica (IV-III sec. a.C.) ed il completamento all'età romana antica. Nella parete di destra esposta ad ovest, si aprono ad interasse regolare nove cunicoli sempre a sezione trapezia, di cui solo sei con esito all'aperto.

A metà del corridoio, sull'altro lato, un ampio cunicolo trasversale a sezione trapezia costituisce disimpegno per tre stanze disposte a croce; le tre sale, a pianta rettangolare e con pavimento a quota inferiore, probabilmente sono state usate come cisterne nell'età romana, in base alla testimonianza offerta dalle tracce, lasciate lungo la parete sinistra del corridoio, di un condotto per l'adduzione dell'acqua; nelle cisterne la presenza di vestigia sepolcrali documenta la funzione catacombale di questa parte di galleria all'inizio dell'era cristiana, confermata da un arcosolio che s'incontra più avanti procedendo lungo il corridoio.

Il "dromos" ha termine in una sala rettangolare, che apre a sinistra su un vestibolo, che precede un ambiente di forma quadrata (stanza remota) completato da tre "absidi" disposte a croce. Si vuole, dopo due diverse localizzazioni ritenute erronee (grotta della Sibilla, Crypta Romana), riconoscervi i luoghi, descritti da Virgilio, dove si celebravano i riti della Sibilla che, secondo la leggenda dopo essersi immersa nelle acque (cisterne), nella stanza remota (oikos endotatos) assisa su un trono, avrebbe pronunciato i suoi vaticini. La copertura a volta di questi ultimi ambienti ha fatto però ipotizzare una data di costruzione che risale alla tarda età imperiale, contraddicendo la suggestiva ipotesi. L'Antro è stato portato alla luce nel 1932 dall'archeologo Amedeo Maiuri.

3.9. Il drenaggio del Lago Fucino

Il lago Fucino è un lago carsico il cui bacino è confinato dai monti dell'altopiano della Marsica, in provincia dell'Aquila; raccoglie le acque dall'unico immissario, il fiume Giovenco, dal gruppo montuoso del Sirente-Velino a Nord e dai Monti della Marsica a Sud. Il regime idrico del bacino era caratterizzato da un'alta variabilità del livello per la mancanza di emissari naturali (bacino endoreico). Sin dai tempi di Cesare

3.9.1. Carta geografica di dettaglio dell'Italia con evidenziato l'alveo del Fucino



3.9.2. Il lago Fucino nel 1861 (da E. Burri, *Sulle rive della memoria. Il lago Fucino e il suo emissario*, Carsa Edizioni, 1994)

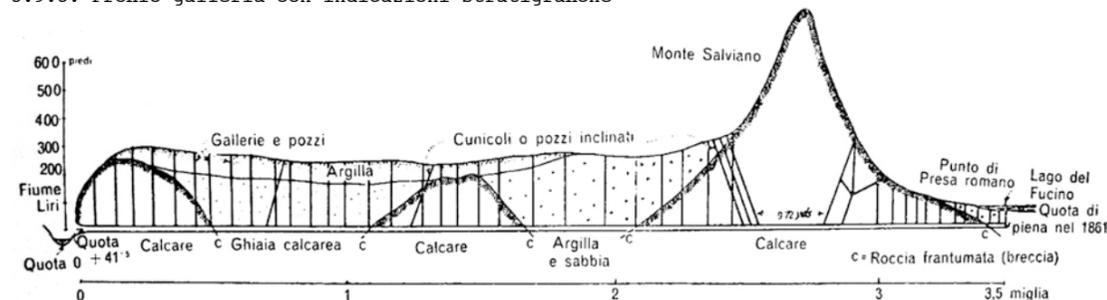


le antiche popolazioni residenti (Marsi) si lamentavano delle continue escrescenze delle acque del lago sui terreni e paesi limitrofi, che provocavano danni ingenti, e per questi motivi richiedevano un'opera idraulica di drenaggio che eliminasse detti inconvenienti.

Il drenaggio del lago Fucino è forse l'opera dell'antichità più documentata: ne scrivono gli storici Svetonio, Tacito e Dione Cassio nonché lo scrittore Plinio il Vecchio; secondo Svetonio (*Vita divi Iulii*, 44) per Giulio Cesare il prosciugamento del Lago Fucino faceva parte di un programma di importanti opere pubbliche destinate a dare ornamento, ordine, protezione e sviluppo all'Impero.

"Nam de oranda instruendaque urbe, item de tuendo ampliandoque imperio plura ac maiora in dies destinabat:..... emittere Fucinum lacum....."

3.9.3. Profilo galleria con indicazioni stratigrafiche



Giulio Cesare aveva in animo di costruire l'emissario del Lago Fucino, sia per soddisfare le richieste dei bellicosi Marsi, sia al fine di recuperare un ampio territorio fertile (il Fucino era il terzo lago d'Italia) di cui l'Impero aveva bisogno perché non produceva sufficiente quantità di grano che era costretto ad importare finanche dall'Oriente.

Dopo la morte di Cesare, Augusto ritenne il prosciugamento del Lago Fucino opera irrealizzabile; ma nell'anno 41 d.C. Claudio riprese l'idea di Cesare approvando un progetto che sembra prevedesse, almeno in prima fase, solo un parziale prosciugamento del lago per rispettare la religiosità dei Marsi che vi pensavano presente una divinità. Dione Cassio (*Storia Romana*, LX 11,5) precisa due finalità che Claudio si riprometteva di conseguire realizzando l'opera:

"Ha inoltre voluto fare un'immissione nel fiume Liri delle

acque del lago Fucino nel paese dei Marsi, al fine non solo di rendere coltivabili i terreni attorno al lago, ma anche al fine di migliorare la navigazione sul fiume. Ma il denaro è stato speso invano".

Claudio fece scavare una galleria lunga 5.650 m che, dal Lago Fucino, attraversava con una pendenza dell'0,15% la formazione calcarea sotto il Monte Salviano con una copertura massima di 300 m ed i Campi Palentini con copertura di 85 m, fino a raggiungere il Fiume Liri nella Valle Roveto, nei pressi di Capistrello (L'Aquila); così le acque del Fucino raggiungevano il Tirreno nel golfo di Gaeta defluendo nel fiume Liri, che più a valle assume il nome di Garigliano, segnando il confine tra il Lazio e la Campania; lo scavo interessò per tre quarti roccia calcarea durissima (2800 m), roccia fratturata (1135 m) e concrezioni calcaree (860 m) e per un quarto argilla e sabbia (845 m); per tre quarti, nella roccia, la galleria è senza rivestimento con sezione di scavo e quindi di deflusso costituita da un rettangolo di 1,80 x 2,10 m² sormontato da un semicerchio del raggio di 0,90 m per complessivi 5,05 m²; per un quarto, nelle argille, la galleria è rivestita e la sezione si riduce sino a 3,80 m² per evidenti motivi legati alle difficoltà di scavo incontrate in questi terreni; un calcolo idraulico svolto per la sezione corrente mostra una portata di 8 m³/sec.

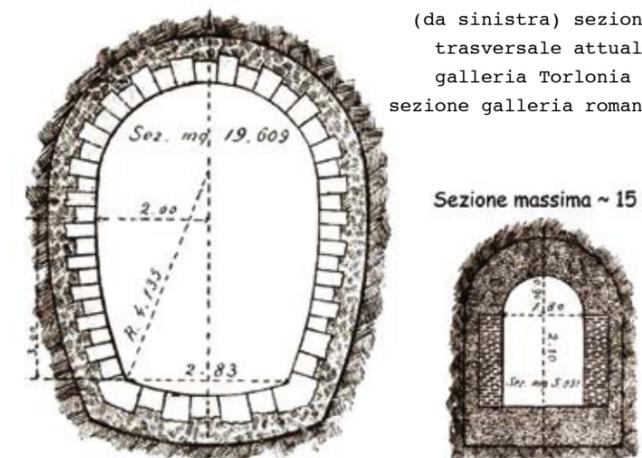
Sui due versanti del Monte Salviano furono realizzati 6 cunicoli inclinati, dei quali il più spettacolare è il cunicolo costituito da tre grandi arcate sovrapposte; inoltre furono scavati dai Campi Palentini 40 pozzi, verticali e inclinati, a sezione quadrata; cunicoli e pozzi raggiungevano la galleria per garantire nella fase di scavo l'aerazione, l'estrazione e l'introduzione dei materiali, nonché per moltiplicare i fronti di attacco, riducendo così i tempi e gli errori di deviazione

plano-altimetrica rispetto al tracciato teorico. Un testimone oculare dell'esecuzione dell'opera è Plinio il Vecchio che così ha descritto il lavoro in galleria (*Nat. Hist.*, XXXVI, 124):

"Tra le opere da ricordare dell'imperatore Claudio, includei, anche se è stata poi abbandonata a seguito dell'odio concepito per la stessa dal suo successore, la galleria che è stata scavata, come emissario del lago Fucino, sotto attraversando un montagna; un lavoro che ha impiegato una innumerevole moltitudine di uomini per molti anni. In quelle parti del tracciato dove si scavava terreno sciolto, è stato necessario pompare l'acqua con l'aiuto di macchine; in altre parti, dove presente solida roccia è stato necessario disgregarla con lo scalpello. Queste cose, inoltre, dovevano essere fatte in mezzo alle tenebre, al chiuso: possono essere concepite soltanto da coloro che ne sono stati testimoni e nessuna lingua umana può descrivere".

Svetonio (*Vita di Claudio*, 20) fornisce su questa opera colossale i grandi numeri, riguardanti la lunghezza dell'intervento (3000 passi), i tempi (11 anni), la manodopera impiegata

3.9.4. Drenaggio del lago Fucino



3.9.5.-3.9.6. Drenaggio del lago Fucino - Viste esterne del Cunicolo Maggiore e del Cunicolo Ferraro



(30.000 uomini) e la modalità di finanziamento (una specie di project financing ante litteram):

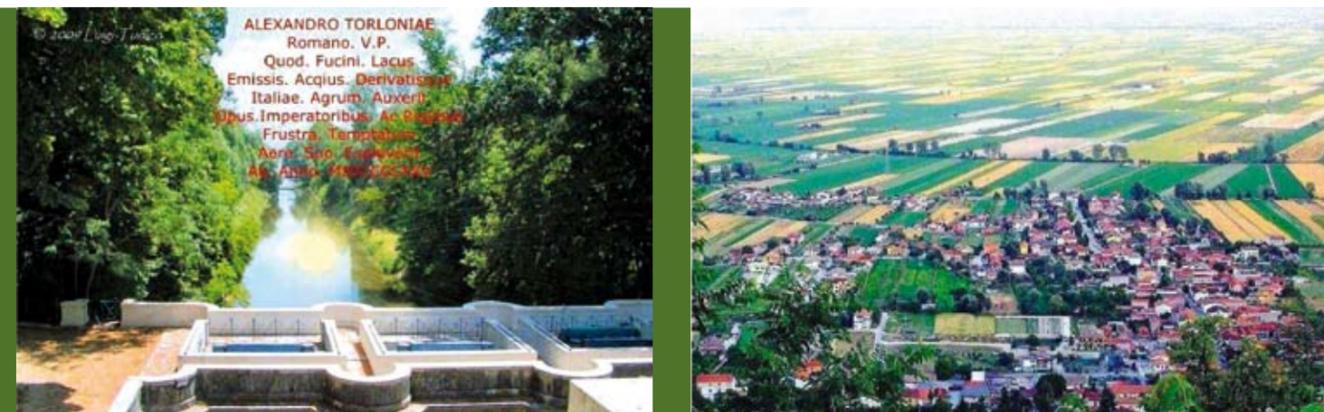
"Intraprese i lavori del lago Fucino con la speranza di un profitto non inferiore a quello della gloria, perché alcuni privati cittadini si impegnarono a sopportare tutte le spese, purché venissero loro concessi i terreni messi a secco. Ora scavando, ora tagliando la montagna su una lunghezza di tremila passi, a fatica terminò questo canale, e ciò dopo undici anni, quantunque trentamila uomini avessero lavorato continuamente, senza sosta".

Vista con gli occhi dei tecnici moderni l'Emissario di Claudio è opera grandiosa per la lunghezza della galleria, primato che mantenne sino al XIX secolo, e per la lunghezza complessiva dei pozzi e dei cunicoli, che supera di oltre due volte quella della galleria stessa; è stato un intervento straordinario in quanto, ancorché i costruttori romani fossero ignari di discipline, di istituzione ancora molto lontana, come la geotecnica, l'idrologia e l'idraulica, gli stessi costruttori riuscirono a portare a termine uno scavo in terreni difficili (sia per la consistenza della roccia e sia per la presenza di materiale sciolto) di un tunnel con funzione di emissario di un lago conseguendo l'obiettivo prefissato.

È opportuno descrivere, perché ha rilevanza per quanto verrà

detto nel seguito, l'opera di presa, l'Incile, come rilevata dai tecnici che nell'Ottocento realizzarono l'intervento definitivo intestato al Principe Torlonia; si ritiene che non sia stato realizzato in un'unica fase e che, molto probabilmente, gli interventi successivi siano stati eseguiti da Adriano.

Nel manufatto di prima fase si distinguono per funzione le seguenti parti, elencate in successione da monte a valle: l'avanbacino, la gola, la vasca esagonale e la vasca trapezoidale; il canale d'invito (avanbacino) è a sezione rapidamente decrescente da 20 m circa a 3 m e con pareti dell'altezza di 10 m circa; nella sezione di larghezza minima è installata una paratoia che regola il deflusso delle acque; il canale (gola) che segue mantiene costante per 8 m la sezione (larga 3 m) sino alla vasca esagonale di sedimentazione che, a sua volta, è in comunicazione, tramite un'apertura, attrezzata con paratoia e praticata sul diaframma di separazione tra le due vasche, con la vasca trapezoidale più profonda di 5,50 m; la galleria-emissario s'innesta sul diaframma opposto della vasca trapezoidale con la quota del fondo alla stessa quota di quello della vasca. L'intervento o gli interventi successivi hanno aggiunto un canale collettore (questo da attribuire certamente ad Adriano) che dal centro del lago convoglia le acque all'avanbacino, ribassato di 5,50 m e chiuso lato lago



3.9.7-3.9.8. Drenaggio del lago Fucino - Opera di presa attuale (Incile) e veduta della Piana del Fucino

da un muro trasversale dove s'innesta il canale collettore alla stessa quota di fondo della sezione di testa della galleria dell'emissario; sotto la vasca esagonale viene scavato un canale che collega l'avanbacino con la vasca trapezoidale: in questo modo il nuovo collegamento delle acque del lago alla galleria-emissario avviene con un percorso idraulico alla stessa quota, senza salti; la vasca esagonale viene interrata e così il percorso delle acque a quota superiore risulta interdetto; in questo modo, inoltre, il sistema sarebbe stato in grado di svuotare completamente il lago.

L'opera fu inaugurata da Claudio in due tempi: la prima volta, racconta Svetonio (*Vita di Claudio*, 21) venne organizzata una naumachia:

"In questo spettacolo una flotta in stile siculo e una flotta in stile di Rodi, comprendenti ciascuna dodici triremi, si diedero battaglia al suono di una tromba uscita da un Tritone d'argento che un congegno aveva fatto sorgere in mezzo al lago".

Con maggior dettaglio precisa Tacito (*Annali* Libro XII, 56):

"E perché la grandiosità dei lavori fosse ammirata da molti, viene allestita sul lago una battaglia navale, spettacolo già offerto in passato da Augusto, ma con imbarcazioni più piccole e meno numerose, dopo la costruzione di un bacino in vicinanza

del Tevere. Claudio armò triremi e quadremi e diciannovemila uomini, con una completa recinzione di zattere, per evitare fughe non autorizzate, ma lasciando spazio sufficiente per la velocità necessaria alle navi, alle manovre dei piloti, all'urto delle chiglie e a quanto normalmente avviene in una battaglia".

Al termine della colossale naumachia si diede seguito al deflusso delle acque che praticamente non avvenne, come dice Tacito (*Annali* Libro XII, 57):

"Concluso lo spettacolo, si aprì il deflusso delle acque. Apparve allora chiara l'imperfezione dell'opera: la galleria non era sufficientemente bassa né rispetto al fondo, né al livello medio delle acque del lago (Incuria operis manifesta fuit, haud satis depressi ad lacus ima vel media)".

La seconda volta racconta Tacito nello stesso passo:

"Dopo un certo tempo, approfondita la galleria, per richiamare ancora una gran folla, le fu offerto uno spettacolo di gladiatori che dovevano battersi su degli impalcati appositamente realizzati. Se non che, nel banchetto imbandito allo sbocco del lago, tutti furono preda di un enorme spavento, perché l'acqua, irrompendo violenta, trascinava via quanto le stava vicino, smuovendo quanto stava lontano e creando panico tra le persone, atterrite dall'assordante fragore. Allora

Agrippina, approfittando dell'agitazione di Claudio, accusa Narciso, responsabile dei lavori, di avidità e di furto".

La descrizione dei fatti secondo Svetonio (*Vita di Claudio*, 32) è analoga:

"Offrì un banchetto anche sul canale di deflusso del lago Fucino, e ci mancò poco che venisse sommerso, perché le acque lasciate libere con impetuosità, strariparono".

In base a quanto descritto dagli storici e dalla ricostruzione già esposta dell'opera di presa (Incile) è possibile fare delle ipotesi sulle cause degli inconvenienti verificatisi durante le due inaugurazioni; se si attribuiscono ad Adriano gli interventi di seconda fase, si ritiene che il primo insuccesso sia da ascrivere a non gravi errori di quota che una volta risolti hanno consentito, dopo poco tempo, di ripetere l'inaugurazione; se, invece, vengono attribuiti ancora a Claudio, si è più portati a ritenere che il secondo percorso idraulico, più basso di 5,50 m, sia stato realizzato proprio per ovviare a queste prime difficoltà di deflusso, ma impiegando per l'esecuzione tempi decisamente più lunghi.

Il secondo inconveniente può essere attribuito ad errori di manovra della paratoia che regolava il deflusso e/o al crollo di un tratto di galleria. Comunque, eliminate anche le cause di questo secondo malfunzionamento, le acque defluirono correttamente sino alla fine del 55 d.C. quando, per mancanza di manutenzione, l'emissario si ostruì; Adriano, infine, con i suoi interventi, vuoi di manutenzione ordinaria, vuoi straordinaria, riuscì ad ottenere un deflusso continuo che durò più secoli dando prosperità ai Marsi.

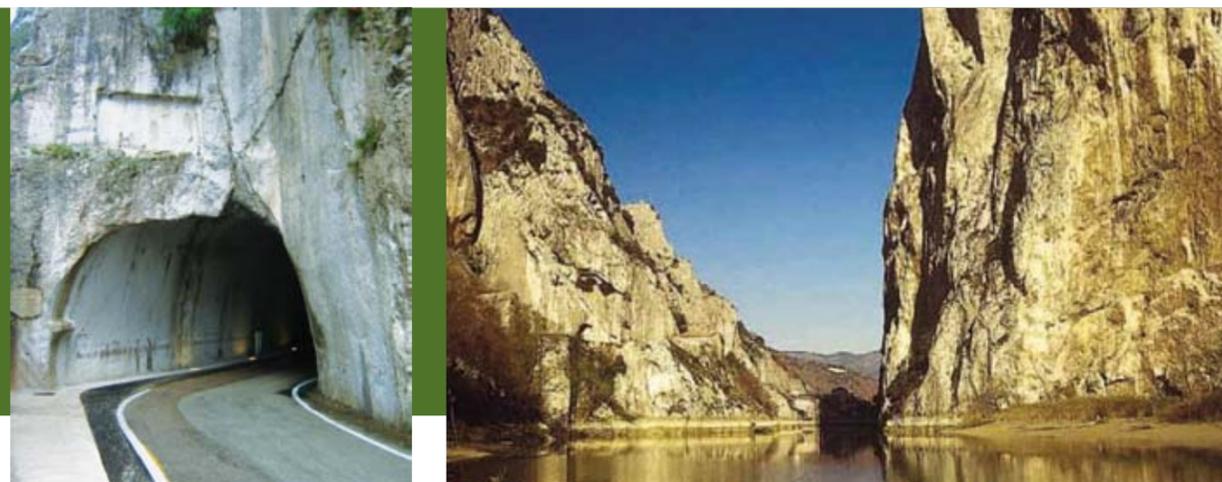
Durante il Medioevo l'emissario fu abbandonato e così il lago Fucino ripresentò tutte le problematiche viste ai tempi dei Marsi, fino al 1876; in tale data fu terminata la costruzio-

ne di un nuovo emissario, ora noto come emissario Torlonia; Alessandro Torlonia, banchiere romano, nominato principe da Vittorio Emanuele II per compensarlo del lavoro svolto, ha impiegato più di 24 anni di attività nel portare a termine l'opera da un punto di vista organizzativo e finanziario. La nuova galleria ha utilizzato in gran parte lo stesso sedime della galleria claudiana.

All'inizio, la conduzione dei lavori fu affidata a tecnici francesi i quali non risparmiarono critiche severe all'emissario claudiano prospettando errori, di cui si riportano i più consistenti:

- la quota di fondo del lago è inferiore di 1,20 m circa alla quota di scorrimento nella sezione di testa della galleria-emissario, impedendo il completo prosciugamento del lago;
- la quota di scorrimento della galleria nella sezione a più di 1000 m dall'imbocco è superiore di 10 cm alla corrispondente quota di testa;
- la sezione corrente della galleria, di 5,05 m², nella zona mediana del tunnel si restringe riducendosi di ¼.

In verità i tecnici francesi attribuivano questi errori non al progetto, di cui tessevano lodi, ma all'esecuzione; entrando nel merito dei rilievi si è obiettato ai francesi che: (1) il bacino lacustre va soggetto a sprofondamenti non compensati dai processi di sedimentazione e questo potrebbe giustificare una quota di fondo lago, attualmente rilevata, inferiore a quella della sezione di testa della galleria; (2) l'errore di quota lungo la galleria potrebbe in realtà essere attribuito a fenomeni di bradisismo; (3) la riduzione di sezione, come già evidenziato, è legata alle difficoltà di scavo incontrate nelle argille (845 m) che, richiedendo un robusto rivestimento in muratura, non hanno consentito di realizzare sezione di deflusso superiore a 3,80 m², inferiore di ¼ a quella corrente.



3.10.1.-3.10.2. Galleria Maggiore del Passo del Furlo - Imbocco lato est e vista dal fiume Corgigliano

Tuttavia, anche se diversi possono essere i giudizi critici da parte degli storici antichi e dei tecnici moderni, l'opera descritta rimane un'opera grandiosa in quanto espressione di una geniale concezione, progettuale ed esecutiva, che risale a 2000 anni fa.

3.10. Galleria Maggiore del Passo del Furlo

Il Console Gaio Flaminio nel 220 a.C. trasformò un'antica pista nella strada consolare omonima, realizzando il collegamento tra Roma e Rimini, tra il Tirreno ed il versante medio adriatico; lungo questo percorso si attraversa l'Appennino all'altezza della Gola del Furlo; nel punto più impervio per superare la difficoltà, rappresentata da uno sperone roccioso che si disponeva trasversalmente al tracciato, fu inizialmente adottata una soluzione onerosissima di strada a mezzacosta, della larghezza di 6 m, che aggravava l'ostacolo; la strada nel tempo fu soggetta a frane per l'instabilità del versante di valle; in età augustea si arrivò ad una soluzione concettualmente corretta decidendo di attraversare a foro cieco lo sperone di roccia, ma fu eseguito un cunicolo, tuttora esistente, un

po' troppo stretto, largo soltanto 3,30 m, e lungo 13 m sul ciglio di monte ed 8 m su quello di valle.

La Gola o Passo del Furlo è situata nel tratto in cui la via Flaminia costeggia il fiume Candigliano affluente del Metauro, nella provincia di Pesaro-Urbino; la Gola è costituita da un'enorme parete di calcare spaccata, dal fiume di fondovalle, in due parti: il Monte Paganuccio (977 m) e il Monte Pietralata (888 m); le pareti della Gola sono composte, alla base, dalla formazione molto antica del Calcare Massiccio, mentre salendo sul Monte Pietralata si possono osservare tutte le formazioni superiori quali: la corniola, il rosso ammonitico, i calcari nodulari, etc.

Lo stretto cunicolo che attraversa il monte di Pietralata si mostrò ben presto di dimensioni insufficienti per le sue funzioni commerciali e militari; nel 77 d.C. il problema fu risolto stabilmente da Vespasiano che fece costruire la galleria maggiore, a lato della galleria minore e verso monte, della lunghezza di 38,30 m, della larghezza di 5,47 m e dell'altezza di 5,95 m; la galleria è attualmente in uso, ma la via Flaminia in questo tratto è percorsa soltanto da traffico locale e turistico da quando, negli anni '80, è stata realizzata una super-

3.10.3. Vista del fiume Cordigliano e della via Flaminia in prossimità della Gola del Furlo



stada che con due gallerie, una per senso di marcia, della lunghezza di 3400 m circa, by-passa la Gola del Furlo.

Diversi sono i nomi con cui è stata chiamata la galleria maggiore: nei tempi più antichi il suo nome era Saxa o Petra Intercisa (Sasso o Pietra Spaccata), in tutto il medioevo il nome più usato era Petra Pertusa (Pietra Forata), attribuitole dal biografo di Vespasiano Aurelio Vittore, ed infine, sempre in periodo medioevale con il latino dell'epoca, "Forulus", foro, di cui l'attuale nome Furlo è da ritenersi semplice "corruzione" avvenuta nel passaggio dal latino al volgare.

La galleria maggiore del Furlo è da considerarsi un'importante opera d'ingegneria del suo tempo essenzialmente per due motivi: è una galleria in curva a differenza delle altre gallerie stradali che sono a tracciato prevalentemente rettilineo ed è un'opera molto curata sotto l'aspetto delle decorazioni e della finitura del profilo di scavo a tal punto da ricordare per analogia, dettata anche dalla modesta lunghezza del tunnel, un arco di trionfo degli imperatori romani. Ai tempi di Vespasiano ormai i costruttori romani avevano conseguito sufficienti conoscenze in materia topografica e disponevano di strumenti, la diottra, il groma e la chorobate, per tracciare con sufficiente esattezza l'asse planoaltimetri-



3.10.4. Galleria Maggiore del Passo del Furlo - Imbocco lato ovest

co della galleria, ancorché mistilineo come quello in esame; il tracciamento poteva avvenire con le due tecniche ormai collaudate consistenti o nel salire sulla montagna, oppure nell'aggirare la montagna: la scelta avveniva in funzione del contesto e delle caratteristiche della galleria; in questo caso la speciale difficoltà di un tracciato curvo è mitigata dalla modesta lunghezza dello scavo, inferiore a 40 m, che consentiva un controllo anche a vista del tracciamento.

Lo scavo ormai avveniva senza incertezze a procedere da due fronti, il che consentiva di ridurre i tempi di esecuzione, strategia decisiva anche in questo caso, nonostante la brevità geometrica dello scavo, a causa della consistente compattezza della roccia calcarea costituente il Monte Pietralata e dell'ampia (per quei tempi) sezione di scavo (circa 40 m²). Le attrezzature utilizzate sono quelle note, viste incise sulla parete della Crypta Romana, e cioè il piccone, lo scalpello, l'ascia a doppia lama ed il maglio.

Con questa attrezzatura hanno svolto un lavoro di cesello di cui si ha evidenza nella regolarità del profilo di scavo senza rivestimento che presenta una lieve protuberanza soltanto sull'imbocco orientale della galleria; oltre la regolarità d'insieme si apprezza altresì la regolarità su piccola scala che

evidenzia una lavorazione aggiuntiva di finitura delle pareti e della volta. La sezione trasversale, come già si è visto in altri casi, può considerarsi composta da un rettangolo di base sormontato da una volta a botte; il confronto con il Furlo minore, che è meno largo ed è più basso, fa capire che i Romani avevano senso delle proporzioni: non solo geometriche, ma basate sul rapporto freccia/luce di cui avevano capito il significato statico. Sotto l'aspetto funzionale la larghezza prossima a 5,50 m consentiva il passaggio in doppio senso di marcia dei carri dell'epoca che nel Furlo minore, di larghezza inferiore a 3,50 m, poteva avvenire a senso alternato; questo evidenzia l'importanza sotto l'aspetto funzionale dell'intervento di Vespasiano. Al di sopra dell'ingresso nord-orientale è ancora visibile l'iscrizione che stabilisce il compimento dell'opera tra il 76 e il 77 d.C. e la intesta a Vespasiano: vi era consapevolezza di avere realizzato un "monumentum... aere perennius", com'è stato.

3.11. Galleria di Saldæ (Algeria)

Le caratteristiche tecniche dell'antica galleria per l'acquedotto di Saldæ (oggi Bougie, Algeria) non sono note perché è stata sostituita da un moderno manufatto; ma la galleria di Saldæ è importante per un altro aspetto: si conosce l'intero "procedimento" riguardante la realizzazione di questa opera pubblica, dal progetto all'inaugurazione, per "merito" di un grave errore esecutivo; infatti la documentazione epistolare che scandisce le fasi realizzative dell'opera è stata riportata nell'iscrizione di una stele celebrativa del progettista perché ha posto rimedio all'errore. Per questa iscrizione il nome del progettista della

galleria di Saldæ è formalmente noto: è un'eccezione nel mondo antico; infatti in quei pochi altri casi in cui si conosce il progettista (Eupalino, Cratete, Cocceio etc.), lo si deve alla citazione di qualche storico, mai ad un'iscrizione, sempre dedicata all'imperatore o al console "pro tempore". La fonte storica, dunque, è una mezza-colonna (quel tipo di colonna che si addossa a parete), forse un cippo funerario, trovato nel 1866 a Lambaesis (oggi Lambesi, Algeria), fortezza legionaria dell'Africa Proconsularis che era una provincia dell'impero romano. L'iscrizione è riportata sulle tre facce a vista della stele, dell'altezza di 1,70 m; sopra l'iscrizione sono riportate, per ogni faccia, tre figure femminili (acefale) e, come rispettive didascalie, le scritte: PATIENTIA, VIRTUS, SPES, cioè le tre virtù del costruttore di gallerie: costanza, abilità e fiducia; la stele è stata portata a Bougie, il luogo ove anticamente si è svolta la vicenda, ed è esposta di fronte all'edificio del Comune. Saldæ era un'antica città della Mauretania Caesariensis, ubicata lungo la costa del Nord

Africa; nell'anno 137 d.C. l'autorità romana decise di rifornire la città di acqua potabile con la costruzione di un acquedotto; la sorgente era costituita dal fiume Toudja situato a 21 km dalla città; tra la città ed il fiume era interposta una catena montuosa che si presentava come un ostacolo che tagliava da nord-ovest a sud-est il tracciato dell'acquedotto; l'ostacolo poteva essere superato solo attraverso la costruzione di una galleria della lunghezza di 480 m circa. Il tracciamento della stessa fu affidato a Nonio Dato, libratore (topografo) in forza alla terza legione 'Augusta', che presidiava la fortezza di

3.11.1. Galleria di Saldæ - Stele a sezione trapezia: in evidenza la faccia con la scritta PATIENTIA



Lambaesis. Nonio Dato fu distaccato a Saldae per svolgere questo compito; una volta terminata la missione consegna i disegni al procurator della provincia e ritorna, così s'ipotizza, a Lambaesis; nel 153 (6 anni dopo) Vario Clemente, procuratore della provincia, chiede a Valerio Etrusco, legato della terza legione, di inviare Nonio a controllare i lavori. Il seguito della vicenda conviene desumerla dall'iscrizione, raccontata direttamente da Nonio in una lettera che ha trasmesso al procuratore:

"In viaggio ho incontrato sulla mia strada dei ladri; ne sono uscito, con i miei, senza abiti e ferito; arrivai a Saldae, dove ho incontrato il governatore che mi ha condotto alla galleria. Qui i minatori erano scoraggiati e quasi intenzionati ad abbandonare il lavoro dal momento che la lunghezza complessiva delle parti scavate superava la lunghezza della montagna. Apparve subito che le gallerie si discostavano dal retto tracciato poiché quella superiore (il troncone di monte) volgeva a destra verso mezzogiorno, quella inferiore (il troncone di valle) volgeva similmente a destra verso nord: dunque le due parti seguivano ad andare avanti pur avendo perso l'orientamento. La direzione era stata segnata sul monte, da est ad ovest. E affinché nessuno possa essere tratto in errore circa l'indicazione di galleria superiore ed inferiore, così dobbiamo intendere: cunicolo superiore è quello che riceve l'acqua, inferiore è quello che emette l'acqua. Quando ho assegnato i lavori, per porre rimedio all'errore, ho messo in competizione i milites ordinari con i milites gesati (gaesum = randello) e così hanno iniziato a scavare dai due fronti di attacco del monte. Dunque, io dapprima ho preso il livello, ho tracciato la galleria, ho organizzato il lavoro secondo i disegni che ho consegnato al procuratore Petronio Celere.

Il procuratore Vario Clemente ha inaugurato, una volta completato, l'acquedotto che già forniva l'acqua corrente".

È molto istruttiva la vicenda perché si trova conferma che il know-how tecnologico era posseduto dall'esercito, dal genio militare: è il procuratore della provincia (Petronio Celere), capo del potere amministrativo-militare, a chiedere al legato (Nonio Crispino), capo della legione militare, di distaccare una squadra per il tracciamento della galleria ed il legato risponde inviando Nonio Dato; poi è sempre il procuratore (Vario Clemente) a richiedere, quando il lavoro presenta una grave difficoltà, di nuovo Nonio Dato ed è ancora il legato (Valerio Etrusco) a rispondere positivamente. Una seconda osservazione è che la lettera di Nonio Dato alle autorità ha anche il tono di un'autodifesa, l'autodifesa del progettista che distingue le sue responsabilità da quelle degli esecutori: come ai giorni nostri. Una terza osservazione, infine, è che i lavori non venivano seguiti nella fase di esecuzione: chi aveva studiato e tracciato l'asse della galleria, tornando al proprio impegno di "miles", si disinteressava dell'esecuzione: Nonio Dato, una volta eseguito il tracciamento e consegnati i disegni al procuratore, torna a Lambaesis; questa assenza del progettista nella fase esecutiva doveva produrre gravi e frequenti errori, tenendo anche conto che i disegni dell'epoca non venivano redatti con un linguaggio univoco e che, comunque, non dovevano essere molti gli addetti ai lavori in grado di leggerli. In conclusione la vicenda è di notevole interesse perché non solo si apprendono gli aspetti formali e procedurali riguardanti la realizzazione di un'opera pubblica nell'antichità, ma anche perché si riconoscono i comportamenti dei principali attori della vicenda come invariati, perché legati alle immutabili responsabilità del ruolo.

PARTE SECONDA: ASPETTI GENERALI E DI SINTESI

1. Introduzione

L'esposizione svolta delle gallerie nel mondo antico merita una riflessione critica in sede di conclusioni al fine di valutare correttamente lo stato dell'arte nella costruzione delle gallerie raggiunto alla fine dell'era antica che tradizionalmente è fatta coincidere con la caduta dell'Impero romano (V secolo d.C.). Si ritiene opportuno condurre la riflessione esaminando tutto il materiale rappresentato e commentato, integrando ove necessario con altri esempi, nelle pagine che precedono alla luce dei seguenti aspetti:

Destinazione d'uso delle gallerie:

- minerario;
- funerario;
- idraulico;
- militare;
- stradale.

Realizzazione delle gallerie:

- progetto;
- tracciamento;
- esecuzione.

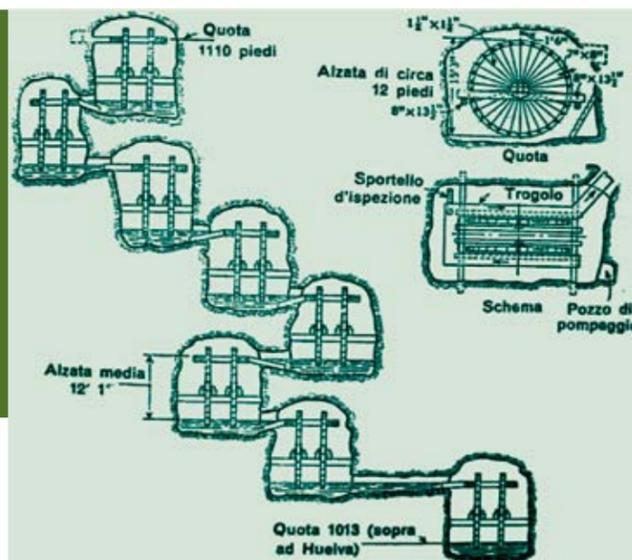
Prima d'iniziare ad esaminare i singoli aspetti è opportuno premettere il giudizio universalmente condiviso che le cono-

scenze e le abilità tecniche conseguite nel mondo romano alla fine del II secolo d.C. nell'arte del costruire gallerie rimarranno praticamente invariate sino al XVI secolo.

2. Destinazione d'uso delle gallerie

2.1. Generalità

Forse l'uomo preistorico ha iniziato a scavare nel sottosuolo per ampliare cavità naturali che già utilizzava per proteggersi dalle intemperie e, più in generale, da un ambiente ostile, per sotterrare i propri morti anche in forma organizzata (necropoli ipogee) oppure per disporre in luogo protetto ambienti dedicati al culto. Una finalità che si è manifestata parallelamente a queste indicate o forse in tempi precedenti è stata la coltivazione mineraria; l'uomo ha estratto i minerali affioranti che riteneva utili, li ha "seguiti" nel sottosuolo aprendo prima trincee a cielo aperto e scavando poi una rete di cunicoli orizzontali alla base di pozzi profondi; ha così dato inizio a quella che diventerà l'attività mineraria, intesa come significativa risorsa per la vita economica e culturale di una comunità. Ma la motivazione che nell'antichità ha più



2.2.1. Sistema di pompaggio dell'acqua in miniera usato dai romani per sollevare sino a 85 l/min a 30 m di altezza

condotto a realizzare gallerie, o meglio cunicoli, è quella di natura idraulica, sia per costruire acquedotti, interamente oppure in parte sotterranei, sia emissari di laghi al fine di controllare il livello dell'acqua nell'invaso proteggendo i terreni al contorno da distruttive inondazioni. Ultima motivazione in senso cronologico è quella stradale, ma anche ultima in termini di applicazioni; ragioni di sicurezza, infatti, consigliavano di eseguire lungo il tracciato, in alternativa agli scavi a foro cieco, "tagliate" nella roccia (via per montes excisa) per rendere possibile in ogni punto del percorso viario l'avvistamento tempestivo di eventuali presenze ostili; non a caso i primi tunnel stradali sono stati costruiti essenzialmente per uso militare (ad esempio, i sottoattraversamenti dei rilievi montuosi dei Campi Flegrei); in questi casi, infatti, il fine stesso comportava il rigoroso controllo del transito degli uomini e dei carri; finito l'impiego militare le gallerie rimanevano disponibili per usi civili.

È opportuno riflettere anche sull'aspetto tecnologico. È com-

prendibile che l'utilizzazione stradale sia arrivata per ultima perché l'esecuzione di gallerie per questo tipo d'uso richiede conoscenze e strumenti topografici più progrediti in quanto la strada, adibita all'epoca al transito dei carri, non può permettersi le "tolleranze" ammesse per gli acquedotti ed esige conoscenze ed utensili di scavo più efficienti di quelli richiesti dallo scavo di cunicoli di modesta sezione sia per acquedotti, sia per le miniere: la sezione stradale d'epoca doveva avere

una larghezza non inferiore ai 4-5 m per consentire il transito dei carri nei due sensi. Dunque le strade percorse dai veicoli del tempo ponevano limitazioni nella geometria del tracciato più esigenti di quelle poste dall'acqua in un condotto ed in aggiunta richiedevano sezioni decisamente più ampie.

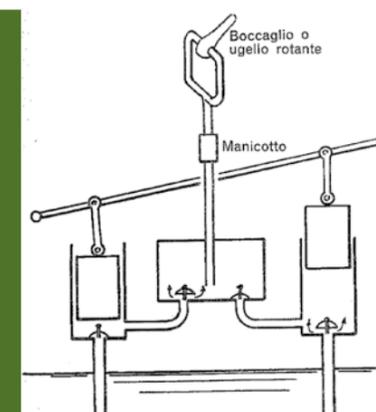
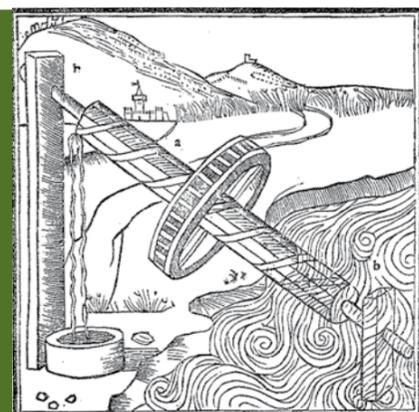
Di seguito si esaminano in dettaglio le diverse destinazioni d'uso.

2.2. Uso minerario

Preliminarmente si precisa che quanto verrà detto nel seguito riguarderà sia le cave (estrazione delle rocce), sia le miniere (estrazione dei minerali). I metodi di scavo in ambito minerario rimarranno inalterati dai tempi più antichi sino alla metà del XVII secolo d.C. (impiego della polvere nera), varieranno invece gli attrezzi di scavo in relazione agli sviluppi della metallurgia (dal bronzo all'acciaio).

Di seguito si rappresentano sinteticamente le tecnologie di scavo minerario come dovevano essere praticate a quei tempi. Si adotta nell'esposizione il presente storico anche per sottolineare quanto sopra detto che le tecniche minerarie sono rimaste inalterate per diversi secoli ed in buona parte ancora oggi sopravvivono.

Lo schema funzionale di una miniera si suddivide in accessi, circolazione, cantiere. Dai pozzi di accesso si diramano le



2.2.2. Pompa a coclea di Archimede (III secolo a.C.)

2.2.3. Pompa a valvole di Ctesibio (III secolo a.C.)

gallerie di carreggio principali e da queste le secondarie che conducono ai cantieri.

Quanto alle modalità di coltivazione a foro cieco si ricordano le coltivazioni per vuoti e le coltivazioni per frana.

Nelle coltivazioni per vuoti, si distinguono: (1) coltivazioni a camere isolate dove viene scavato il materiale utile compreso tra materiali non utili, creando in tal modo dei vuoti che si autosostengono; (2) coltivazioni a camere e diaframmi dove si estrae il materiale utile lasciando dei diaframmi di separazione tra le gallerie parallele che così si creano; (3) coltivazioni a camere e pilastri dove, estratto il materiale, rimangono dei pilastri a sostegno delle volte che delimitano le camere.

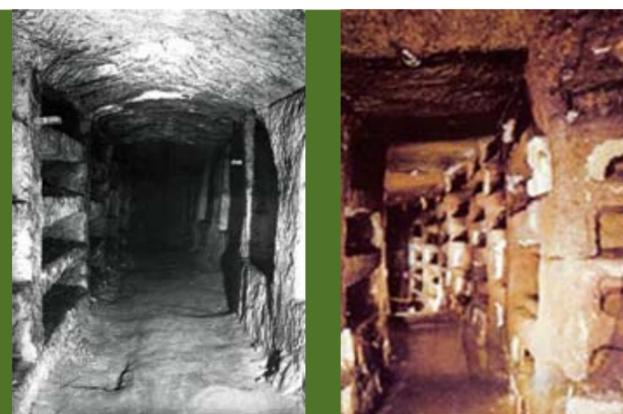
Nelle coltivazioni per frana si estrae tutto il materiale, non lasciando nemmeno i pilastri, come avviene nel metodo a camere e pilastri, lasciando così franare la roccia sovrastante, quando è possibile produrre subsidenze in superficie senza conseguenze alle preesistenze.

La metallurgia nel bacino del Mediterraneo, in particolare la greco-romana, riprende quella del Vicino Oriente durante la lunga fase dell'età del ferro che costituì la transizione dal rame-bronzo ai nuovi materiali ferro-acciaio. Il contributo dovuto ai Greci e ai Romani consiste nella produzione: (1)

del mercurio con le sue applicazioni per l'estrazione dell'oro; (2) della lega rame-zinco, cioè dell'ottone. Ai Romani, poi, si devono norme che disciplinavano le attività di miniera.

Ma la metallurgia non ha prodotto "l'industrializzazione" del mondo antico; rimase essenzialmente un'attività artigianale perché era una tecnica che impiegava il carbone di legna per la fusione dei materiali la cui disponibilità era limitata a causa di un consistente disboscamento già intervenuto nell'età classica. Questo spiega il motivo per cui nelle costruzioni civili e navali i metalli svolsero una funzione non rilevante. A tale proposito è opportuno citare l'immagine di uno storico russo del XX secolo che per evidenziare la natura prevalentemente agricola dell'economia di quei tempi rappresentava le fonderie e le miniere dell'epoca come "isole in un mare di campi e prati".

Però quelle poche miniere presenti nell'antichità svolsero un ruolo importantissimo addirittura nel decidere l'esito di una guerra o nell'intraprendere una campagna militare. Si ricordano le miniere d'argento del Monte Lavrio (vicino a Atene) che, come già detto, furono decisive nella battaglia di Salamina (480 a.C.) in cui i Greci sconfissero i Persiani grazie ad una rinnovata flotta navale finanziata con i proventi di quella risorsa. Non solo: l'Acropoli di Pericle è stata



2.2.5.-2.2.6. Due esempi di rete caveale a Roma (area con retino blu) sopra le gallerie di linea della Linea C

ricostruita sempre con quelle entrate. Un altro esempio è rappresentato da Annibale che per finanziare la campagna d'Italia (seconda guerra punica, 220 a.C.) raccolse i fondi dalle miniere d'argento di Cartagena nella Spagna meridionale. Nella stessa Spagna meridionale le miniere di Rio Tinto (vicino Siviglia) costituirono rifornimento di rame, oro e argento per i cartaginesi prima ed i romani dopo. In tabella la localizzazione delle miniere (il loro numero) da cui venivano nell'antichità estratti i minerali, argento-piombo, oro e rame con riferimento ai paesi che si affacciano nel bacino del Mediterraneo.

Un brevissimo cenno, infine, anche alle cavità scavate per la coltivazione dei materiali da costruzione; nel sottosuolo vulcanico delle città di Roma e Napoli, ad esempio, sono presenti reti articolate ed estese di cunicoli per l'estrazione

2.2.4. Tabella con indicazione dei minerali estratti nell'antichità, delle relative miniere e della loro localizzazione

METALLI	LOCALIZZAZIONE MINIERE	MINIERE IN ITALIA
ARGENTO-PIOMBO	Spagna (5); Francia (1); Italia (3); Grecia (3); Balcani (1).	Toscana; Sardegna; Alpi orientali
ORO	Spagna (6); Francia (1); Italia (1); Balcani (1); Grecia (3); Egitto (1)	Alpi centrali
RAME	Spagna (5); Francia (2); Italia (2)	Toscana; Sardegna

del tufo e della pozzolana; questa attività risale lontana nel tempo (sono noti cunicoli di cava per la costruzione delle mura serviane a Roma), ed è sopravvissuta sino alla fine dell'Ottocento. La tecnica esecutiva è quella già descritta per i cunicoli per l'estrazione dei minerali: si rinvengono sistemi di cunicoli di modeste dimensioni, ma anche camere voltate con pilastri di tufo che, "passata" dopo "passata", venivano ridotti di dimensioni (sempre al fine di estrarre maggiori quantitativi di materiale) sino a compromettere la stabilità delle volte che essi stessi sostenevano.

Nelle due figure in alto sono rappresentate, nelle aree con retino blu, reti caveali, note e rilevate; nelle aree adiacenti i colori stanno ad indicare la minore o maggiore probabilità della presenza in quei luoghi di cavità: si dovranno adottare provvedimenti di salvaguardia in vista del passaggio lungo la via Casilina, con modesta copertura al di sotto della rete di cunicoli, delle gallerie della linea C di Roma.

2.3. Funerario

Gli antichi Egiziani, spinti dalle loro credenze religiose, hanno realizzato opere in sotterraneo per destinarvi le tombe dei

defunti; la mastaba era la forma più elementare e più antica di costruzione funeraria costituita da un "gradone" fuori terra a forma di tronco di piramide e da un pozzo che dà accesso alla sua base a cunicoli e a camere che venivano allestite, oltre che come tombe vere e proprie, come cappelle rituali; nell'Antico Regno (3150-2055 a.C.) la mastaba si è evoluta in sistemi più complessi che hanno dato origine alle piramidi, come costruzione funerarie dei Faraoni, di cui si hanno le ben note testimonianze nell'area archeologica di Menfi; nel Recente Regno (1580-323 a.C.) le costruzioni funerarie si sviluppano soltanto in sotterraneo: ne danno evidenza i numerosi ritrovamenti che costituiscono l'area archeologica di Tebe (Valle dei Re); questi ultimi sono costituiti da un sistema articolato di cunicoli e di camere di grandi dimensioni per uno sviluppo complessivo sino a 200 m, come la tomba di Seti I, e con un tracciato in pianta che è diventato nel tempo sempre più regolare a partire da un allineamento "a gomito", cioè piegato nella parte terminale a 90°.

Le gallerie venivano scavate nella roccia calcarea a Melfi ed ancora nella roccia calcarea, ma anche nelle scisti per le gallerie più profonde, a Tebe; in entrambi i casi si tratta di rocce relativamente tenere che non presentavano grosse difficoltà di scavo aggredendo il fronte con gli utensili costi-

2.3.2-2.3.3. Catacombe di Priscilla a Roma Viste interne

2.3.1. Catacombe di S. Gennaro a Napoli Vista interna e schema planimetrico

tuiti dai tradizionali picconi, maglio, scalpello, ascia, etc., ma anche, nei tempi più recenti, da seghe a rame e "perforatrici" d'epoca; le sezioni delle gallerie sono voltate con piedritti verticali; la dimensione trasversale degli ambienti sotterranei raggiunge per i cunicoli 5 m per le camere voltate e pilastrate anche i 20 m. Altro esempio rilevante di uso religioso-funerario delle gallerie si ha a Roma nel II secolo d.C., 5 secoli dopo; qui e a quel tempo le comunità cristiane iniziavano a scavare gallerie sotterranee per dare sepoltura a tutti i loro defunti, indipendentemente dal censo o dall'importanza sociale del

morto; nell'esempio egizio, invece, le tombe erano destinate ai faraoni o agli alti dignitari.

I cimiteri ipogei che così venivano a formarsi sono stati chiamati catacombe; le più note sono quelle cristiane, ma si hanno testimonianze legate a comunità ebraiche (due a Roma), fenicie ed etrusche; vi sono catacombe anche a Napoli, Palermo e Siracusa, nell'Italia del centro-nord, in Francia (Parigi), e in Germania (Treviri); ne esistono anche in Spagna, Grecia, e nel nord Africa.

A Roma le catacombe più importanti sono quelle di San Callisto, di San Sebastiano, Sant'Agnese, San Pancrazio, San Lorenzo e di Priscilla (con gli affreschi cristiani più antichi); a Napoli, quelle di San Gennaro (a due livelli sovrapposti nella collina di Capodimonte), San Gaudioso, Sant'Eufebio e San Severo. Le catacombe, dato che la legge romana, proibiva la sepoltura dei defunti entro le mura della città, consentivano di contenere i cimiteri in uno spazio ristretto nella più vicina area extraurbana, lungo le vie consolari, tenuto conto che l'inumazione dei corpi, invece della cremazione di usanza pagana, richiedeva più spazio; con la soluzione in sotterraneo si risolveva, inoltre, il problema della riservatezza dei riti nel periodo più difficile della persecuzione religiosa, mentre, con l'affermazione del Cristianesimo come religione di stato, alla sepoltura sotterranea si cominciò a preferire la sepoltura subdiale (sopra terra), meno onerosa; comunque lo scavo delle catacombe continuò fino alla prima metà del V secolo e si estinse completamente quando fu permessa la sepoltura entro le mura della città (IX secolo).

Le catacombe sono solitamente scavate nel tufo (Roma, Napoli), roccia tenera facilmente lavorabile, e possono presentarsi anche su più livelli; sono costituite da lunghi cuni-

coli stretti e bassi (2,5 x 2,5 m²), gli ambulacri, scavati da dieci a trenta metri sotto la superficie, intercomunicanti ai vari livelli tramite ripide rampe di scale; possono raggiungere lunghezza complessiva di qualche chilometro; sulle pareti tufacee venivano ricavati i loculi, nicchie rettangolari disposte su più file. La luce e l'aria filtravano attraverso dei pozzi verticali quadrati, chiamati lucernari, che erano serviti durante lo scavo per l'estrazione del materiale e per multi-

plicare i fronti d'attacco in modo da ridurre i tempi di costruzione e contenere gli errori di tracciamento. Lo scavo delle catacombe era affidato ai "fossore" che avevano anche il compito della gestione e manutenzione delle stesse; questi scavavano alla luce delle lampade ed estraevano la terra mediante sacchi fatti passare, come già detto, attraverso i lucernari; gli attrezzi utilizzati dai fossore per lo scavo erano la dolabra fossoria (particolare tipo di piccone), l'ascia, la mazza e lo scalpello; per il tracciamento il compasso, la pala, la groma.

La ricerca archeologica s'interessa delle catacombe con Antonio Bosio (1575-1629), diviene ricerca sistematica con Giovanni Battista de Rossi (1822-1894), che è considerato il fondatore dell'Archeologia Cristiana.

2.4. Uso idraulico

Come già detto, la motivazione che nell'antichità ha più spinto a realizzare gallerie è quella di natura idraulica; non è un caso che il primo esempio di galleria che viene ricordato sia quella di Ezechia che riforniva d'acqua la città di Gerusalemme; il secondo l'acquedotto di Eupalino nell'isola di Samo, il terzo il drenaggio del lago di Copais in Grecia, progettato per salvaguardare i terreni, circostanti il lago,

dalle periodiche inondazioni; non è un caso, infine, che tra le opere d'ingegneria più grandiose dell'antichità sia ricordata la galleria per il drenaggio del lago Fucino, costruita sotto l'imperatore Claudio, confermando la descrizione ammirata che ne dà Plinio nella sua *Naturalis Historia*.

Le motivazioni di tipo idraulico sono prevalenti sulle altre perché sono legate a due aspetti essenziali che l'acqua rappresenta per una comunità: il primo aspetto determina domanda di opere di adduzione, come gli acquedotti, il secondo determina domanda di opere di difesa come i drenaggi; altre ragioni sono di carattere tecnologico: gli acquedotti ed i drenaggi richiedono sezioni di scavo drasticamente più contenute (se necessario può essere costruito più di un cunicolo) rispetto a qualsiasi altra destinazione d'uso ed inoltre permettono errori esecutivi consistentemente maggiori.

Il più antico acquedotto di cui si conserva testimonianza archeologica è l'acquedotto dell'isola di Samo, progettato, come testimonia Erodoto, da Eupalino nel 550 a.C.; è anche la prima galleria scavata per l'intera lunghezza (1 km) a partire da due soli imbocchi ubicati sui versanti opposti della montagna; in verità il primato è conteso da quella di Ezechia (700 a.C.), che però è lunga la metà e sembra abbia richiesto minor abilità esecutiva per la presenza di una vena d'acqua che guidava lo scavo dei minatori.

La galleria di Eupalino rappresenta tuttora un enigma perché non si è data sicura risposta al modo in cui sia stata scavata a partire da due soli imbocchi con errori costruttivi relativamente modesti, 6 m in pianta 0,90 m in altezza; a quel tempo non era ancora noto il metodo di Erone (I secolo a.C.), che, comunque, si è rivelato non applicabile nel caso in esame perché avrebbe portato ad errori più grandi di quelli real-

mente misurati; si è discusso sui due metodi fondamentali di tracciamento che si riassumono nelle espressioni: salire sulla montagna, aggirare la montagna.

Con il primo metodo si dispongono i picchetti ascendendo lungo il profilo del monte, con il secondo si realizza una poligonale nel piano orizzontale, aggirando il monte; vi è poi una terza posizione, la più recente (2004) che può definirsi mista, proposta da due noti matematici, che ritengono che

si sia adottato il primo criterio per definire l'allineamento unico di scavo per i due imbocchi (costruendo sulla sommità del monte una torre per trapiantare sui due versanti) ed il secondo criterio per riportare la quota da un versante all'altro con una poligonale nel piano orizzontale, ma non più "alla Erone" come successione di triangoli rettangoli, ma con l'unico vincolo che sia possibile trapiantare la quota da un vertice al successivo e quindi con un contenuto numero di lati in modo da ridurre l'errore complessivo.

In ogni caso l'esempio di Eupalino non è stato seguito per diversi secoli, sino a quando le aumentate conoscenze matematiche e la migliorata strumentazione topografica non hanno consentito un tracciamento più sicuro; infatti il terzo esempio, come già detto, è il drenaggio del lago di Copais dove il progettista Cratete (300 a.C.) propone lungo il profilo numerosi pozzi, che moltiplicando i fronti di attacco consentono tracciamenti meno problematici ed anche tempi esecutivi più ridotti, ma, nel contempo, si discosta da un tracciato planimetrico rettilineo, al fine di contenere la profondità dei pozzi stessi.

Anche nella Roma del IV secolo a.C. vi erano conoscenze ed abilità come quelle viste nella Grecia antica; si ricorda l'emissario, ancora in funzione, del lago di Albano, realiz-

zato per regolare il livello delle acque del lago, che, dopo un lungo percorso, sfocia nel Tevere come fosso dell'Acqua Acetosa; l'emissario nella prima parte della lunghezza di 1,5 km, è un cunicolo di sezione 1,2 x 2 m², scavato dai romani nel peperino nel corso di un anno, dal 398 al 397 a.C., secondo lo storico Tito Livio; il cunicolo ha inizio, con scavo sotto il ciglio del cratere, a partire dall'opera di presa (Incile) che è un manufatto monumentale a pianta quadrata, ed ha

sbocco in località "le Mole"; lungo il tracciato sono stati previsti cinque pozzi sempre con la funzione di semplificare e rendere più rapida la costruzione del cunicolo.

Il problema di contenere il numero e la profondità dei pozzi era, ovviamente, tanto più sentito quanto più alto era il monte da sottopassare; tipico è l'esempio del drenaggio del lago Fucino (lunghezza 6 km circa): sotto i campi Palentini con coperture sulla galleria di 85 m i pozzi sono numerosi, mentre sotto il monte Salviano dove si raggiungono coperture di 300 m, si hanno pozzi soltanto a bassa quota sui due versanti; si raggiunge il numero di 40 pozzi, con uno sviluppo complessivo di oltre due volte la lunghezza della galleria.

Parlando di acquedotti in epoca romana si deve necessariamente ricordare la figura di Sesto Giulio Frontino (30 d.C. circa – 103 o 104) il più famoso Curator aquarum dell'antichità, nominato a questa carica nel 97 d.C. sotto l'impero di Nerva; Frontino si occupò di nove acquedotti per una lunghezza complessiva di 300 km di cui molti in galleria, per cui è considerato il più importante esperto di gallerie dell'antichità; Frontino, oltre ad essere un realizzatore, quindi un ingegnere, forse il più completo ingegnere del mondo romano, ha anche il merito di aver lasciato dei trattati scritti con un certo rigore tecnoscienziistico, ancorché semplici e forse un

po' sciatti sotto l'aspetto letterario, riguardanti l'agrimensura (si hanno soli frammenti) e gli acquedotti (*De aquae ductu urbis Romae*); questi due trattati confermano le sue notevoli competenze sia in materia di topografia, sia di idraulica.

Altro esempio di galleria per acquedotto costruita dai romani è la galleria di Saldae (II secolo d.C.) che conferma il problema del tracciamento ancora come centrale nel procedimento costruttivo; in questo caso la lunghezza è poco meno di 500 m con due fronti d'attacco; entrambe le squadre di minatori hanno perso l'orientamento nell'avanzare con il rispettivo fronte di scavo; viene richiamato il progettista assente, Nonio Dato, per porre rimedio ad un errore, che, non risolto, avrebbe comportato l'esecuzione di due gallerie distinte. Ultimo esempio è l'acquedotto di Adriano, che fu scavato per rifornire Atene con l'acqua delle sorgenti dei Monti Pentelico e Parnaso; è lungo 15 miglia con pozzi a distanza di 40 m ed ha sezione 2 x 3 m².

2.5. Militare

Nel I secolo a.C., ai tempi della guerra civile tra Ottaviano e Sesto Pompeo, l'architectus romano Lucio Cocceio su richiesta di M. Vipsanio Agrippa, luogotenente di Ottaviano, progettò nei luoghi dei campi Flegrei una rete stradale per uso militare al fine di realizzare collegamenti rapidi con il centro delle operazioni navali, il Portus Julius, costituito dal sistema dei due laghi, Averno e Lucrino, già collegati dallo stesso Cocceio per mezzo di un canale artificiale largo 50 m. Era necessario eliminare l'ostacolo costituito dalla collina di Posillipo, che costituiva impedimento per i percorsi provenienti da sud-est, e l'ostacolo costituito dal monte di Cuma, dal monte Grillo e dal monte Ginestra per i percorsi

provenienti da nord-ovest, principalmente dal porto di Cuma; il primo obiettivo viene conseguito con le gallerie, crypta neapolitana e grotta di Seiano, il secondo con le gallerie, crypta romana, galleria di Cocceio e la grotta della Sibilla.

La tecnologia del tempo permetteva di effettuare scavi di gallerie di più ampie sezioni rispetto ai cunicoli per acquedotti e di drenaggio; si passa così da sezioni di 5 m² a più di 30 m² per consentire il passaggio di due carri nei due sensi di marcia; sono migliorati gli utensili di scavo e gli strumenti per il tracciamento topografico.

Le gallerie indicate sono tutte nate per fini militari, tranne la galleria di Seiano che nasce per uso della villa di Plubio Vedio Pollione, patrizio romano che, poi, cedette la villa ad Ottaviano; villa che un secolo dopo divenne di proprietà di Lucio Elio Seiano, prefetto di Tiberio.

Le gallerie nominate hanno caratteristiche comuni: (1) percorsi rettilinei, tranne la crypta romana che per salvaguardare preesistenze ha un tracciato poligonale; (2) sezioni trasversali originarie, a pareti verticali sormontate da volte a botte, della larghezza di 4,50 m ed altezza di 2,50/3,00 m; (3) terreni attraversati costituiti prevalentemente dal tufo giallo, prodotto piroclastico dei Campi Flegrei; (4) assenza di rivestimento con eccezione di alcuni passaggi in terreni sciolti (crypta romana, grotta di Seiano) che hanno richiesto tratti di gallerie rivestite in opus reticulatum.

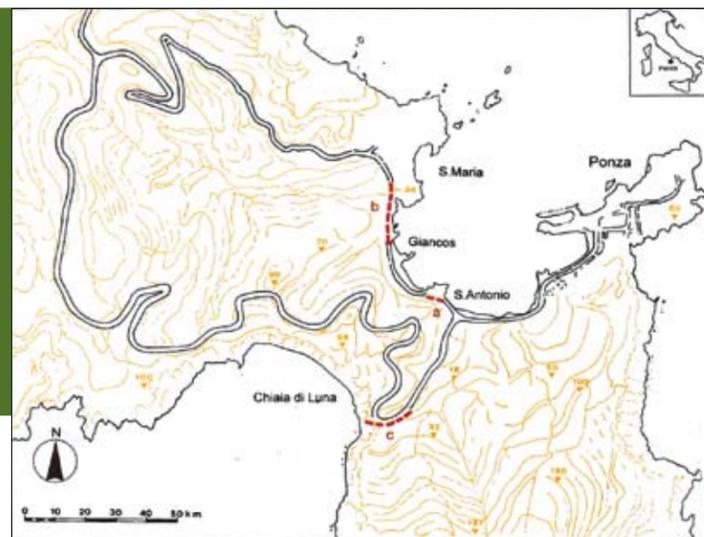
Le gallerie militari di cui si è parlato hanno, però, una caratteristica particolare che le rende del tutto simili per gli aspetti costruttivi e funzionali alle gallerie per uso civile; sono infatti concepite per migliorare i collegamenti stradali e quindi consentire spostamenti più rapidi, in territori che non sono teatro di guerra, ai contingenti militari con i loro carri al

seguito; le loro esigenze funzionali richiedono ampie sezioni e non hanno carattere provvisorio ma definitivo che vuole una maggior cura sia sotto l'aspetto statico, sia sotto l'aspetto delle finiture (eventuale rivestimento); questo è il motivo per cui fanno la loro comparsa nel primo secolo d.C., quando la tecnologia era in grado di realizzarle.

Diverso è il caso dei cunicoli scavati per fini specificatamente militari, quali quelli che consentivano di entrare direttamente all'interno delle mura di città assediate, oppure di fermarsi sotto le mura al fine di produrre dissesti nell'apparato murario tali da consentire l'ingresso degli assediati, oppure d'intercettare, all'esterno delle mura i cunicoli adduttori dell'acqua alla città; ancora, i controcunicoli scavati, questa volta dagli assediati, per intercettare i cunicoli degli assediati, oppure per produrre dissesti nei terrapieni che sostenevano le macchine di assedio ed infine per il collegamento con la città di fortificazioni esterne preventivamente realizzate.

Questi cunicoli avevano dimensioni contenutissime, a volte consentivano il passaggio di un sol uomo 1,50 x 1,70 m², venivano scavati generalmente in terreni coesivi teneri, perché consentivano rapidità di esecuzione, e con basse coperture a meno che la stratigrafia non avesse consigliato di approfondire i pozzi di attacco per la presenza di terreni, più adatti a quel tipo di scavo, in profondità.

La disciplina che studia l'arte dell'assedio è la poliorcetica e ossidionali vengono chiamate le attività ed i mezzi che permettono di conseguire oppure contrastare le finalità dell'assedio stesso; vi sono i trattati di poliorcetica da cui desumere i dettagli riguardanti i cunicoli "ossidionali"; in questa sede sarà sufficiente aggiungere qualche particolare d'interesse a quanto già detto sulle diverse tipologie di cunicolo.



2.6.1.-2.6.2. Isola di Ponza - Planimetria con evidenziate in rosso le tre gallerie a, b, c. In alto, la Galleria Chiaia di Luna: vista interna

Un primo particolare d'interesse riguarda i cunicoli che vengono fermati sotto le mura della città assediata per provocarne un dissesto localizzato: i minatori, per avere il tempo di mettersi in salvo mentre effettuavano la demolizione, disponevano sostegni in legno e materiale combustibile in modo da produrre un crollo ritardato appiccando alla fine il fuoco.

Un secondo particolare riguarda i cunicoli di difesa per intercettare quelli di offesa: si eseguiva un fossato all'interno della città, lungo le mura e in loro vicinanza, disponendovi, opportunamente distanziate, delle lamine metalliche; quella che entrava in vibrazione segnalava il probabile scavo, all'esterno delle mura, di un cunicolo degli assediati, che veniva raggiunto da un controcunicolo scavato secondo la direzione individuata dalla lamina; in tempi successivi, al posto delle lamine metalliche, venivano adoperate delle anfore che davano l'avvertimento, non più con la vibrazione, ma con il suono. Questi cunicoli hanno evidenza storica già nel 550 a.C. con la descrizione di Enea Tattico, autore di un trattato di poliorcetica (IV secolo a.C.), dell'assedio della cit-

tà di Calcedonia da parte dei persiani di Dario, che appunto fecero ricorso a cunicoli che avevano esito nella piazza della città; infine, ricordando l'Antro della Sibilla, appare opportuno osservare che questa galleria è stata scavata come opera preventiva di difesa della città in occasione dell'invasione della costa da parte dei soldati di Narsete (V secolo d.C.): sono i numerosi sfondi trasversali della galleria, con sbocco sul versante della collina che guarda il mare, a suggerire questa ipotesi.

2.6. Stradale

Non vi è sostanziale differenza, come detto, tra le gallerie militari realizzate, come quelle dei campi Flegrei, per gli spostamenti delle truppe e le gallerie stradali realizzate per scopi civili: le esigenze funzionali, che determinano le dimensioni della sezione trasversale, sono le stesse; per questo motivo le prime, una volta assolto al compito militare, venivano destinate, se non dismesse, ad uso civile: è accaduto per la crypta neapolitana, per la grotta di Cocceio e per la crypta romana, come da documenti storici.



2.6.3. Porte de Donnaz

Tuttavia si conferma la poca propensione nel mondo antico nel costruire questo tipo di manufatti che non permetteva l'osservazione a distanza del transito delle persone, come invece consentito dalle così dette vie "tagliate attraverso il monte"; questo spiega il numero limitato di esempi di cui si ha testimonianza storica e diretta; la diretta più nota è la galleria del Furlo di Vespasiano (I secolo d.C.): un manufatto che non raggiunge i 40 m!

Altri esempi di gallerie stradali, alcune di queste di lunghezza più consistente della precedente, sono le tre gallerie dell'isola di Ponza, di età augustea, tutte e tre, come quella del Furlo, ancora attive, segno che le esigenze della viabilità del tempo sono rimaste ad oggi inalterate; le prime due, la galleria di Giancos (lunga 25 m) e di S. Maria (lunga 220 m) danno continuità alla viabilità longitudinale lungo il versante orientale, mentre la terza, la galleria di Chiaia di Luna (lunga 170 m) assicura il collegamento viario trasversale tra i due versanti; le tre gallerie sono scavate attraverso materiale vulcanico, tufaceo le prime due, la terza per metà



2.6.4. Porta di Besançon

attraverso roccia granitica.

Ancora, lungo la via Clodia la Cava Buia di Norchia (Viterbo), ipotetico tratto in galleria; le due gallerie di Pietra Pertusa, maggiore e minore, lungo strade provenienti da Veio in prossimità della via Flaminia (Sacrofano), la maggiore (350 m) disposta trasversalmente alla via consolare, la minore (120 m) longitudinalmente; la galleria del Casale della Marcigliana (Settebagni, Roma) che doveva costituire un percorso alternativo (110 m) alla via Salaria, realizzata in età augustea; ed infine lungo la via Flacca, strada litoranea tra Sperlonga e Gaeta la galleria di Punta Trepani (II secolo a.C.) scavata attraverso una friabile calcarenite.

Dopo i grandi tunnel dei Campi Flegrei e i tunnel minori sopra elencati, si ricordano per completezza le Porte, da intendersi come archi scavati nella roccia; la Porte de Donnaz in Val d'Aosta, vicino al villaggio omonimo che è disposta

sulla via publica delle Gallie lungo un tratto di via tagliata nella roccia; la Porta di Besançon (di non certa epoca romana) che attraversa uno sperone di roccia su una strada che dalla Francia conduce in Svizzera; la Pierre Pertuis (Jura, Svizzera), la porta di maggior importanza, che è un traforo effettuato su uno sperone disposto trasversalmente alla via: ha una larghezza di 12 m, un'altezza di 8 m ed una lunghezza di appena 3 m; infine sulla via Grenoble-Briançon la Porta di Bons che ha caratteristiche del tutto simili alla Porte de Donnaz.

3. Realizzazione delle gallerie

3.1. Progetto

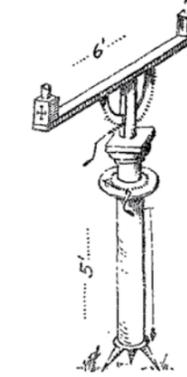
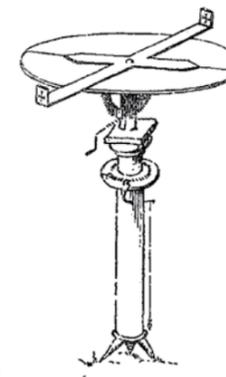
Il progetto di una galleria nell'antichità era essenzialmente il progetto del suo tracciato planoaltimetrico; è rimasto così sino alla fine della prima metà del secolo scorso: stabilita la forma e le dimensioni della sezione trasversale in base a criteri dettati dall'esperienza ed in base alle esigenze funzionali si doveva riportare sulle carte topografiche, dove erano indicate le isoipse, il tracciato planimetrico disegnandone, poi, il profilo altimetrico; gli aspetti legati all'avanzamento erano lasciati all'esecuzione che decideva i provvedimenti da assumere in relazione alla natura dei terreni attraversati ed all'esperienza dei suoi minatori.

Nell'antichità si evitavano, per quanto possibile in base alle conoscenze geologiche dell'epoca, i tracciati sia nei terreni sciolti, sia in quelli molto consistenti; infatti le gallerie e i cunicoli di tutti i casi esaminati sono stati in generale scavati, senza prevedere rivestimento, in terreni tufacei o calcarei; passaggi in terreni difficili si dovevano comunque presen-

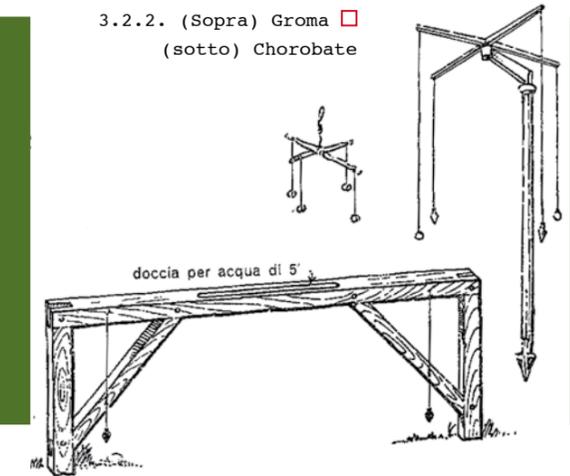
tare sia per le indeterminazioni di carattere geologico sicuramente più consistenti all'epoca, sia perché motivi di carattere funzionale potevano porre vincoli al tracciato (si pensi alla Crypta Romana); ad esempio, nello scavo dell'emissario del lago Fucino, per la presenza di sabbie e ghiaie, è stato necessario rivestire alcune tratte, addirittura riducendo la sezione idraulica, oppure nello scavo della galleria del Furlo o della galleria Chiaia di Luna a Ponza la particolare durezza della roccia calcarea, nel primo caso, oppure della roccia granitica, nel secondo, avrà richiesto (s'immagina) un forte incremento della mano d'opera: in tutti i casi ricordati, in questi passaggi, si saranno dovuti sostenere consistenti oneri aggiuntivi, non solo per gli aumentati magisteri, ma a causa delle più ridotte velocità di avanzamento.

Il progetto del tracciato, in assenza di documentazione topografica dei luoghi, doveva procedere con continui sopralluoghi riportando di volta in volta sul terreno opportuni contrasegni (picchetti) che materializzavano la soluzione prescelta; il tracciamento non doveva essere un momento distinto dalla progettazione, ma doveva avvenire in un'unica fase: in altre parole la progettazione del tracciato era il tracciamento. Di seguito si ripropongono tre esempi che confermano la centralità del tracciamento nel progetto delle gallerie:

- 2500 anni fa Eupalino ha determinato con metodi ancora non completamente chiariti la direzione di scavo e le quote dei due imbocchi disposti sui due versanti del monte Kastro: la genialità del progettista viene oggi giustamente misurata con riferimento a questo aspetto, tenuto conto delle modeste conoscenze matematiche e dell'ancor più modesta strumentazione per il rilievo disponibili a quel tempo;
- tre secoli dopo Eupalino, Cratete ha previsto, proprio per



3.2.1. Diottra □



3.2.2. (Sopra) Groma □
(sotto) Chorobate

rendere semplice il tracciamento, un rilevante numero di pozzi verticali, mitigando gli oneri di questa scelta con la ricerca del tracciato più conveniente; ricerca che lo ha condotto a discostarsi dal più elementare e semplice tracciato rettilineo;

- nel II secolo d.C. si è svolta la nota vicenda di Nonio Dato che sottolinea quanto fosse rilevante, anche nell'età imperiale, il problema del tracciamento nella realizzazione delle gallerie.

Il progetto della sezione di scavo avveniva secondo una tradizione ormai consolidata all'epoca dei romani: sia le gallerie, sia i cunicoli sono costituiti da una volta a botte sostenuta da pareti verticali con l'eccezione dell'Antro della Sibilla, dove la volta è a sezione trapezia, ma in questo caso si ritiene che quest'ultima sia di più antica esecuzione etrusca; in alcune gallerie dei Campi Flegrei le imposte della volta sono arretrate rispetto al filo verticale delle pareti, formando un gradino: indubbiamente Cocceio doveva avere qualche idea sul flusso delle tensioni intorno ad un'apertura! Ancora, se si confrontano le due gallerie del Furlo, la maggiore e la minore, si riconosce che vi è un rapporto di scala, in particolare appare conservato il rapporto freccia/

luce della volta, confermando le conoscenze dei romani sul comportamento statico delle volte.

Si ricorda, infine, nuovamente la vicenda di Nonio Dato per trarne un'ulteriore interessante informazione, questa volta sulla documentazione progettuale; Nonio Dato, eseguito il tracciamento, consegna gli elaborati di progetto al procuratore della provincia, poi ritorna a Lambaesis; anche all'epoca, dunque, ai documenti progettuali si attribuiva valore "legale" che veniva conseguito con la formale consegna all'autorità: non molto diverso da quanto è previsto oggi dalle normative vigenti per il deposito ufficiale dei progetti.

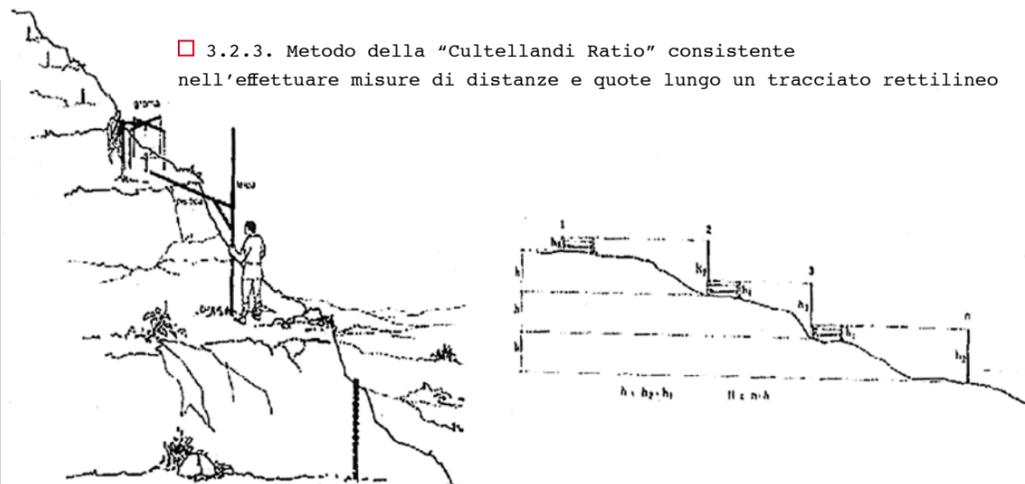
3.2. Tracciamento

Si tratterà essenzialmente della strumentazione per eseguire i rilievi di cui si disponeva nel mondo antico e dei metodi di rilievo.

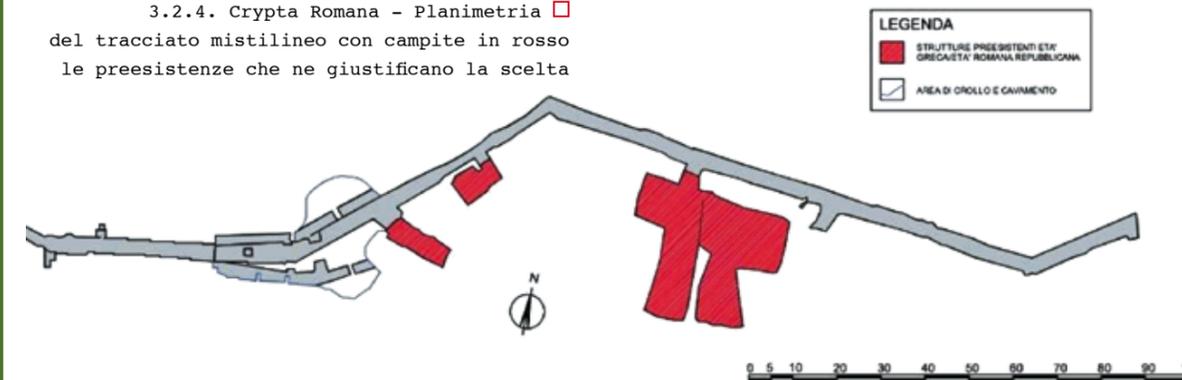
La strumentazione di cui si ha conoscenza è costituita da tre strumenti: la diottra, la groma, la chorobate.

La **diottra**, inventata da Erone (I secolo a. C.), è nella sua essenza un mirino costituito da un'asta orizzontale, che ruota attorno ad un asse verticale passante per il suo centro, munita alle due estremità di due piatti forati disposti in modo

3.2.3. Metodo della "Cultellandi Ratio" consistente nell'effettuare misure di distanze e quote lungo un tracciato rettilineo



3.2.4. Crypta Romana - Planimetria del tracciato mistilineo con campite in rosso le preesistenze che ne giustificano la scelta



che sia possibile trapiantare attraverso i due fori al fine d'individuare un allineamento; stabilita una direzione come riferimento, si valuta l'angolo, su un piano graduato che un'altra data direzione forma con la prima; in verità la diottra doveva essere uno strumento più complesso, ma il libro di Erone, che la descrive in dettaglio, è pervenuto incompleto e pertanto non è possibile dare ulteriori indicazioni.

La **groma** consente di tracciare due allineamenti tra loro ortogonali ed è costituita da:

- la stelletta: è una croce metallica costituita da due aste ortogonali di uguale lunghezza da disporsi nel piano orizzontale; porta alle estremità quattro fili a piombo, al centro presenta un perno verticale che verrà inserito nel rostro descritto al punto che segue;
- il rostro è un'asta metallica che porta all'estremità due cilindri ad asse verticale: in un cilindro viene inserito il perno della stelletta, nell'altro viene inserita l'estremità superiore del ferramento descritto al punto che segue;
- il ferramento è un'asta metallica da disporsi in verticale; presenta inferiormente un puntale per l'infissione nel terreno e superiormente un innesto nel cilindro del rostro per il sostegno dello stesso e quindi dell'intero strumento.

Si materializza un allineamento trapiantando attraverso due

fili contrapposti (appartenenti alla stessa asta della stelletta) e disponendo due metae secondo questa direzione; si riguarda attraverso gli altri due fili contrapposti e si dispongono altre due metae per materializzare la direzione ortogonale; dato che la stelletta può ruotare nel piano orizzontale tramite il perno inserito nel cilindro del rostro, può determinarsi qualsiasi coppia di allineamenti ortogonali tra loro, secondo le richieste del particolare problema topografico.

La **chorobate** è una livella costituita da un telaio in legno composto da una tavola lunga 3 m e da due supporti terminali; la tavola, che verrà disposta in orizzontale, porta superiormente una scanalatura dove verrà versata l'acqua; porta, inoltre, in prossimità dei supporti due fili a piombo per ciascuna estremità, sui due lati della tavola.

Con l'ausilio della groma e della chorobate, nonché di paline è possibile riportare sul terreno, adottando il metodo della "cultellandi ratio" (coltellazione rettilinea), tracciati rettilinei (salendo la montagna) misurando distanze e quote, oppure effettuare le poligonali di Erone, disposte su un piano orizzontale (aggirando la montagna) e costituite da una successione di lati, ciascuno ortogonale al consecutivo, misurando distanze e controllando che la quota rimanga invariata.

Entrambi i metodi possono essere usati per effettuare il trac-

ciamento di gallerie ad asse rettilineo; in questo caso il problema del tracciamento può porsi nei seguenti termini: noti i punti d'imbocco sui due versanti, determinare l'asse della galleria, ovvero la direzione unica di scavo dei due fronti di attacco, la lunghezza della stessa e la differenza di quota tra i due imbocchi.

Con il metodo della "cultellandi ratio" è possibile procedere solo se si conosce, in qualche modo in via preliminare, la direzione dell'asse della galleria; in tal modo, partendo da un imbocco si arriva all'altro, salendo la montagna, e determinando, per somme successive di distanze, la lunghezza della galleria e, per somme algebriche successive di dislivelli, la differenza di quota tra i due imbocchi.

Con il metodo di Erone è invece possibile, aggirando la montagna, collegare un imbocco con l'altro, riportato sul piano orizzontale del primo, e determinare i lati del triangolo rettangolo di cui l'asse della galleria è l'ipotenusa: questi lati sono paralleli alle due direzioni ortogonali della poligonale e le loro lunghezze si ottengono per somme consecutive (tenendo conto algebricamente del senso di percorrenza) delle lunghezze dei corrispondenti lati della poligonale stessa; poi, si determina (Pitagora) la lunghezza della galleria, si materializza, con il principio di similitudine tra triangoli, la

direzione di scavo dietro ciascun imbocco e si misura, infine, la differenza di quota tra i due imbocchi.

In sostanza è il "problema di Eupalino" che ritorna anche in età tardo romana, ma in un contesto tecnico-culturale diverso per le migliorate conoscenze matematiche e la migliorata strumentazione; d'altra parte l'esecuzione di gallerie per uso stradale, come quelle dei Campi Flegrei, aveva come presupposto l'esecuzione di un tracciato senza significativi errori: non erano certo accettabili i disallineamenti ed i salti di quota dei cunicoli idraulici dell'età precristiana!

Non sempre si può applicare indifferentemente uno dei due metodi: in molti casi vi è un impedimento nell'aggirare la montagna, mentre è agevole "scalarla"; è il caso, ad esempio, della Crypta Neapolitana e della grotta del Seiano che sottoattraversano la collina di Posillipo che è un rilievo di modesta altezza mentre si estende come promontorio trasversalmente sino al mare; anche per le altre gallerie dei Campi Flegrei si può ipotizzare che si sia adottato il metodo di "salire la montagna".

Sin qui si è trattato il caso di gallerie ad asse rettilineo, ma per casi diversi come ad esempio la crypta romana in cui, per vincoli di tracciato, costituiti da preesistenti pozzi di luce ed una cisterna nonché, in superficie, dal tempio di Apollo, si è

eseguito un tracciato poligonale a quattro lati, non vi sono dati storici che documentino i criteri di tracciamento e le modalità di scavo; probabilmente in questi casi si saranno eseguiti pozzi intermedi come chiaramente espresso nel più volte richiamato progetto dell'emissario del lago di Copais sviluppato da Cratete nel III secolo a.C.; mentre nel caso della galleria del Furlo la contenuta lunghezza (40 m) ha permesso il controllo "a vista" del tracciamento.

Oltre al tracciamento esterno sarà stato necessario effettuare anche un altro all'interno in fase di avanzamento per garantire che la direzione dello scavo rimanesse quella individuata con il rilievo esterno e che il profilo della galleria rispettasse le indicazioni di progetto; con gli strumenti descritti portati all'interno era possibile, sospendendo le lavorazioni all'interno del cavo, effettuare questi controlli e stabilire dei riferimenti in posizione tale che non venissero "disturbati" dalle successive attività di scavo.

Riflettendo sulle possibilità del rilievo interno riesce più facile comprendere come sia stato possibile effettuare lo scavo della crypta romana, anche senza ricorrere a pozzi intermedi, dato che con gli strumenti di cui disponevano era possibile orientare diversamente la direzione di avanzamento secondo le previsioni di un progetto preliminarmente svolto.

3.3. Esecuzione

Gli strumenti di scavo, nell'età antica, hanno subito una significativa evoluzione in relazione all'evoluzione tecnologica: il passaggio dal bronzo al ferro è stato decisivo nel migliorare l'efficienza degli utensili e quindi delle prestazioni di scavo; tuttavia nei tempi successivi, dal Recente Regno egizio, all'età imperiale romana e sino all'introduzione della

polvere nera, non vi sono state significative variazioni.

Nella crypta romana sulla parete della galleria sono stati incisi gli utensili adoperati per lo scavo: il piccone, lo scalpello, l'ascia a doppia lama ed il maglio; ma, indipendentemente da questa fonte, la testimonianza più evidente è costituita dalle tracce lasciate dagli strumenti sulle pareti della galleria finita e ancor più gli strumenti che ancora oggi usano i cavamonti napoletani nello scavo del tufo giallo.

Si può ipotizzare che nel caso di rocce di maggior consistenza possano essere stati adoperati arieti oppure machinae basate sul principio della leva per moltiplicare la potenza del braccio umano, quali megamagli e megapicconi, oppure si possa aver fatto ricorso alla tecnica del "fuoco al fronte", già dettagliatamente descritta, di cui si è avuta prima notizia da Agatharchides, successivamente confermata e precisata da Vitruvio.

Quanto alle modalità di scavo si deve ritenere che i Romani abbiano proceduto, come ovvio, a piena sezione per i cunicoli di contenute dimensioni quali quelli per uso idraulico, mentre per le gallerie stradali abbiano prima scavato la calotta e dopo lo strozzo: è il metodo belga ante litteram; tale ipotesi è sostenuta non solo dalla riflessione che procedendo dall'alto al basso sia il modo più spontaneo e conveniente di operare poiché, diversamente, i minatori avrebbero dovuto allestire impalcati provvisori per raggiungere le parti alte dello scavo, ma per testimonianza diretta riscontrata in alcune gallerie dei Campi Flegrei (grotta di Cocceio, ad esempio) dove la presenza del gradino tra volta e pareti indica appunto questo modo di procedere.

L'Antro della Sibilla, poi, è un altro chiaro esempio del procedere con la tecnica del ribasso, questa volta in due tempi

marcatamente distinti: la galleria, quando è stata costruita dai Sanniti (IV-III secolo a.C.), doveva essere costituita soltanto dalla volta a sezione trapezia, poi, in età romana antica è stata ribassata con lo scavo dello strozzo.

È anche molto probabile che, per sopperire alle modeste conoscenze geologiche del tempo, abbiano spesso utilizzato la tecnica del cunicolo pilota, con il cunicolo posizionato nella parte alta dello scavo.

I minatori romani, nell'attraversamento di terreni sciolti, erano perfettamente in grado di approntare armature provvisorie in legname; poi, di seguito i muratori realizzavano il rivestimento definitivo in opus coementicium per la volta ed in opus incertum o reticulatum oppure in opus vittatum per le pareti (piedritti); esempi di questo tipo d'interventi le ritroviamo nelle gallerie dei Campi Flegrei (Grotta di Cocceio, Crypta Neapolitana, Crypta romana).

4. Conclusioni

Si termina questa breve rassegna delle gallerie nel mondo antico con la necessaria, ancorché ovvia, riflessione: l'antica arte del minatore si è evoluta attraverso i primi secoli della storia dell'uomo in relazione all'evoluzione della tecnologia, della geometria e delle altre discipline correlate e più in generale in relazione al progredire della civiltà in questo arco di tempo. I progressi sono stati gradualmente ma significativi: il passaggio dal rame, al bronzo e al ferro come materiale impiegato per gli attrezzi di lavoro, hanno consentito un più produttivo operare nelle attività di scavo; l'acquisizione delle conoscenze geometriche (Pitagora, Euclide) ha consentito una razionale impostazione topografica del tracciato.

L'evoluzione è continuata anche dopo, documentata dalla differenza dell'arte mineraria tra quella greca precristiana e quella romana di Vespasiano: i Romani hanno portato sino a 250 m la profondità dei tunnel rispetto al p.c., mentre i Greci si sono fermati a 120 m; i Romani, a differenza dei Greci, lavoravano in presenza d'acqua per un'acquisita abilità nell'impiego delle pompe; i Romani, infine, avevano conseguito una notevole pratica nell'agrimensura e di riflesso nei metodi topografici per il tracciamento delle gallerie.

Questa evoluzione, che si è manifestata senza marcate discontinuità, sembra fermarsi, dall'età di Vespasiano sino al XVII secolo, quando riprende il cammino con le prime applicazioni della polvere da sparo per gli avanzamenti nelle gallerie in terreni lapidei (tunnel du Malpas, Francia 1670); poi, con la rivoluzione tecnoscientifica dell'Ottocento l'evoluzione fa rapidi e fondamentali progressi che raggiungono la loro massima espressione (se è consentita una drastica, ma obbligata sintesi) con lo scavo interamente meccanizzato, le cui premesse sono state poste all'inizio del XIX secolo. Tuttavia lo scavo tradizionale ha rappresentato e seguita ancora a rappresentare una componente significativa degli scavi in sotterraneo, per gli ovvi limiti posti dalla meccanizzazione che richiede standardizzazione delle sezioni, lunghezze consistenti per gli ammortamenti dei costi delle macchine etc.; lo scavo tradizionale si ricollega direttamente, senza forti discontinuità, almeno sino alla prima metà del Novecento, con la tradizione di Roma Imperiale.

In verità l'introduzione delle macchine per lo scavo, delle centine metalliche e del calcestruzzo proiettato sembra suggerire che vi sia una distanza enorme tra le gallerie di Cocceio e le gallerie del primo Novecento; a ben guardare

non è così:

- le gallerie di modeste dimensioni sembrano proprio realizzate con le stesse tecniche: si ritrovano lo stesso uso del legname, della muratura e degli attrezzi di scavo;
- le gallerie di maggiori dimensioni, nonostante l'introduzione di presidi più moderni, vengono eseguite conservando la caratteristica fondamentale della definizione in corso d'opera delle modalità di avanzamento, delle caratteristiche del

prerivestimento e del rivestimento.

Le gallerie eseguite con scavo tradizionale sono, dunque, rimaste indietro rispetto alle altre opere d'ingegneria, che, negli stessi anni, risultano progettabili con modalità deterministica in tutte le loro componenti ed in tutte le fasi esecutive. In questi ultimi 60 anni i migliorati metodi d'indagine e di caratterizzazione dei terreni, la progressiva introduzione della tecnologia di trattamento in avanzamento dei terreni stessi e dei modelli di calcolo automatico hanno consentito di rendere progettabili anche le gallerie tradizionali in tutti i momenti del loro processo costruttivo; pertanto queste possono definitivamente essere considerate opere d'ingegneria, una volta affrancate dalle improvvisazioni lasciate all'esperienza dei minatori che, per quanto preziosa e sempre auspicabile, non può certamente considerarsi uno strumento razionale di progettazione in corso d'opera.

In questo senso le gallerie tradizionali di odierna concezione sono da considerarsi, al pari di quelle eseguite con scavo interamente meccanizzato, marcatamente diverse rispetto alle gallerie del mondo antico perché si è realizzata tra le prime e le seconde una forte discontinuità da ricollegare, indipendentemente dal ritardo con cui ha operato, al pensiero tecnico-scientifico del XIX secolo.

PARTE TERZA: RIFERIMENTI

1. Letteratura tecnica

- 1.1. J.D. Champlin "Prehistoric Engineering at Lake Copais" The Popular Science Monthly - December, New York 1895.
- 1.2. J.K. Finch "Storia dell'Ingegneria" Sansoni - Firenze 1962.
- 1.3. G.E. Sandstrom "The History of Tunnelling" Barrie & Rockliff - London 1963.
- 1.4. L. Orlandi "I Marsi e l'Origine di Avezzano" Loffredo Editore - Napoli 1967.
- 1.5. P. Beaver "A History of Tunnels" The Citadel Press - Secaucus (N. J.) 1973.
- 1.6. M. Macori "Evoluzione Tecnica delle Gallerie Stradali" ANAS "Gallerie Stradali" - Roma 1982.
- 1.7. R. Tolle-Kastenbein "Archeologia dell'Acqua" Longanesi - Milano 1993.
- 1.8. V. Castellani, W. Dragoni "Ancient Tunnels: from Romans Outlets back to the Early Greek Civilization" Proceedings of the 12th International Congress of Speleology - Svizzera 1997.
- 1.9. AA.VV. "Via per Montes Excisa" L'Erma di Bretschneider - Roma 1997.
- 1.10. P. Caputo "Saggi di Scavo della Crypta Romana di Cuma: Proposta di Rilettura del Monumento" Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali "Il Sistema Uomo-Ambiente tra Passato e Futuro" Edipuglia - Bari 1998.
- 1.11. Progress in Tunnelling after 2000" AITES - ITA 2001 World Tunnel Congress - Milano Giugno 2001.
- 1.11.1. M. E. Abd El Salam "Construction of Underground Works

and Tunnels in Ancient Egypt".

- 1.11.2. L. Amato, A. Evangelista, M.V. Nicotera, C. Viggiani "The Tunnels of Cocceius in Napoli: an Example of Roman Engineering of the Early Imperial Age".
- 1.11.3. S. Baietti "Introduzione Storica".
- 1.11.4. K. Grewe "Organisation und Baubetrieb auf Antiken Tunnelbaustellen".
- 1.11.5. M. Costantini, S. Orsini "The Furlo Tunnel from Roman Age to Nowadays: has been crossed for almost two thousand years now".
- 1.11.6. F. Ghedini, M. S. Busana "Strade in Galleria nell'Italia Romana".
- 1.11.7. H. J. Kienast "Geometrical Knowledge in Designing the Tunnel of Eupalinos".
- 1.12. T. M. Apostol "The Tunnel of Samos" Engineering and Science n.ro.1 2004 - Californian Institute of Technology.
- 1.13. D. Koutsoyiannis, A. N. Angelakis "Agricultural Hydraulic Works in Ancient Greece" Encyclopadia of Water Science DOI: 10.1081/E-EWS 120020412, 2004.
- 1.14. C. Viggiani "Un Ingegnere Romano di Epoca Tardorepubblicana: Lucio Cocceio Aucto" Atti del 1° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria - Napoli 2006.
- 1.15. C. Ebanista, M. Amodio "Aree Funerarie e Luoghi di Culto in Rupe: le Cavità Artificiali Campane tra Tarda Antichità e Medioevo" Atti VI Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali - Napoli, Maggio/Giugno 2008.
- 1.16. Wikipedia - 2011.

2. Antichi scrittori

- 2.1. ERODOTO (484-425 a.C.) "LE STORIE" (III, 60)
- 2.2. DIODORO SICULO (90-27 a.C.) "BIBLIOTECA STORICA" (I,2,3)
- 2.3. VITRUVIO (I secolo a.C.) "DE ARCHITECTURA" (VIII, 5, 1-3)
- 2.4. TITO LIVIO (59 a.C.-17) "AB URBE CONDITA" (I, 15)
- 2.5. STRABONE (58 a.C.-25)
- 2.5.1. "GEOGRAFIA" (V,4,5)
- 2.5.2. "GEOGRAFIA" (IX,2,18)
- 2.6. SENECA (4 a.C.-65) "EPISTULAE MORALES AD LUCILLUM" (VI, 57)
- 2.7. PLINIO IL VECCHIO (23-79) "NATURALIS HISTORIA" (XXXVI, 124)
- 2.8. TACITO (55-120) "ANNALES" (XII, 56); (XII, 57)

- 2.9. SVETONIO (70-126) "DE VITA CAESARUM" (Vita Divi Iuli, 44); (Vita Divi Claudii, 20); (Vita Divi Claudii, 21); (Vita Divi Claudii, 32)
- 2.10. NONIO DATO (II secolo): ISCRIZIONE SU STELE
- 2.11. DIONE CASSIO (155-235) "STORIA ROMANA" (LX,11,5)
- 2.12. G. AGRICOLA "DE RE METALLICA" (1556), Trad. in lingua inglese. H. & L. HOOVER - DOVER - NEW YORK 1950. ■

3. Riferimenti di letteratura per argomento

ARGOMENTO	RIFERIMENTI
ANTICO EGITTO	1.2.; 1.3.; 1.5.; 1.11.1.; 1.16.
GALLERIA DI SEMIRAMIDE	1.16.; 2.2.
GALLERIA DI EZECHIA	1.5.; 1.16.
ACQUEDOTTO ISOLA DI SAMO	1.2.; 1.3.; 1.5.; 1.11.7.; 1.12.; 1.16.; 2.1.
DRENAGGIO DI COPAIS	1.1.; 1.2.; 1.7.; 1.8.; 1.13.; 2.5.2.
AVANZAMENTO CON IL FUOCO	1.5.; 2.12.
GALLERIE CAMPI FLEGREI	1.5.; 1.9.; 1.10.; 1.11.2.; 1.14.; 1.16.; 2.5.1.; 2.6.
DRENAGGIO DEL LAGO FUCINO	1.2.; 1.3.; 1.4.; 1.16.; 2.7.; 2.8.; 2.9.; 2.11.
GALLERIA MAGGIORE DEL FURLO	1.9.; 1.11.5.; 1.16.
GALLERIA DI SALDAE	1.2.; 1.3.; 1.5.; 1.11.4.; 2.10.
GALLERIE PER USO MINERARIO	1.2.; 1.3.; 1.5.; 1.16.
GALLERIE PER USO FUNERARIO	1.2.; 1.5.; 1.15.; 1.16.
GALLERIE PER USO IDRAULICO	1.2.; 1.5.; 2.4.
GALLERIE PER USO MILITARE	1.9.; 1.16.
GALLERIE PER USO STRADALE	1.6.; 1.9.; 1.11.3.; 1.11.6.; 1.16.
PROGETTO	1.2.; 1.16.
TRACCIAMENTO	1.2.; 1.9.; 1.11.5.; 1.16.; 2.3.
ESECUZIONE	1.2.; 1.11.5.; 1.16.



Variante di Valico

Sin dal 2006 la Cipa partecipa alla realizzazione della "Variante di Valico", per il potenziamento dell'autostrada A1 tra Sasso Marconi e Barberino, dove abbiamo realizzato un numero notevole di n° 34 tra pozzi strutturali e drenanti, oltre al rivestimento definitivo di parte della galleria di base.

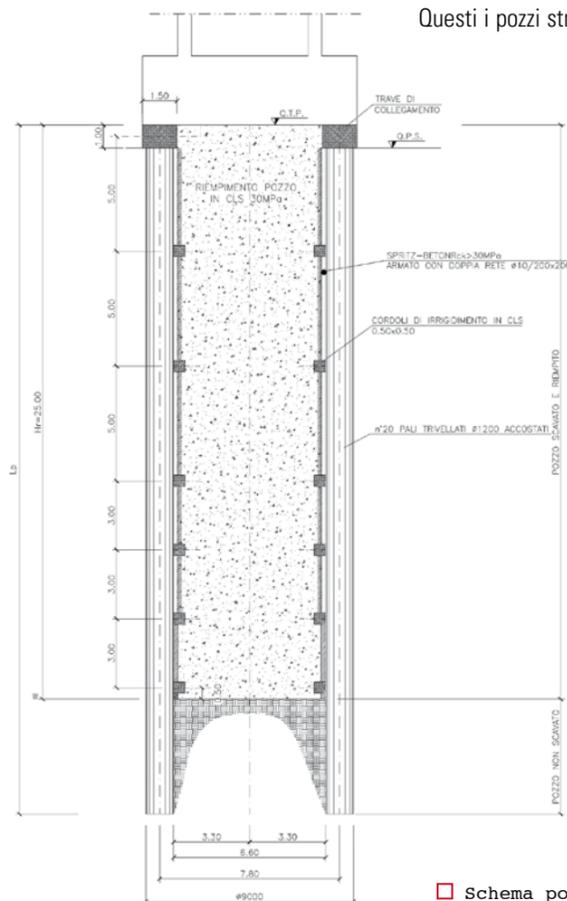


I pozzi strutturali sono stati realizzati nell'ambito della costruzione dei viadotti, eseguendo lo scavo con benna e martello demolitore, realizzando cordoli di irrigidimento e rivestimento con rete elettrosaldata e calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton). Al termine delle operazioni di scavo, i pozzi sono stati riempiti di calcestruzzo.

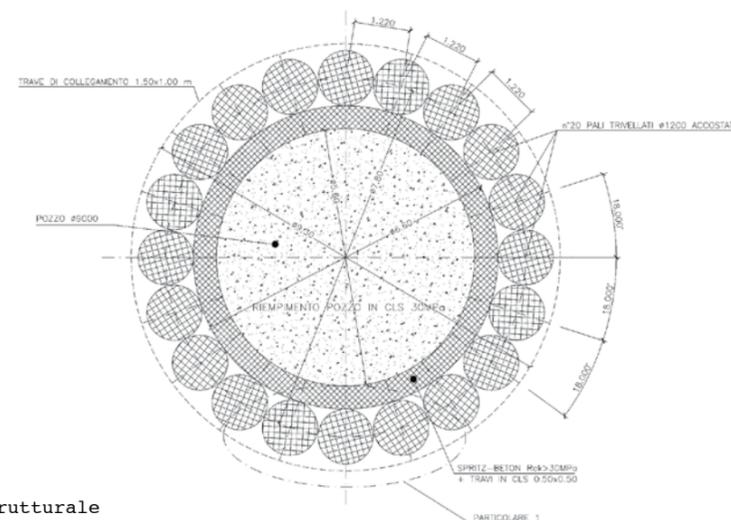
Questi i pozzi strutturali realizzati e i relativi viadotti di afferenza.

Viadotto Casaglia

- n°10 pozzi con diametro di scavo di 8,30 metri e profondità media di 24 metri.
- n°2 pozzi con diametro di scavo di 12,60 e profondità di 42 metri.



Schema pozzo strutturale



Cassaforma modulare



Rivestimento pozzi strutturali Variante di Valico

Viadotto Stura

- n°4 pozzi con diametro di scavo di 11,00 metri e profondità media di 16 metri.

Viadotto Montecarelli

- n°2 pozzi con diametro di scavo di 7,50 metri e profondità di 17 metri.
- n°2 pozzi con diametro di scavo di 9 metri e profondità di 17 metri.

Viadotto Casaglia



Lavorazioni all'interno di un pozzo

Viadotto Le Bandite

- n°2 pozzi con diametro di scavo di 11,00 metri e profondità di 15 metri.
- n°2 pozzi con diametro di scavo di 9,00 metri e profondità di 17 metri.
- n°2 pozzi con diametro di scavo di 7,50 metri e profondità di 17 metri.

□ Gru cingolata a servizio delle lavorazioni dei pozzi



□ Rivestimento con lastre curve prefabbricate

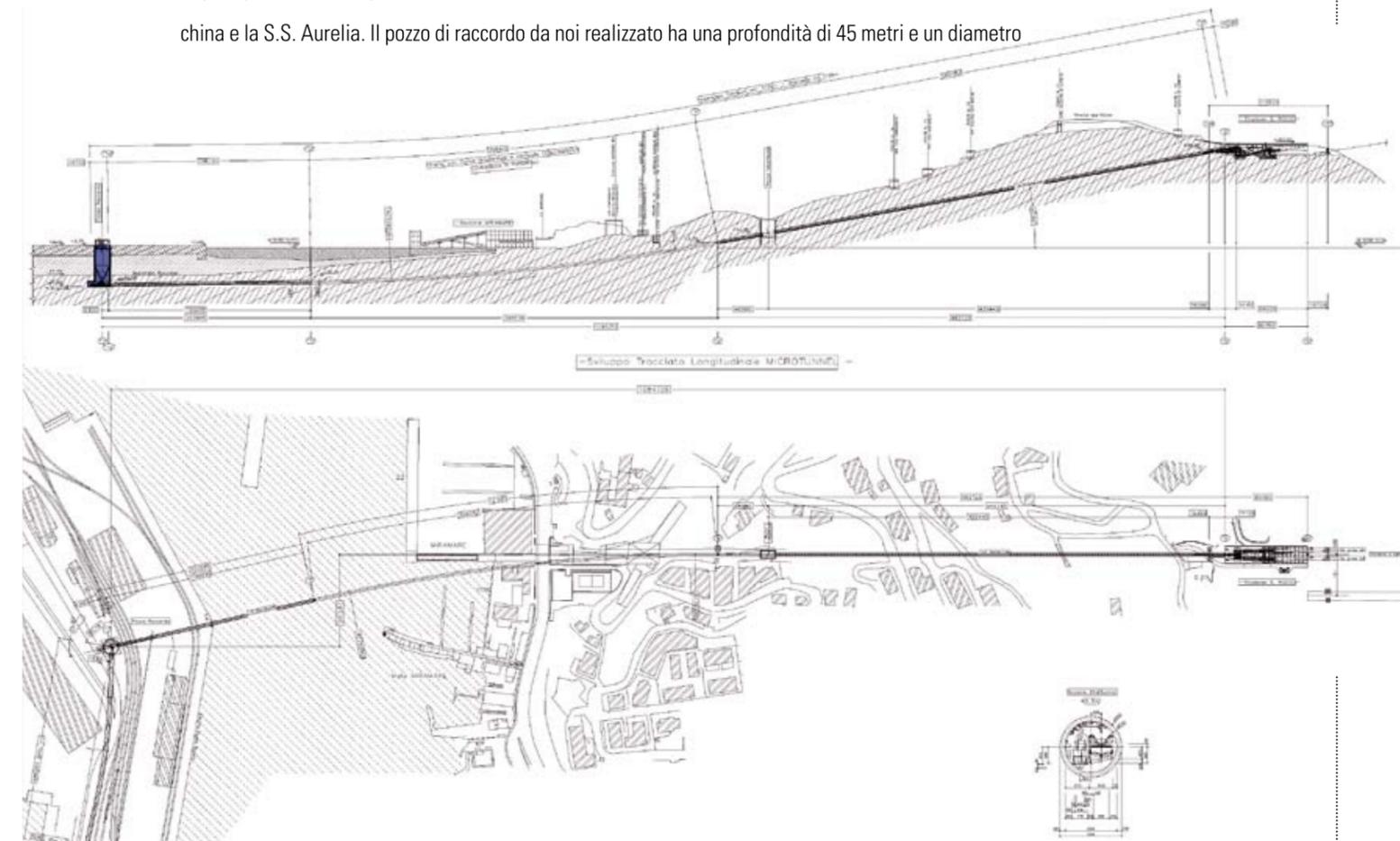


Savona – Collegamento sotterraneo dal porto per il trasporto del carbone da Alti Fondali alla nuova stazione di San Rocco alla nuova stazione di San Rocco

L'opera ha permesso il ripristino del trasporto del carbone su funivia tra il porto di Savona e i depositi di Cairo Montenotte.

Dal terminal Alti Fondali del porto di Savona, tramite il pozzo di raccordo realizzato dalla Cipa, il carbone sbarcato dalle navi viene instradato su un nastro trasportatore che corre lungo un tunnel sottomarino lungo oltre un chilometro, sino alla stazione di San Rocco dove, tramite vagonetti funiviari, viene trasportato sino ai depositi di Cairo Montenotte.

L'opera permette il trasporto di 500 tonnellate all'ora di materiale, sottoattraversando il fondale di banchina e la S.S. Aurelia. Il pozzo di raccordo da noi realizzato ha una profondità di 45 metri e un diametro



I pozzi strutturali drenanti sono stati realizzati nell'ambito della realizzazione della stazione Poggiolino, eseguendo lo scavo con benna e martello demolitore, rivestimento con rete elettrosaldata e centine metalliche, calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton), armatura e getto calcestruzzo in risalita con casseri rampanti. Con la realizzazione delle perforazioni per i collegamenti idraulici di drenaggio tra i pozzi si sono concluse le nostre lavorazioni.

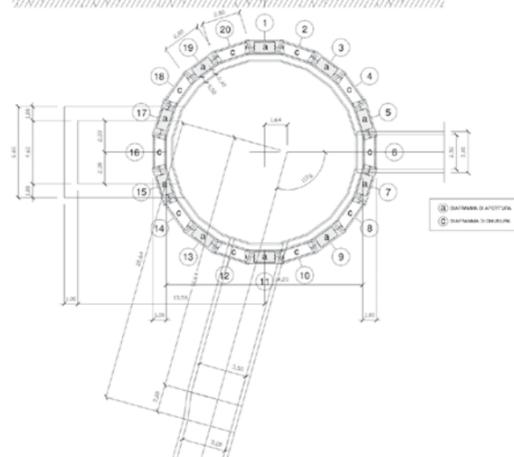
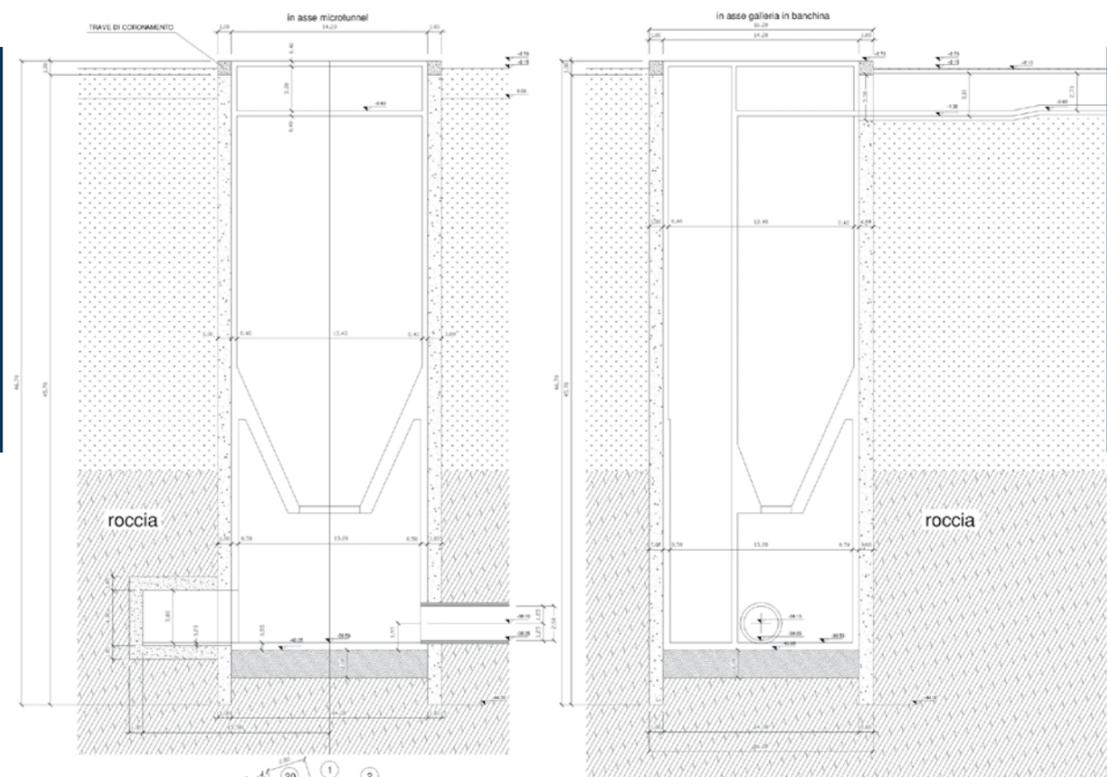
Stazione Poggiolino

- Realizzazione di n°8 pozzi con diametro di scavo di 9,00 metri e profondità di 22 metri.

Nell'ambito delle lavorazioni della Galleria di base, abbiamo realizzato il rivestimento definitivo di circa 1.800 metri della galleria con cassaforma metallica idraulica, di n° 18 by passes di collegamento fra le due canne e di n°14 allarghi con piazzola di sosta tramite lastre curve prefabbricate in calcestruzzo armato, posizionate in opera da macchine munite di attrezzature appositamente progettate, dietro le quali è stato gettato il calcestruzzo che costituisce il rivestimento definitivo delle gallerie e che ha inglobato in se le lastre. ■

□ Un pozzo finito





Il priverivestimento, sia del pozzo che del tronco di galleria, è costituito da centine metalliche, rete elettrosaldata e calcestruzzo proiettato a presa rapida.

La tecnica della sottomurazione consiste nello scavare il pozzo per una profondità che in genere è pari a 2 metri, por-

Schema e scavo del pozzo



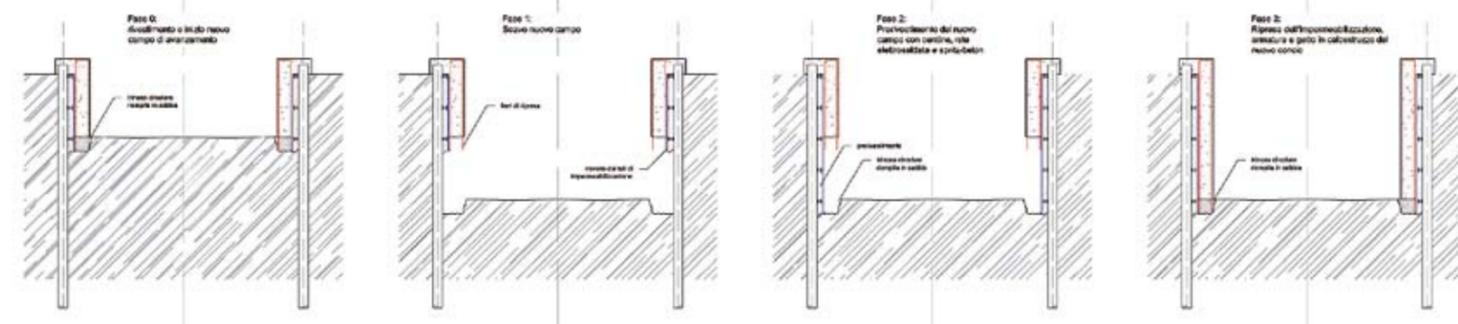
Fase di impermeabilizzazione e armatura sottomuratura □ Scavo pozzo e galleria cieca di alloggio attrezzature per microtunneling □

re in opera il priverivestimento della parte scavata ed i teli di impermeabilizzazione, con l'accortezza di lasciare un avanzo di lembi sufficientemente lunghi da giuntarsi successivamente con quelli del concio del successivo campo di scavo. A questo punto si scava una trincea lungo il perimetro di scavo dove vengono infissi i ferri di armatura e ricoperti di sabbia sino al piano di calpestio del fondo scavo. Terminata l'operazione di posa e legatura dell'armatura, si procede con apposita cassaforma al getto di calcestruzzo per il rivestimento definitivo. Tolta la cassaforma si procede allo scavo del successivo campo di avanzamento, operazione durante la quale si scoprono le tratte dei ferri di armatura precedentemente affogate nella sabbia e che costituiranno i ferri di ripresa per l'armatura del successivo concio. ■



Tiro in alto dello smarino □

Fasi realizzative di un pozzo in sottomurazione □



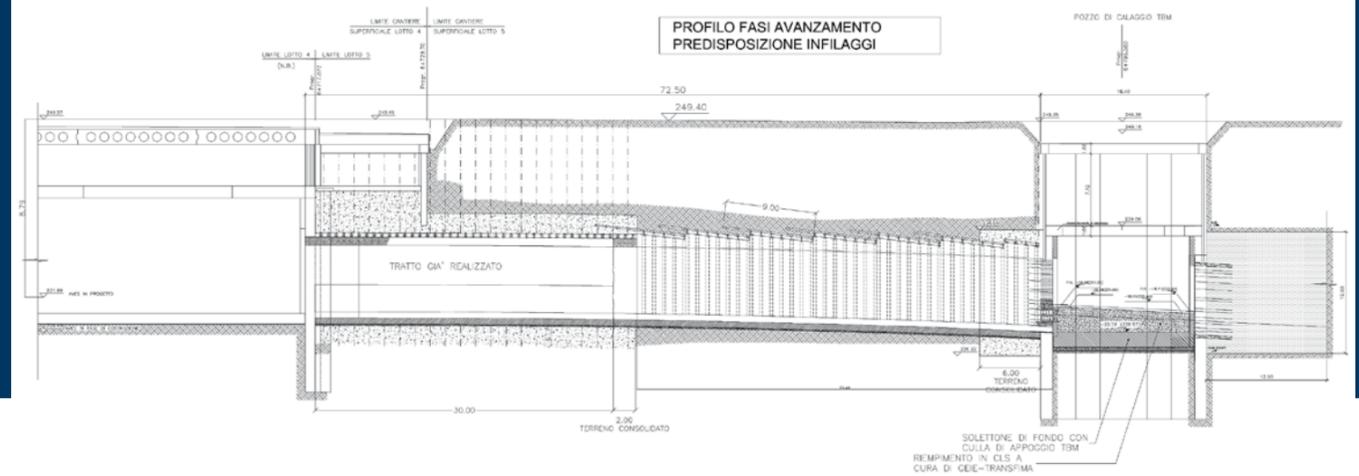
di scavo di 14,20 metri. Oltre al pozzo abbiamo realizzato un tronco cieco di tunnel della lunghezza di 8,30 metri, con sezione di scavo pari a 20 m², atto ad alloggiare le attrezzature di microtunneling necessarie alla successiva realizzazione del tunnel di sottoattraversamento.

Il pozzo è stato realizzato in sottomurazione, con campi di avanzamento anche di 8 metri, con l'ausilio di escavatori di varie taglie e di bidoni autoscaricanti al tiro di carroponte.

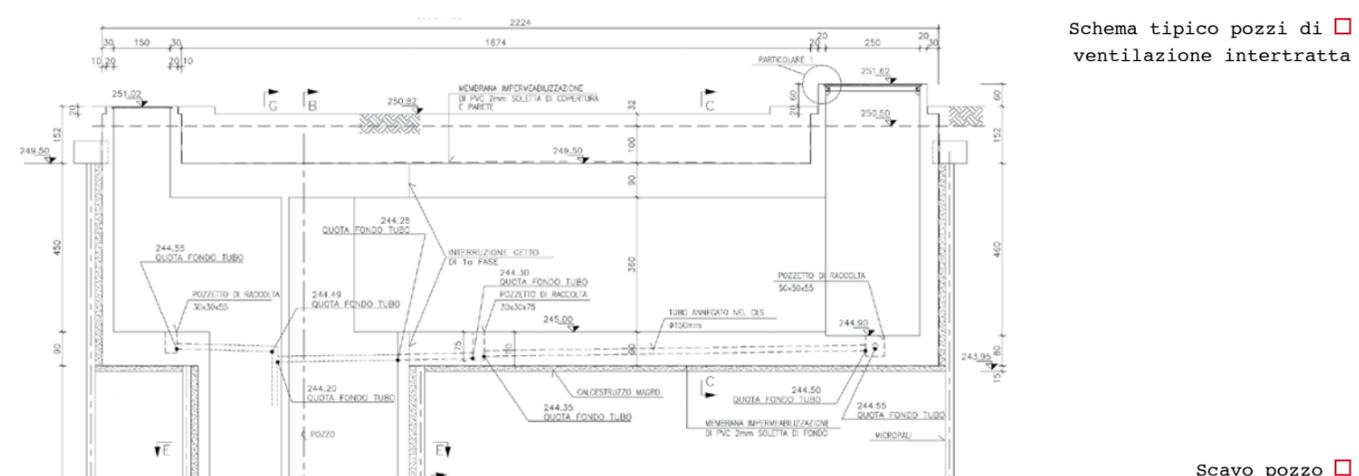
Metropolitana automatica di Torino

Presenti a Torino, città per molti motivi cara alla Cipa, sin dal 2003, abbiamo partecipato alla realizzazione della prima metropolitana automatica in Italia, adoperandoci nella realizzazione di molti tra pozzi e cunicoli.

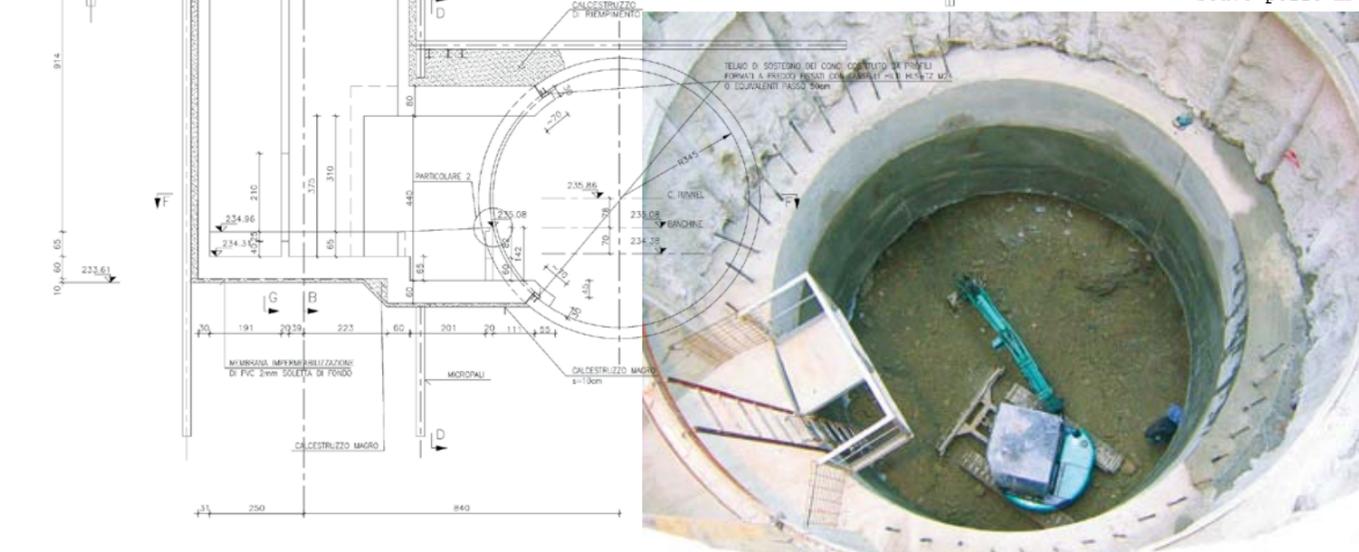
Nonostante le opere da noi realizzate non godano del privilegio della visibilità e della considerazione da parte dell'ordinaria utenza, esse sono state e rimangono importanti nella riuscita del proposito di dotare Torino di una metropolitana.



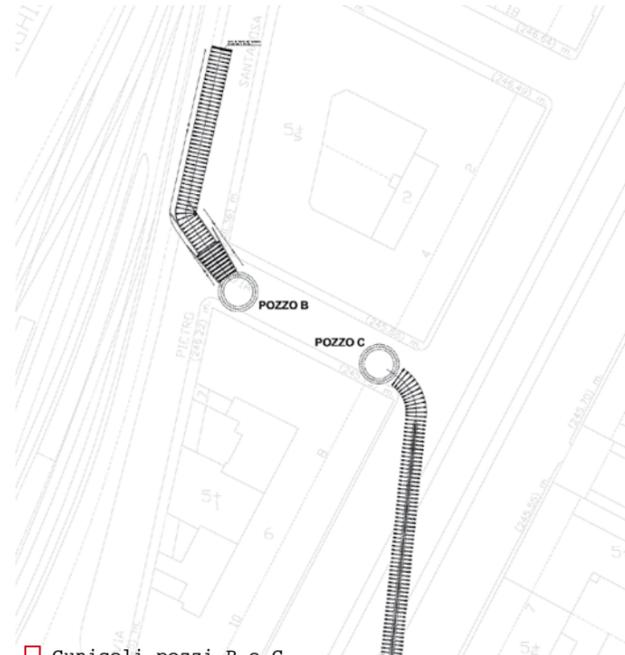
Galleria tra il pozzo di calaggio e la stazione Principi di Acaja



Schema tipico pozzi di ventilazione intertratta



Scavo pozzo



Cunicoli pozzi B e C

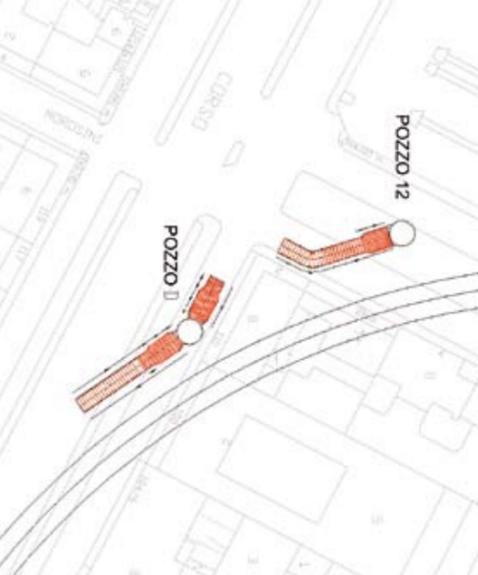
Alcuni pozzi e cunicoli "di servizio" hanno avuto l'unico scopo di permettere l'accesso dei macchinari utilizzati per iniezioni e consolidamenti a salvaguardia della stabilità delle costruzioni sovrastanti, rendendo più sicuro il successivo transito della TBM. Terminata la loro funzione, pozzi e cunicoli di servizio sono stati ritombati.

Tra questi abbiamo realizzato, con l'ausilio di mezzi di piccole dimensioni, i cunicoli dei pozzi "B" e "C", scavando e prerivestendo una sezione media 13,5 m², che si sviluppava

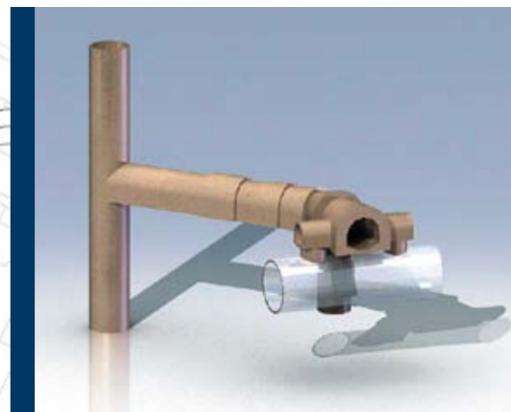
per ca. 45 metri nel cunicolo del pozzo B e per ca. 55 metri nel cunicolo del pozzo C.

Abbiamo costruito anche la galleria in tradizionale tra il pozzo di calaggio e la stazione Principi D'Acaja, all'epoca interessata da lavorazioni che impedivano il transito della TBM. Lo scopo della galleria è stato anche quello di alloggiare il backup della TBM, rimontata al fondo del pozzo di calaggio per proseguire la sua opera oltre la stazione.

La sezione media della galleria è di 72,5 m² per una lunghez-



Pozzi 12 e D



Pozzo 10 in 3D e vista interna



Scavo pozzo in presenza di acqua



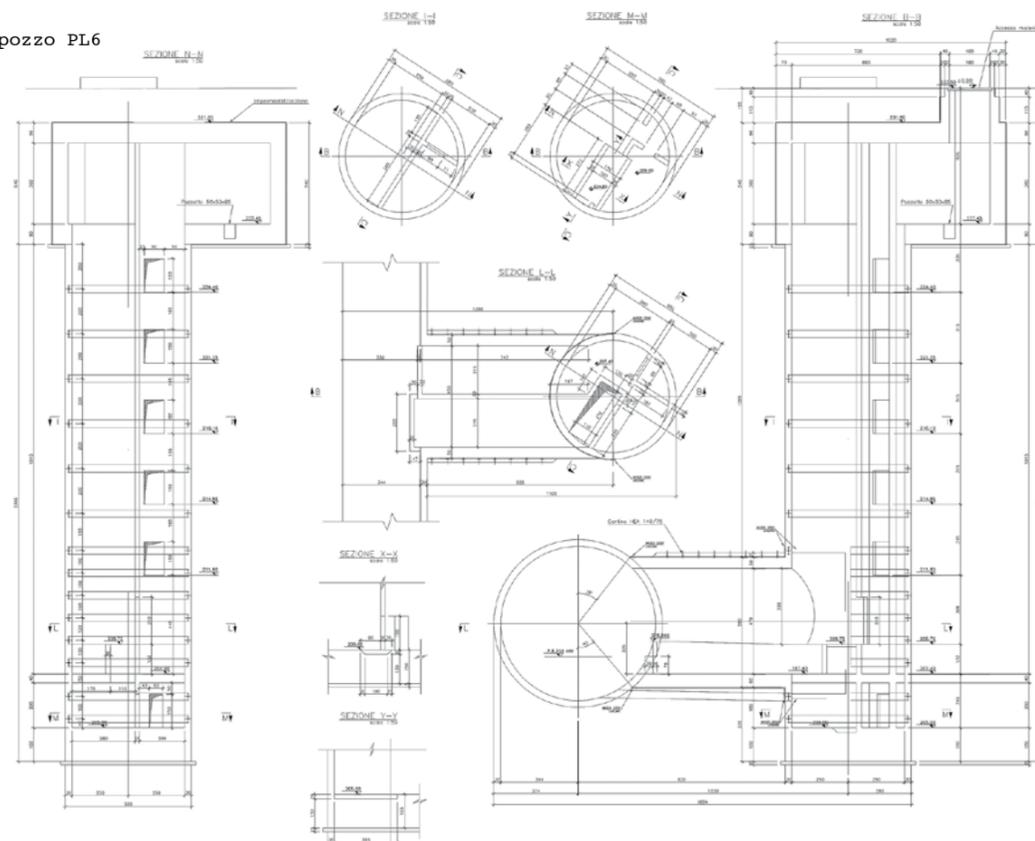
za di ca. 40 metri, con avanzamento a campi e presostegno con infilaggi di micropali ad ombrello, centine e spritz-beton. Tra i pozzi ci sono anche quelli di ventilazione ed accesso alla linea, tra cui i cinque numerati da "5" a "9", con diametro di scavo di 6 metri e profondità di 11,5 metri ciascuno,

realizzati in sottomurazione. Altro pozzo è il "12", con diametro di scavo 6,5 metri e profondità ca. 12 metri, eseguito in sottomurazione e da cui diparte un cunicolo lungo 27 metri, mentre dal pozzo "D" ne partono due di lunghezza 11 metri e 28 metri.

Una particolare attenzione merita la realizzazione della ramificazione di pozzi e cunicoli denominati pozzo "10". Dal pozzo "10", profondo ca. 40 metri, è stato creato un cunicolo



Schema pozzo PL6



ad una profondità di ca. 22 metri, di notevole complessità e variabilità esecutiva, con sezioni di scavo correnti, sezioni in allargò e sezioni a campi di infilaggi nell'ultimo tratto in curva, da dove sono stati realizzati un pozzo che, con un piccolo portale si affaccia nel tunnel della TBM e due piccoli cunicoli contrapposti da dove sono stati realizzati due ulteriori pozzi che si intestano sul tunnel della TBM. Inutile dire che per tale realizzazione ci siamo misurati con difficoltà particolari, stante l'articolazione dell'opera e le ridotte aree di manovra e di lavoro a disposizione.

Recentemente abbiamo realizzato quattro pozzi di ventilazione e di accesso denominati PL3, PL4, PL5 e PL6, di diametro 5,60 metri e profondità variabili tra 14 e 19 metri, ciascuno con un cunicolo di accesso al tunnel della TBM di sezione 27 m² e lungo da 3,5 a 10 metri. Collateralmente alla esecuzione dei pozzi abbiamo anche realizzato tre nicchie nella galleria di linea, profonde 2,5 metri e di sezione 23 m².

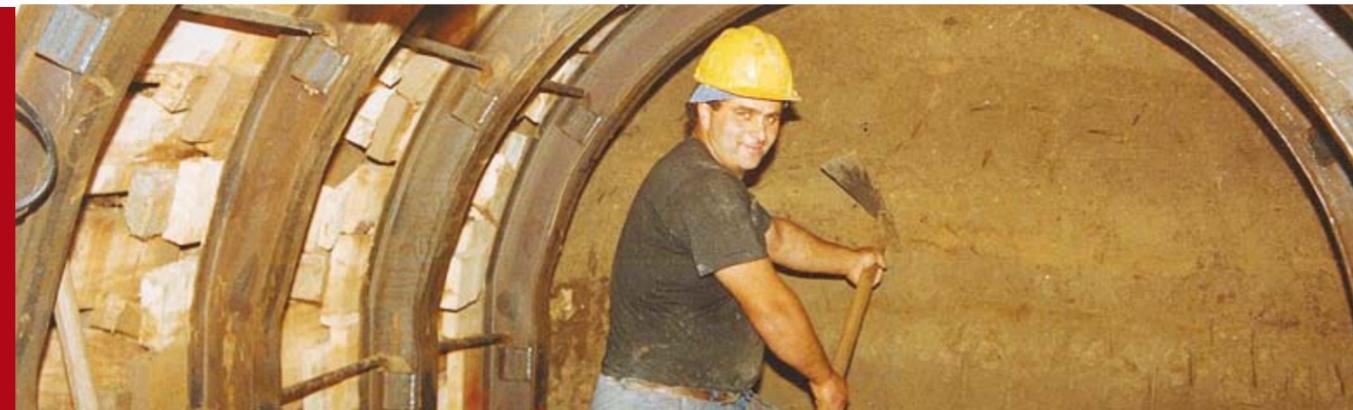
1986/1996



IL PRIMO CERTIFICATO ANC



'O RILORGIO
UNA, DDOJE... CCINCHJE... DDIECE, ùNNICE...



I "Tupamaros"

cipa

OPERE NEL SOTTOSUOLO

Spingitubo

La tecnica dello spingitubo e le sue varianti di pressovivellazione e di spinta a foro cieco, rappresentano una importantissima soluzione al problema dell'attraversamento di un'utenza, senza creare interruzioni di sorta dall'utenza stessa. Di fatto lo spingitubo viene considerato come la soluzione più brillante per l'attraversamento di ferrovie, strada di grosso traffico e di difficile interruzione. La tecnologia dei martinetti ha ormai consentito di sconfinare qualsivoglia limite di tipo dimensionale con una metodologia il cui pregio è sostanzialmente dovuto al fatto di avere con lo stesso avanzamento il prodotto già finito. La tecnologia è basata sul principio della infissione di un manufatto, sia esso in ferro che in calcestruzzo, mediante martinetti idraulici contrastati a tergo da un opportuno muro "reggispirita" ne consentono l'avanzamento. Lo scavo a seconda del materiale da attraversare segue o anticipa la fase della spinta.

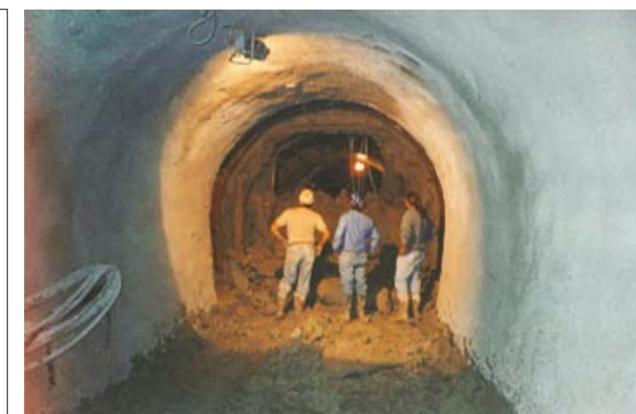
Di fatto il prodotto della spinta non necessita di interventi ulteriori di completamento, lo spingitubo inoltre consente un'esecutività nel sottosuolo "a testa coperta" con pregi ai fini della sicurezza assolutamente impagabili.

La CIPA per miglioramento attrezzata per i piccoli diametri ha eseguito nella sua vita attraversamenti di dimensioni che vanno dai 150 ai 3000 mm. utilizzando per essi e il foro cieco e la pressovivellazione e lo scavo con braccio all'avanzamento.

Dicembre 1991
Comune di Caltanissetta (CA) - Attraversamento della Linea FFS Roma Napoli - lunghezza 32 mt. - Diametro tubazione 1500 mm. - Consorzio I.C.L.A. S.p.A.

Cipa srl - Via Rubinacci, 4 - 80067 Sorrento (NA) - Tel. (081) 8071841 - Fax (081) 8781801
P.N.A. 01392551212 - Cod. Fisc. 05122900630 - Irib. Napoli 5745/86 - C.C.I.A.A. 416828 - A.N.C. 8719837

PRIMI DEPLIANTS

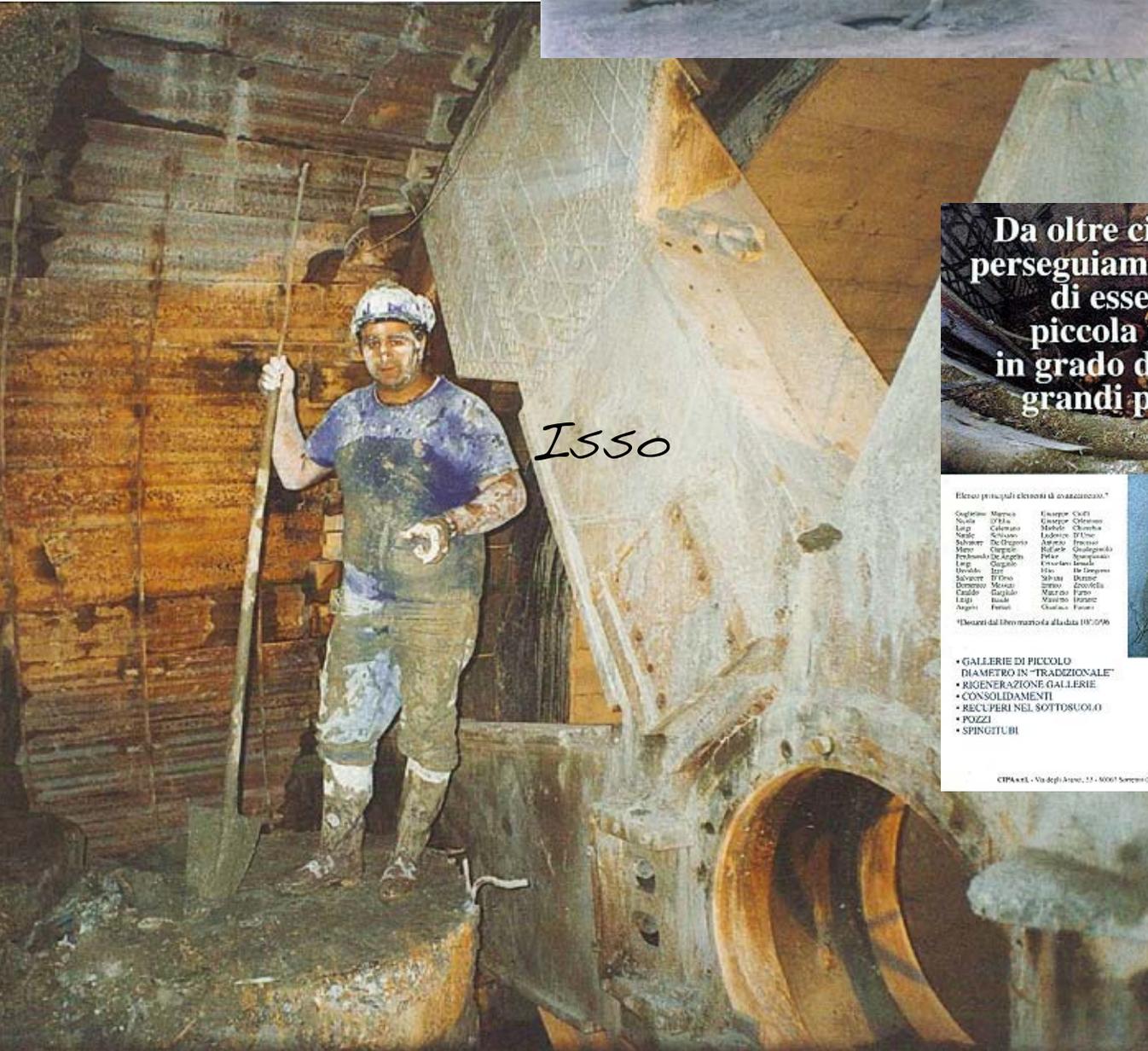


PRIME BUCATURE



DOVEROSO... BRINDISI

L'ORIGINE DEL LOGO



Da oltre cinque anni
perseguiamo l'obiettivo
di essere una
piccola impresa
in grado di risolvere
grandi problemi.

Elenco principali clienti di avanzamento.*

Capriano	Mariano	Enrico	Ciuffi
Nicola	D'Alia	Giuseppe	Cabranco
Laura	Colaninno	Mauro	Cherchia
Negre	Schiavone	Industria	D'Uomo
Silvestro	De Gregorio	Antonio	Proietti
Mario	Chierico	Raffaele	Giulio
Ferdinando	De Gregorio	Paolo	Scarpinato
Luigi	Giugliano	Emiliano	Tomala
Ubaldo	Di	Flavio	De Gregorio
Silvestro	Di'Ono	Stefano	Bertone
Domenico	Masini	Luigi	Ercolella
Luigi	Capalini	Manlio	Fazio
Luigi	Ruolo	Massimo	Forattini
Angelo	Ferraro	Carlo	Ferraro

*Deserti dal dicembre 2014 alla data 10/05/2016



- GALLERIE DI PICCOLO DIAMETRO IN "TRADIZIONALE"
- RIGENERAZIONE GALLERIE
- CONSOLIDAMENTI
- RECUPERI NEL SOTTOSUOLO
- POZZI
- SPINGITUBI



Il nostro vero capitale è quello umano

CIPA s.r.l. - Via degli Ascoli, 23 - 50065 Sesto San Giovanni - Tel. 0551.801941 P.B.S. - Fax 0551.875190

Cos'è il NATM?

Il nuovo metodo austriaco dopo cinquant'anni di applicazioni

Antonio Giuseppe Zechini

Il nuovo metodo austriaco, sviluppato in Austria tra la fine degli anni '50 e la prima metà degli anni '60 da L. v. Rabcewicz, L. Müller e F. Pacher, è ritenuto da

alcuni esperti una filosofia di progetto, da altri un metodo pratico di realizzazione delle gallerie e da altri, infine, una costruzione di pensiero senza rigorosi contenuti scientifici, se non addirittura erronei: le tre diverse opinioni hanno animato una disputa non ancora completamente risolta.

L'anno ufficiale di nascita è il 1962 con la presentazione del Metodo da parte del suo principale autore L. v. Rabcewicz in una conferenza tenuta a Salisburgo al "XIII Geomechanics Colloquium" nella quale viene esposto il sistema di esecuzione di una galleria con doppio rivestimento (temporaneo e definitivo), di cui il primo caratterizzato da una modesta rigidità; tale criterio costruttivo, chiamato per la prima volta con il termine NATM, permette all'ammasso roccioso al contorno del cavo di deformarsi, prima che avvenga la posa del secondo rivestimento, in misura tale da conseguire una significativa riduzione dei carichi gravitativi, la più consistente possibile: si persegue così l'obiettivo di rendere minimo lo spessore del rivestimento definitivo.

Il NATM, è diventato noto a livello internazionale dopo la pubblicazione in lingua inglese del 1964 di L. v. Rabcewicz "The New Austrian Tunnelling Method" nel numero di novembre di Water Power, ma ha avuto la sua prima espressione formale con il brevetto conseguito dallo stesso Rabcewicz nel 1948 sul sistema costruttivo a doppio rivestimento in cui l'autore con queste parole riassumeva l'essenza del procedimento: *"Con un primo supporto (rivestimento) flessibile verrà raggiunto un nuovo equilibrio che sarà controllato mediante un sistema di misure in situ. Raggiunto il nuovo equilibrio sarà realizzato un rivestimento più interno. In casi specifici il secondo rivestimento può essere omesso"*.

Così la completa elaborazione teorica del Metodo ha richiesto più di 15 anni.

Le applicazioni hanno origine nella seconda metà degli anni '50 in Venezuela (Caracas) con la realizzazione di gallerie di grande sezione sotto la guida di Rabcewicz e nei primi anni '60 in Europa con le costruzioni di gallerie alpine in Austria e Svizzera; il NATM negli anni successivi, specie dopo la citata pubblicazione in lingua inglese, divenne la tecnica più impiegata nelle grandi realizzazioni infrastrutturali europee; tuttora, specie nel centro e nel nord Europa, rimane la tecnica di scavo di elezione.

Più in dettaglio, oltre ai già citati paesi europei, il NATM si è diffuso agli inizi degli anni '70 in Germania con le

applicazioni nelle metropolitane di Francoforte, Monaco e Norimberga; in Inghilterra con i tunnel di accesso alle miniere di gesso a Barrow-upon Soar (1987), con i diversi interventi nel "Channel Tunnel", con le gallerie della strada di Round Hill nel Lower Chalk ed infine nel 1997 con la metropolitana sotto l'Aeroporto di Heathrow nelle London Clay, caso divenuto tristemente noto per il grave collasso verificatosi durante lo scavo della galleria di stazione; in Spagna con gli interventi nella metropolitana di Bilbao (1997); in Portogallo con quelli nella metropolitana di Lisbona (1995); infine in Italia il NATM si è diffuso per opera dell'ANAS che ha pubblicato nel 1982, raccolte in un documento ufficiale, quattro memorie, già edite dalla rivista "Le Strade", che illustrano in dettaglio i principi del Metodo con schemi grafici, tabelle ed esempi di calcolo specifici per le gallerie di tipo autostradale che è proprio l'ambito in cui il NATM qui ha avuto diverse applicazioni.

Negli USA il NATM è stato sistematicamente applicato a partire dalla fine degli anni '70 e dai primi anni '80 con la costruzione a Pittsburg della galleria sotto il Monte Lebanon e con le gallerie della metropolitana di Washington (Redline); attualmente il NATM è molto usato e viene adottato correntemente per la costruzione di gallerie stradali e ferroviarie, di linea e di stazione, per la costruzioni di pozzi ed altre strutture sotterranee.

Il NATM, nato inizialmente per terreni rocciosi, è stato esteso nel 1969 ai terreni sciolti con una prima applicazione in area urbana con la già citata metropolitana di Francoforte alla quale fecero seguito numerose altre applicazioni che, finalizzate per lo più alla costruzione di gallerie di linea e di stazione delle metropolitane, risultavano eseguite in uguale

contesto geotecnico e ambientale.

Il NATM nel corso di questi anni è stato chiamato con termini diversi che, evidenziando singoli aspetti, hanno contribuito a confondere le idee sulla vera natura del Metodo ed hanno contribuito ad alimentare polemiche sulle novità introdotte dallo stesso. È stato chiamato e viene chiamato: "Sprayed Concrete Lining" (SCL), volendo mettere in evidenza, come elemento di novità, il priverestimento realizzato con calcestruzzo spruzzato; "Conventional Tunnelling Method", volendo presentare il Metodo come unica chance una volta esclusa la soluzione "non convenzionale" dello scavo tramite TBM; "Observational Method" per chi vuole sottolineare l'attività di rilievo dei dati sperimentali durante lo scavo; "Sequential Excavation Method" (SEM) per chi, come gli americani, apprezzano in particolare il procedere per codificate fasi costruttive in relazione alle caratteristiche dei terreni; "Cyclic Tunnelling Method" termine che è stato recentemente adottato, con lo stesso significato del caso precedente, dalle normative tedesche ed austriache; infine "Center Diaphragm Method" (CDM), oppure "Cross Diaphragm Method" (CRD-NATM) ed anche "Upper Half Vertical Subdivision Method" (UHVS), tutti termini che sottolineano il procedere nello scavo per parzializzazione della sezione.

Quadro storico

Per chiarire la novità del NATM, rispetto alle consuetudini esecutive adottate nel momento in cui è stata proposta questa nuova tecnologia, è necessario descrivere lo stato dell'arte delle tecniche costruttive delle gallerie alla nascita del nuovo Metodo.

Il processo storico evolutivo nella tecnica della realizzazione

delle gallerie riprende, dopo l'età imperiale romana, nell'era moderna ponendo termine alla lunga pausa che si è avuta nel Medioevo; i risultati conseguiti dai romani rimangono praticamente invariati sino alla seconda metà del XVII secolo, quando la polvere da sparo, la polvere nera impiegata per usi bellici sin dall'inizio del XVI secolo, trova applicazione in ambiti dell'ingegneria civile; dopo 150 anni circa dalla sua invenzione la polvere nera è utilizzata per l'avanzamento

nella galleria du Midi in Francia, detta la galleria dei due mari perché dava continuità ad un canale artificiale che collega l'Oceano Atlantico con il Mar Mediterraneo.

In verità il processo evolutivo aveva ripreso, già a metà del XVI secolo, con la pubblicazione del libro di G. Agricola (Bauer) "De Re Metallica" che dà evidenza di un ritrovato interesse per l'arte mineraria e quindi per l'arte del costruire gallerie.

Il progresso tecnico-scientifico e più specificatamente le invenzioni dell'ottocento hanno prodotto importanti sviluppi nelle tecniche di avanzamento con: (1) la galleria di Tronquoy (Francia) scavata per la realizzazione del canale di S. Quintino, dove è stato applicato nel 1803 per la prima volta un sistema di avanzamento a sezione parzializzata con previsione razionale delle fasi di scavo; (2) i primi vagiti dello scavo meccanizzato con il brevetto di Brunel del 1818; (3) la prima linea ferroviaria con trazione a vapore (1825) che determinerà alla fine del secolo l'esplosione delle realizzazioni dei grandi trafori alpini; (4) l'impiego della carpenteria metallica in sostituzione più o meno parziale della ingombrante e onerosa carpenteria in legno (1840/1875), in particolare la prima centina metallica in senso moderno è quella di F. Rziha del 1872; (5) l'invenzione della perforatrice ad aria compressa (traforo del Moncenisio, 1861) e della dinamite (1867):

le due invenzioni diedero un decisivo impulso allo scavo dei grandi trafori, nello stesso modo che questi ultimi diedero impulso alle invenzioni delle tecniche di avanzamento realizzando così un circolo virtuoso.

Nella seconda metà dell'Ottocento, poi, sono stati elaborati i metodi di scavo delle gallerie di grande sezione che portano il nome del paese europeo dove sono stati per la prima volta adottati, oppure dove sono stati più adottati; così si parla di

metodo di scavo inglese, austriaco, belga, italiano etc.; i diversi metodi si differenziano essenzialmente per l'ordine con cui viene eseguito lo scavo della sezione, suddivisa in aree parziali che portano i nomi, divenuti ormai classici, di calotta, strozzo e arco rovescio con chiaro riferimento, per la prima e l'ultima, alle componenti strutturali del rivestimento, disposti nell'area parziale a cui danno il nome, mentre lo strozzo risulta definito di conseguenza come l'area interposta tra le due; nei casi più complessi sono previste ulteriori parzializzazioni verticali e orizzontali delle tre aree come definite.

All'inizio del Novecento furono depositati due brevetti che ebbero grande influenza nel modificare i metodi di scavo in galleria sino ai giorni attuali.

Il primo è il brevetto della "pistola a cemento" del 1911 ottenuto dall'americano C. Akeley, tassidermista, che utilizzava il cemento, o meglio una malta spruzzata chiamata gunite, per proteggere gli scheletri dei dinosauri dall'azione corrosiva degli agenti atmosferici; successivamente con l'aumentare della dimensione degli inerti la miscela modificò nome e si chiamò shotcrete e venne applicata per la prima volta (1920) nella costruzione delle gallerie: una galleria ferroviaria non rivestita nell'Illinois fu ricoperta con un anello di calcestruzzo spruzzato armato, senza interferenze con l'esercizio ferrovia-

rio; seguirono applicazioni (1925) che mostrarono la possibilità di realizzare un rivestimento con calcestruzzo spruzzato in presenza di roccia spingente.

Nel 1950 l'ingegnere svizzero G. Senn introdusse una macchina in grado di mettere in opera una miscela con granulometria massima degli inerti di 25 mm, con rendimento di 3 m³/h; la prima applicazione si è avuta nel 1952 nella galleria del Verbano lunga 26,7 km e con una sezione di scavo di

21,4 m²; seguì una seconda applicazione nel 1958 in Italia, nella galleria dell'Impianto idroelettrico Monastero di Como lunga 15,2 km e del diametro di 7 m; nello stesso tempo A. Bruner, ingegnere minerario di Salisburgo, usa lo shotcrete per stabilizzare una galleria in terreni spingenti; era così iniziata l'era del metodo del calcestruzzo spruzzato o proiettato che negli anni '60 si era a tal punto affermato da sostituire la carpenteria in legno a livello internazionale.

Il secondo brevetto è tedesco e riguarda i bulloni da roccia; viene presentato nel 1913 come "metodo per il sostegno della volta e dei piedritti nelle costruzioni minerarie senza appoggi dal basso"; la tecnologia aveva l'obiettivo di sostituire il sostegno con l'appoggio a terra all'interno dello scavo con un sostegno con punto fisso nello stesso ammasso roccioso che il rivestimento sostiene; l'invenzione non decollò se non nel secondo dopoguerra in ambito minerario; successivamente si diffuse anche nelle gallerie per usi dell'ingegneria civile. Il combinato dei due metodi del calcestruzzo spruzzato e dei bulloni, unitamente all'impiego delle centine metalliche e delle armature in rete, apre la strada al Nuovo Metodo Austriaco.

Di seguito si riporta la Cronologia delle pietre miliari del NATM come concepita da G. Sauer (1988, 1990).

YEARS	DEVELOPMENTS
1811	Invention of circular shield by Brunel
1848	First attempt to use fast setting mortar by Wejwanow
1872	Replacement of timber by steel support by Rziha
1908 - 1911	Invention of revolver shotcrete machine by Akeley
1914	First application of shotcrete in coal mines, Denver
1948	Introduction of Dual-lining system by Rabcewicz
1954	Use of shotcrete to stabilize squeezing ground in tunnelling by Bruner
1955	Development of ground anchoring by Rabcewicz
1960	Recognition of the importance of a systematic measuring system by Muller
1962	Rabcewicz introduced the New Austrian Tunnelling Method in a lecture to the XIII Geomechanics Colloquium in Salsburg
1964	English form of the term NATM first appears in literature produced by Rabcewicz
1969	First urban NATM Application in soft ground (Frankfurt am Main)
1980	Redefinition of NATM due to conflict existing in the literature by the Austrian National Committee on Underground Construction of the International Tunnelling Association (ITA)
1987	First NATM in Britain at Barrow upon Soar mine

Cos'è il NATM?

Definizioni

Alla domanda "cos'è il NATM?" si risponde con le definizioni date dagli autori, dall'ITA e da un esperto sostenitore:

a. Rabcewicz (1964) sostiene che il NATM può essere spiegato come "un nuovo metodo consistente di un sottile rivestimento di calcestruzzo spruzzato, chiuso quanto prima possibile da un arco rovescio per completare l'anello – chiamato "arco ausiliario" – la cui deformazione è misurata in funzione del tempo sino al raggiungimento dell'equilibrio".

b. Leopoldo Müller (1978), un altro fondatore del NATM, ha osservato che: "il NATM è, piuttosto, una concezione di scavo definita da un insieme di principi... Così, è l'opinione dell'autore, esso non dovrebbe mai essere considerato un metodo di costruzione inteso come strumento per avanzare o scavare un tunnel".

c. La Commissione Austriaca dell'ITA (1980) riformula la definizione del NATM: "Il Nuovo Metodo Austriaco (NATM) si basa su un concetto dove il terreno (roccia o suolo) all'interno di un'apertura sotterranea diventa una componente strutturale portante carico per mezzo dell'attivazione di un anello come corpo che sostiene il terreno".

d. Sauer (1988) definisce il NATM come: "...Un metodo per produrre spazio sotterraneo usando tutti i mezzi disponibili per sviluppare la massima capacità di autosostegno della roccia o del suolo garantendo la stabilità dell'apertura sotterranea".

Le precedenti definizioni si completano tra loro e possono essere così commentate:

- il NATM richiede la posa di un sottile rivestimento in cls spruzzato che deve essere completato con l'arco rovescio in un tempo il più breve possibile effettuando misure delle deformazioni dell'anello sino all'esaurirsi delle stesse, cioè sino al raggiungimento dell'equilibrio (a);
- il NATM prevede una struttura resistente composta costituita in fase costruttiva dal rivestimento e da un anello di roccia o di suolo collaboranti nel portare i carichi trasmessi dal terreno stesso (c), (d);
- il NATM è dunque una filosofia di progetto e non un metodo di scavo e costruzione in quanto propone al progettista un'idea base che deve essere perseguita per conseguire la stabilità dell'apertura unitamente all'economia del rivestimento (b).

Risulta evidente che la prima definizione, ancorché non dichiarata direttamente la presenza dell'anello di terreno collaborante, come le definizioni (c) e (d), ne postula l'esistenza quando richiede che il sistema di misure debba accertare il

"raggiungimento dell'equilibrio"; postula, dunque, a tutti gli effetti un'interazione struttura-terreno: l'equilibrio sarà raggiunto quando la deformazione del rivestimento sarà tale da richiedere, allo stesso rivestimento e all'anello di terreno circoscritto la cavità, una risposta complessiva, in termini di reazione, che fa equilibrio ai carichi gravitativi.

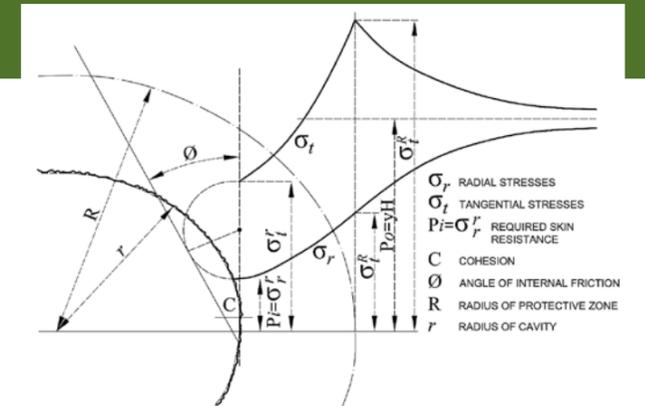


FIGURA 1 - Distribuzione degli sforzi intorno al cavo nell'ipotesi di pressione idrostatica. (tratta da Kastner, ripresa da Karakus & Fowell, 2004)

Con i simboli di Figura 1 e nell'ipotesi di pressione idrostatica vale la relazione Fenner-Talobre-Kastner che lega la pressione σ_r^r da applicare lungo il profilo del cavo circolare di raggio r alle caratteristiche di resistenza del terreno c e φ e al σ_r^r raggio maggiore R che definisce, insieme a r, l'anello di terreno portante in regime plastico (zona protettiva):

$$\sigma_r^r = -c \cot \varphi + \sigma_0 \left[\frac{c}{\sigma_0} \cot \varphi + (1 - \sin \varphi) \right] * \left[\frac{r}{R} \right]^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$$

con $\sigma_0 = \gamma H$.

In figura 1 è anche disegnato l'andamento delle tensioni normali, radiale σ_r e circonferenziale σ_t , nella zona protettiva e fuori, dove vale una distribuzione elastica delle tensioni.

La Figura 2 rappresenta la linea caratteristica del terreno in-

tesa come σ_r^t funzione della deformazione radiale Δr e del corrispondente rapporto $\frac{r}{R}$; σ_r^t ; (ordinata diretta verso l'alto) è espressa come percentuale di σ_r^0 , pressione all'istante di apertura del cavo ($T = 0, \Delta r = 0$); il parametro tempo (ordinata diretta verso il basso) viene utilizzato per descrivere l'evoluzione dei fenomeni (vedi più avanti).

La linea continua superiore (1) è la linea caratteristica del primo supporto di data rigidità; essa interseca la linea caratteristica del terreno in "A", punto di equilibrio: qui la pressione sul supporto uguaglia la pressione che sostiene la cavità dopo che la stessa ha scontato una data deformazione radiale Δr ; la linea continua inferiore rappresenta l'evolversi nel tempo, $\Delta r = \Delta r(T)$, del fenomeno sopradescritto di entrata in carico del supporto (1) a partire dall'istante della posa $T = 0$. Le linee tratteggiate, superiore (2) e quella corrispondente inferiore, hanno rispettivamente lo stesso significato fisico, ora illustrato, delle linee continue con due differenze: il secondo sostegno è caratterizzato da una maggior rigidità del primo ed è posato ($T = 0$) (poco dopo l'apertura del cavo quando la deformazione radiale è ancora modesta.

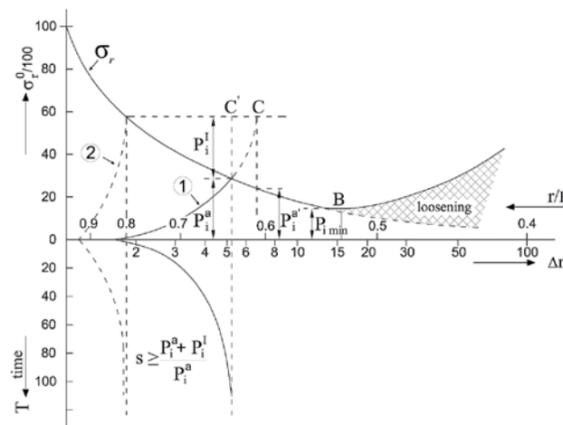


FIGURA 2 - Curve caratteristiche del terreno e del rivestimento - Interazione. (tratta da Fenner & Pacher, ripresa da Karakus & Fowell, 2004)

Il punto B è il punto di biforcazione dove la curva risale abbandonando l'andamento monotono decrescente del ramo che precede e del ramo inferiore: su questo aspetto si tornerà più avanti; il punto B è il punto di pressione minima: converrà fare in modo, scegliendo un'opportuna rigidità ed un opportuno tempo di posa, che avvenga qui l'incontro con la linea caratteristica del supporto.

Filosofia di progetto oppure metodo di scavo e costruzione?

La disputa tra coloro che sostengono che il NATM sia una filosofia di progetto e coloro che, invece, sostengono che il NATM sia una regola pratica di scavo e costruzione è stata evidenziata da E. Brown (1990) in modo espressivo nella memoria "Putting the NATM into perspective" dove mette a confronto come segue i rispettivi punti di vista:

- NATM FILOSOFIA DI PROGETTO**
- La resistenza del terreno intorno al tunnel è deliberatamente mobilitata quanto più possibile.
 - La mobilitazione della resistenza del terreno è controllata dalla deformazione del terreno.
 - L'iniziale sostegno primario viene installato in modo appropriato alle condizioni del terreno, cioè alle caratteristiche della curva carico-deformazione, e il tempo d'installazione è determinato con riferimento alle deformazioni del terreno.
 - La strumentazione è applicata per monitorare le deformazioni durante la fase in cui è installato il supporto primario, ed anche come base di un progetto di variante dello stesso e della sequenza di scavo.

- NATM METODO DI SCAVO E COSTRUZIONE**
- Il tunnel è scavato e sostenuto sequenzialmente, e le sequenze di scavo possono essere variate.
 - L'iniziale supporto primario del terreno è costituito da cls spruzzato in combinazione con fibre o con rete e.s., centine metalliche, in profilato oppure in trave reticolare, e a volte da armature nel terreno.
 - Il rivestimento definitivo è usualmente realizzato mediante getto in opera di calcestruzzo.

Dove i quattro punti filosofici sono molto simili e ricompresi nei cinque proposti da Müller (1990), qui non riportati. Come già detto il NATM, nato per i terreni in roccia, è stato applicato tra la fine e gli inizi degli anni '70 ai terreni sciolti: oggi è di gran lunga il metodo più usato di scavo e costruzione di tunnel in terreni sciolti nel mondo. Per questi terreni è stata rimessa in discussione la concezione del NATM come filosofia di progetto in quanto, è stato detto, in questo caso si deve prestare attenzione alle deformazioni del p.c. che impediranno di conseguire l'optimum della deformazione del cavo per minimizzare il carico risultante sul primo rivestimento; a questa obiezione sembra rispondere esplicitamente il secondo punto di Brown: "La mobilitazione della resistenza del terreno è controllata dalla deformazione del terreno", lasciando intendere che rimane confermato l'obiettivo primario del NATM della mobilitazione della resistenza del terreno, che ne costituisce il credo filosofico, purché si presti attenzione alle deformazioni in superficie: comunque in ambito urbano la libertà di mobilitare la resistenza del terreno è una libertà marcatamente condizionata.

Critiche al NATM

Le critiche al NATM sono numerose ed in parte già esposte: coloro che ritengono il NATM solo un metodo di scavo e costruzione appartengono in qualche modo ai detrattori del Metodo in quanto lo declassano da sistema concettuale ad un complesso di regole di buon comportamento nella gestione del "tunnelling". Altre critiche, che possono ancora considerarsi poco severe, riguardano la questione "novità"; i modi alternativi di chia-

mare il NATM sembrerebbero attribuire al NATM l'invenzione o perlomeno l'introduzione e diffusione di certi presidi di sostegno dello scavo; si fa specifico riferimento al prerivestimento in calcestruzzo spruzzato che più volte viene presentato in modo da indurre il convincimento che il presidio sia così intimamente legato al Metodo da essere nato insieme al Metodo stesso; si sa, invece, che, come si è cercato di mettere in evidenza nell'inquadramento storico, l'invenzione e l'uso del calcestruzzo spruzzato sono precedenti, così come sono largamente precedenti i metodi sequenziali costruttivi, le centine metalliche, le armature in rete e gli ancoraggi in roccia: in realtà sotto l'aspetto tecnologico il NATM non ha prodotto novità. Ma la critica più severa (Kovari, 1994) mina alla base l'edificio concettuale su cui è basato il NATM; la critica parte dalla definizione della Commissione Austriaca dell'ITA (1980) sopra riportata e di seguito riproposta per comodità di lettura: "Il Nuovo Metodo Austriaco (NATM) si basa su un concetto dove il terreno (roccia o suolo) all'intorno di un'apertura sotterranea diventa una componente strutturale portante carico mediante l'attivazione di un anello come corpo che sostiene il terreno". Questa definizione sembra voler dire che è l'applicazione del NATM a generare l'anello di terreno portante, mentre, come è ovvio, qualunque sia il metodo di scavo vi sarà l'anello di terreno portante e non sarà necessario attivarlo in quanto "una galleria senza l'azione strutturale del terreno è inconcepibile" (Kovari, 1994). Per meglio evidenziare questo aspetto viene parafrasata da Kovari la precedente definizione con l'espressiva analogia che segue:

“La Nuova Tecnica di Nuoto è basata sul concetto che l’acqua diventa un mezzo che sostiene (il nuotatore) mediante l’attivazione del galleggiamento”.

È evidente che la spinta dell’acqua diretta verso l’alto è indipendente dalla tecnica di nuoto: è la nota legge di Archimede a cui sono soggetti i corpi immersi nell’acqua in quanto immersi e non per il ricorso a qualsivoglia attivazione.

L’Archimede della meccanica dei terreni è Ritter, seguito da Engesser: il primo nel 1879 intuì la formazione dell’effetto arco che rendeva ininfluenza, ai fini delle pressioni della roccia all’intorno di una cavità, la profondità della stessa a partire da un dato valore di soglia; il secondo nel 1882 correlò il formarsi dell’effetto arco con i cedimenti del tetto della cavità; così già alla fine dell’Ottocento veniva chiaramente formulato il collegamento tra la deformazione della roccia e la conseguente pressione sul rivestimento del tunnel.

La critica di Kovàri prosegue ponendosi domande più specifiche, ad esempio sulla geometria dell’anello di terreno che protegge l’apertura; infine arriva ad analizzare un altro

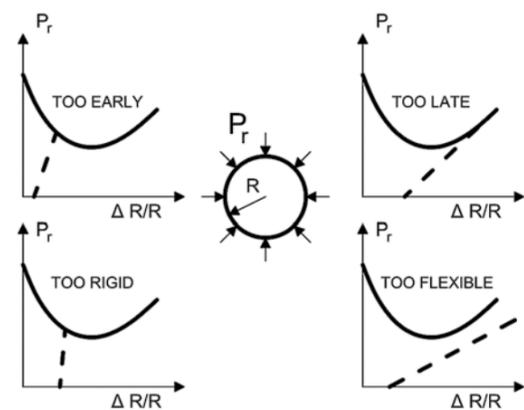


FIGURA 3 - Sesto principio del NATM: “Costruzione del rivestimento né troppo presto, né troppo tardi né troppo rigido, né troppo deformabile”. (tratta da Muller & Feker, ripresa da Kovàri, 1993)

punto cruciale riguardante l’ottimizzazione della scelta del tempo di posa del rivestimento primario e della sua rigidità in modo da minimizzare la pressione della roccia o suolo sul rivestimento stesso.

Il punto di partenza è la curva caratteristica del terreno di figura 2 (Pacher, 1964) che, invece di presentarsi con il consueto andamento monotono decrescente, mostra una marcata concavità rivolta verso l’alto, da attribuire, secondo l’autore, ad un allentamento dell’ammasso: superato un certo valore della convergenza, risale, invece di seguire a decrescere, la pressione da applicare lungo il profilo del cavo per garantirne la stabilità.

Il principio teorico del NATM, che richiede che la posa del sostegno debba avvenire né troppo presto, né troppo tardi e debba essere né troppo rigido, né troppo deformabile, ha proprio la finalità di cercare di intercettare, con la curva caratteristica del rivestimento, quella del terreno in corrispondenza di questo valore di soglia, che è il punto di pressione minima. E però non vi è alcuna evidenza né teorica, né sperimentale che la curva caratteristica del terreno mostri questo andamento, almeno nella dimensione prevista da Pacher; pertanto la richiesta del NATM di valutare strategicamente il tempo di posa e la rigidità del sostegno perde di significato. Così l’edificio concettuale del NATM come filosofia di progetto appare minato alla base da queste critiche.

I dettagli del metodo

Classificazione delle rocce secondo v. Rabcewicz-Pacher

Le rocce vengono suddivise in sei classi: I; II; III; IV; Va e Vb secondo criteri qualitativi in base alla loro stabilità d’insieme; con questo criterio vengono definite rocce stabili (I),

molto friabili (II), franose (III), spingenti (IV), molto spingenti (Va), sciolte (Vb); a queste classi viene associato uno stato di fratturazione più o meno spinta del materiale componente la roccia: materiale compatto (I), suddiviso (II), fortemente suddiviso (III), sciolto coerente (IV) sciolto poco coerente (Va) e sciolto incoerente (Vb).

Viene, poi, analizzato il comportamento della roccia allo scavo e viene riconosciuto che per la classe I il foro è stabile e richiederà soltanto interventi locali di protezione, per la classe II sarà necessario prevedere rinforzi in calotta dell’anello di roccia portante, per la classe III sono necessari sostegni e la “creazione” di un anello di roccia portante, per la classe IV, Va e Vb è necessario prevedere un rivestimento completamente chiuso in modo da contrastare le spinte laterali ed il sollevamento della platea con caratteristiche di resistenza

da graduare in relazione alla classe della roccia.

Viene anche analizzata l’influenza della presenza dell’acqua sul comportamento della roccia e viene riconosciuto che mentre per le prime due classi la presenza è ininfluenza per le rimanenti deve essere considerata con ovvi criteri di gradualità.

Infine vengono espressi i provvedimenti da adottare per ed in fase di scavo; per la I e II classe si potrà procedere con lo scavo a piena sezione e adottare ancoraggi in roccia solo in calotta prevedendo una maggiore estensione per la II classe; per la III classe lo scavo avverrà parzializzando la sezione in due parti, calotta e strozzo, e si estenderanno gli ancoraggi a tutto il profilo superiore di scavo; per la classe IV la sezione viene parzializzata in quattro parti, calotta, strozzo (due strati orizzontali) ed arco rovescio, per la classe Va si aumenta la

FIGURA 4 - Classificazione delle rocce secondo v. Rabcewicz - Pacher. (tratta da A.N.A.S. “Gallerie stradali”, 1982)

CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE SECONDO V. RABCEWICZ - PACHER						
CLASSI DI ROCCIA	I DA STABILE A LEGGERMENTE FRIABILE	II MOLTO FRIABILE	III DA FRANOSO A MOLTO FRANOSO	IV SPINGENTE	Va MOLTO SPINGENTE	Vb MATERIALE SCIOLTO
CARATTERISTICHE	MATERIALE COMPATTO, FESSURAZIONE DA LEGGERA A MEDIA	SUDDIVISIONE ACCENTUATA PER STRATIFICAZIONE E FRATTURAZIONE; LE SINGOLE FESSURE SONO PIENE DI MATERIALE ARGILLOSO, INTERCALAZIONI SCISTOSE.	ELEVATO GRADO DI SUDDIVISIONE PER STRATIFICAZIONE E FRATTURAZIONE IN PIU' PIANI; LE FESSURE RISULTANO PIENE DI MATERIALI ARGILLOSI.	ROCCIA MOLTO ALTERATA; RIPIEGATA E SCISTOSA; FASCI DI FAGLIE; MATERIALE SCIOLTO BEN CONSOLIDATO, COERENTE.	MATERIALE COMPLETAMENTE MILONITIZZATO ED ALTERATO, RIDOTTO A GHIAIETTO, SCIOLTO NON CONSOLIDATO, LEGGERMENTE COERENTE.	MATERIALE SCIOLTO INCOERENTE.
COMPORTEMENTO	LA RESISTENZA DELLA ROCCIA ALLA COMPRESIONE UNIASSIALE σ_{gd} E' MAGGIORE DELLA TENSIONE TANGENZIALE σ_t , CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PERMANENTE ESISTENTE O ASSICURATO DA: MISURE DI PROTEZIONE LOCALE	RINFORZO DELL'ANELLO DI ROCCIA PORTANTE IN CALOTTA	IL LIMITE DI RESISTENZA DELLA ROCCIA VIENE RAGGIUNTO E SUPERATO AL CONTORNO DELLA SEZIONE. SONO NECESSARI SOSTEGNI E LA CREAZIONE DI UN ANELLO DI ROCCIA PORTANTE.	LE TENSIONI TANGENZIALI SUPERANO LA RESISTENZA DELLA ROCCIA. IL MATERIALE, A COMPORTAMENTO PLASTICO, TENDE VERSO LA CAVITA' RIDUCENDONE LA SEZIONE; FENOMENO DI INTENSITA': MEDIA FORTE	VEDI CLASSE Va	VEDI CLASSE Va
INFLUENZA DELL'ACQUA	NESSUNA	IRRILEVANTE	PREVALENTE SUL CAVO DELLE FESSURE	DISCRETA	ANCHE FORTE (IL MATERIALE TENDE AD IMBIBIRSI)	
SCAVO	A PIENA SEZIONE	A PIENA SEZIONE	CALOTTA E STROZZO	A SEZIONI PARZIALI I-IV	A SEZIONI PARZIALI I-VI	A SEZIONI PARZIALI I-VI

parzializzazione (sei parti) suddividendo in due parti verticali i due strati di strozzo, infine per la Vb si consegue la massima parzializzazione (otto parti) suddividendo lo strozzo simmetricamente con i "larghi di strozzo" in corrispondenza dei piedritti; per le ultime tre classi gli ancoraggi rimarranno estesi all'intero profilo superiore di scavo con un graduale aumento del loro numero per metro lineare di galleria passando dalla IV alla Vb.

dell'ammasso: quest'ultima fase avviene soltanto in presenza di forti coperture in grado d'indurre nella roccia pressioni di schiacciamento ("squeezing pressures").

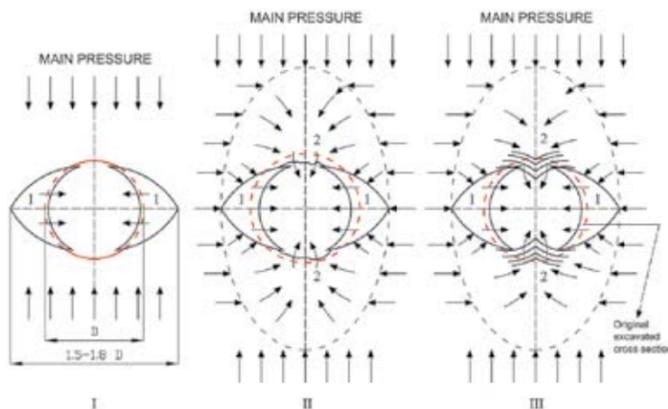
Allo stato limite ultimo le resistenze sono costituite dalla resistenza a taglio del rivestimento, degli ancoraggi in roccia e dell'anello di terreno plastico.

Di seguito si valutano le resistenze ultime, in termini di pressioni radiali, delle singole componenti.

Critero di rottura a taglio di una cavità secondo Rabcewicz

Nell'ipotesi di una galleria circolare soggetta a compressione, prevalente lungo l'asse verticale, il meccanismo di rottura, segnalato dalla forte convergenza del cavo in corrispondenza delle reni e dell'imposta, si forma per slittamento verso il centro lungo le quattro superfici di Mohr, una per ciascun quadrante in cui si pensa suddivisa la galleria (Figura 5); nella seconda fase si manifesta la convergenza della calotta e dell'arco rovescio, mentre nella terza fase questo fenomeno aumenta sino al collasso della roccia all'interno della cavità sotto la spinta divenuta costante

FIGURA 5 - Meccanismo di collasso di una cavità secondo Rabcewicz (1964). (tratta da Karakus & Fowell, 2004)



1. Rivestimento in cls proiettato

$$(R = 5,55 \text{ m}; s = 0,15 \text{ m}; R_{ck} = 20 \text{ MPa}; \gamma_c = 1,6)$$

$$p^s = \frac{0,83 R_{ck} s}{\gamma_c R} = \frac{0,83 * 20 * 0,15}{1,6 * 5,55} = 0,280 \text{ MPa}$$

Dove: p^s = resistenza ultima del rivestimento;

R_{ck} = resistenza caratteristica cubica a compressione del cls pr.; 0,83 = rapporto tra resistenza caratteristica cubica e cilindrica; γ_c = coefficiente di sicurezza del cls pr.; R = raggio del rivestimento; s = spessore del rivestimento.

2. Armature

$$(Rete \text{ e.s. } \Phi 6/15 \times 15 + 2 \Phi 12/\text{m} = 4,14 \text{ cm}^2/\text{m}; n = \frac{E_c}{E_f} = 15)$$

$$p^a = \frac{0,83 R_{ck} A_f}{\gamma_c R} = \frac{15 * 0,83 * 20 * 4,14}{1,6 * 5,55} * 10^{-4} = 0,012 \text{ MPa}$$

Dove: p^a = resistenza ultima dell'armatura metallica; E_f = modulo di elasticità dell'acciaio; E_c = modulo di elasticità del cls pr.; A_f = armature in rete e/o armature centine per ml di galleria.

3. Anello di terreno plastico

$$(\gamma_{it} = 22 \text{ kN/mc}; \varphi = 25^\circ; c = 0,100 \text{ MPa})$$

Preliminarmente è necessario valutare la pressione radiale ultima esplicita dagli ancoraggi.

$$p_b = \frac{f_{yt} A_b}{\gamma_b dl} = \frac{575 * 4,54}{1,15 * 1,00 * 1,00} * 10^{-4} = 0,227 \text{ MPa}$$

Dove: p_b = resistenza ultima dell'armatura degli ancoraggi; $A_b = \Phi 24 = 4,54 \text{ cm}^2$ area del singolo ancoraggio; $f_{yt} = 575 \text{ MPa}$ = tensione caratteristica di snervamento dell'ancoraggio; $\gamma_b = 1,15$ = coefficiente di sicurezza dell'acciaio dell'ancoraggio; $d = 1,00 \text{ m}$ = interasse degli ancoraggi in senso circonferenziale; $l = 1,00 \text{ m}$ = interasse degli ancoraggi in senso longitudinale.

La resistenza ultima complessiva, esplicita dall'insieme dei magisteri che costituiscono il sostegno della cavità al suo intradosso, vale:

$$(p^r = p^s + p^a + p_b = 0,280 + 0,012 + 0,227 = 0,519 \text{ MPa})$$

Valutato p^r si determina tramite l'equazione di Fenner-Talobre-Kaster, già esposta, il raggio dell'anello di terreno plastico $R \approx 8,05 \text{ m}$ e si determina con i parametri geotecnici del terreno, γ_t = peso di volume; φ = angolo di attrito e c = coesione, nel piano di Mohr il cerchio limite, valutando la tensione normale $\sigma_n^r = 0,800 \text{ MPa}$ e tangenziale $\tau_n^r = 0,480 \text{ MPa}$ in corrispondenza del punto di tangenza del cerchio con la retta limite.

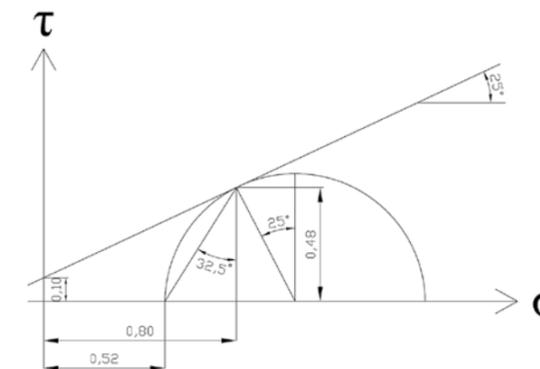


FIGURA 6 - Cerchio di Mohr per determinare σ_n^r e τ_n^r

Si determina mediante procedimento grafico la superficie di scorrimento, quindi l'inclinazione media $\psi = 18^\circ$, le lunghezze $S \approx 5,00 \text{ m}$ e $C \approx 3,50 \text{ m}$ della stessa, infine l'inclinazione media $\beta = 40^\circ$ degli ancoraggi incontrati dalla superficie di scorrimento.

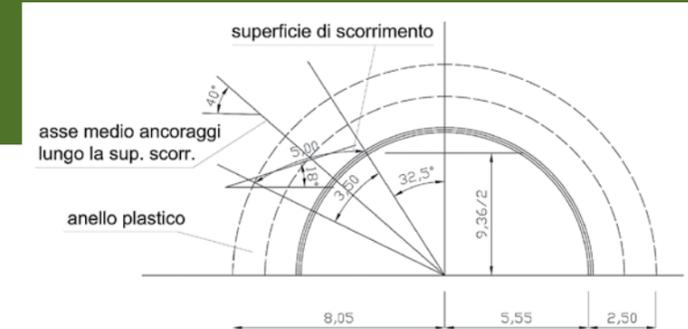


FIGURA 7 - Determinazione superficie di scorrimento e dei parametri S; C; ψ ; β

Ora è possibile valutare la resistenza $p^t = 575$ dell'anello plastico:

$$p^t = \frac{2}{b} * S * (\tau_n^r \cos \psi - \sigma_n^r \sin \psi) = \frac{2}{9,36} * 5,00 *$$

$$* (0,480 * \cos 18^\circ - 0,800 * \sin 18^\circ) = 0,224 \text{ MPa}$$

Dove b = altezza complessiva dei cunei di spinta =

$$2R \cos \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 2 * 5,55 * \cos(32,5) = 9,36 \text{ m}$$

4. Resistenza al taglio degli ancoraggi

$$p^b = \frac{C f_{yt} A_b}{\gamma_b dl \frac{b}{2}} \cos \beta = \frac{3,50 * 575 * 4,54}{1,15 * 1,00 * 1,00 * \frac{9,36}{2}} * \cos 40^\circ * 10^{-4} = 0,130 \text{ MPa}$$

5. Resistenza ultima totale al taglio p^r del sistema di supporti interni

$$p^r = p^s + p^a + p^t + p^b = 0,280 + 0,012 + 0,224 + 0,130 = 0,646 \text{ MPa}$$

Il coefficiente di sicurezza η del sistema di supporto potrà valutarsi come rapporto tra:

$$\eta = \frac{P^r}{P_a^I}$$

Dove P_a^I ha il significato di figura 2: è la pressione che grava sul sistema di supporto al termine della fase costruttiva.

Più tradizionalmente il denominatore di η può calcolarsi con i noti criteri di Terzaghi o equivalenti per valutare i carichi agenti sulla calotta di una galleria; considerando, ad esempio, un'altezza di terreno gravante pari a $4R$ si ha

una pressione in calotta pari a $4R\gamma_t = 4 \cdot 5,55 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 0,488 MPa$ si ha $\eta = \frac{0,646}{0,488} = 1,32$ che è valore ammissibile per la fase costruttiva.

Nota: l'esempio numerico sopra riportato è tratto con adattamenti da ANAS (1982).

Tabella per il progetto

Una tabella viene fornita dal già citato documento ANAS che permette un rapido dimensionamento (avanprogetto) di tutte le componenti strutturali (cls proiettato, centine, rete e.s., ancoraggi, arco rovescio e rivestimento definitivo) di una galleria di sezione autostradale a doppia corsia per le sei classi di roccia prevista.

La sezione della galleria è marcatamente diversa della sezione tradizionale a ferro di cavallo non solo per i più contenuti spessori dell'arco rovescio e del rivestimento definitivo, ma per la ridotta discontinuità tra i piedritti e l'arco rovescio che nelle successive applicazioni (vedi esempio) è comple-

tamente risolta con un profilo di scavo che presenta in ogni punto la continuità della tangente: è una caratteristica che deriva da un principio, certamente virtuoso, del NATM.

Un esempio: Tronchino della Linea C – Metropolitana di Roma

L'esempio rappresenta una previsione di progetto per il collegamento di monte e di valle tra le gallerie TBM della linea C in località Alessandrino per consentire la posa di scambi e l'inserimento di un tronchino di ricovero e manovra (il progetto, in seguito, è stato cambiato e di conseguenza l'intervento è stato realizzato diversamente); nella figura in basso è rappresentato uno schema planimetrico dei due collegamenti a monte e a valle, mentre in alto, la sezione trasversale e longitudinale del camerone "C".

Le gallerie devono essere realizzate con il NATM; la sezione trasversale rappresentata riguarda il camerone "C" per cui

è prevista la Classe C (la classe più impegnativa secondo la classifica di progetto) di modalità di scavo e sostegno.

La procedura di scavo prevede di suddividere in due parti la galleria, eseguendo prima la metà di sinistra e, poi, quella di destra demolendo il diaframma di spritz-beton di prima fase; nell'ambito delle due semigallerie lo scavo deve avvenire con la parzializzazione della sezione nelle tre parti di calotta, strozzo ed arco rovescio; gli scavi parziali sono tutti confinati tramite calcestruzzo proiettato. I tiranti della lunghezza variabile di 4 e 6 m, interessano tutto il profilo superiore della cavità con una densa distribuzione a quinconce.

Monitoraggio in corso d'opera

Come si è visto, il NATM è stato chiamato in modi diversi, tra questi "Metodo Osservazionale" che, sia pure il meno utilizzato, forse è il più appropriato perché si devono al NATM le prime misure in corso d'opera di parametri significativi

FIGURA 8 - Tabella per il progetto di gallerie di sezione autostradale. (tratta da ANAS "Gallerie stradali", 1982)

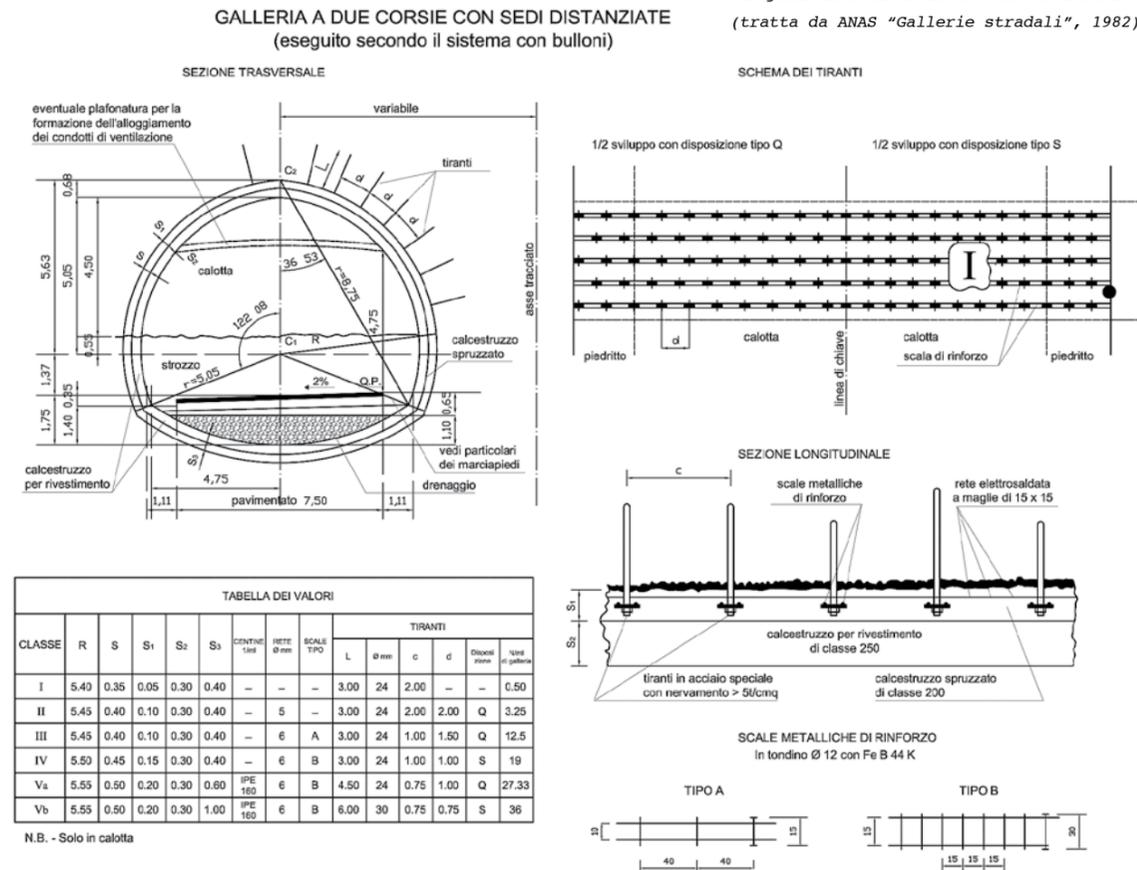
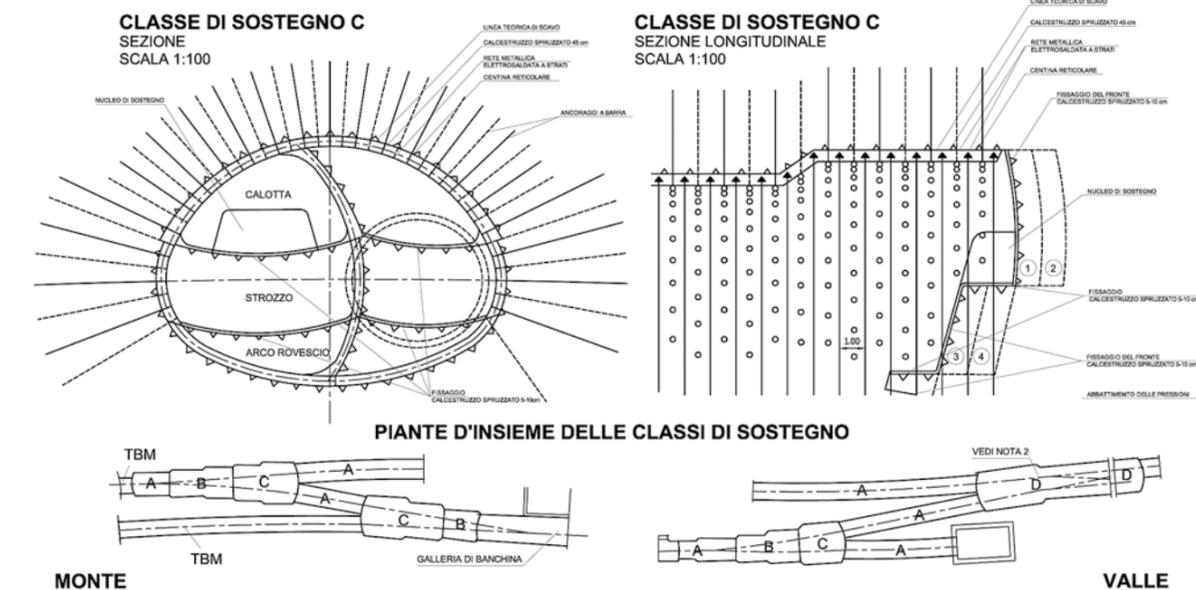


FIGURA 9 - Schema di progetto della connessione di Alessandrino della linea C – Metropolitana di Roma (tratta dal progetto definitivo della linea C – Metropolitana di Roma, 2002)



dell'andamento degli scavi; la finalità è espressa nei principi del NATM stesso ed è quella d'intervenire, se i dati sperimentali lo richiedono, modificando le caratteristiche dei provvedimenti di supporto del cavo. Anche in questo caso è opportuno precisare che il Metodo Osservazionale propriamente detto non è dovuto al NATM, ma è dovuto a Peck che ne diede nel 1969 una rigorosa formulazione procedurale.

La Figura 10 mostra: (1) le misure di convergenza orizzontale e diagonale, riguardanti punti contrapposti della sola calotta, oppure della calotta e dello strozzo; (2) misure estensimetriche in chiave ed alle reni; (3) misure di tensioni normali e tangenziali.

Le sezioni strumentate vengono previste ad una distanza in direzionale longitudinale variabile tra 15 e 90 m in relazione alla classe della roccia.

Conclusioni

Si è visto che il NATM, divenuto alla fine degli anni '60 metodo corrente per lo scavo e la costruzione di gallerie, ha suscitato nell'ambiente tecnico-scientifico accese polemiche tra i sostenitori, che lo considerano una filosofia di progetto,

ed i detrattori che lo considerano una costruzione di pensiero priva di contenuti rigorosi, se non addirittura erronei; in posizione intermedia si pongono coloro che lo considerano soltanto un metodo pratico per la buona esecuzione di una galleria.

Si è anche dibattuto sulla novità di alcune tecnologie che, indubbiamente diffuse dal NATM, in realtà, come è stato dimostrato dal quadro storico svolto in premessa, erano state introdotte precedentemente, in particolare la tecnologia del calcestruzzo spruzzato ed il metodo sequenziale di scavo.

Comunque si deve soprattutto riconoscere al NATM l'introduzione, per il progetto, di un esteso programma d'indagine geognostiche e, per la prima volta nella storia della costruzione delle gallerie, l'introduzione, per l'esecuzione, di un obbligatorio programma di misure volto all'eventuale correzione in corso d'opera delle scelte progettuali: è il Metodo Osservazionale con cui, tra i tanti modi, il NATM viene chiamato (sia pure impropriamente perché il MO è dovuto a Peck); è il metodo che ha anticipato di circa mezzo secolo la prescrizione delle "Nuove Norme Tecniche per le

Costruzioni" (D.M. 14/01/2008) che richiede l'applicazione di un monitoraggio permanente in fase di esecuzione delle opere geotecniche con la finalità d'introdurre eventuali modifiche a quelle componenti del progetto che si dimostrassero non compiutamente adeguate.

Si deve anche riconoscere al NATM il miglioramento di significativi dettagli riguardanti la sezione trasversale di galleria che viene presentata: (1) con spessori del rivestimento definitivo ridotti, rispetto a quelli tradizionali precedentemente in uso, quale risultato della ricerca del rivestimento più economico; (2) come curva continua lungo tutto il profilo di scavo che, perdendo la sagoma tipica "a ferro di cavallo", ha eliminato quelle marcate discontinuità della tangente nel nodo piedritto/arco rovescio, dove si verificavano forti concentrazioni di sforzo. Tuttavia al NATM è necessario imputare un forte limite, che forse è stato la causa della maggioranza dei suoi insuccessi: aver limitato l'analisi principalmente alla sezione trasversale della galleria, non riconoscendo in un comportamento 3D il ruolo primario svolto dalla stabilità del fronte nella statica del cavo in fase di avanzamento.

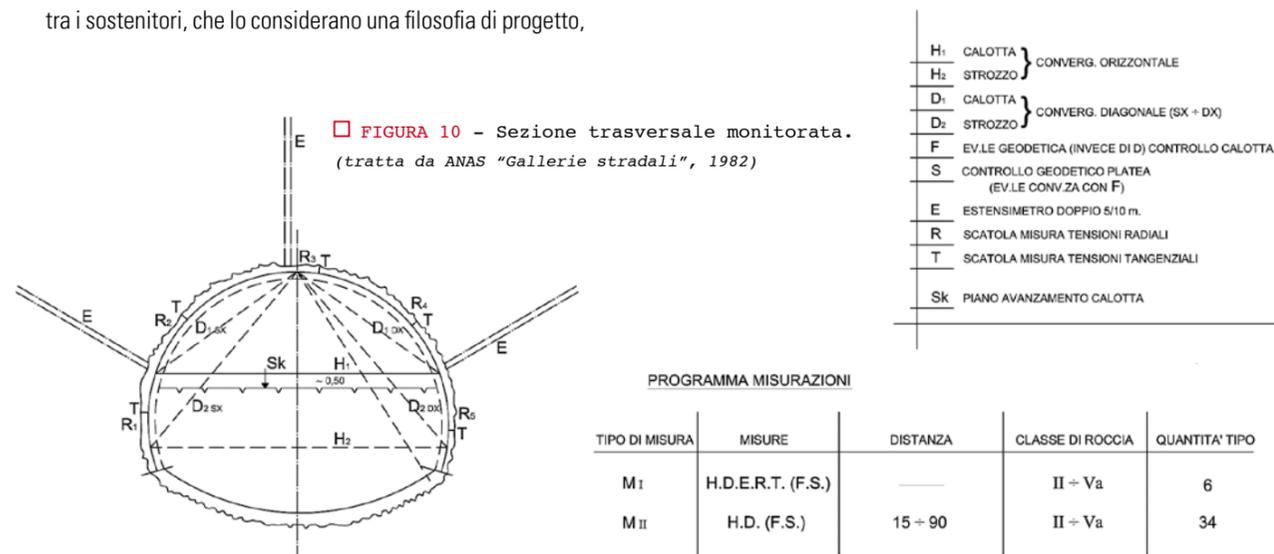
Di più: questo modo di ragionare, prevalentemente nel piano della sezione trasversale, ha portato a proporre, sia pure in terreni difficili a partire dalle gallerie di media sezione, un'eccessiva suddivisione in aree parziali di scavo con maggiorazione dei tempi esecutivi e delle subsidenze prodotte in superficie; le dichiarazioni di principio di Rabcewicz (1964): "...con gli obsoleti metodi allora usati (prima del NATM), le sezioni erano usualmente non scavate a piena sezione ma suddivise in parti che venivano scavate in sequenza...", sono rimaste tali: non si è vista la possibilità di risolvere i problemi della stabilità del cavo con provvedimenti da ese-

guire in avanzamento, in senso longitudinale prima della successiva fase di scavo.

Questo limite è presente nei fondamenti teorici del NATM che, come si è visto, risale ai primi anni '60; indubbiamente le ultime applicazioni che hanno potuto tener conto delle esperienze negative precedenti, usufruire degli sviluppi del calcolo automatico per le simulazioni 3D dello scavo ed infine utilizzare i sistemi di consolidamento in avanzamento messi a disposizione dal progresso tecnologico, hanno mitigato le carenze evidenziate, cosicché il Metodo, una volta aggiornato nei suoi concetti di base, potrà seguitare a costituire un utile riferimento per le future applicazioni.

Riferimenti

Pacher F. "Deformationsmessungen im Versuchsstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues" Felsmsch. Und Ing. Geol., Suppl. I, 1964.
 Rabcewicz L. "The New Austrian Tunnelling Method" Part one, Water Power Novembre 1964.
 Rabcewicz L. "The New Austrian Tunnelling Method" Part two, Water Power December 1964.
 Rabcewicz L. "The New Austrian Tunnelling Method" Part Three, Water Power Gennaio 1965.
 Rabcewicz L., Golsier J. "Principles of dimensioning the supporting system for the The New Austrian Tunnelling Method" Water Power Marzo 1973.
 ANAS "Gallerie Stradali" Roma Marzo 1982.
 Sauer G. "When an invention is something new: from practice to theory in tunneling" Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, 1988.
 Brown E.T. "Putting the NATM into perspective" Tunnels & Tunnelling Summer 1990.
 Müller L. "Removing the misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method" Tunnels & Tunnelling, Summer 1990.
 Sauer G. "Design concept for large underground openings in soft ground using the NATM" International Symposium on Unique Underground Structures, Colorado School of Mines, 1990.
 Kovari K. "Erroneous Concepts behind NATM" Tunnels and Tunnelling, Novembre 1994.
 Karakus M., R.J. Fowell "An insight into the New Austrian Tunnelling Method (NATM)" ROCKMEC' VIIth Regional Rock Mechanics Syvas, Turchia, 2004.
 U S Department of Transportation "Sequential Excavation Method (SEM)" Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels - Civil Elements, Chapter 9, 2009. ■



Lavori per la realizzazione della Metropolitana di Roma – Linea C

Le gallerie realizzate nell'ambito della Linea "C" della Metropolitana di Roma ricadono nella tratta T5 e T6. In particolare per la Tratta Alessandrino –Torrespaccata Tratta T5 sono state realizzate:

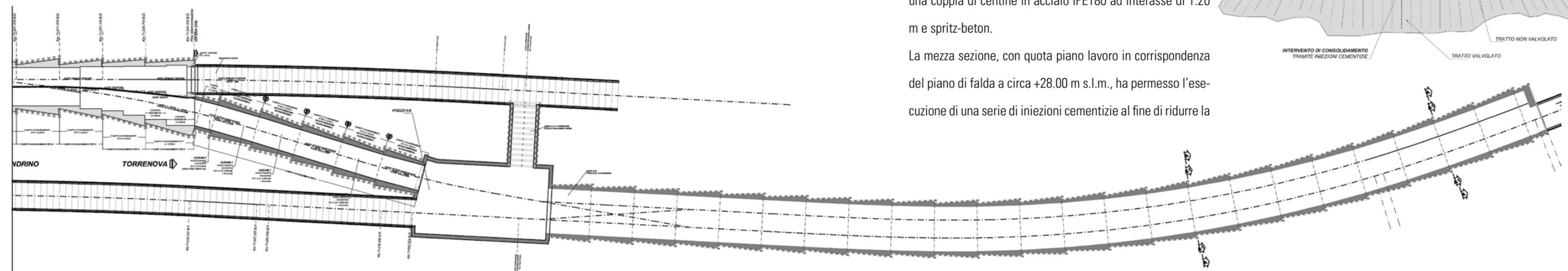
- allargo della galleria di linea "Tronchino Alessandrino";
- Interconnessione;
- Connessione di Valle;
- cunicolo dal pozzo 5.6 al binario dispari;
- cunicolo di fuga a valle del Tronchino Alessandrino;
- realizzazione del solettone di regolamento nelle tratte realizzate dalla TBM.

L'accesso è avvenuto attraverso il pozzo di aerazione Pozzo 5.6 che costituisce il tratto terminale della connessione di valle della stazione Alessandrino e l'inizio del tronchino di sosta.

Il manufatto di forma pressoché rettangolare ha uno sviluppo di circa 30 metri ed una larghezza interna di 13.5 metri.



Tronchino Alessandrino - Inquadramento opere



Tale pozzo presenta dimensioni ben superiori a quelle strettamente necessarie per svolgere la funzione di aerazione, per un duplice motivo consentire lato Alessandrino l'imbocco del binario pari e della connessione, mentre lato Torrespaccata una galleria a doppio binario per l'inserimento del binario pari e quello di scambio. Il pozzo è poi collegato alla galleria del binario dispari tramite un cunicolo.



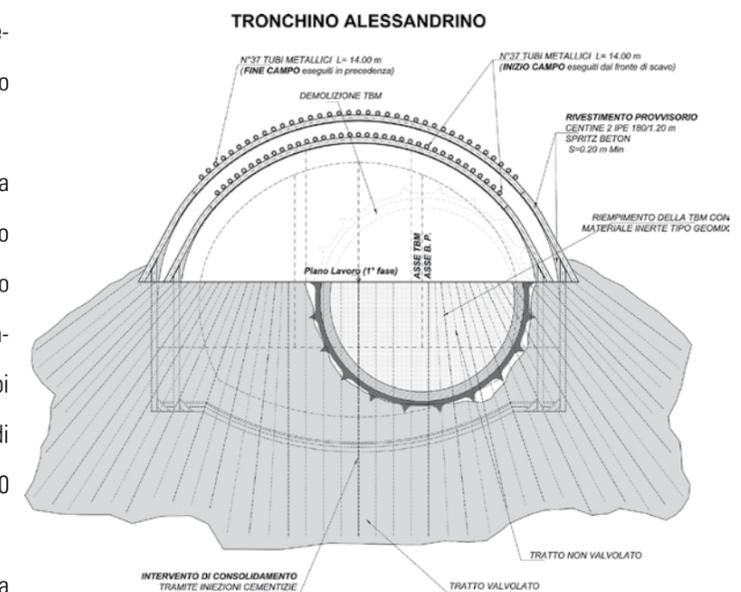
Fase di consolidamento

Tronchino Alessandrino

L'esecuzione della galleria denominata Tronchino Alessandrino è avvenuta con successivo allargo del cavo prodotto dal passaggio della TBM, successivamente alla demolizione dei conci di rivestimento per una sezione di scavo di 98 m² ed una lunghezza di 226 metri.

Una volta riempito il tratto della galleria di linea TBM da demolire, lo scavo si è sviluppato dai diaframmi del Pozzo 5.6 in direzione di Torre Spaccata a mezza sezione, previo consolidamento in calotta mediante infilaggi metallici di lunghezza pari a 14 metri. L'avanzamento è proceduto con campi di scavo di 9.60 metri di lunghezza, con posizionamento di una coppia di centine in acciaio IPE180 ad interasse di 1.20 m e spritz-beton.

La mezza sezione, con quota piano lavoro in corrispondenza del piano di falda a circa +28.00 m s.l.m., ha permesso l'esecuzione di una serie di iniezioni cementizie al fine di ridurre la



Interconnessione, impermeabilizzazione e armatura seconda fase



Fase spritz-beton - Galleria Giglioli

permeabilità dei materiali oggetto del secondo ribasso, fino alla sezione definitiva.

Anche per la fase di ribasso il rivestimento provvisorio è stato realizzato con una coppia di di centine IPE180 ad interasse di 1.20 m, bullonate alla piastra di base di prima fase.

Il rivestimento definitivo con spessore variabile compreso tra 60 e 130 cm è stato realizzato tramite l'utilizzo di un casero di L=6.00 m, previo posizionamento del pacchetto di impermeabilizzazione (TNT+guaina in PVC), e di armatura costituita da elementi tralicciati. A valle del Tronchino è stato realizzato il Cunicolo di fuga scavato a tutta sezione di 9 m² e lungo 15 metri, mentre in corrispondenza del Pozzo 5.6 è stato realizzato, scavo e rivestimento, sempre procedendo a mezza sezione e poi ribassando il cunicolo di collegamento, per una sezione di scavo di 40 m² e una lunghezza di 18 metri.



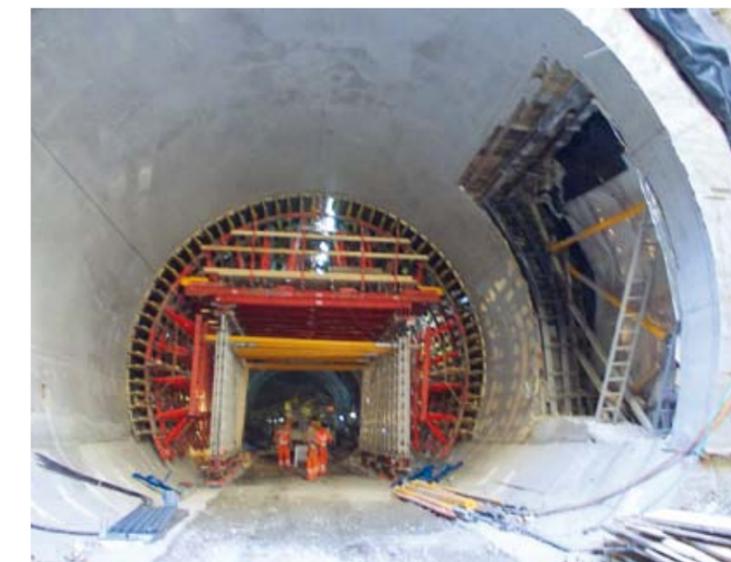
Connessione di Valle - Tampone

Interconnessione e Connessione di Valle

Procedendo verso la stazione Alessandrino in corrispondenza del binario dispari, abbiamo realizzato l'Interconnessione e la Connessione di Valle.

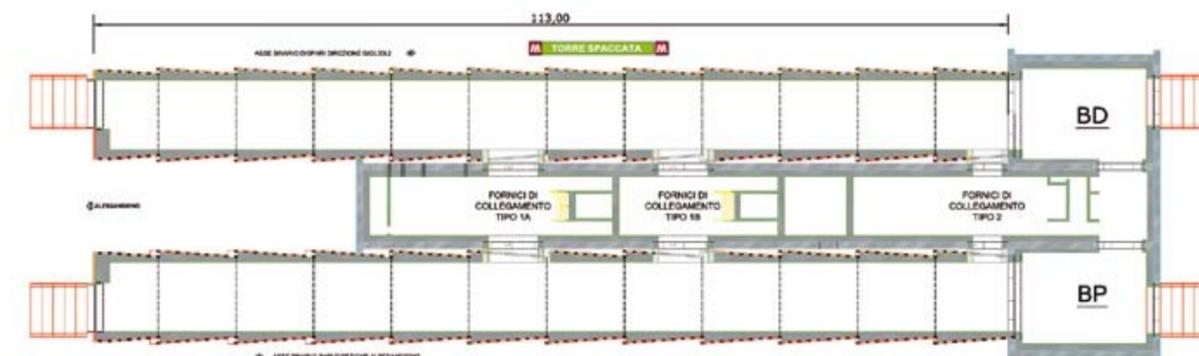
L'Interconnessione è stata realizzata sempre in due fasi di scavo previa realizzazione del consolidamento in calotta e delle iniezioni, per una sezione di scavo di 69 m² ed una lunghezza di 50 metri e rivestita per l'intera lunghezza.

Per la Connessione abbiamo realizzato il rivestimento definitivo della prima fase e il ribasso. Il rivestimento della prima fase è stato completato prima di eseguire il ribasso, per



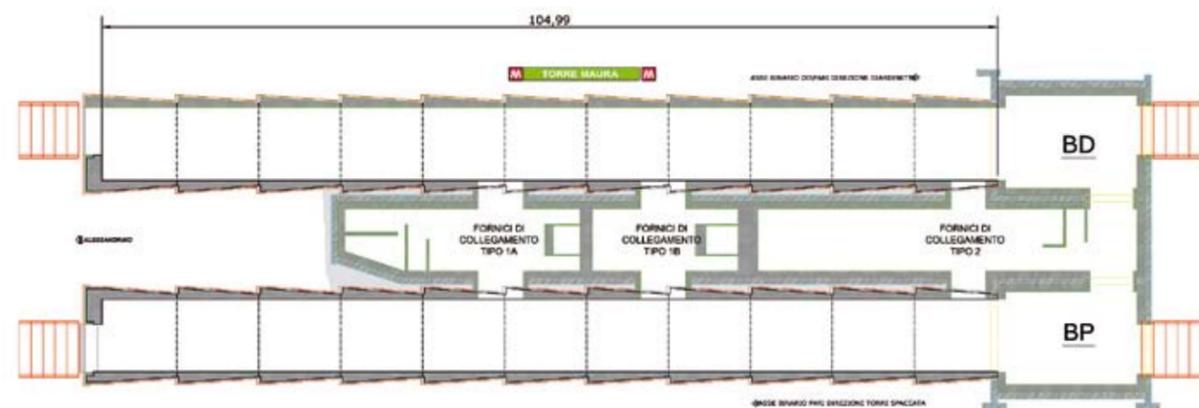
Rivestimento Torrespaccata - Fornici

Inquadramento TS



Galleria del Frejus

Dal 2003 al 2005 abbiamo operato nel traforo ferroviario del Frejus, nell'ambito dei lavori di consolidamento e di adeguamento alla nuova sagoma ferroviaria "B1" della galleria. Inutile ricordare la valenza storica di questo traforo, realizzato dal 1857 al 1871 scavando da due fronti, italiano e francese, per una lunghezza complessiva di 13.636 metri, di cui 6.791 in Italia, e con una quota massima di 1.335 metri s.l.m.



□ Inquadramento TM

consentire ciò la mezza sezione è stata supportata da due travi di sostegno fortemente armate, solo successivamente ai getti delle calotte è stato completato lo scavo di ribasso e rivestimento definitivo a chiusura dell'arco eseguiti a fasi alterne, lasciando alle spalle dello scavo sempre una sezione interamente rivestita.

Per la tratta T6 invece è stato realizzato quanto segue.

□ Scavo gallerie di linea - Stazione Torre Maura



Stazione Torrespaccata

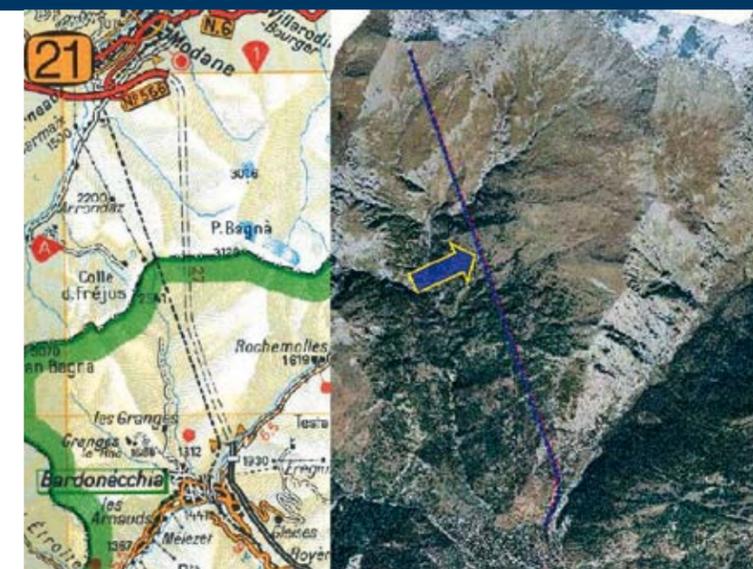
Due gallerie di banchina in allargamento con demolizione dei concetti della TBM e scavo a mezza sezione con campi di infilaggi e successivo ribasso previa esecuzione di iniezioni di consolidamento verso il basso. Rivestimento definitivo calotta con apposito cassero previo getto dell'ar. Sezione media di 92 m² e lunghezza di circa 110 metri per ciascuna galleria.

Realizzazione fornici di collegamento BP/BD.

Stazione Torre Maura

Due gallerie di banchina in allargamento con demolizione dei concetti della TBM e scavo sezione intera con campi di infilaggi. Rivestimento definitivo calotta con apposito cassero previo getto dell'ar. Sezione media di 92 m² e lunghezza di 106 metri circa per ciascuna galleria.

Realizzazione fornici di collegamento BP/BD. ■



Localizzazione geografica del traforo del Frejus □

Imbocco galleria ferroviaria Frejus lato Italia □

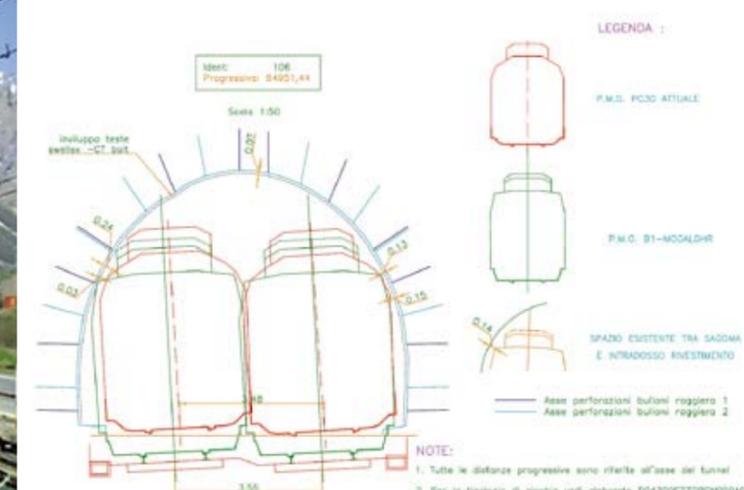


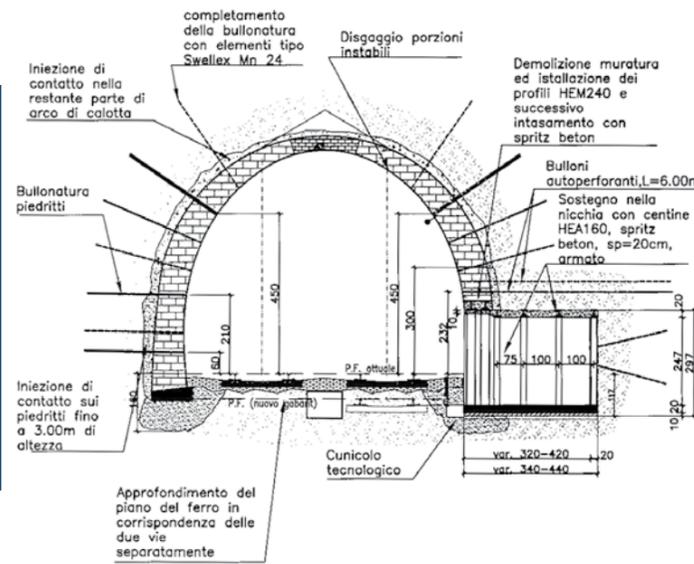
La linea di confine passa all'interno della galleria.

Il traforo, il più lungo al mondo all'epoca della sua inaugurazione, è stato scavato a tutta sezione con l'ausilio di esplosivo ed avanguardistiche perforatrici pneumatiche, rivestito poi in mattoni.

Le opere relative all'adeguamento alla sagoma ferroviaria "B1", (interamente eseguite senza interruzione di esercizio ferroviario) hanno comportato uno scavo di ribasso di ca. 60-70 centimetri, anticipato da consolidamenti atti a contenere le deformazioni indotte dal successivo scavo e ripristinare l'azione portante del rivestimento in mattoni che nel tempo

Schema adeguamento sagoma ferroviaria □





Sezione tipo con indicazione degli interventi



aveva maturato lesioni e disarticolazioni.

Lo schema degli interventi di consolidamento annoverava, tra le altre, l'esecuzione delle perforazioni eseguite dalla Cipa per la posa di ancoranti meccanici di vario genere e per le iniezioni, riassunte nella tabella sottostante.

Tipologia dell'intervento	ml di perforazione
CT-BOLTS	43.848
AUTOPERFORANTI	8.100
SWELLEX	18.000
PERFORAZIONI PER INIEZIONI	33.090
PERFORAZIONI AL PIEDRITTO E POSA TUBI VALVOLATI	36.000
TOTALE	139.038



Ancoranti Swallex e Inserimento CT-Bolt



Le operazioni della Cipa si sono svolte lungo tutta la tratta italiana del traforo, impegnando un solo binario per volta, permettendo così il mantenimento dell'esercizio ferroviario sull'altro.

Tutte le macchine e le attrezzature di lavoro, compresi i generatori di forza elettromotrice ed i serbatoi per l'acqua, erano installate su un convoglio ferroviario appositamente attrezzato, il cui ingresso, movimentazione e attività in gal-



Cannucce di iniezione al piede

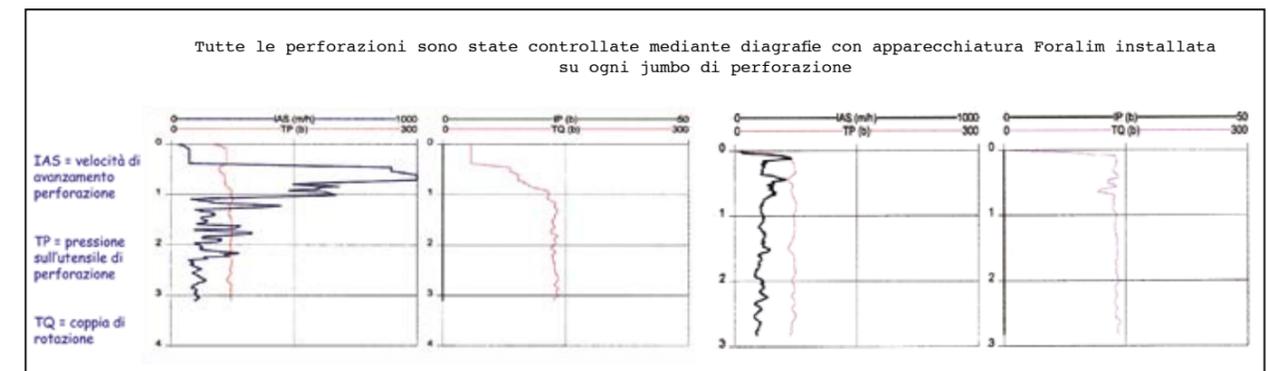


Convoglio attrezzato per le lavorazioni e perforazione

leria, per ovvi motivi inerenti il mantenimento dell'esercizio ferroviario, erano vincolati da rigide procedure operative. Vale evidenziare quale sia stata la difficoltà nel lavorare sino a 7 km dall'imbocco più vicino, con una sezione di ma-

novra operativa rigidamente limitata e con al fianco treni che sfrecciavano scortati da un gravoso spostamento di masse d'aria e da un forte rumore, accentuati dalla costipazione dell'ambiente.

Report di monitoraggio perforazioni

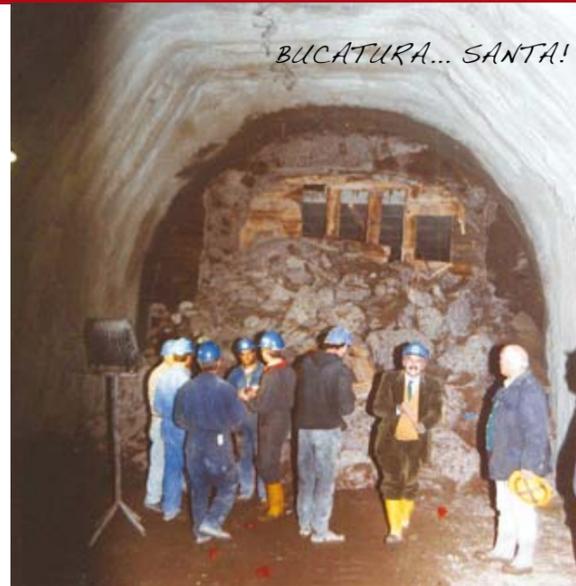


1996/2001



INIZIA LA TRADIZIONE

Dio Credò il Mondo
e Francesco
lo Completò
con la cipa
Gli Avanzatori
Natale 1996



"NON TUTTO L'ORO LUCE"

Non abbiamo nulla di rappresentativo da mostrare del cantiere Auditorium.

Tutto quello che abbiamo fatto (moda) all'Auditorium, non è visibile. Scavi, fondazioni, pozzi, legature, demolizioni, muri, carteggio, riprese, comandi aerei. Ma il "son costoso" da mostrare lo abbiamo anche nella Metropolitana di Roma, nel parcheggio del Gianicolo, nella Metropolitana di Napoli, nel sistema ad Alta Capacità Formisiana (Anagni - Bologna, nella metropolitana di Torino, nelle opere di modernizzazione di Tarvisio, nell'Autosole di Trafletti, ed in tante altre opere dove con orgoglio riceviamo di avere risolto problemi dove altri avevano desistito. Siamo stati, e cerchiamo di essere, un'impresa su cui contare. Andiamo avanti ad investire in società ed strutture, ma il nostro lavoro continuerà a tutto "teatro".

cipa
sorrento
passione e dedizione

Cipa S.r.l. - Sede legale: Stradazione V. Rossi, 13 - 80067 Sorrento
Tel. +39-081-8471811 - Fax +39-081-8471810
Sede Roma: Via Marmorata, 41 - 00187 Roma Tel. +39-06-84803240
E-mail: info@cipasorrento.com - Site Web: http://www.cipasorrento.com

PUBBLICITÀ
ANIMA DEL COMMERCIO



SANTIFICATICATI DAL LAVORO IN VATICANO...
CELEBRIAMO

...M' PAR U VISTIT E CARNAL

...MA NUN È U VSTIT CHE FA' O MONAC

MA ALLOR CHE M'AGG ACCATTAT A FA'

... FERDINA CHIEST È U VISTIT LU NONN

M' SONG ACCATTAT O' VSTIT NUOV PU MSTRINON E GIUSY... 'M' M'ANC SUL NA BELL CRAVATT

CABÈ U NONN MA FUTTUR NATA VOTA

TERRE PARTENOPEE

Approccio ADECO-RS

Giuseppe Lunardi

L'ADECO-RS è un approccio progettuale e costruttivo al tunnelling sviluppato dalla Rocksoil S.p.A. di Milano sotto la guida del Prof. Pietro Lunardi a partire dalla fine degli anni '70.

L'approccio è fondato su tre principi basilari, che sono stati enunciati nei primi anni '90 in seguito ad una lunga attività di ricerca e di sperimentazione sul campo, proprio dove i vecchi metodi (vedi NATM) manifestavano la loro inadeguatezza:

- la risposta deformativa del mezzo allo scavo si compone di estrusione, preconvergenza e, infine, convergenza, essendo la convergenza

solo l'ultimo stadio della deformazione che si sviluppa in galleria (Figura 1);

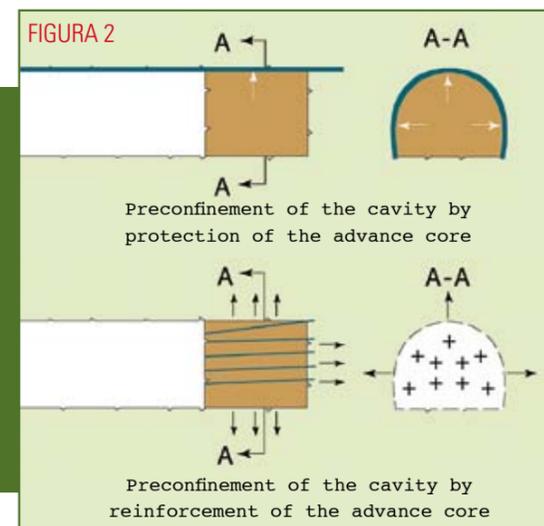
- esiste un legame diretto tra la risposta deformativa del nucleo-fronte (estrusione, preconvergenza) e quella della cavità (convergenza) nel senso che quest'ultima è diretta conseguenza della prima;

- operando sulla rigidità del nucleo-fronte con interventi protettivi e di rinforzo è possibile controllare la sua deformabilità (estrusione, preconvergenza) e controllare di conseguenza anche la risposta deformativa della cavità (convergenza) (Figura 2). Caratteristica principale dell'ADECO-RS (acronimo per Analisi delle DEformazioni COntrollate) è che il progettista, nell'affrontare il progetto di un'opera in sottterraneo, concentra la propria attenzione sulla valutazione della risposta deformativa

del mezzo all'azione dello scavo. Tale risposta, assolutamente tridimensionale, viene dapprima prevista e analizzata, quindi controllata attraverso appropriati sistemi di stabilizzazione. Elemento innovatore del metodo ADECO-RS è il controllo della risposta deformativa già a monte del fronte di scavo, richiedendo al progettista di intervenire con azioni di precontenimento del cavo e non solo con semplici azioni di contenimento poste a valle del fronte di scavo (vedi ad esempio il NATM). In particolare, l'azione di precontenimento viene esercitata utilizzando il nucleo di terreno a monte del fronte (preconsolidato, quando necessario, con adeguati interventi di stabilizzazione) quale elemento strutturale per stabilizzare la galleria durante le fasi di scavo e costruzione (Figura 2).

L'ADECO-RS distingue nettamente il momento della progettazione dal momento della costruzione. Il momento della progettazione consiste in:

- una fase conoscitiva, in cui viene eseguita l'analisi degli equilibri naturali preesistenti e la completa caratterizzazione del mezzo da scavare;
- una fase di diagnosi, in cui la risposta deformativa viene analizzata in assenza di interventi di stabilizzazione; il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento tenso-deformativo omogeneo, nell'ambito di tre categorie di comportamento (A, B, C) in funzione delle condizioni di stabilità previste



in corrispondenza del fronte di scavo (nucleo-fronte stabile, stabile a breve termine o instabile);

- una fase di terapia, in cui si esegue il controllo della risposta deformativa attraverso la definizione di opportune scelte dei sistemi di stabilizzazione.

Il momento della costruzione consiste in:

- una fase operativa, in cui avviene l'applicazione degli strumenti di stabilizzazione per il controllo della risposta deformativa;
- una fase di verifica e messa a punto del progetto in corso d'opera, in cui la risposta deformativa dell'ammasso durante l'avanzamento degli scavi viene misurata (rilevamento dell'estrusione del nucleo d'avanzamento e delle convergenze superficiali e profonde del cavo), interpretata e verificata e i sistemi di stabilizzazione opportunamente bilanciati tra il fronte e il perimetro di scavo.

Per questa via l'approccio ADECO-RS è in grado di affrontare con successo qualsiasi tipo di terreno e condizione tenso-deformativa, come è stato ampiamente dimostrato durante la costruzione di più di 1000 km di gallerie negli ultimi 25 anni. La sua introduzione nei capitolati e nelle specifiche delle maggiori Amministrazioni italiane ha di fatto rivoluzionato il modo di operare in galleria, in particolare:

- ha introdotto in galleria, grazie agli spazi resi disponibili dal-

la piena sezione, attrezzature sempre più grandi e potenti, che hanno consentito di operare con elevate produzioni;

- ha ridotto il numero delle lavorazioni e degli addetti contemporaneamente presenti in galleria, differenziando e separando i momenti del consolidamento, da quelli dello scavo e del rivestimento;

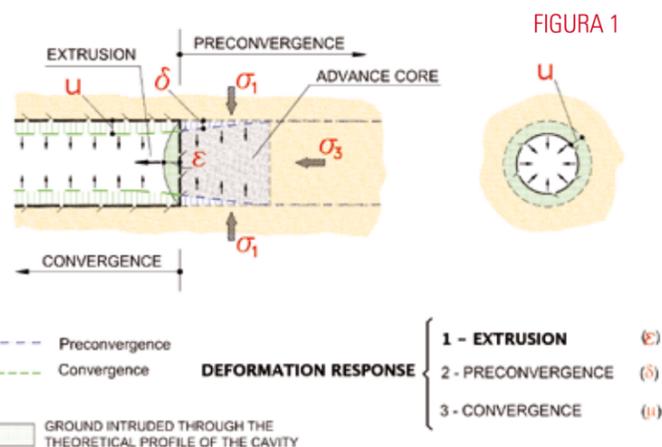
- ha inserito nei cicli di avanzamento i rivestimenti definitivi.

Tutti questi elementi hanno sostanzialmente contribuito all'incremento della sicurezza in galleria in fase costruttiva.

Infine ADECO-RS ha reso possibile una pianificazione finanziaria delle opere in sottterraneo assai più aderente alla realtà e soggetta a errori percentuali molto ridotti, avendo garantito tempi di costruzione rapidi e certi, particolarmente in contesti geomeccanici complessi nei quali i sistemi tradizionali (NATM o derivati) prevedono invece fasi esecutive lunghe e laboriose. Probabilmente se non fossimo arrivati fin qua oggi non impiegheremmo solo 20 minuti per percorrere la tratta ferroviaria tra Bologna e Firenze attraversando 80 km di galleria al di sotto degli Appennini Tosco-Emiliani e la loro variegata geologia.

Tutto ciò non sarebbe comunque stato possibile se gli implementatori del sistema non avessero incontrato sul loro cammino imprenditori illuminati e maestranze qualificate, realtà che da venticinque anni a questa parte trovano la loro piena unione in Cipa e nell'amico Francesco. Ancora oggi Cipa si pone sul mercato del settore come uno dei soggetti più qualificati nello scavo di gallerie con il metodo ADECO-RS, contribuendo con successo allo sviluppo infrastrutturale del nostro "bisognoso" paese; come progettista posso infatti affermare che i progetti possono anche essere perfetti, ma se chi li pone in opera non è all'altezza il risultato non arriva!

Con l'affettuoso augurio di poter scrivere il seguito di questa bella storia tra altri 25 anni! ■



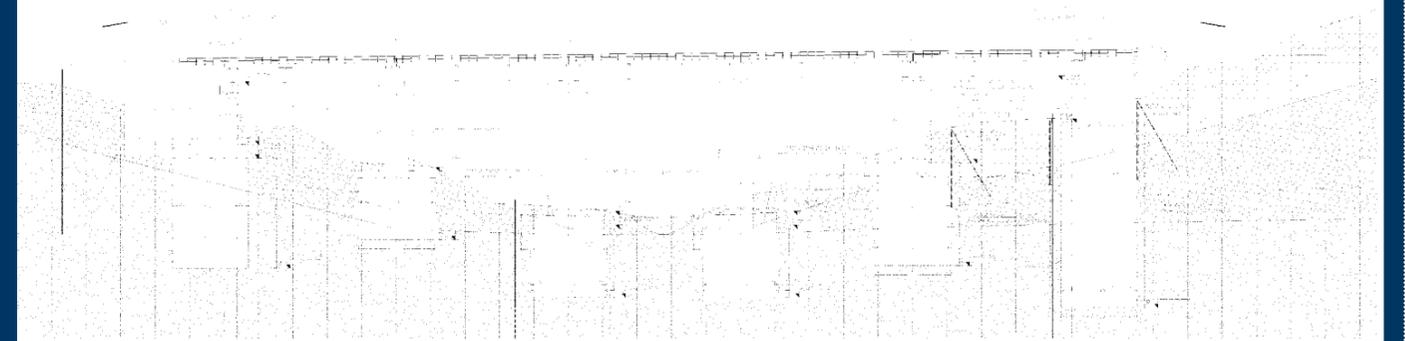
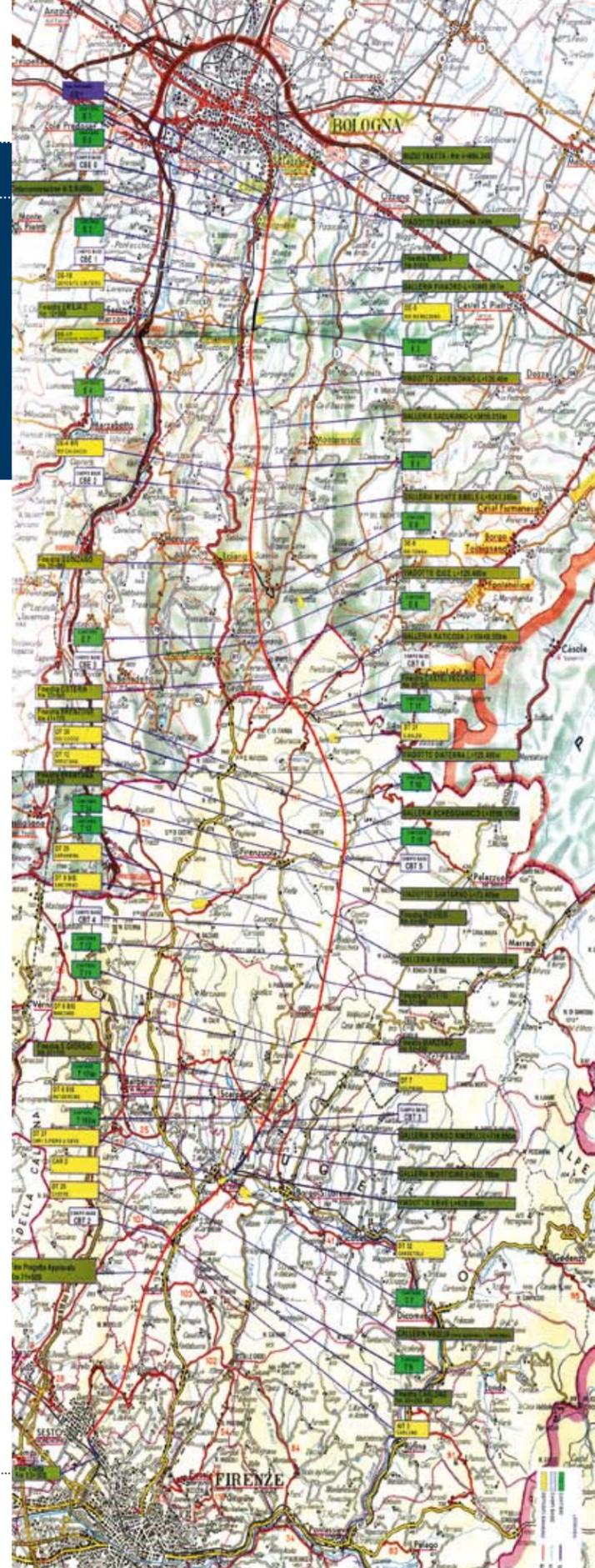
Alta Velocità

Dal 2000 la Cipa partecipa alle opere civili per la realizzazione delle linee ferroviarie ad alta velocità, dove abbiamo realizzato molteplici pozzi di diversa tipologia funzionale e lavorazioni in galleria.

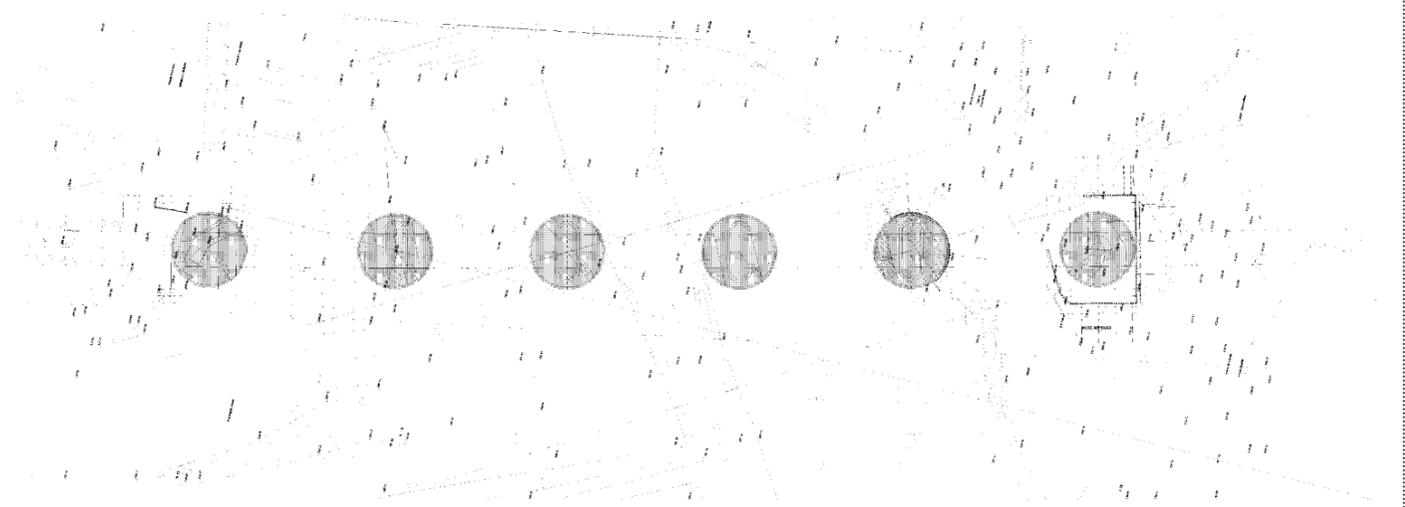
Viadotto Idice

Per il viadotto Idice, situato all'imbocco della galleria Raticosa lato Bologna, abbiamo realizzato sei pozzi strutturali circolari di diametro 11 m e profondi da 9 a 24 metri. Lo scavo è stato realizzato con benna e martello demolitore, il pririvestimento con centine metalliche e calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton). Due dei sei pozzi sono stati realizzati nelle adiacenze dell'alveo del fiume Idice ad una quota estradosso di 380 metri s.l.m. ovvero

□ Viadotto Idice attraversato dalla Frecciarossa



Pozzi strutturali del viadotto Idice □



Realizzazione dei pozzi strutturali drenanti □
del viadotto Diaterna

4,56 metri sotto la quota di massima piena secolare valutata in 384,56 metri s.l.m.

La realizzazione di trincee drenanti ha garantito un ambiente di lavoro asciutto.

Al termine della fase di scavo, i pozzi sono stati interamente riempiti con calcestruzzo, tranne la spalla SP2, per la quale è stato previsto un alleggerimento del nucleo con predisposizione di un cassero circolare di 4 metri di diametro.

Viadotto Diaterna

Sito all'imbocco lato Firenze della galleria Raticosa, per la sua costruzione abbiamo partecipato realizzando otto pozzi



□ Fase di getto di ritombamento dei pozzi strutturali drenanti del versante Diaterna



□ Viadotto Diaterna realizzato



□ Fase di scavo con esplosivo dei pozzi per il viadotto Diaterna



Panoramica della costruzione dei pozzi □ del versante Diaterna

circolari di fondazione strutturali e drenanti per il consolidamento del versante sinistro del torrente Diaterna, di diametro 7,40 metri e profondi 22,50 metri ed un pozzo strutturale per la spalla del viadotto di pari diametro e profondo 11 metri. Lo scavo, oltre che con benna e martello demolitore, è stato realizzato utilizzando anche esplosivo. Il priverivestimento è costituito da centine metalliche, rete elettrosaldata e calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritze-beton) Al termine della fase di scavo, i pozzi sono stati ritombati con calcestruzzo armato, lasciando libero, nei pozzi drenanti, un pozzetto del diametro di due metri e profondo 11 metri.

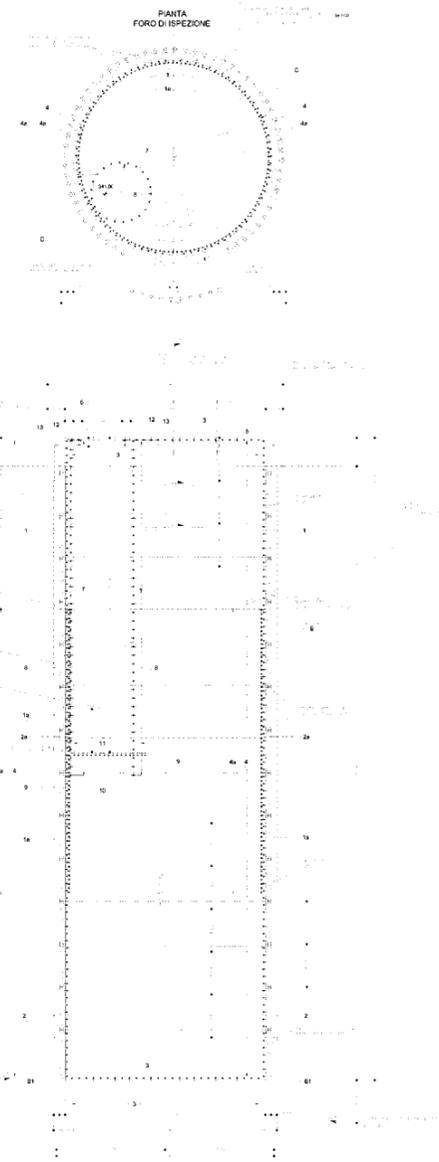
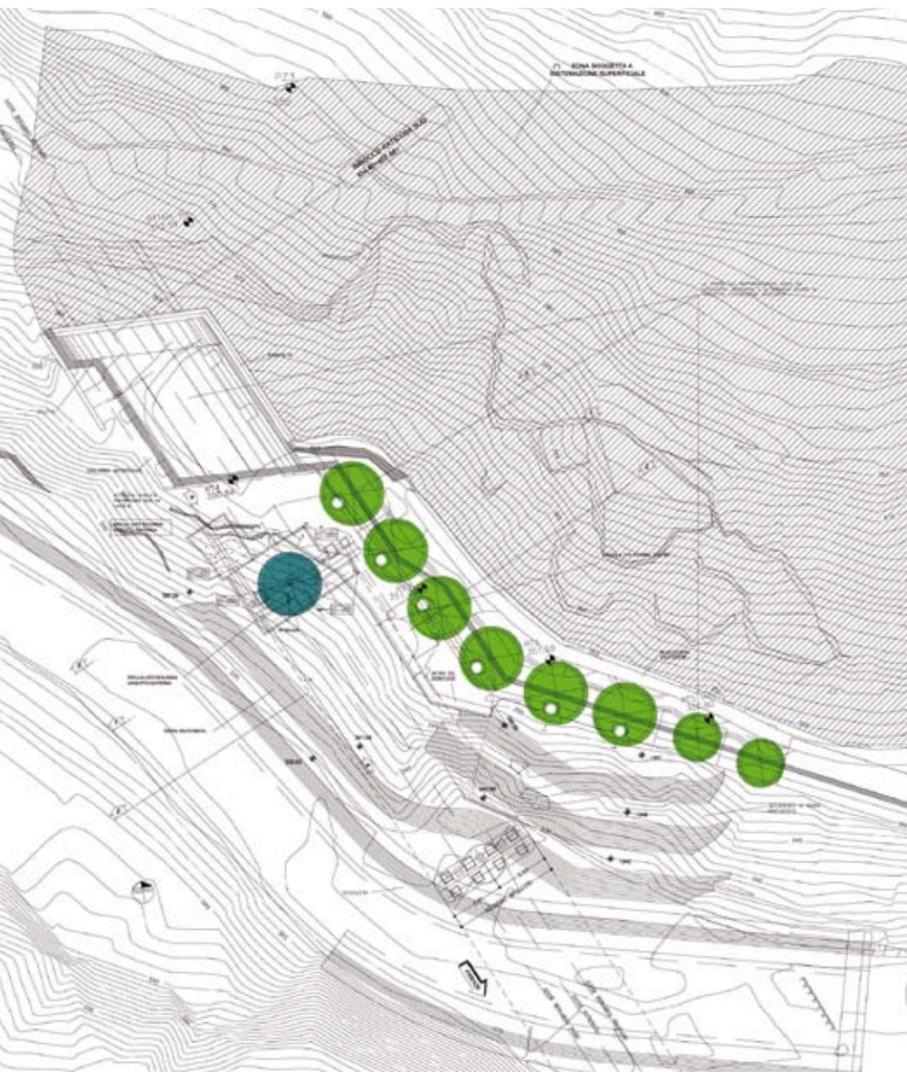
Galleria Raticosa

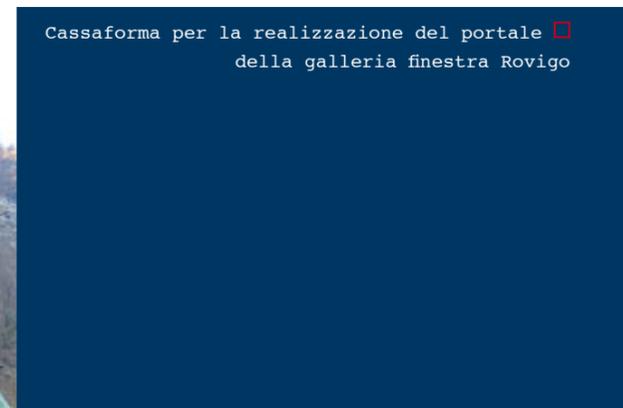
Questa galleria ci ha visto protagonisti di una realizzazione unica nel suo genere: la costruzione, all'interno della galleria stessa, di sei pozzi strutturali eseguiti in modo da ricavare una "chiave immersata" nella roccia e collegata all'arco rovescio, per far sì che il cavo

Realizzazione di pozzi strutturali all'interno □ della galleria Raticosa



□ Pianta e schema tipo dei pozzi strutturali drenanti del viadotto Diaterna





Scavo pozzo e realizzazione di nicchie all'interno della galleria Raticosa

non si "avviti" sotto l'enorme spinta generata dal versante Diaterna, in frana da anni. Tale avvitemento è avvenuto più volte con le diverse imprese che si sono succedute nelle lavorazioni. Non senza orgoglio evidenziamo che il successo di tale lavorazione ci ha permesso di sbloccare l'ultimo tratto di galleria rimasto praticamente fermo dal 1998 quando vennero iniziati i lavori sul versante Diaterna, permettendo il completamento degli ultimi 100 metri di galleria rimasti

Galleria Raticosa versante Diaterna

incompiuti su tutta la tratta da Firenze a Bologna. I sei pozzi sono di diametro 6,50 metri, di cui due profondi 8,28 metri e quattro profondi 12,18 metri, scavati con benna, martello demolitore ed esplosivo, priverestiti con centine metalliche, rete elettrosaldata e calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton). Al termine della fase di scavo, i pozzi sono stati armati e ritombati con calcestruzzo. Oltre ai pozzi, abbiamo anche realizzato l'arco rovescio con murette per 155 metri di galleria, realizzato il rivestimento definitivo in calcestruzzo armato dei cameroni di manovra, di lunghezza 12 m e sezione 34 m² e le nicchie tecnologiche.

Galleria finestra Osteto (diramazione della galleria Firenzuola)

Rivestimento definitivo in calcestruzzo armato di ca. 700 metri di galleria. Realizzazione delle nicchie tecnologiche.

Galleria finestra Castelvechio (diramazione della galleria Raticosa)

Rivestimento definitivo in calcestruzzo armato di ca. 1.135 metri di galleria. Realizzazione delle nicchie tecnologiche. Ritombamento di due cameroni di manovra.

Galleria finestra Rovigo (diramazione della galleria Firenzuola)

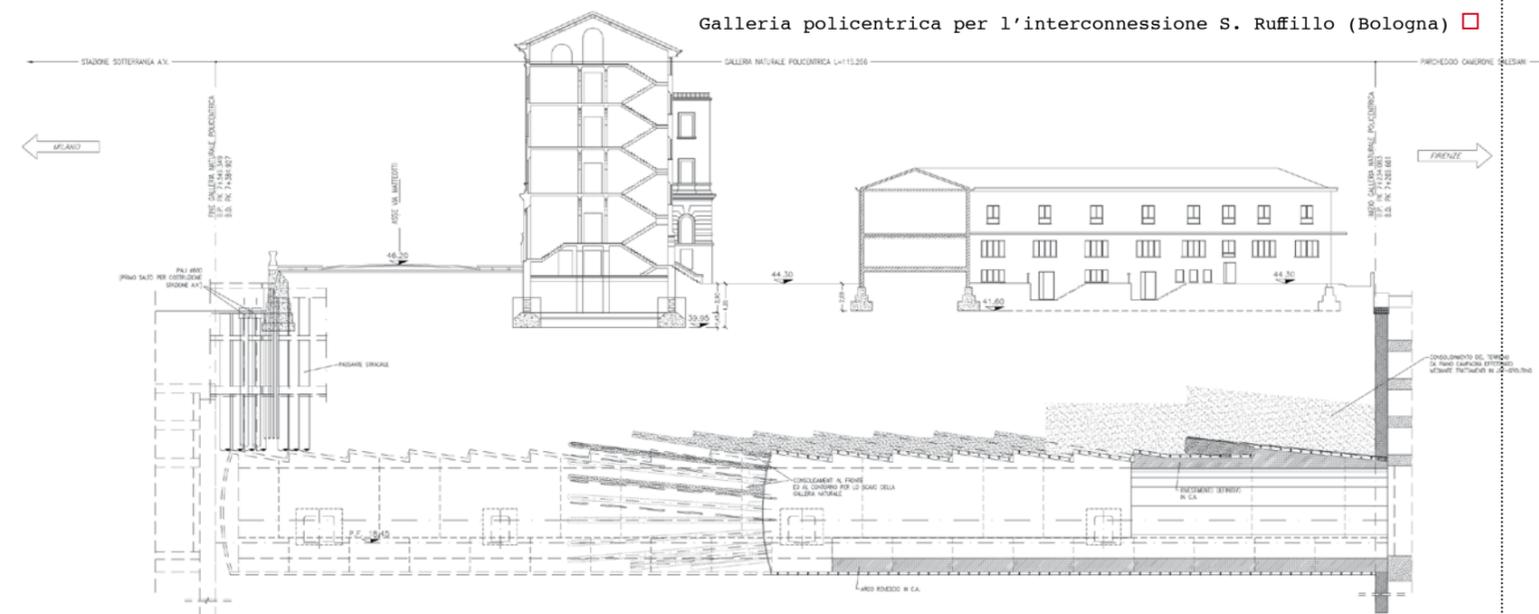
Rivestimento definitivo in calcestruzzo armato di ca. 510 metri di galleria. Realizzazione delle nicchie tecnologiche.

Galleria finestra Emilia 2 (diramazione della galleria Pianoro)

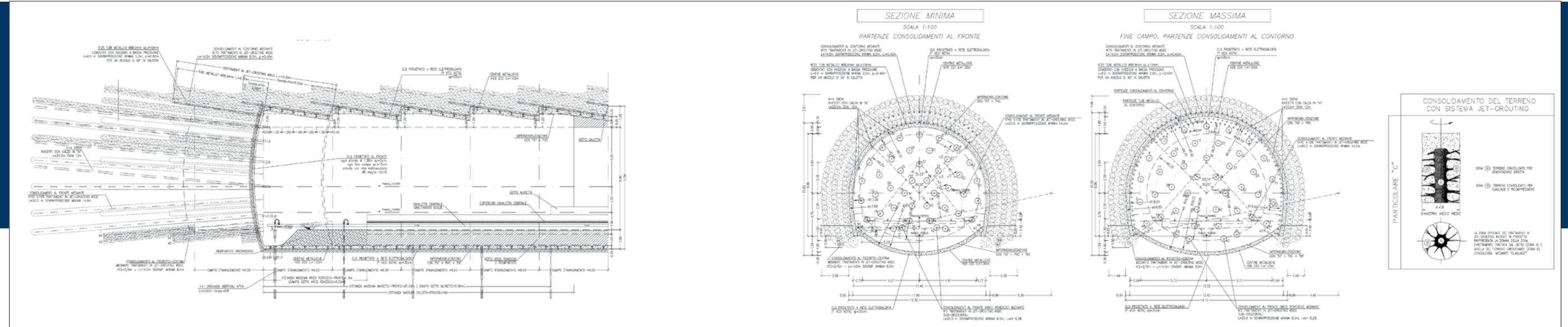
Rivestimento definitivo in calcestruzzo armato di ca. 279 metri di galleria. Realizzazione della strombatura di innesto alla galleria principale.

Galleria Pianoro

Rivestimento definitivo dei by-pass di collegamento con interconnessioni pari e dispari.



□ Profilo longitudinale e sezioni della galleria policentrica per l'interconnessione S. Ruffillo



Cunicolo di prospezione geologica e di servizio (Sesto Fiorentino)

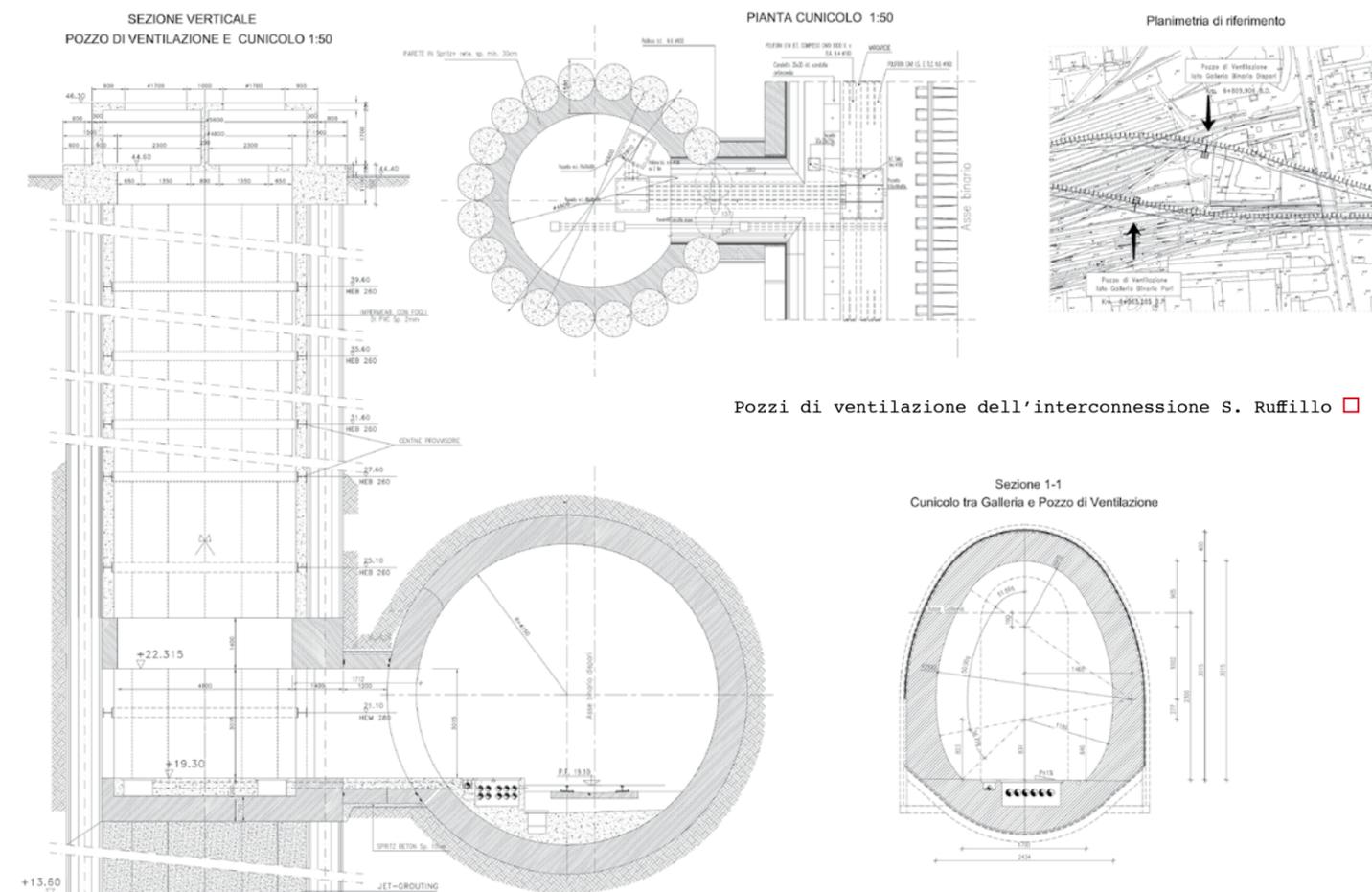
Ripristino delle parti ammalorate del rivestimento per circa 540 metri di galleria. Realizzazione calotte e portale d'imbocco Nord lungo circa 25 metri.

□ Sesto Fiorentino - Intervento di ripristino nel cunicolo di prospezione geologica e di servizio



Interconnessione S. Ruffillo (Bologna)

Per l'interconnessione S. Ruffillo abbiamo realizzato la Galleria Policentrica, di sezione media pari a 130 m² e lunghezza ca. 115 m, scavando a campi di avanzamento tronco-conici di 6 metri, con preconsolidamento tramite iniezioni jet grouting al contorno ed al fronte, inflaggi di micropali ad ombrello, centine, rete elettrosaldata e spritz-beton. L'impermeabilizzazione è stata realizzata con strati di tessuto TNT+PVC e, dopo l'armatura, il getto del rivestimento definitivo con è stato eseguito con cassero. Abbiamo anche costruito due pozzi di ventilazione di diametro 5,6 metri e profondi circa 26 metri, compresi i cunicoli di collegamento alla linea. Per la realizzazione dei pozzi abbiamo adottato il metodo della sottomurazione, preconsolidamento eseguito con centine, rete elettrosaldata e spritz-beton. Impermeabilizzazione con strato di TNT+PVC. Scavo dei cunicoli, previa realizzazione di strutture metalliche di rafforzamento delle zone delle gallerie di linea intercettate, con piccoli mezzi e realizzazione del priverestimento con centine, rete elettrosaldata e spritz-beton. Impermeabilizzazione con strato di TNT+PVC. Rivestimento definitivo in calcestruzzo armato. ■



Pozzi di ventilazione dell'interconnessione S. Ruffillo □

Metropolitana di Genova tratta De Ferrari – Brignole

Nel 2006, la società consortile Corvetto, a maggioranza Cipa Spa, ha dato l'avvio ad una serie di lavori nell'ambito della tratta De Ferrari – Brignole della metropolitana di Genova, lavori eseguiti per grossa parte con imbocco da pozzo e conclusi nel 2009.

La tratta De Ferrari – Brignole è compresa tra la progr. 6400.00, in corrispondenza dell'ultimo tratto di utilizzo delle gallerie esistenti "Le Grazie", da queste, attraverso un camerone, si passa nel tratto di galleria a doppia canna alla progr. 7206.23, in corrispondenza degli scavi a cielo aperto per la Stazione Brignole.

In piazza Corvetto troviamo le coperture massime in calotta pari a circa 25 m, mentre in piazza Brignole quelle minime, pari a circa 8 metri.

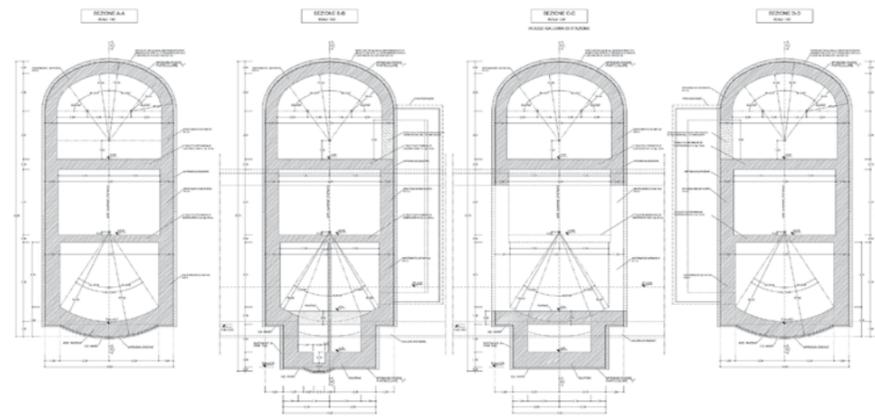
Tutta la tratta presenta le caratteristiche di uno scavo urbano a basso ricoprimento, prevalentemente centrato sotto viabilità, fabbricati storici e monumenti di notevole importanza per la città di Genova.

L'avanzamento della galleria è stato possibile garantendo lo scavo a piena sezione mediante il sistema A.DE.CO. utilizzando sezioni trasversali differenti in funzione delle convergenze rilevate in corso d'opera ed al comportamento deformativo dei terreni attraversati.

Ogni sezione tipo della galleria è definita da consolidamenti in calotta, al fronte ed al piede centina con differente intensità.



□ Pozzo di accesso alla stazione Corvetto



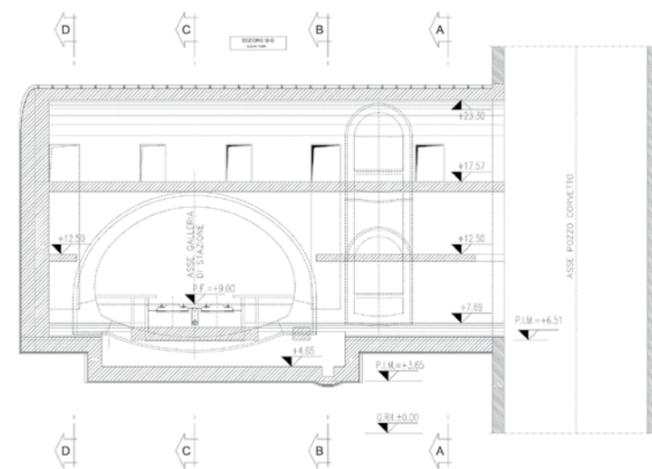
Camerone di Attacco stazione Corvetto □

Stazione Corvetto

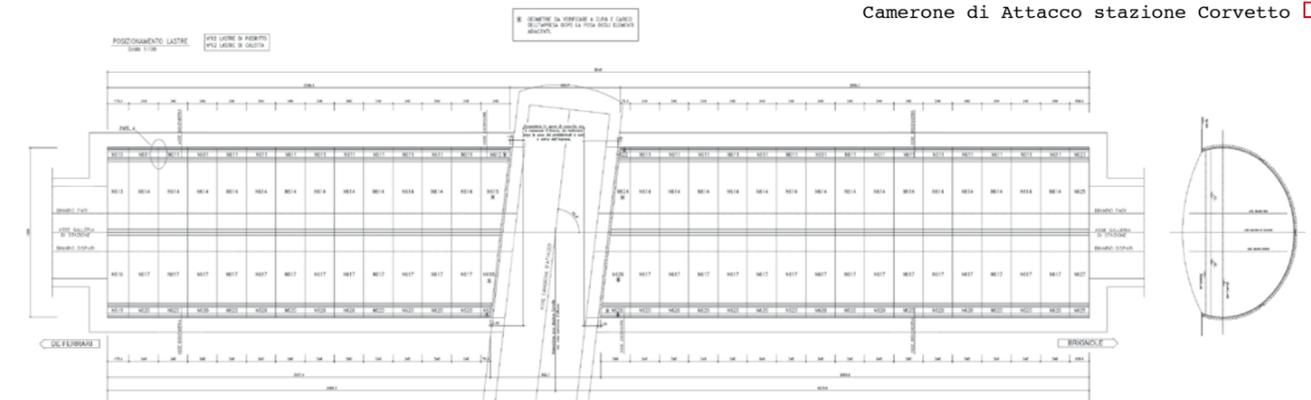
Tra le progr. 6636.94 e 6716.94 si trova la stazione Corvetto, costituita da un pozzo di discesa profondo 36 metri da cui parte quello che è chiamato il Camerone di Attacco che porta alle gallerie di stazione.

Il Camerone di Attacco è stato realizzato con uno scavo in tre fasi di ribasso. È alto in totale 21 metri, con sezione media di 170 m² e lungo 32 metri. È stato effettuato un consolidamento dello scavo con VTR cementati al fronte, al contorno suborizzontali e subverticali dal piano di scavo.

Lo scavo è proceduto a sezione corrente, rivestendo in calcestruzzo armato la sezione parziale prima dell'inizio delle fasi



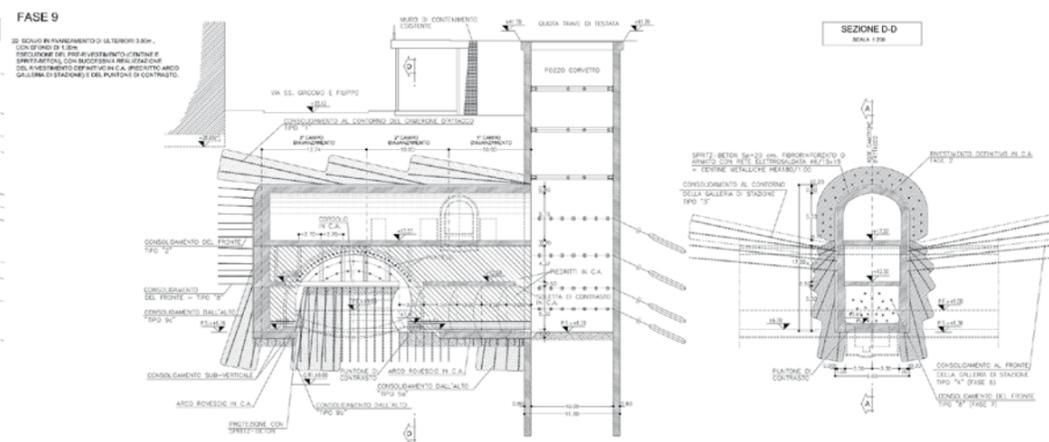
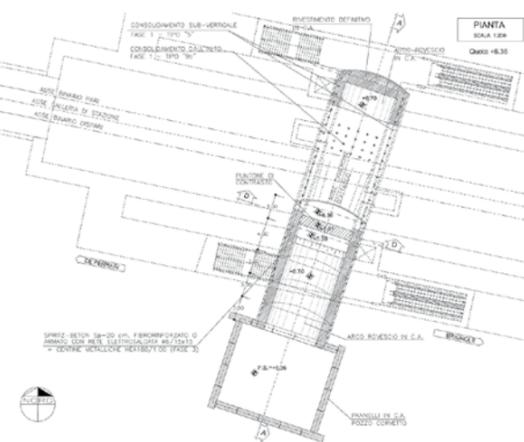
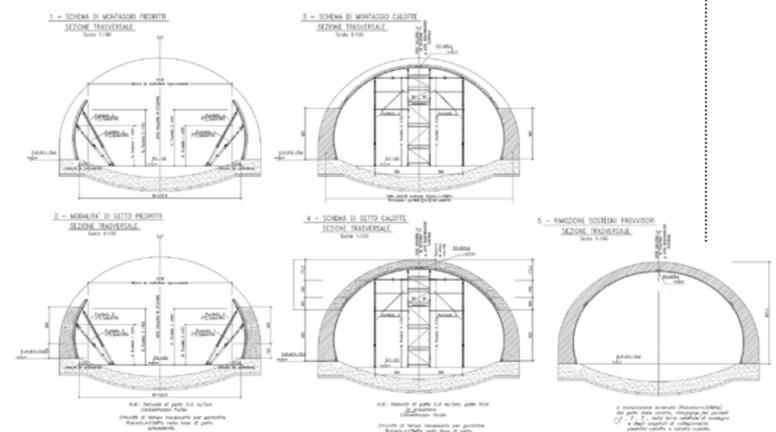
□ Fasi realizzative del Camerone di Attacco



Rivestimento definitivo □
gallerie di stazione con
pannelli curvi prefabbricati

successive di ribasso.

Le gallerie di stazione sono a doppio binario e partono dal Camerone di Attacco, per una lunghezza di 80 metri ciascuna e una sezione di scavo di 152 m². Per il rivestimento definitivo sono state utilizzate lastre curve prefabbricate in



Sequenza montaggio predalle galleria di stazione



calcestruzzo, a contenimento del getto di calcestruzzo che le ingloba. Le lastre, note come "Predalle curve", hanno l'armatura di progetto già collocata sul loro dorso e per la movimentazione ed il loro posizionamento è stata realizzata una apposita attrezzatura studiata ad hoc.

I due fornici della galleria Le Grazie



Tratta stazione Corvetto – De Ferrari

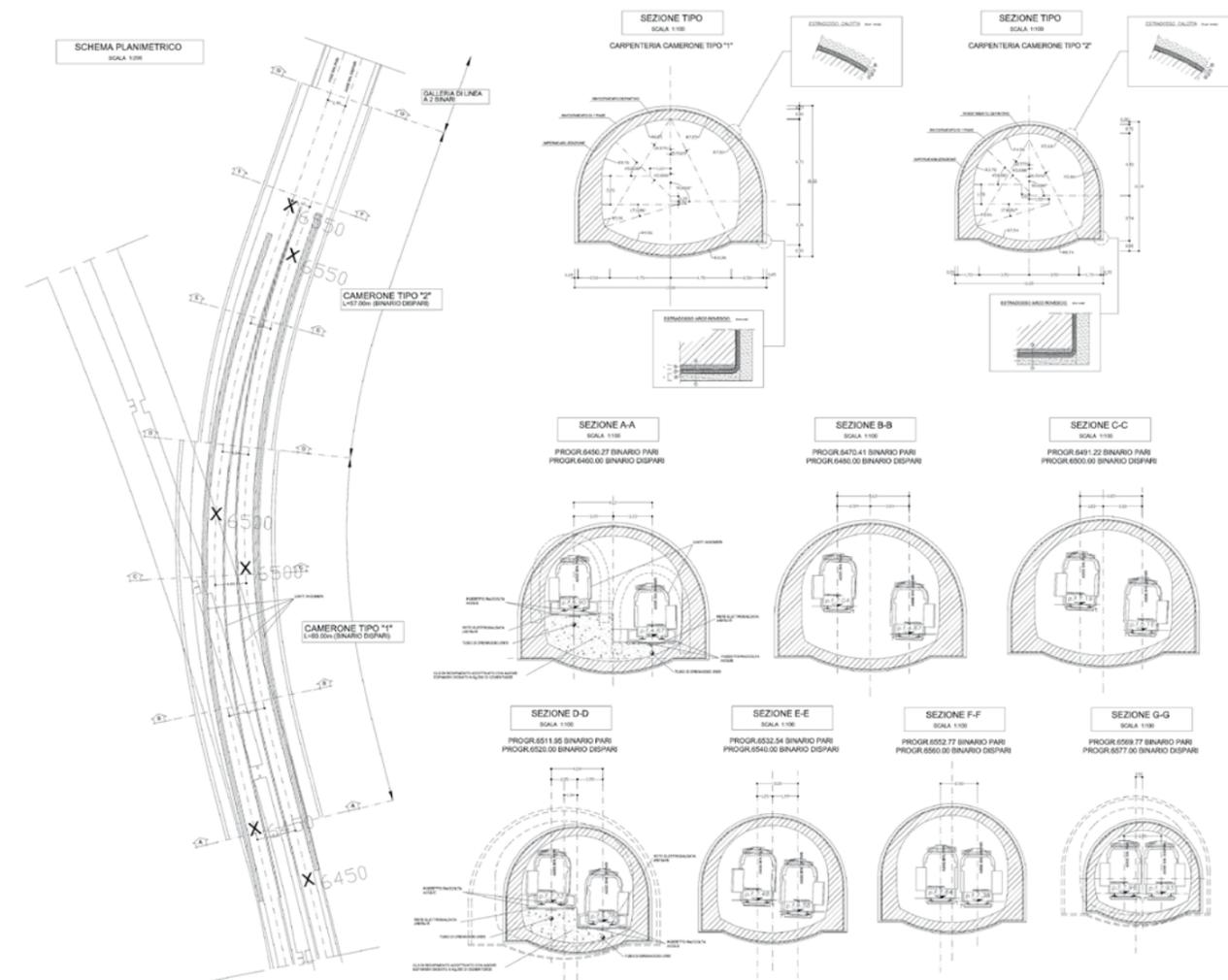
Dalla galleria di stazione Corvetto verso De Ferrari abbiamo realizzato la sequenza di gallerie che così si succedono: la galleria di linea tratta 2 di lunghezza pari a 167 metri con sezione di scavo di 66 m², il camerone di raccordo tipo 2 di lunghezza pari a 70 metri e sezione di scavo di 99 m², il camerone tipo 1 di lunghezza pari a 50 metri sezione di scavo di 145 m². All'interno di quest'ultimo si configura il riallineamento delle due gallerie esistenti "Le Grazie", da noi ripristinate per un totale di 180 metri, che congiungeranno, tramite un percorso di 300 metri, il tracciato in costruzione con quello in esercizio che ad oggi fa capolinea a stazione De Ferrari. Ambedue i camerone sono stati rivestiti con lastre curve prefabbricate in calcestruzzo armato a contenimento del getto di calcestruzzo dal quale sono poi state inglobate. Si sono rilevate situazioni delicate durante le attività di scavo per il camerone tipo 1, in primo luogo perché la curvatura del tracciato ha portato la galleria al di sotto degli edifici di via Roma e in secondo

Raccordo galleria di linea con gallerie delle Grazie



luogo perché fin dai primi metri di scavo di questo secondo allargo sono state intercettate le due gallerie esistenti Le Grazie, determinando durante l'avanzamento un impatto

ambientale di tipo acustico e vibrazionale che ci ha costretto ad interdire lo scavo durante l'orario notturno.





□ Cassaforma per rivestimento
galleria di linea



Pozzo di ventilazione □
L.go Lanfranco

Tratta pozzo Corvetto – Pozzo di ventilazione in piazza Brignole

Dalla galleria di stazione Corvetto il tracciato prosegue con la galleria di linea tratta 4 per una lunghezza totale pari a 334 metri, sottopassa via Serra sino a raggiungere la camera di ventilazione di piazza Brignole. Questa tratta è stata scavata da due fronti di avanzamento accedendo dai due pozzi quello di Corvetto e quello di Brignole.

L'incontro dei due fronti è avvenuto nel mese dicembre 2008 mentre i rivestimenti definitivi sono stati completati nel mese di gennaio 2009.

□ Imbocco galleria di linea lato stazione Brignole



Tratta stazione Brignole – Pozzo di ventilazione in piazza Brignole

L'unica galleria di linea del tracciato avente l'accesso a raso è la tratta 5, quella da stazione Brignole verso pozzo Brignole avente una lunghezza di 377 metri, questa procede in pendenza oltrepassando l'ammasso di calcare di corso Monte Grappa posizionandosi perpendicolarmente al fascio di binari del parco ferroviario di stazione Brignole per poi sottoattraversarli ed infine raggiungere la camera di ventilazione di piazza Brignole.

Sicuramente la fase esecutiva più critica di tutto il tracciato è stata proprio su questa tratta in corrispondenza del sot-



toattraversamento del fascio di binari di stazione Brignole, che doveva essere realizzata senza interruzione e limitazione dell'esercizio ferroviario. Le ragioni della criticità del sottoattraversamento in condizioni di esercizio sono state molteplici, fra le tante ricordiamo le basse coperture, variabili dai 4 ai 7 metri e il materiale inconsistente, principalmente costituito da materiale di riporto.

Il progettista dopo aver identificato una fascia di circa 65 metri sottostante il fascio completo di binari, ha prescritto di utilizzare una serie di sezioni geomeccaniche molto conservative, in cui le attività di consolidamento erano di primaria importanza per la buona riuscita del sottoattraversamento.

I primi consolidamenti del sottoattraversamento sono iniziati alla progressiva 280 metri ad aprile 2008 e sono terminati alla progressiva 345 metri ad ottobre 2008.

Altrettanto importante è stata la predisposizione di un monitoraggio continuo e in tempo reale che consentisse la determinazione delle deformazioni indotte sul binario da parte delle attività realizzative in sottoterraneo.

Il continuo e tempestivo controllo di tali deformazioni ha consentito la verifica puntuale della bontà delle già restrittive prescrizioni progettuali, la modulazione della frequenza e della intensità delle lavorazioni. L'arrivo al pozzo Brignole è

avvenuto nel mese di novembre 2008. Una volta raggiunta la camera di ventilazione tutti i macchinari hanno oltrepassato il pozzo e hanno proseguito l'avanzamento sulla tratta 4 sino all'incontro con il fronte di avanzamento da Corvetto avvenuto nel mese di dicembre 2008.

Innesto pozzo L.go Lanfranco con galleria di linea

Si è trattato di un piccolo scavo e rivestimento del cunicolo di collegamento. ■

Gallerie stradali sulla SS106 "Jonica"

Nel 2007 abbiamo cominciato i lavori per la costruzione delle gallerie Girella e Sellara, compreso il viadotto Varrea presente all'imbocco nord della Girella.

Ambedue le gallerie stradali sono a doppio fornice.



Il fronte



Imbocchi della galleria Sellara

Pile del viadotto Varrea



Posa di calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton) con macchinario robotizzato



Fase di scavo con escavatore munito di ripper

Fase di getto della cassaforma



La galleria naturale Sellara misura 704,89 metri di lunghezza per la carreggiata nord e 712,66 metri per la sud, con due by-pass pedonali di sezione di scavo di 18,61 m².

La galleria naturale Girella misura 386,80 metri di lunghezza per la carreggiata nord e 393,43 metri per la sud, con un by-pass pedonale di sezione pari a quelli della Sellara.

Il viadotto Varrea è lungo ca. 320 metri, con due carreggiate separate. L'avanzamento è prevalentemente a sezione corrente, con campi di infilaggi agli imbocchi.

▣ Pile del viadotto Varrea



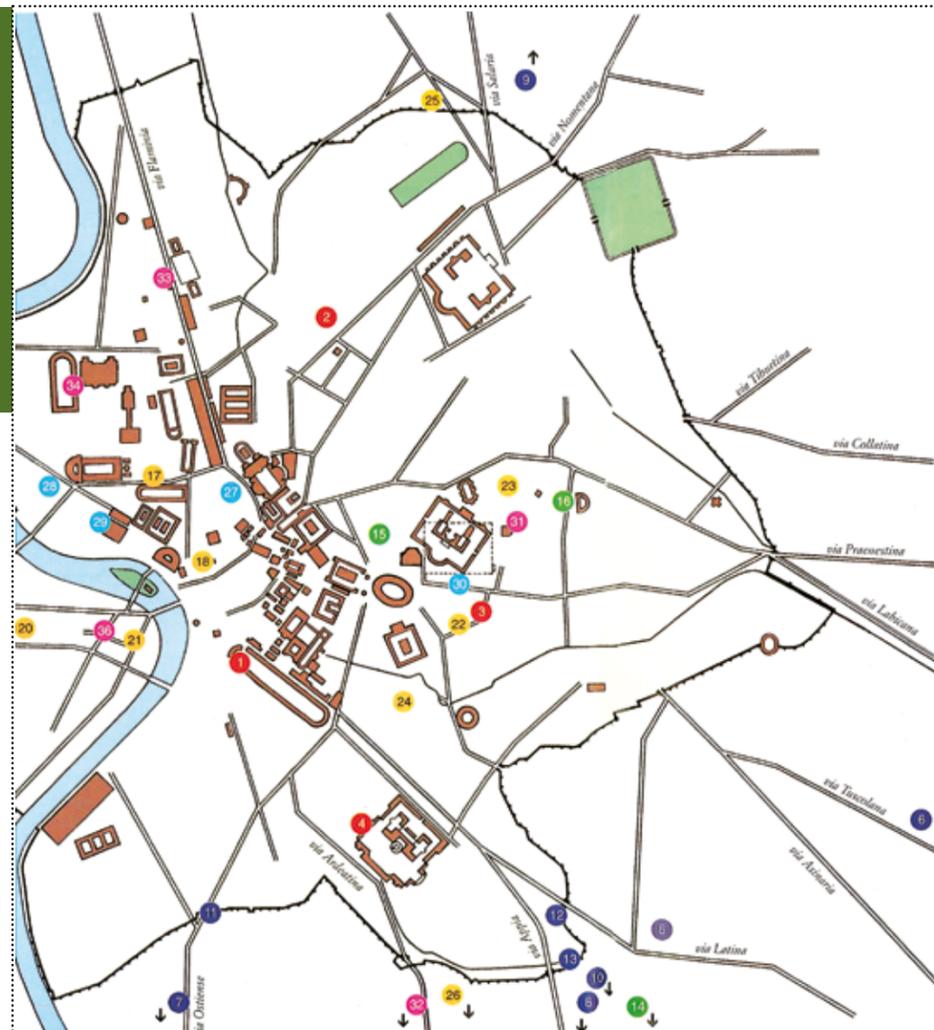
▣ Allargo nella galleria Girella
▣ Celebrazione di S. Barbara in galleria

Successivamente abbiamo iniziato le lavorazioni anche sulle gallerie; "Fiasco" a doppio fornice di lunghezze rispettivamente di 521 e 483 metri, compreso il by-pass pedonale; "Limbria" a doppio fornice di lunghezze 385 e 403 metri e "Trigoni", di queste ultime due stiamo realizzando solamente mezza tratta di ambedue i fornici, che in totale misurano circa 840 metri di lunghezza ciascuno, compreso il by-pass pedonale presente. ■



Roma sotterranea

Ivana Della Portella



- 1 Mitreo del Circo Massimo
- 2 Mitreo Barberini
- 3 Mitreo di San Clemente
- 4 Mitreo delle terme di Caracalla

- 5 Tombe di via Latina
- 6 Monte del grano
- 7 Necropoli Ostiense
- 8 Mausoleo di Romolo
- 9 Mausoleo di Lucilio Peto
- 10 Mausolei di San Sebastiano
- 11 Piramide
- 12 Colombario di Pomponio Hylas
- 13 Colombari di Vigna Codini

- 14 Ninfeo di Egeria
- 15 Ninfeo degli Annibaldi
- 16 Auditorium di Mecenate

- 17 Area sacra Argentina
- 18 Tre templi del foro Olitorio
- 19 Santuario siriano del Gianicolo
- 20 San Crisogono
- 21 Santa Cecilia in Trastevere
- 22 San Clemente
- 23 San Martino ai Monti
- 24 Santi Giovanni e Paolo
- 25 Ipogeo di via Livenza
- 26 Ipogeo dei Flavi

- 27 Insula dell'Ara Coeli
- 28 Casa romana sotto il museo Barracco
- 29 Sotterranei di San Paolo alla Regola
- 30 Domus Aurea

- 31 Sette sale
- 32 Cisterna romana di via C. Colombo
- 33 Meridiana di Augusto
- 34 Stadio di Domiziano
- 35 Latrina di via Garibaldi
- 36 VII Coorte dei vigili



C'è un organismo che pulsa sotto la città, un organismo che vibra pulsioni antiche che sibila movenze delle vette di sopra, in un osmotico gioco di rimandi e anticipazioni.

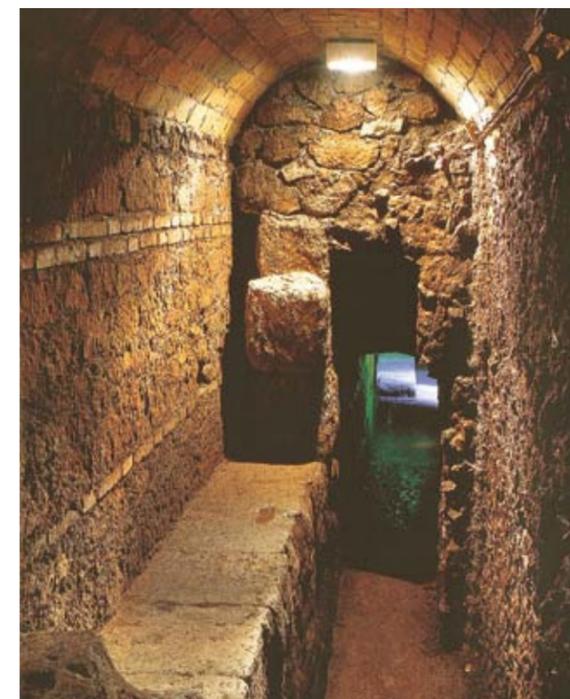
Un giaciglio terragno che rumoreggia solo per chi sa ascoltare e cogliere sentori e sollecitazioni ataviche, serbandone l'alto magistero di vita.

È come la linfa di un corpo che scorre in un fluido percorso di sensazioni e racconti, lasciato di voci e uomini del passato.

In questo corpo vibratile e oscuro si permea il respiro profondo della città, il suo fondarsi sulle radici di un popolo dominatore. Un labirinto di dimensioni abnormi in cui, a dispetto di ciò che accade nella città di sopra, trasuda tutta la ricchezza e vulgaritas del quotidiano.

Sopra si innalzano obelischi, si erigono templi e grandi Fori. Sotto, mitrei, colombari, magazzini e caserme, raccontano un viaggio meno erudito che svela i bisogni e le credenze di un Dio minore.

In questo sussulto infero si coglie lo spettacolo inedito della plebe con le sue insulae dimezzate, le caserme dei vigili, i piccoli e riservati larari. Mentre "en plein air" la civiltà romana esibisce con orgoglio la gloriosa magnificenza delle sue piazze monumentali, dei suoi archi trionfali, dei suoi idoli colossali; di sotto, vi è spesso il sudore e il calore di un'umanità



negletta e talvolta disperata. Un territorio che ancora si fatica a raggiungere e in cui bisogna spesso calarsi giù da scale a pioli o ripidi e scomodi anditi.

"Tali sotterranei malgrado ciò, erano d'incomodo accesso, e vi si penetrava a stento per qualche foro al chiarore di lumi; e siccome le pitture vedevansi troppo dappresso, se ne perdeva in gran parte l'effetto, ed andavano soggette ad un continuo deperimento per la indiscretezza di quei che le visitavano, i quali ne esportavano i pezzi più conservati, e più vivi. A tali inconvenienti però si pose fine negli anni 1812 e 1813, quando molte camere furono intieramente sterrate, in modo che

Indice

ACQUA

Ninfeo di Egeria
Ninfeo degli Annibaldi
Auditorium di Mecenate
Sette Sale

ARIA

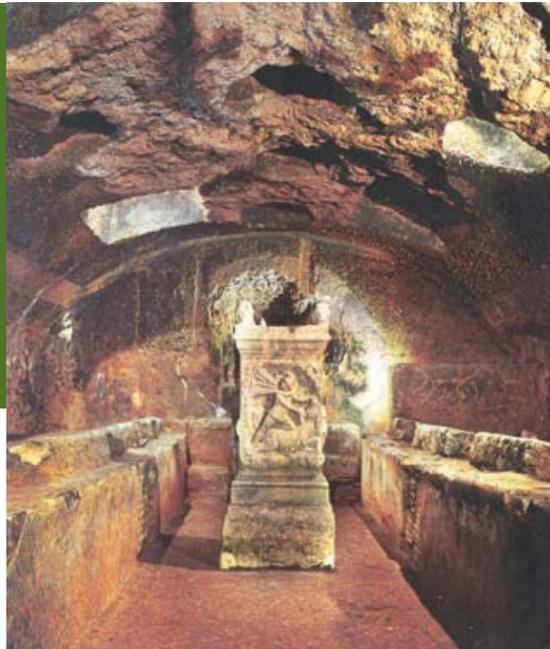
Santuario siriano del Gianicolo
Sepolcro di Priscilla
Meridiana di Augusto
Insula dell'Ara Coeli

FUOCO

VII Coorte dei Vigili
Mitreo del Circo Massimo
Mitreo Barberini
Mitreo delle terme di Caracalla

TERRA

Ipogeo di via Livenza
Monte del grano
Piramide
Colombario di Pomponio Hylas



il colto viaggiatore, e gli amatori delle Arti e dell'Antichità possono percorrerle ora senza incommodo, e godere dell'effetto originale di queste pitture, che hanno più a lagnarsi della mano degli uomini, che delle ingiurie del tempo" (A. Nibby, *Itinerario di Roma e delle sue vicinanze*, 1830, 1, 230). È un territorio tutto da esplorare e da vivere che rivela in taluni casi risvolti di elevata sintassi artistica e monumentale, affreschi e stucchi, corredi sacri e profani. Un viaggio nelle viscere che illumina spazi della storia, come dell'io, e funge da catarsi per la genesi individuale e sociale.

E allora scopri che dietro quegli anfratti, dietro quei sussurri e grida di una civiltà scomparsa, c'è la sostanza prima delle cose, il senso del primordiale. Scopri gli elementi costituenti: l'acqua l'aria, la terra, e il fuoco. Vedi i rivoli primigeni del corpo incontaminato di amadriadi e nereidi trovare posto nei ninfei. Cogli l'elemento volatile, la sostanza pura, l'aria, nello sveltare, quasi a toccare il cielo, dell'insula dell'Ara Coeli, come negli odori acri di incensi e balsamari di Priscilla. Cogli

il senso della terra, nelle fosse estatiche dei Baptaï di via Livenza, come nelle sepolture a colombario o nella Piramide. Vedi vibrare il fuoco nelle lamelle sacre dei Mitrei come nelle pompe e nelle coperte della VII Coorte dei Vigili. E cerchi la luce...

"Che cosa ci vuole per far svanire queste larve? Luce fiumi di luce. Nessun pipistrello resiste all'alba. Illuminate la società di sotto! (V. Hugo, 1988, II, 703)".

Ninfeo di Egeria

Dove meglio immaginare i colloqui amorosi tra Numa Pompilio e la bella Egeria e figurarsi, tra lo stillante rumore delle acque all'ombra di glicini e rampicanti, sussurri e profetici suggerimenti, se non entro la grotta che da quella ninfa prende il nome?

C'è da dire che in questo come in pochi altri casi, il mito vivifica il luogo e il luogo concretizza il mito. Certo è che la grotta di Egeria, ormai facilmente raggiungibile entro il vasto parco della Caffarella, ben incarna i segreti profetici della ninfa.

"Vi era un bosco, irrigato nel mezzo da una fonte d'acqua perenne che sgorgava da un'ombrosa grotta. E poiché Numa

□ Incisione settecentesca del Ninfeo di Egeria



Particolare scultoreo del Ninfeo di Egeria □



assai spesso vi si recava senza testimoni, come per incontrarsi con la dea, consacrò quel bosco alle Gamene, poiché ivi esse si ritrovarono con Egeria sua sposa" (Tito Livio, Ab Urbe Condita Libri, I, 21).

Meta di viaggiatori stranieri come Stendhal e Goethe, rivela intatto ancora oggi, con un certo grado di astrazione per il paesaggio circostante, il suo arcadico umore.

Una valle che appariva allora solcata dalle salubri e limpide acque dell'Almone coi suoi boschetti e i suoi rivoli aperti in specchi d'acqua. Un'atmosfera incantevole dai tratti idillico-



sacrali, un luogo perfetto ove disporre la propria abitazione suburbana: così faceva Erode Attico (101-179 d.C.) nel momento in cui entrava in possesso del vasto appezzamento della consorte, tra il II e il III miglio dell'Appia e l'Asinaria.

Uomo politico di grande spessore, filosofo, retore e mecenate, aveva voluto questa vasta e lussuosa residenza in onore della sua giovane moglie Annia Regilla, prematuramente scomparsa, forse per sua stessa mano. Per questo aveva uti-

lizzato i vasti terreni da lei avuti in dote.

Era una villa enorme, ornata di portici, templi e recinti sacri, il cui singolare nome di "Triopio" pare derivasse dal tessalico eroe Triopas, violatore del Tempio di Demetra. Il complesso rurale e celebrativo, era sacro agli dei Mani e a tutte le divinità inferie tutelari di Annia Regilla.

Di questo ricco e sontuoso Suburbano ben poco rimane oggi. Tra i reperti sopravvissuti va annoverato senz'altro il cosiddetto Ninfeo di Egeria: un edificio costruito nel II secolo d.C., da collocare tra le amenità della Villa.

Delle pareti splendenti di marmo, dei pavimenti in serpentino, delle nicchie con conchiglie e mosaici colorati, delle statue e dei portici, più nulla resta. Una grotta rorida e stillante di acque, utilizzata più volte nei secoli anche come Osteria, le cui pareti a nicchie, oggi rivestite di muffe, ma una volta lastricate di verde antico, trasudavano acqua che si convogliava nei canali sottostanti.

Ora la Natura si è riappropriata del luogo, lo ha fatto ricoprendolo di muschi e licheni, ha cancellato quasi tutto quanto segnasse l'intervento dell'uomo, lasciando vibrare nella spelonca soltanto l'ombra tenera e soave della:

"...diva gradita alle Muse, che fu moglie di Numa e sua consigliera" (Ovidio, I Fasti).

Ninfeo degli Annibaldi

Spersa nel candore marmoreo del muraglione di via degli Annibaldi, una porticina di ferro inganna le apparenze col suo aspetto dimesso, celando allo sguardo le reliquie di un'antichità soave fatta di scrosci e cascatelle.

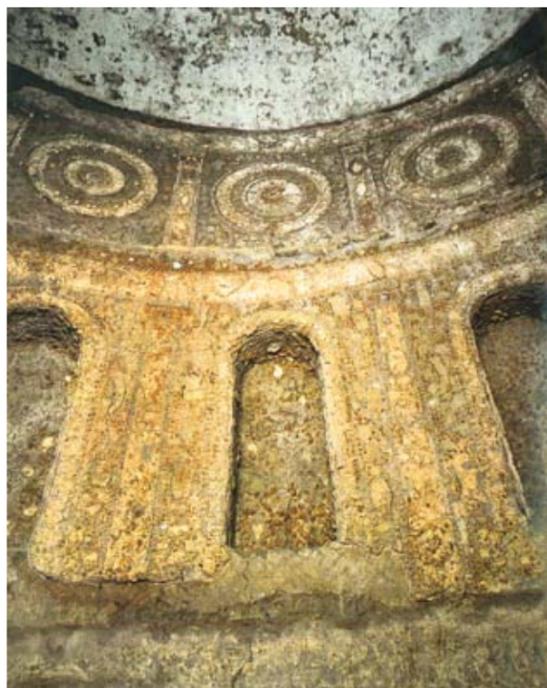
Lacerto di una sontuosa villa, rivela col suo scorcio incantato un mondo fatto di finissimi stucchi, di levigatissimi intonaci policromi, di paste vitree, di giochi d'acqua, di euripi

sussurranti e quant'altro convenisse a deliziare l'otium dei suoi raffinati abitatori alle soglie dell'Impero.

Una scaletta a chiocciola apre quel viaggio nell'interior terreae, nelle viscere del colle, e avvia un percorso nella scabrosità della materia e dell'anima.

Scendendo, la visione si compone in un arabesco di clipei alternati a leggere lesene. Un tappeto in concrezione di stucchi e conchiglie composte in losanghe, scudi e corazze,

Particolare della conca absidale dell'aula-ninfeo



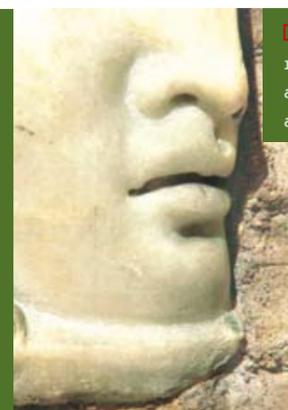
segna il passaggio alle nicchie, fino a che il quadro si ricompone a delineare un'abside che l'intervento moderno taglia nel suo sviluppo rettilineo. E si svela così come un ninfeo.

Le quattro nicchie dovevano essere nove e lasciare respiro a un'aula molto più vasta, completata da una bella vasca. Statue e sculture rompevano con guazzi di luce i bruni e teragni colori di pomici e stucchi, in un elegante minuetto di accordi rischiarato dai riflessi vibratili dell'acqua.

Il paramento dei muri a reticolato di tufelli molto piccoli denuncia l'età del delizioso manufatto che racconta con le sue preziosità in rilievo i fasti della fine della Repubblica. Ma una volta dentro poco importa dei dati eruditi, delle notazioni storiche, delle sue fasi e interpolazioni, compreso il fatto che si tratti di un ninfeo-fontana di una qualche domus patrizia distrutta per far posto alla superba dimora neroniana. Come catturati dal flusso del tempo si risale alle origini del mito, ritrovando archetipicamente nel ninfeo, il luogo deputato alle ninfe, al loro modo di interpretare l'essenza intima ed effluente delle acque.

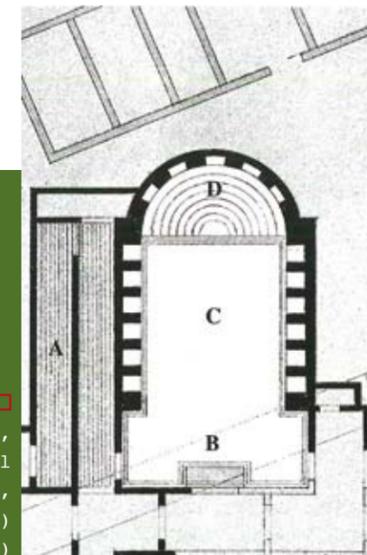
Così quell'andito si rivitalizza del suo spiritus loci ne assume il volto e le fattezze ritrovando nell'atmosfera evanescente la sontuosa leggiadria di quelle figure femminili. La malia delle ninfe lo pervade: guai a farsi catturare, a farsi rapire dall'istinto, da quel modo di interpretare e di accostarsi alla natura. Il rischio è di trovar dietro la ninfa la strega.

Solo allora se ne coglie il senso più profondo: prevale l'antro, la sua tenebrosità, la sua oscurità. E ti sovviene l'enigma di Omero e così nella caverna cerchi gli alti telai di pietra ove le ninfe tessono manti purpurei e cerchi, come Porfirio, una via, ma scopri sgomento che due sono le porte: una per gli uomini, l'altra per gli immortali.



Particolare scultoreo raccolto nel piccolo antiquarium allestito all'interno

Pianta del ninfeo con l'accesso (A), la sala del triclinio estivo (C), l'abside (D) e il vestibolo (B)



Raffinato frammento scultoreo

Auditorium di Mecenate

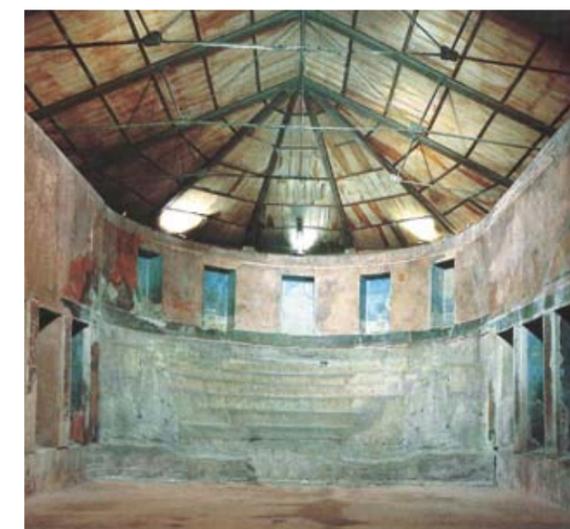
Sotto una tettoia a spioventi, dietro la ruvida corteccia del paramento esterno, l'Auditorium di Mecenate sottrae, quasi scontroso, la nobiltà del suo passato al corteggio

anonimo dei palazzi circostanti. Sembra immune dal traffico locale, dal rumore assordante che lo circonda e pare offrire rifugio a chi, nel cercare riparo dal caos circostante, ritrova come per miracolo quella arcadica atmosfera fatta di Horti

e giardini di delizie, di dissertazioni letterarie ed erudite. E

dire che prima che Caio Cilnio Mecenate trasformasse l'area dell'Esquilino con gli Horti Mecenateiani, il panorama doveva essere affatto diverso. La collina, regno di carogne e fattucchiere, di prostitute e randagi, offriva di sé insalubre e malsano scenario.

Ma dopo l'intervento di Mecenate, recuperava il pre-



Da sinistra, veduta generale della sala e la parete di fondo del vestibolo con buona parte del materiale lapideo rinvenuto negli scavi

Nel fregio dipinto dell'abside compaiono delicate figure ormai evanescenti. Si tratta di un thiasos (corte) bacchico

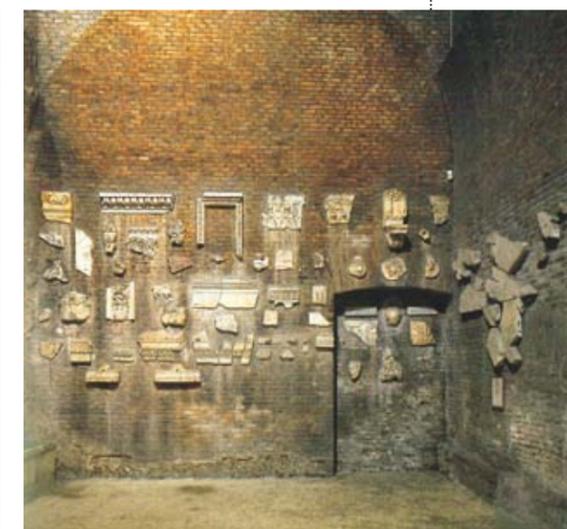


gio intrinseco, restituendo alla collina orgoglio e dignità:

"Ora sull'Esquilino risanato si può abitare e passeggiare al sole sui bastioni, dove con raccapriccio allora si vedeva biancheggiare di ossa la terra desolata; e a me non danno tanto

noia o da fare ladri e animali, che in genere infestano questi luoghi, quanto le maliarde che con filtri e magie sconvolgono la mente umana" (Orazio, Satire, I, 8).

La villa era immersa in un corredo di giardini composti di



una infinita varietà di piante, statue e edifici, dei quali, purtroppo sopravvive soltanto l'Auditorium, compresso nella sua cupa esteriorità, a serbare gelosamente il fascino del suo originario splendore. Una rampa inclinata scende alla sala che raccoglie la parte absidata nell'abbraccio lungo e rettilineo delle pareti. Con un po' di distacco è facile ricomporre il quadro originario con i convitati distesi sui triclini mentre assistono allo spettacolo delle acque scroscianti. Il vibrare

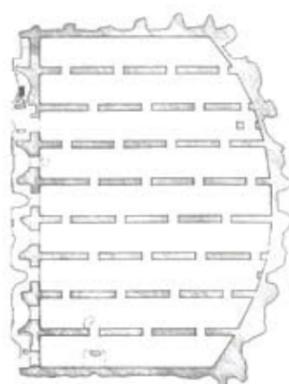
ammaliante di cetre e flauti si compone con le sonorità delle acque e, la cascata, a velo, assume le cadenze ritmate sui gradini screziati di cipollino convogliandosi nel lungo canale al centro della sala. Al riparo dalla canicola estiva, il cenacolo degli illustri ospiti di Mecenate ristora membra e pensiero in una mistura di odi e canti, mentre si svaga tra i sapori ebbri del nettare di Bacco. Tutta una ricca trama ad affresco veste di natura quelle pareti in un tripudio – ormai esiguo – di colori e vitalità. Poco importa se quei cinguettii sono falsi se quegli arbusti affacciati su improbabili finestre rivelano il magistero di una finzione: l'arte è regina dell'inganno.

Satiri e menadi, tratteggiati a lievi tocchi di pennello, riaffiorano tumidi dall'intonaco eroso, svelando man mano abiti e movenze di quello che si preannuncia come un corteo dionisiaco. Sembra allora più chiaro nell'allusione ai Misteri bacchici anche quell'epigramma di Callimaco posto sulla parete esterna dell'emiciclo:

"Se di proposito a te mi accostai ebbro, riprendimi, o Archino, ma se fu senza volerlo, abbi comprensione per l'audacia. Vino e Amore mi tenevano; questo mi spinse, l'altro non lasciò che io lasciassi andare quell'audacia: e quando venni compresi, chi è e di chi è figlio, ma la soglia baciai, se questo è colpa io sono colpevole".



□ Infilata delle aperture di collegamento tra le sale



□ Pianta della cisterna

Sette Sale

Tra i tesori nascosti del Colle Oppio si trova una delle più imponenti e gigantesche cisterne dell'antichità: le Sette sale. Maestosa e severa, dilatata verso le propaggini della strada come le fauci di

grande balena, rinnova l'antica fierezza del genio costruttivo dei romani, concorrendo a definire il principio vitruviano di "solidità, utilità, bellezza".

A cui Plinio contrapponeva, fiero della sua provenienza: "L'inutile e folle ostentazione delle Piramidi", con l'orgoglio di costruire opere necessarie, belle, ma soprattutto stabili e durature: un modo per sentire la monumentalità di Roma come espressione

del sentimento della grandezza etica e politica dell'Impero con la coscienza della sua missione storica e del suo ruolo universale. A nessuno era sfuggita la calcolata e sapiente logica ideativa di tale impianto idraulico, da sempre meta di visite ed esplorazioni: lo stesso Stendhal non aveva mancato di includerla tra le sue passeggiate romane. Nel dicembre del 1828 egli penetrava in quelle lunghe gallerie buie, coperte di rampicanti, smarrendosi nella fitta selva di sale e corridoi, tra le pareti umide ancora ingombre di limo, per scoprire come nulla fosse

lasciato al caso. Tutto, fin nei minimi particolari, denunciava il magistero di quella antica grandezza: l'allineamento calcolato delle navate, il rivestimento in coccio pesto, l'assenza di punti morti. Un ventre terragno, in cui le gallerie lasciavano allo sguardo inflatè interminabili e oblique di porte. Un complesso elefantico, funzionale e ben congegnato, per disporre al meglio di un serbatoio della capacità di 8.165.000 litri, servito da un ramo di uno degli acquedotti che giungevano a

Roma entrando da Porta maggiore e dall'Esquilino: probabilmente l'Acqua Giulia. Un perfetto ed efficiente meccanismo idrico per il rifornimento del primo grande impianto termale romano: le terme di Traiano, sorte con la geniale soluzione architettonica di Apollodoro di Damasco, noto per la sua abilità progettuale e inventiva. Incassata nella morsa del terreno, questa imponente cisterna lascia alla vista soltanto la mossa fronte su due piani, in bella cortina laterizia. Nove nicchie – alternativamente semicirculari e rettangolari – corrispondenti ad altrettante sale, scandiscono l'articolazione della facciata. Una ripida scaletta in ferro apre l'avvio di questo affascinante viaggio sotterraneo, così singolare per la distribuzione e la sequenza degli spazi e delle aperture. All'interno nove lunghe sale si allineano parallelamente a formare un vasto recinto, con tre lati e uno curvo: quello di fondo, per fornire all'acqua la direzione verso il canale di uscita ed evitare angoli morti. Ogni galleria comunica con l'altra mediante quattro aperture ad arco, disposte secondo assi alternati, in modo da offrire una maggiore resistenza alla pressione dell'acqua che affluiva dall'una all'altra, ed evitare così la formazione di correnti. Un gioco di luce ed ombre che scaturisce dall'infilata interminabile delle aperture e lascia un'impressione di suggestione e mistero incancellabile.

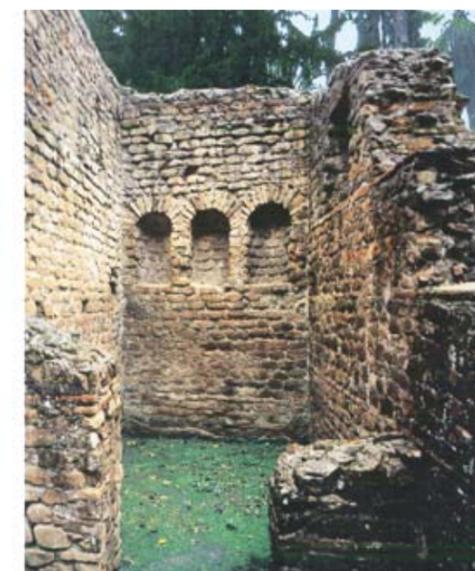


□ Ricostruzione assonometrica del Santuario siriano del Gianicolo. Si distinguono: l'aula principale a pianta basilicale, il cortile e l'edificio a pianta ottagonale preceduta dal vestibolo

Santuario siriano del Gianicolo

Presso una fonte sorgiva, animata dall'ombra sospesa di una ninfa assimilata alle Furie, si scorgono i resti di un misterioso ed enigmatico santuario di provenienza siriana. E proprio nel bosco a lei sacro, alle pendici del Gianicolo, cresceva un culto venuto dall'Oriente, alimentato dallo spirito

La parete del nartece di ingresso □ della basilica in opera vittata con tufelli di recupero irregolari



Idoletto bronzeo dai connotati egizio-siriaci, rinvenuto all'interno di un altare. Dio solare che muore e rinasce

demoniaco e vendicativo di Furrina: un luogo funesto, segnato dalla terribilità del suo genius loci e da tristi e inquietanti delitti.

Ci si trova dall'altra sponda del Tevere, lontano dai culti ufficiali, dalle liturgie istituzionali, in un luogo ove

le comunità straniere di schiavi, liberti e commercianti arricchiti portavano i loro riti e feticci, animando il pantheon tradizionale con la complessità dei culti misterici.

In quest'ambito della Regio XIV dobbiamo collocare il primitivo sorgere del tempio nelle forme di un tēmenos con una vasca o piscina sacra, come pure, la sua successiva trasformazione ascritta ad un tal Gaionas, ricco e munifico mercante siriano che aveva importato a Roma assieme alle merci pure i suoi culti. Una distruzione, o forse più probabilmente un incendio, metteva fine al primo santuario che veniva ricostruito in nuove forme e con un diverso orientamento in una fase successiva, quella attualmente visibile, assegnata al IV secolo. L'edificio doveva presentarsi come un organismo chiuso, serrato dietro il suo paramento murario e, organizzato in tre corpi distinti: al centro un cortile, a ovest una costruzione a pianta basilicale e a est un'altra a pianta ottagonale.

Era orientato verso il sole, questo tempio che porta la sigla della triade heliopolitana: Giove Heliopolitano (Hadad o Giove Serapide), Atargatis (la dea Syria dei romani) e il figlio Simios (romanizzato come Mercurio e associato a sua volta a Dioniso).

Uno strano rito di fondazione doveva essere alla base del-



la instaurazione di questo culto se, in un incavo praticato sotto il piano della nicchia di Giove-Hadad, venne ritrovato un curioso teschio senza denti e senza mascella inferiore, misteriosamente sparito dopo il suo rinvenimento.

Ma i misteri di questo santuario non finiscono qui. Nella parte mistilinea del sacello, quella rivolta a est, vennero ritrovate una statua egiziana in basalto nero (proveniente dall'abside) e un'altra di Dioniso con il volto e le mani dorate. Venne rinvenuto, inoltre, uno strano idoletto bronzeo accuratamente depresso, adagiato sul dorso, all'interno di un altare triangolare. Un giovane imbalsamato entro una stretta guaina, avvolto dalle spire di un serpente che poggia la sua testa sul capo della statuetta.

Non è chiaro di chi si tratta. Certamente una deità dai connotati egizio-siriaci, un dio solare sincretizzato che muore e rinasce. Che sia Simios o Adone o piuttosto Osiride o Dioniso, certamente rappresenta le istanze di un culto misterico a carattere salvifico. Una divinità per riti di iniziazione e istanze verso una comunità in cerca di riscatto.

Sepolcro di Priscilla

Al secondo miglio di quella che fu la Regina delle vie, tutto sotto il segno della fuga di San Pietro, la Tomba di Priscilla appare nascosta e negletta.

Ricusata dai più, per l'ingombrante presenza della chiesetta del Domine Quo Vadis, lascia il godimento del suo cilindro turrato agli spiriti più raffinati e attenti. Eppure il suo ruolo di tomba monumentale è tutt'altro che secondario e parla di riti antichi e sontuosi, nonché di un marito ricco e sconcolato.

Si tratta di uno dei più potenti liberti di Domiziano, certo T.



Flavio Abascanto, che a seguito della morte prematura della giovane moglie Priscilla, volle celebrarne con fasto la dipartita. Concepì così per lei un funerale degno di una sovrana: un funus memorabile, eternato dall'accidentato lirismo di Stazio.

Non è difficile immaginarlo il corteo funebre mentre incede lento e cadenzato al ritmo di quattro suonatori di flauto (tibicines), di un trombettiere (tubicen) e di due suonatori di corno (cornicines) che avanza tra il lamento scapigliato delle preficae e delle loro lacrime a pagamento.

Un'atmosfera caduca e formale di cui è possibile coglierne perfino le esotiche fragranze, gli odori:

"(...) ammassati in una interminabile fila passano tutti i balsami che la primavera d'Arabia e di Cilicia produce, i profumi della Sabea, le messi dell'India destinate ad essere bruciate, l'incenso delle divinità, le essenze di Palestina e d'Israele, lo zafferano di Corico ed i germogli di mirra. Essa (Priscilla) giace su un alto letto funebre costruito dai Seri (in Cina) ed è ricoperta da una coltre di stoffe di Tiro" (Stazio, Silvae, V, 1).

Volle così il marito che le giovani fattezze della consorte non subissero le ingiurie del tempo, si propose pertanto di ricorrere all'uso, tutto orientale, dell'imbalsamazione.

Ne preservò poi il ricordo lasciando la tenera sposa in un'alcova funebre intima e raccolta, quasi fosse una casa, per accogliere, assieme alla sostanza inerte delle sue spoglie quella della sua anima: vi furono approntati i letti trasformazione del convito, le mense perpetue per accogliere nel sonno eterno la calda familiarità del quotidiano. E affinché la sua immagine superasse le generazioni, ripose la sua effigie ai bronzei corpi di una Cerere, un'Arianna, una Maia, una

Venere... per una danza stentorea e divina che ne invadesse per sempre le nicchie esterne del sepolcro in un pliniano: attolli super ceteros mortales.

Quel rotondo cumulo di calcestruzzo piegato al peso di una medioevale torretta, riesce assai poco oggi a rendere quel fasto antico. Abbandonato all'incuria, lascia a malapena intravedere la sua solenne architettura da mausoleo e il suo mosso andamento a nicchie. Non rammenta Priscilla, tantomeno l'afflizione sconsolata di Abascanto: lascia solo, a chi può intendere, rari quasi impercettibili echi di quel tripudio di essenze e di immagini nella sua rustica, quanto recente, trasformazione in caciara (deposito di formaggi).

Nella cupa desolazione della cella, nel brumoso e stillante dromos, solo a taluni è dato di cogliere i sospiri musicali dei flauti, il sontuoso letto triclinare e quel corpo sottile e aggraziato teneramente avvolto nella porpora di Sidone.

Meridiana di Augusto

Orgoglioso e solenne, l'obelisco di Psammetico II (inizi VI sec. a.C.) svetta oggi davanti al palazzo del Parlamento e stende la sua ombra sottile sulla piazza di Montecitorio: proveniva da Heliopolis e Augusto l'aveva fatto trasportare



□ L'obelisco di Psammetico II oggi davanti a Montecitorio

□ L'Ara Pacis di Augusto

□ L'iscrizione greca a caratteri bronzei (I venti Etesii si calmano) incastonata nel pavimento marmoreo della meridiana



fosse pari a questo lastricato alla sesta ora [cioè a mezzogiorno] del solstizio di inverno e, a poco a poco, giorno dopo giorno, diminuì e poi aumentasse di nuovo, indicata da regole di bronzo inserite nel pavimento. Fatto degno di essere conosciuto opera dell'astronomo Facondo Novio. Costui aggiunse al culmine dell'obelisco un globo dorato, sulla cui sommità l'ombra si raccoglie in se stessa, in modo da evitare che l'apice proietti un'ombra troppo grande: prendendo in questo ispirazione, a quanto si dice, dalla testa umana" (Plinio, N.H., XXXVI, 15).

Non era solo uno strumento di misura, ma un monumento al sole e alle stelle e all'Aurea Aetas augustea. Il giorno 23 settembre, anniversario di Augusto e giorno dell'equinozio di autunno, l'ombra appuntita dello gnomone si allungava verso il centro dell'Ara Pacis con evidente effetto celebrativo e scenografico. Era un modo per scandire simbolicamente la nascita divina dell'imperatore, segnato dal destino a instaurare una nuova era di pace e di grandezza per l'Urbe e il suo dominio.

Di quella piazza enfatica e celebrativa oggi non rimane più nulla. Di quell'anelito a scandire le ore contemplando nell'imponenza del cosmo quella di un sovrano, non resta che un minuto frammento, un ritaglio marmoreo, con ancora

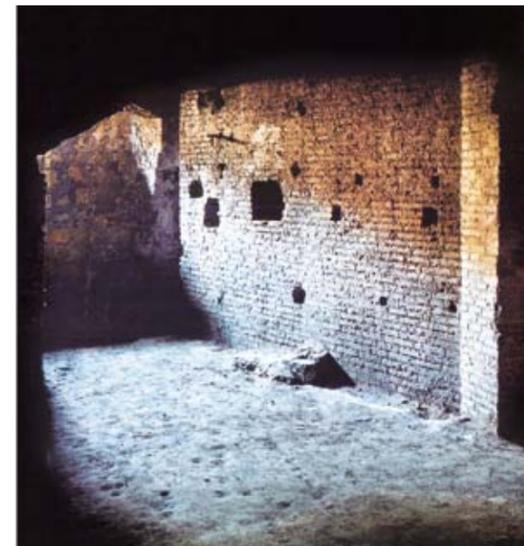
infisse le regole in bronzo, catturato a otto metri di profondità in una cantina al numero 48 di via del Campo Marzio. Si accede al vano da un cortiletto per una scala a pioli, ma la fatica vale il compenso. Incastonata tra La Vergine e l'Ariete compare un'iscrizione greca: "I venti Etesii si calmano" (Etesiai Pauontai). Sembra quasi una sentenza, un imperativo che conduce lontano da qui, in quella parte orientale del Mediterraneo dove quei venti soffiano ancora impetuosi.

Insula dell'Ara Coeli

Relegato in un angolo ai piedi dell'Arce Capitolina, un blocco serrato di antico laterizio, sollevato appena dal tocco delicato di un campaniletto romanico, racconta di una quotidianità antica: delle voci e del brusio di una Roma "altra", fatta di vicoli angusti e di caseggiati sovraffollati, non di piazze monumentali, ninfei, statue e colonne.

Oppressa dall'invadente vicinato monumentale delle due scalinate dell'Ara Coeli e del Campidoglio, l'insula non rie-

□ Uno degli ambienti interni del secondo piano con la sua semplice partitura laterizia



sce a imporre la sua presenza al ritmo fuggente dei passanti e solo raramente ne incontra lo sguardo e la memoria.

Eppure, è tra i pochi esempi a Roma di antico caseggiato popolare. Un vero e proprio esempio di insula, ben conservato e dotato oltre al piano delle tabernae (con relativo mezzanino), di altri tre piani praticabili con tracce di un quarto.

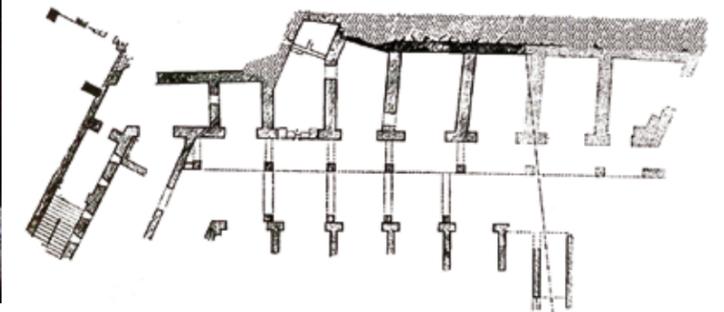
L'insula nasce, sin dal IV sec. a.C., per far fronte alle necessità di abitazione di una popolazione in continua crescita.

Con un impianto molto simile agli odierni palazzi, era composta e suddivisa dai cosiddetti cenacula: alloggi distinti, in tutto simili alle nostre abitazioni, il cui uso era destinato ad affitto. Al contrario, la domus – residenza riservata ai ceti più abbienti – si sviluppava in senso estensivo attorno a un cortile, ed era dotata di ambienti come l'atrium, il triclinium o il tablinum, che avevano una destinazione già prestabilita. Ma com'era costituita un'insula?

Il piano terra, quando non era occupato da un'unica domus, si presentava diviso da una serie di tabernae (magazzini o botteghe) destinate ad essere l'ambiente di lavoro e l'abitazione privata del mercante affittuario.

I piani superiori erano riservati a un numero più o meno elevato di abitazioni distinte, ma procedendo verso l'alto gli ambienti si facevano sempre più ristretti sino a giungere

□ Piantina del primo piano del caseggiato con la sequenza degli ambienti in successione

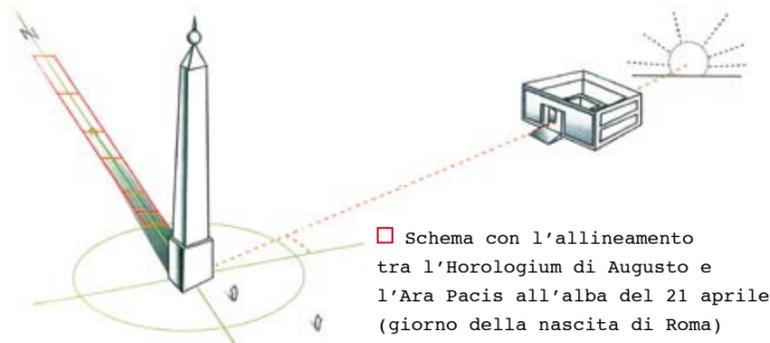


in Campo Marzio per farne lo gnomone (indicatore) del suo maestoso orologio solare.

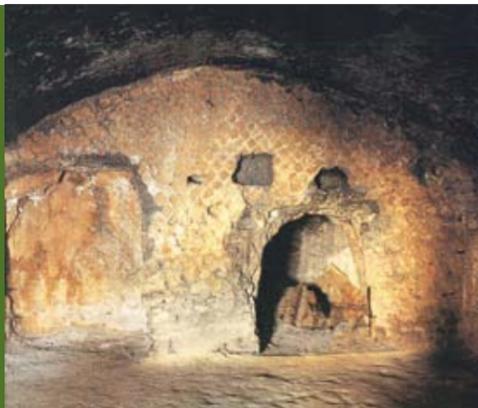
Alto (21, 80), snello e affilato, celebrava la conquista augustea dell'Egitto, levando acuto il suo canto

al Sole. Raggio di luce solidificato, spargeva inesorabile la sua ombra su di una vasta platea di travertino. Segnavale le ore, i giorni, i cicli stagionali, i venti e gli influssi astrali con cadenze proiettate sul bagliore candido del marmo. Come segnacolo del cosmo scandiva le necessità temporali in omaggio all'imperatore.

"Il divo Augusto attribuì una mirabile funzione all'obelisco che è nel Campo Marzio, cioè quella di catturare l'ombra del sole e di determinare la lunghezza dei giorni e delle notti. Realizzò di conseguenza un pavimento di lastre di ampiezza proporzionale all'altezza dell'obelisco, in modo che l'ombra



□ Schema con l'allineamento tra l'Horologium di Augusto e l'Ara Pacis all'alba del 21 aprile (giorno della nascita di Roma)



□ Le sale del primo piano poggiano su una struttura in opus reticulatum

a livelli di totale invivibilità. All'esterno le facciate di questi caseggiati – molto più simili ai nostri moderni palazzi di quanto si possa pensare – con balconi adorni di fiori, portici e logge, si presentavano con aspetto assai gradevole; all'interno, invece, la loro vita risultava piuttosto scomoda e in condizioni igieniche estremamente precarie.

Con un salto indietro nel tempo non è difficile vedere quel rudere dimenticato animarsi di una folla chiassosa e vivace, e scoprire, affacciati dalle finestre, un brulichio di voci e di grida che provengono dal vicolo, una folla tumultuosa e infernale con:

"... i carri che vanno su e giù (...) e le mandrie che si fermano e fanno un Druso o una vacca marina" (Giovenale, Satire).

Nessuno sembrerebbe prestare attenzione ai poveretti costipati nelle stanzette buie e fatiscenti degli ultimi piani mentre:

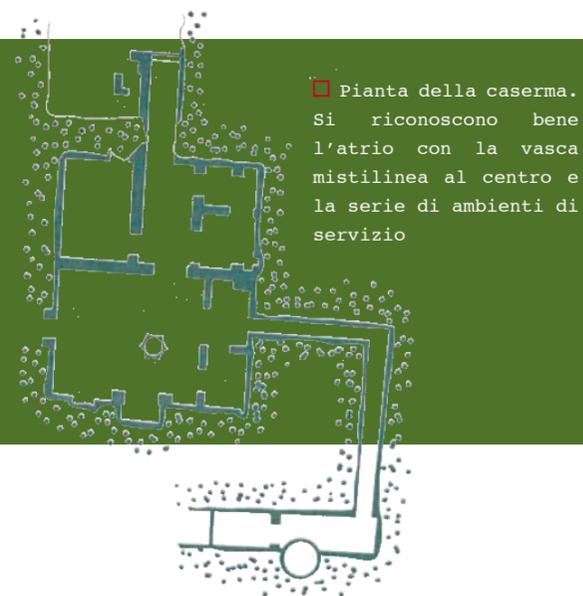
"già il terzo piano brucia e tu non sai nulla. Dal pianterreno in su c'è lo scompiglio, ma chi arrosterà per ultimo è quel miserabile che è protetto dalla pioggia solo dalle tegole, dove le colombe in amore vengono a deporre le loro uova" (Giovenale, Satire).

VII Coorte dei Vigili

Alla Roma fastosa e scenografica dei Fori, dei grandi templi, dei bronzi equestri, dello sfavillio dei marmi colorati e delle piazze gigantesche cinte da colonnati, statue e fontane, alla Roma celebrativa e retorica degli spazi pubblici: si contrapponeva una Roma in tono minore, fatta di cotto e di legno, compressa in spazi ristretti, in vicoli angusti, serrati nella morsa di caseggiati sovraffollati. Una città "altra", assai

poco enfatica, di carattere popolare, che assomiglia piuttosto ai coloriti e tumultuosi quartieri di Marrakech, frutto di una disordinata crescita urbanistica, addensatasi un po' alla rinfusa negli spazi lasciati liberi dall'arroganza delle dimore imperiali e dallo sfarzo delle piazze forensi.

Una realtà abitativa molto lontana dalla dimensione lustrata e sontuosa delle residenze aristocratiche con i loro portici e giardini, con la ricercatezza degli arredi, con la sua dimensione vasta e orizzontale di crescita, unita alla durevolezza e al pregio dei suoi materiali.



□ Pianta della caserma. Si riconoscono bene l'atrio con la vasca mistilinea al centro e la serie di ambienti di servizio

A tutto ciò rispondeva un quadro più sciatto e dimesso, con insulae di cinque o sei piani con uno sviluppo tutto in "verticale", fatto i materiali poveri e deperibili.

L'altezza era raggiunta spesso a scapito della solidità, e i crolli erano all'ordine del giorno:

"A Preneste, così fresca, a Bolsena, in mezzo alle colline boschive, o nella tranquilla Gabi o sulla rocca degradante di Tivoli, chi ha mai paura che gli debba crollare addosso la casa? Noi invece vogliamo abitare in una città sostenuta in gran parte da travicelli malfermi, perché l'amministratore non sa porre altro rimedio alle mura cadenti, e quando ha tappato la fenditura d'una vecchia crepa, ci dice di dormire tranquilli con quella continua minaccia sulla testa" (Giovenale, Satire, III).

L'uso massiccio del legno per la soffittatura e la spartizione dei vani, nonché nella suppellettile e nell'esiguo mobilio, costituiva una continua minaccia alla sopravvivenza dell'abitato e dei suoi inquilini. A poco servivano i corridoi spartifuoco contro l'impiego costante nelle abitazioni di stufe portatili, candele, lampade o torce per l'illuminazione notturna.

" (...) Già Ucalegonte grida che portino acqua e intanto mette in salvo i suoi stracci: sotto i suoi piedi già il terzo piano è in fiamme" (Giovenale, Satire, III).

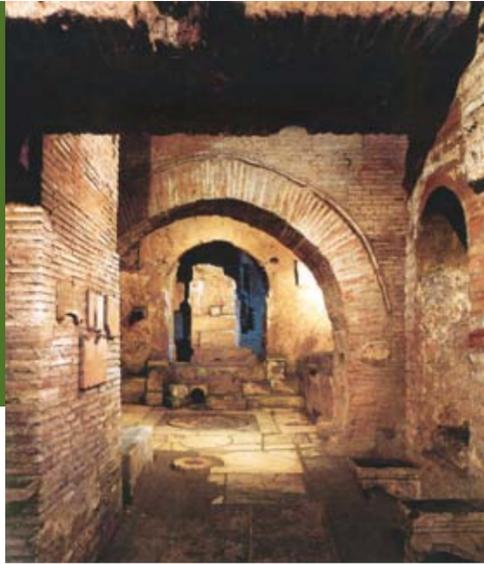
Una speciale milizia dei Vigiles, istituita da Augusto, era addetta agli incendi. Era organizzata su base territoriale in sette Coorte. Ogni Coorte assicurava il servizio nel territorio di due regioni, impiantando la caserma (Statio) in una di esse, e nell'altra un suo distaccamento e un corpo di guardia (Excubitorium).

Ne è rimasto miracolosamente intatto uno a Roma. La caserma minore del distaccamento permanente della VII Coorte, quella preposta al controllo della Regione XIV (Trastevere). Una comoda scala conduce all'interno di questo edificio sotterraneo sorto alla fine del II sec. d.C. su di una preesistente abitazione privata che spalanca l'orizzonte su di una realtà quanto mai inusuale nel panorama dell'archeologia romana. Un mondo che attraverso quei resti e i loro graffiti ci parla di giovani milites, del loro bagaglio di paure, delle loro superstizioni e soprattutto ci racconta delle fatiche di un lavoro pesante dispiegato con pochi, semplici mezzi e tanto coraggio.

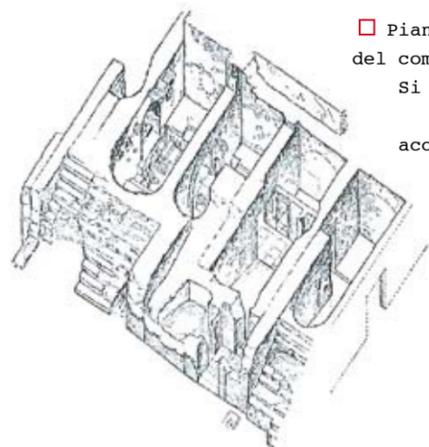
Mitreo del Circo Massimo

Non lontano dalla Bocca della Verità, nel ventre dell'ex pastificio Pantanella (ora deposito dei costumi del teatro dell'Opera), si respira un'aura incantatrice legata ad antichi rituali iniziatici.

A vari metri di profondità, sotto i magazzini, è collocato infatti un mitreo, un santuario ipogeo legato al culto del dio Mithra, ospitato in un vasto edificio pubblico del II sec. d.C. affacciato sui carceres del Circo Massimo. In questo edificio



□ Veduta generale della spelonca mitraica



□ Pianta assonometrica del complesso mitraico. Si scorgono bene le scale esterne di accesso all'edificio pubblico del II secolo d.C.

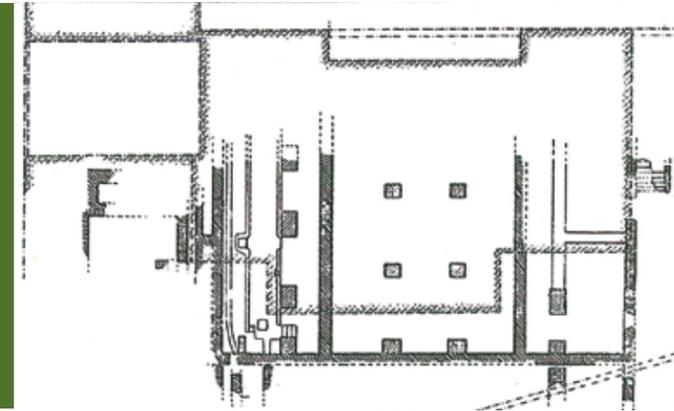
dalla non chiara destinazione, nel III a.C., si riuniva un'accolita di fedeli aderenti all'antica religione indo-iranica che, come sempre accadeva in questi casi, stabili in un ambiente sotterraneo la propria sede di culto. Per raggiungere lo spe-laeum mitriaco bisogna scendere una lunga scaletta. Un buio pesto e oppressivo marca il confine e segna il trapasso a una dimensione "altra". La discesa si rivela in qualche modo una sorta di iniziazione al rapporto con quell'antico culto, mediandone il trapasso col passato e con la storia.

Dapprima si incontra, sulla destra, un piccolo ambiente

con una nicchia rivestita di marmi che, per la sua positura e struttura, sembra ragionevole interpretare come apparitorium, ossia una specie di sacrestia. Si traversa l'atrio e due edicole, l'una di fronte all'altra, denunciano tutto il peso di un'assenza inquietante. A chi erano destinate quelle nicchie? La loro presenza all'ingresso del Mitreo non lascia adito ma dubbi. Si tratta certo delle statue dei compagni inseparabili dell'invitto Mithra: Cautes e Cautopates che con lui costituiscono una triade, il triplice Mithra.

Nell'ambiente successivo si riscoprono i consueti podia, i banconi ove gli adepti sedevano durante le cerimonie per la celebrazione del banchetto sacro, l'agape mitraica. Il banco-ne presenta una risega utile per appoggiare il cibo, le bevande e le lucerne. Nel vano seguente si incontrano altre due nicchie, in quella di destra è incassato un recipiente di terracotta, forse destinato a contenere l'acqua lustrale necessaria al battesimo. Al di sotto del grandioso arco in cui si apre la parte principale del santuario – il vero e proprio sancta sanctorum mitraico – un ampio tondo di alabastro rompe la monotonia di un pavimento marmoreo di reimpiego, una macchina iridescente tra le venature del cipollino, del bigio e della breccia corallina. Ma è il bel rilievo marmoreo posto sulla sinistra a catturare da subito l'attenzione. Un'immagine scolpita di grandi dimensioni della Tauroctonia o uccisione del toro. Si tratta dell'icona sacra e dunque dell'immagine più venerata dei santuari di Mithra, che riassume nelle forme artistiche del marmo la vicenda mitica del giovane dio dal berretto frigio (Mithra) e del culmine del racconto con l'uccisione del toro. Un'immagine pre-gna di significati, destinata a concentrare su di sé l'intero paradigma religioso e simbolico del mitraismo con tutto il suo bagaglio escatologico e astrologico.

Pianta del triclinio mitraico □



Mitreo Barberini

Tra gli ameni percorsi del giardino Barberini si nasconde un mitreo, celato tra le ombre del palazzo barocco come a sussurrare gli arcani vagiti di quella che fu un'antica setta iniziatica.

Superato il palazzo Barberini, una grande rampa sale alla villa Savorgnan di Brazzà (1936) che custodisce gelosamente nel suo grembo il vetusto spe-laeum. Una scala conduce nella grotta che merita particolare attenzione perché è uno dei pochi edifici mitraici che conserva raffigurazioni dipinte e la cui icona principale illustra i fatti della vita del dio Mithra. È un piccolo edificio sotterraneo, con varie fasi costruttive. Presenta una pianta rettangolare con volta a botte e podi

Affresco con la storia di Mithra □



lateralì, com'è d'uso per questo genere di edifici, e occupa uno dei tre ambienti ritrovati durante i lavori della villa. La volta, dal sesto ribassato, incombe sulla sala accentuando la tenebrosità dell'ambiente e la cupa asperità delle pareti, ricoperte ancora in parte di intonaco. Su uno dei pilastri compare una figura femminile che si può interpretare dall'atteggiamento come offerente.

Ma è il grande affresco della parete di fondo a catturare la scena. La figura del dio tauroctono (Mithra), accompagnato dal contorno formale e simbolico dei suoi inseparabili dado-fori (portatori di fiaccolle), campeggia su uno sfondo chiaro. Fin qui parrebbe ripetersi l'iconografia consueta. Ma se si volge lo sguardo alla fascia superiore alcuni interessanti elementi caratterizzano questa rappresentazione rispetto alle altre: una larga fascia, in semicerchio, porta i simboli dello zodiaco con al centro la figura di Chronos (il Tempo). Il mostro leontocefalo vi appare, in tutta la sua ieratica fissità, come governatore del cosmo e delle influenze planetarie mentre, avvolto nelle spire del serpente (eclittica) signoreggia sulla sfera dell'Universo. In alto il Sole e la Luna, affacciati a mezzo busto, osservano questo volteggiare di segni in sequenza, come per assistere al movimento del cosmo di cui Mithra è demiurgo. Pesci, Acquario, Capricorno, Sagittario, Scorpione e Bilancia da una parte, Vergine, Leone, Cancro Gemelli, Toro e Ariete dall'altra, segnano la fascia zodiacale come per ribadire il carattere fatalistico e astrologico della religione mitraica. Il mantello di Mithra è decorato di stelle (sono sette e rappresentano le stelle fisse).

Uccidendo il toro cosmico Mithra ha creato l'Universo e dal movimento del suo mantello si è originata la rotazione delle

stelle fisse. I pianeti, allora, hanno iniziato a muoversi in senso contrario, tracciando il percorso segnato dalle costellazioni dello zodiaco. Dall'azione sacrificale di Mithra è nato dunque il Tempo, scandito dalle rotazioni celesti.

Tale simbologia, che pare sfuggisse agli avversari cristiani, era essenziale al pensiero mitraico, profondamente intriso delle concezioni astrologiche caldaico-babilonesi e da un ricco apparato cultuale e iniziatico.

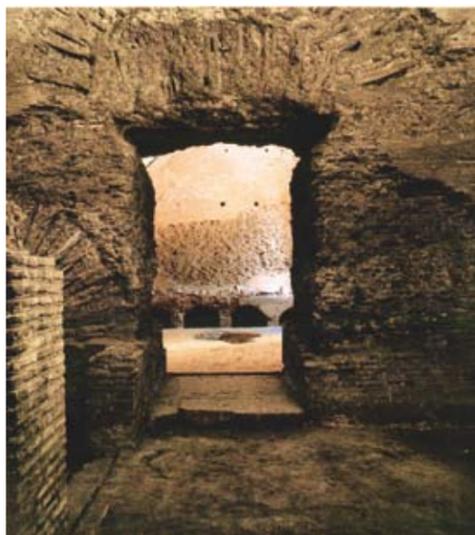


□ Parete di fondo dell'aula triclinare e affresco della nicchia del triclinio

Mitreo delle terme di Caracalla

Tutto un reticolo di ambienti sotterranei tiene come sospese le terme di Caracalla. Un intrico fitto di sale e corridoi carabili, per il trasporto di combustibile, di panni sporchi (che venivano gettati direttamente da alcune botole) e per tutte quelle attività di servizio connesse al loro funzionamento. Un mondo infero destinato alle fatiche di schiavi e inservienti che, intorno al III secolo d.C., diede ospitalità al culto misterico del dio Mithra. Un complesso assai vasto, di gran-

□ Porta di passaggio tra il vestibolo del mitreo e la sala con funzioni di apparitorium

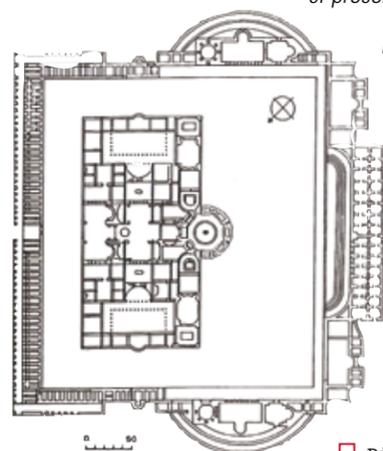


de fascino e suggestione, dotato di numerosi ambienti (in corrispondenza della grande esedra superiore di nord ovest) che accoglie, oltre la sala triclinare: un vestibolo, le latrine e lo spogliatoio.

Si varca l'antica soglia marmorea dopo aver attraversato un vestibolo e altri ambienti di servizio e si giunge nell'aula principale, la vera e propria cripta sacrale: lo specus dei mitriaci. Un ampio ambiente allungato, con volta a tutto sesto e i soliti banconi laterali (praesepia), da cui i fedeli assistevano con trepidazione alla celebrazione dell'uccisione del toro selvaggio e all'epopea salvifica del suo corso mitico.

"Per imitazione i malvagi demoni hanno prescritto di fare il medesimo (della eucarestia) nei misteri di Mithra: poichè si presenta il pane e una coppa di acqua nelle cerimonie di iniziazione con certe formule che voi sapete o potete apprendere" (Giustino).

Un profondo e vasto spelaeum, forse il più ampio della città, ben congegnato dietro il tetro allineamento dei pilastri. Un vasto tap-



□ Pianta delle terme di Caracalla

peto musivo ne investe l'invaso con geometrica bicromia di bianchi e neri. Ne interrompe il tessuto una grande olla fittile interrata, chiusa da un anello di marmo ove si svolgevano verosimilmente le abluzioni purificatrici contemplate nel rituale. Un'altra grande apertura rompe il piano pavimentale e costituisce il motivo di maggior attrazione di questo mitreo. È una grande buca profonda che si collega alle sale di servizio attigue attraverso un cunicolo. Si tratta di un elemento

che rimanda forse ai riti del taurobolio: le abluzioni cruento col sangue del toro immolato che pare contraddistinguesse-ro questo come altri culti orientali.

E allora conviene immaginarseli gli adepti, riuniti in quegli antri tenebrosi rischiarati appena dallo sfavillio di qualche fiaccola, mentre puntano i loro sguardi verso l'icona sacra e il Pater agita il tintinnabulum (una sorta di campanellino) svelandone l'immagine. Ne appare un giovane dio dai capelli color dell'oro, trattenuti a fatica in un berretto frigio mentre, dietro un largo mantello svolazzante, affonda il lungo coltello nel gozzo di un toro nerboruto e recalcitrante. Un cane e un serpente ne lambiscono il sangue e uno scorpione, teso verso i testicoli dell'animale, tenta con fatica la cattura del suo seme fecondo. È il momento culminante del mito: la tauroctonia o uccisione del toro.

Ipogeo di via Livenza

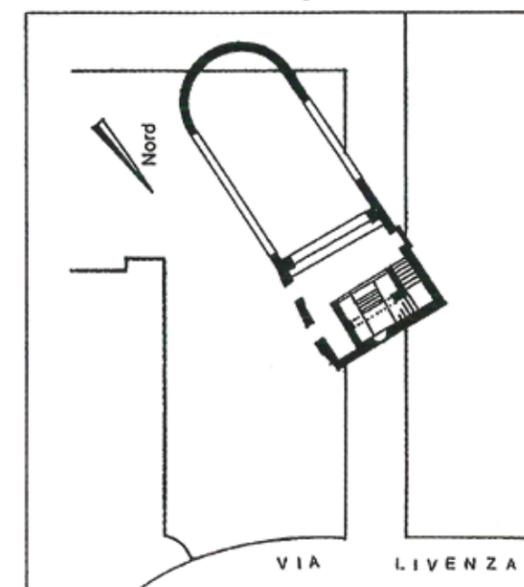
A pochi passi dalla via Salaria, su via Livenza, un livido cancello di un garage serba un cuore prezioso. Si avanza per una porticina di metallo che alla prima potrebbe apparire una centralina elettrica o telefonica ma che viceversa racchiude ritrosa un luogo di culto antico. Un edificio ipogeo che si inserisce in quella sottile categoria dei cosiddetti

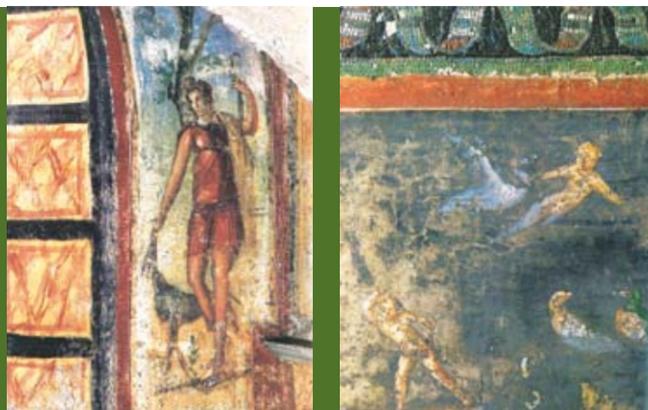
"monumenti sincretistici", i cui connotati pagani si imbrigliano tra le maglie di una cristianità in erba.

Vi si accede da una scaletta buia e angusta che conserva ancora buona parte degli antichi gradini – confermando con ciò la sua primitiva edificazione sotterranea – e conduce in un vano entro il quale una grande vasca non molto ampia, ma piuttosto profonda, rimane separata dal resto dell'aula da una bella transenna marmorea.

L'aria è umida e pesante e provoca un senso di disagio che immediatamente si dissolve davanti allo spettacolo iridescente di paste vitree e colori della parete di fondo. Bianchi, cinabri, turchini, intessono una danza cromatica esaltata da rapidi guizzi e tocchi di pennello, creando un quadro impressionistico di grande freschezza e vitalità. Protagonista un'Artemide saettante tra i suoi cervi, delicata nei tratti e nelle fattezze, ma sicura nei gesti. Padrona dei boschi e delle selve, una vera e propria regina con diadema e corona di lauro. Colta in uno sfondo boschivo, mentre al rosseggiare

Planimetria del complesso monumentale □





del tramonto trae la saetta dalla faretra mettendo in fuga un cervo e uno cerva.

“Canto Artemide dalle frecce d’oro, la vergine venerata, l’arciera che colpisce i cervi coi suoi dardi, sorella d’Apollo dall’aurea spada, colei che attraversa i monti ombrosi e i picchi battuti dai venti tende il suo arco d’oro puro, tutta presa dalla gioia della caccia, e lancia le frecce che fan gemere” (Inno Omerico ad Artemide, II, 1-10).

Sul lato opposto della nicchia, le fa da contrappeso visivo una giovane ninfa del suo stuolo, tratteggiata con rapidi tocchi di pennello, colta nel momento di riposo mentre, appoggiata a un’asta, si volge con tenerezza ad accarezzare un capriolo.

Spartisce questa arcadica composizione una nicchia dipinta – originariamente destinata a contenere una statua – a finta riquadratura di marmo numidico. Una partitura geometrica rotta dall’incanto di un giardino fiorito ove due palombi assetati accorrono ad abbeverarsi a una fonte (kantharos).

La malia di queste immagini e di questi colori svia per un attimo dall’altro polo di interesse della sala, ovvero dalla vasca sottostante: rettangolare e profonda, esse reca ancora i gradini per l’immersione. Di che edificio si tratta? Quale mistero si cela dietro queste curiose rappresentazioni? Forse

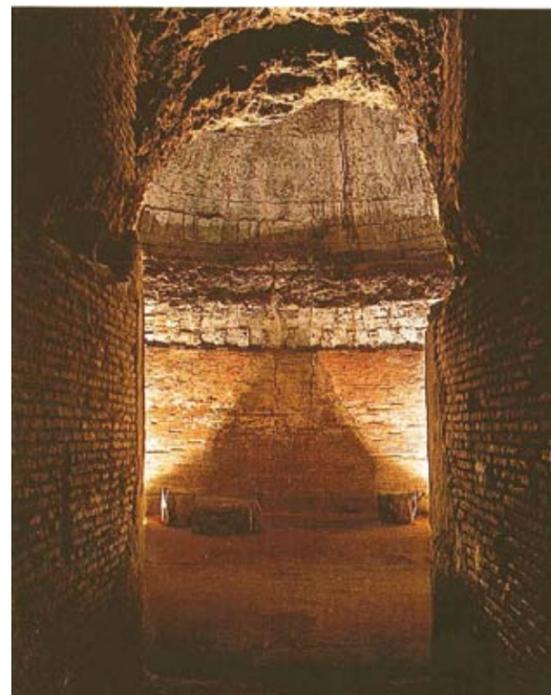
di un culto misterico che metteva al centro del proprio rito il tuffo e l’immersione in acqua? O di un “banale” ninfeo? O piuttosto di un primitivo edificio cristiano? Difficile dirlo.

Tutte le ipotesi non convincono fino in fondo. Che fosse il luogo dei devoti Bapta; da bapto, ossia “immergo” è estremamente suggestivo. Meno convincente è l’ipotesi cristiana. Dunque forse l’idea di vedervi più semplicemente un ninfeo, ad oggi, appare come l’ipotesi meno peregrina per

un luogo che, confinato ai limiti di un garage, attende da tempo che si compia il riscatto di una sua sicura e compiuta individuazione.

Monte del Grano

Lo scenario è quello consueto di una piazza di periferia come tante, con un traffico assordante e l’uniforme assieppamento di squallidi palazzoni. Unica eccezione è una collinetta



coronata da ulivi che scompone quel quadro inespressivo e monotono di cemento con una nota di vegetale freschezza. Gli abitanti del quartiere tuttavia, sembrano non accorgersi del loro antico cimelio e ne trascurano la presenza dietro il vociare di un colorito mercato. Nulla in realtà, farebbe presagire il suo prezioso contenuto, neppure il nome: Monte del Grano. Anzi, tutto svierebbe verso un’ipotesi di fragrante naturalità.

Una leggenda locale lo vuole sorto da un cumulo di grano, ivi raccolto in un giorno festivo e poi, per punizione divina, distrutto e trasformato in terra da un fulmine. In verità si tratta di un maestoso sepolcro a tumulo la cui struttura, a forma di cono rovesciato, molto simile a un moggio (modium grani), ne ha determinato, per corruzione, il nome, come si apprende da un’antico documento medioevale “et cum par-te Modii sive Montanis vel Montis dello Grano”.

La ricca decorazione a gradoni di travertino che rivestiva l’esterno, caratterizzandone l’aspetto, è oggi completamente scomparsa. Fu rimossa nel 1387 da Nicolò Valentini, proprietario del luogo, per “cavare extrahere et rumpere omnem quantitatem lapidum tiburtinarum existentium intus et extra montem qui vocatur Mons Grani” e soprattutto per “deducere et revertere in calcem bonam et congruam”.

Nel Cinquecento il monumento ormai spoglio del suo rivestimento marmoreo, si presentava munito di una torre che, restaurata dal Lovatti nel 1870, crollò improvvisamente nel 1900 per la furia di un uragano. Alla fine del secolo scor-



so venne scoperto al suo interno uno splendido sarcofago (III sec. d.C.), che un’erronea interpretazione ricondusse ad Alessandro Severo e sua madre Mamea.

“Me ricordo, fuori di Porta San Giovanni, un miglio passati li acquedotti, dove si dice il Monte del Grano, vi era un gran massiccio antico fatto di scaglia; bastò l’animo ad un cavatore di romperlo ed entrarvi dentro, e poi calarsi giuso tanto, che trovò un gran pilo storiato con il ratto delle sabine, e

sopra il coperchio vi erano due figure distese con il ritratto di Alessandro Severo, et Julia Mamea sua madre, dentro vi si trovò delle ceneri. Il detto pilo si ritrovò nel Campidoglio, in mezzo al cortile del palazzo dove stanno li conservatori” (Flaminio Vacca, Memorie di varie antichità, 36).

A ben vedere le narrazioni scolpite sul sarcofago non illustrano affatto le vicende di Alessandro Severo e della madre Mamea, ma gli episodi relativi alla vita di Achille. Anche se spiegano il perché per vario tempo il nostro sepolcro-mausoleo sia stato attribuito all’ultimo dei Severi. Le confusioni non cessano qui e si riferiscono anche alla presunta appartenenza al sarcofago di uno dei più pregiati esemplari dell’arte del vetro-cammeo: il famoso vaso Portland (I sec. d.C.) oggi al British Museum. Un piccolo cancello nascosto

nel giardino di Piazza dei Tribuni sorveglia il tumulo. Un lungo dromos annuncia la vasta rotondità dell’aula che con difficoltà si immagina nella sua bellezza originaria. Non resta dunque che ricorrere al bulino di Piranesi per riscattare quella banale collinetta di periferia al rango di un vero e proprio monumento.

Piramide

La piramide ha sempre incarnato, con la nitida ascensionalità della sua forma, l'idea di un percorso per il cielo, di una scalinata tesa verso l'alto, una sorta di cammino dell'anima incontro alla destinazione celeste. Per questo è divenuta col tempo il monumento funerario per eccellenza. Il fascino della sua perfetta geometria, della sua imponenza, la sua linearità astratta, ne hanno fatto l'archetipo della tensione dell'uomo verso l'infinito.

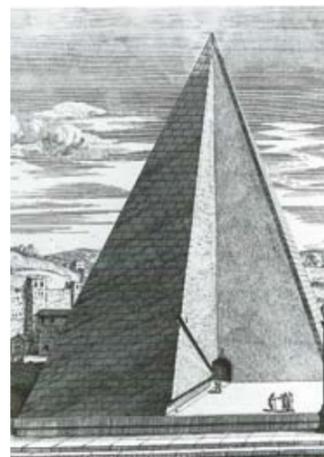
Forse l'idea che ha ispirato la costruzione della piramide ha avuto origine nel culto solare, nel concetto del monolite al

cui culmine poggia l'astro raggiante; nella considerazione astrale delle pietra betilica, nel suo traguardare l'astro principale come elemento di referenza osservatorio-simbolica, da cui la forma della piramide si sviluppa in rapporto all'idea di irradiazione dei raggi solari.

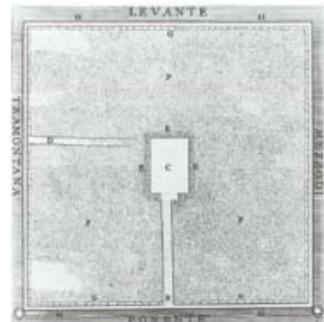
A Roma, nel periodo augusteo, sotto la spinta di una moda ispirata all'Egitto, vennero erette ben quattro piramidi delle quali oggi non ne sopravvive che una, quella di Caio Cestio. All'incrocio di due importanti antiche vie di transito, la Ostiensis e il vicus Portae Raudusculanae, la Piramide oggi svetta solenne sul cielo di Testaccio, baluardo della sua fiera vetustà. Serrata nella morsa dell'abbraccio delle mura di Aureliano, rammenta con la verticalità della sua cuspidi la moda "egiziana" dell'epoca e, dietro la bianca compattezza delle sue superfici, invi-



Spaccato della piramide sepolcrale di Caio Cestio in una incisione del Settecento



Pianta della piramide come la disegnò Piranesi

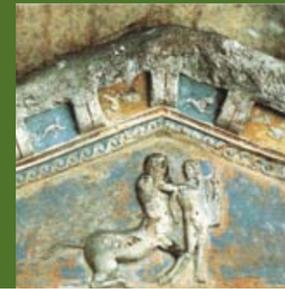


ta a cercare una soglia, un ingresso. Quando si oltrepassa quella piccola porta si rimane come storditi dal passaggio dal chiarore esterno all'improvvisa oscurità del cunicolo. Il corridoio stretto e lungo pare una sorta di preparazione, quasi un tartarico percorso verso la meta finale: la camera funeraria. Qui appare tutto estremamente piccolo rispetto al massiccio murario soprastante: la sua dimensione ridotta e raccolta non attenua tuttavia il fascino del luogo, semmai lo amplifica a dismisura.

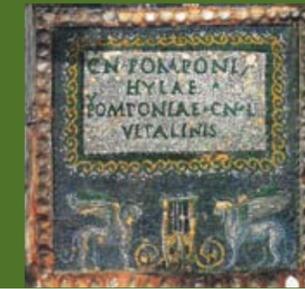
Il senso di smarrimento si spegne davanti alla rassicurante schiera di leggiadre figure femminili dipinte sullo sfondo delle pareti. Leggono, portano vasi lustrali o lunghe tibie, affiorando dall'intonaco eroso per sollecitare la veglia del defunto con la grazia composta e lieve delle raffigurazioni del III stile.

Circondate da candelabri, vasi e grottesche, paiono rifuggire lo sguardo dei visitatori odierni, mantenendosi altere e un po' sdegnose nei

Rappresentazione in stucco del centauro Chirone che ammaestra Achille



Particolare del mosaico della parete di fronte alla scala di accesso



Frontone dell'edicola di fondo con la decorazione affrescata



loro ricchi panneggi: in alto, sulla volta, più aeree e volatili, indossano i panni delle vittorie, sorreggendo con sicumera l'apoteosi finale di Cestio. Purtroppo tale rievocazione è stata possibile solo grazie a vecchie incisioni, a disegni del XVIII secolo, poiché i segni portati dal tempo e l'azione corrosiva dell'umidità hanno ridotto a poche figure evanescenti questa raffinata composizione, lasciando di questa instauratio funeris poca cosa, sufficiente tuttavia a garantirne l'indubbia qualità.

Colombario di Pomponio Hylas

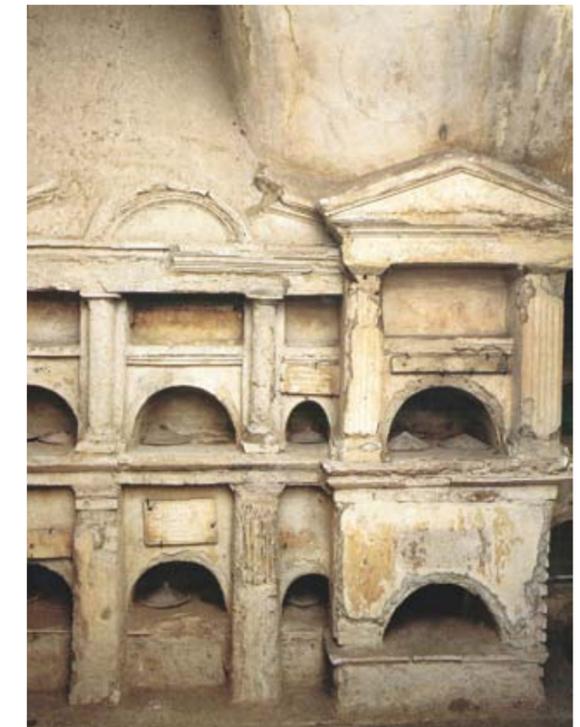
Nel parco degli orti degli Scipioni, a cavallo tra la via Appia e la via Latina, una minuta casetta fa da segnacolo a uno dei monumenti sotterranei più interessanti della città. Un piccolo sacello funerario che non lascia l'impressione livida di un luogo di sepoltura, ma invero colpisce per la sua calda intimità, per il suo porsi come piccolo proscenio del mondo ultraterreno, scrigno raffinato e raccolto delle ceneri antiche di uomini comuni.

Vi si accede con fatica per una scaletta stretta e ripida, protetta e custodita da due grifi affrontati davanti a una cetra che, vigili, sembrano ammonire a non turbare quel luogo, a

non violarlo. In realtà stanno lì per tutt'altro scopo: scongiurare, a fine apotropaico, il malocchio dal sepolcro.

La scritta al di sopra sembra in ciò di conforto: CN(aei). POMPONI HYLAE (et) POMPONIAE CN(aei): L(ibertae) VITALINIS. Non si tratta dunque di qualche rituale propiziatore, ma semplicemente dei nomi dei proprietari del sepolcro: Pomponio Hylas e sua moglie Pomponia Vitalinis.

La struttura architettonica del Colombario



Discese le scale il colpo di scena. Non un lugubre e opprimente sepolcro ma un vero e proprio teatrino ben congegnato; dal ritmo alterno dei frontoni e dalle vivaci decorazioni.

Rossi sanguigni, azzurri oltremare e terre bruciate, lo disegnano con una danza senza posa che a tutto pare alludere fuorché

a un triste abbandono della vita. Basta sollevare gli occhi sulla volta e si può godere il cadenzato minuetto di eroti e uccellini, comporsi su uno spazio arabescato

da tralci di vite. Uno di essi svolge con

fatica un papiro, un altro scimmiettosamente si ciondola



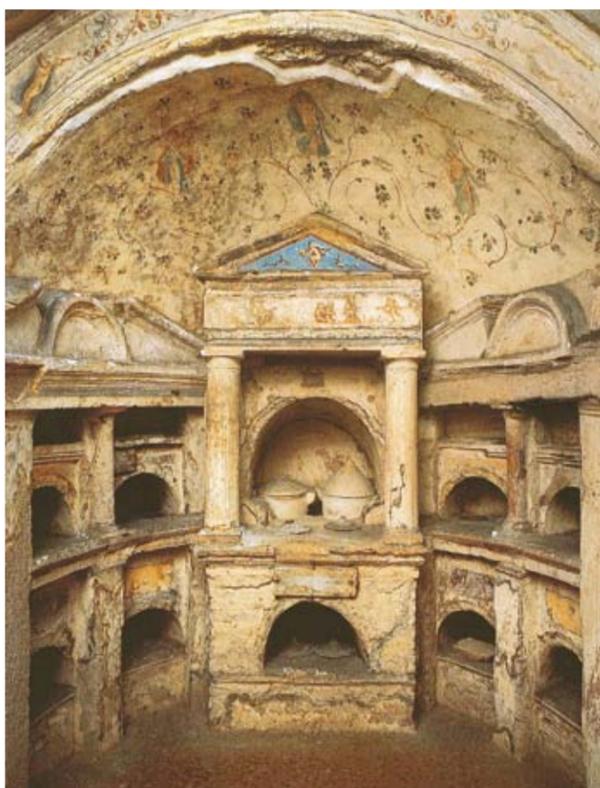
Edicola della parete sinistra del Colombario

su di un ramo; un altro ancora, con aria da intellettuale, legge seduto su di uno stralcio, incurante di quello che accanto prova a misurarsi come equilibrista. Non è una parata da circo, né tantomeno un fenomeno da baraccone ma un tripudio di gaia vivacità, una danza della vita, nel bisogno di suggerire una dimensione libera e lieta del mondo ultraterreno. Nel catino absidale la composizione si complica: i racemi di vite si trasformano in volute di melograno, gli uccelli in cavallette e gli amorini in leziose fanciulle

danzanti che si librano tra gli spazi di quelle circonvoluzioni vegetali con un ritmo da carillon. Si tratta di menadi, di Horai, Nikai, o semplici Vittorie? Non è semplice a dirsi. Importante piuttosto è l'idea che con la loro danza levitata paiono suggerire: una forma di beatitudine eterna, una sorta di giardino delle delizie in cui l'anima gaia e festante ha raggiunto il colmo della felicità.

Dalle pareti colorate anche i miti svolgono un ruolo tutt'altro che secondario. Chirone ammaestra Achille nel suono della lira, Ocno svolge, in un inesorabile contrappasso, la sua fune. Ma è Orfeo con i suoi misteri che domina la composizione.

Quello che Pomponio Hylas e Pomponia Vitalinis sembrano ancora comunicare è un antico messaggio a trovare nei Misteri Orfici una via di salvezza, un'esperienza mistico-religiosa, un mezzo per raggiungere quella felicità ultraterrena che le danze leziose affrescate sulla volta sembrano briosamente preannunciare. ■



Prolungamento Linea A Metro Roma

Piccoli diametri per una piccola Cipa, nel 1992 iniziammo ad operare nei lavori di prolungamento della linea A della metropolitana di Roma, con la realizzazione di due tratti fognari della lunghezza complessiva di ca. 100 metri, con sezione di scavo di soli 4,5 m² eseguita a mano, e opere accessorie.

Seguirono tre pozzi di ventilazione, uno in via Pio IX, uno in piazza Irnerio e l'altro in via Moricca.

Il pozzo di ventilazione, in via Pio IX, realizzato in sottomurazione, ha comportato uno scavo di diametro 6 metri e profondità 26 metri.

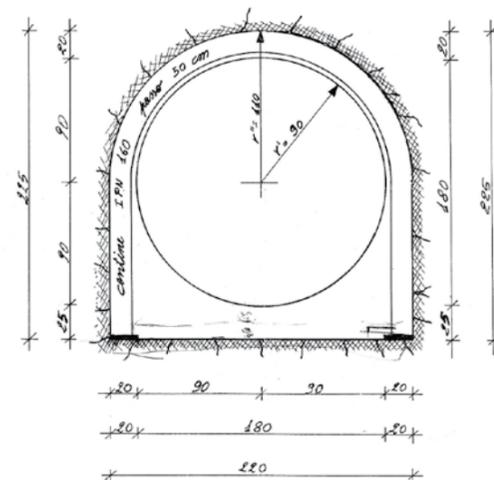
Dal pozzo dipartono due cunicoli verso le gallerie di linea, realizzati con macchine di piccola taglia. Un cunicolo è di collegamento al tunnel a doppio binario, di lunghezza 6 metri e con sezione di scavo di 24 m², l'altro collega al tunnel monobinario, con sezione di scavo di 11 m² e lungo 56 metri, di cui 10 metri con pendenza del 57%.

Il pozzo di ventilazione in piazza Irnerio, anch'esso realizzato in sottomurazione, è profondo 42 metri e ha un diametro di scavo 4,7 metri. Vale segnalare che lo scavo, prima volta in Italia, è stato eseguito in presenza di congelamento analogamente ai cunicoli di collegamento alla linea. I cunicoli di



Operai Cipa al lavoro

cipa s.r.l. NOVA METRO S.r.l.
Ipotesi di scavo a foro cieco attraversamento fognario in via Monti di Pamaralle. Sezione rapp. 1:20

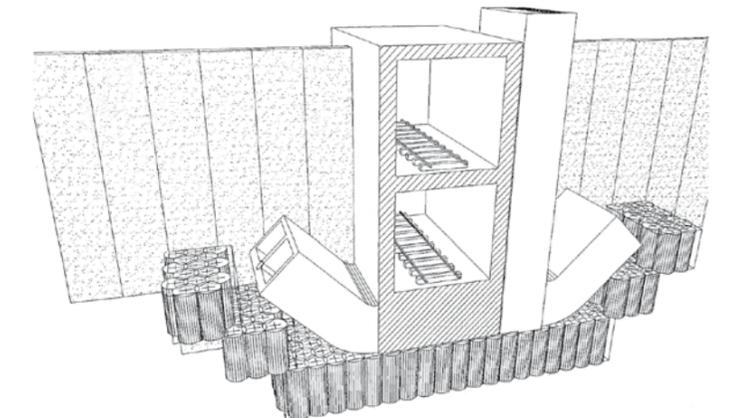


Sottoattraversamento fognario - Sifone di S. Maria delle Grazie

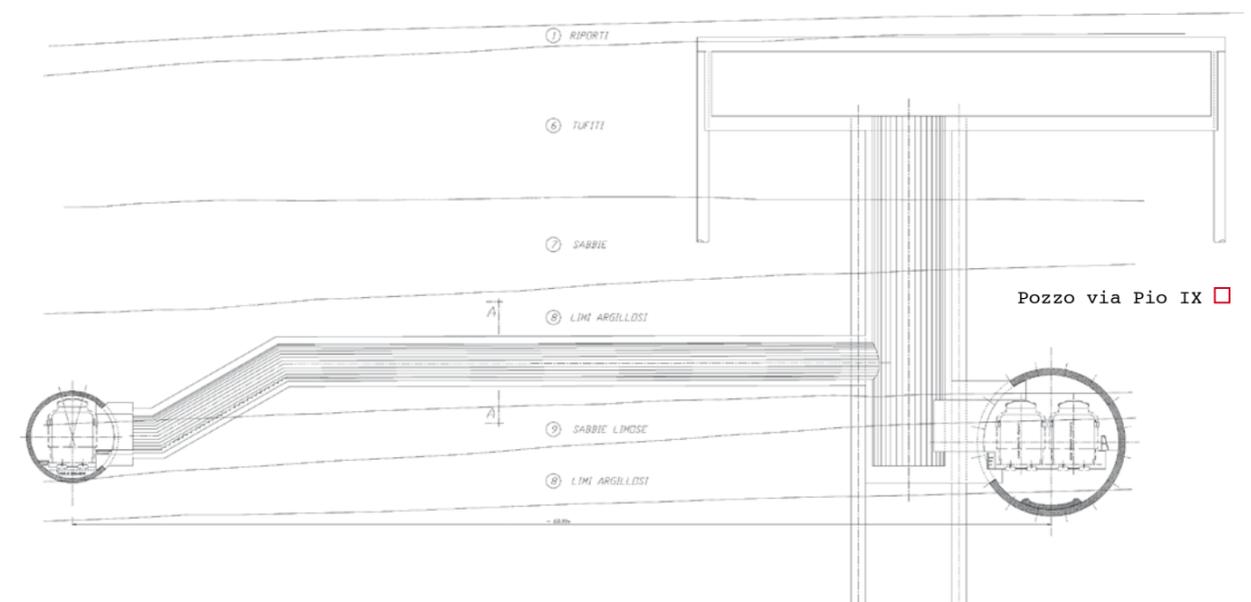
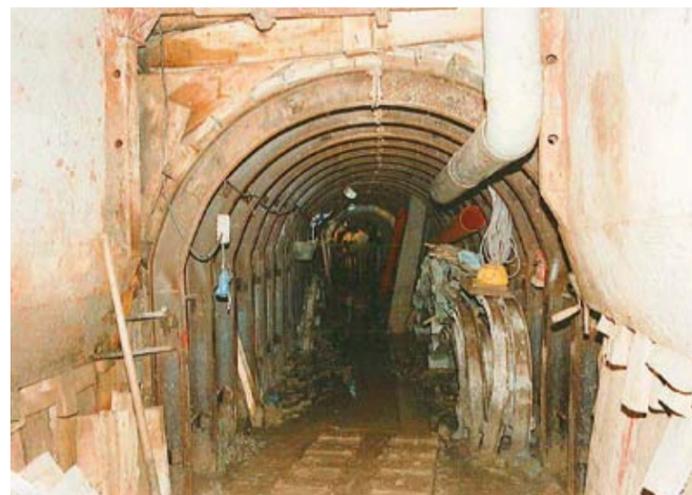
collegamento alle gallerie di linea, lunghi rispettivamente 5 e 13 metri, hanno presentato una sezione di scavo di 11 m².

Il pozzo di ventilazione di via Moricca ha un diametro di scavo di 4,7 metri ed una profondità di 20 metri.

Il collegamento alla camera di ventilazione, non collocabile in testa al pozzo per la presenza dei fabbricati circostanti, ha presentato una sezione di scavo di 15 m² per una lunghezza di 30 metri, di cui 6 metri con pendenza del 25% per per-



- Proposta progettuale per la realizzazione della fognatura
- Sezione fognatura



Pozzo via Pio IX



Scavo pozzo via Pio IX e particolari esecutivi del cunicolo

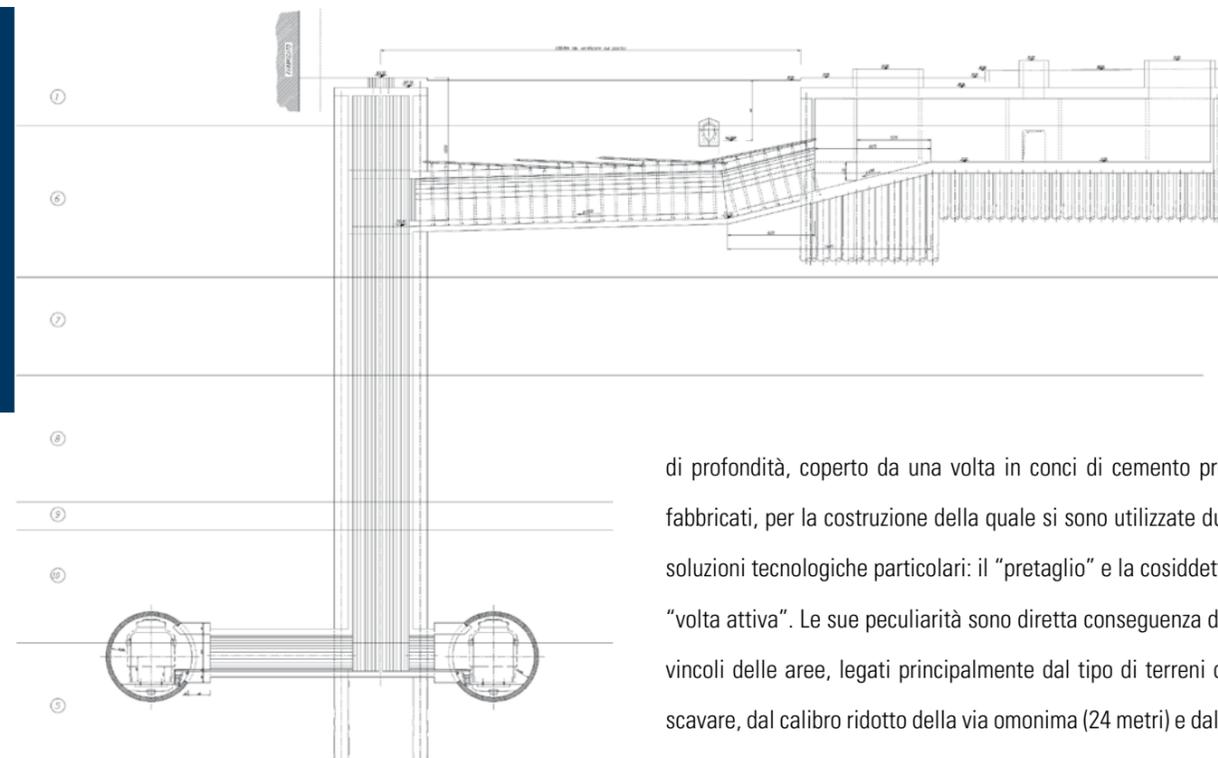
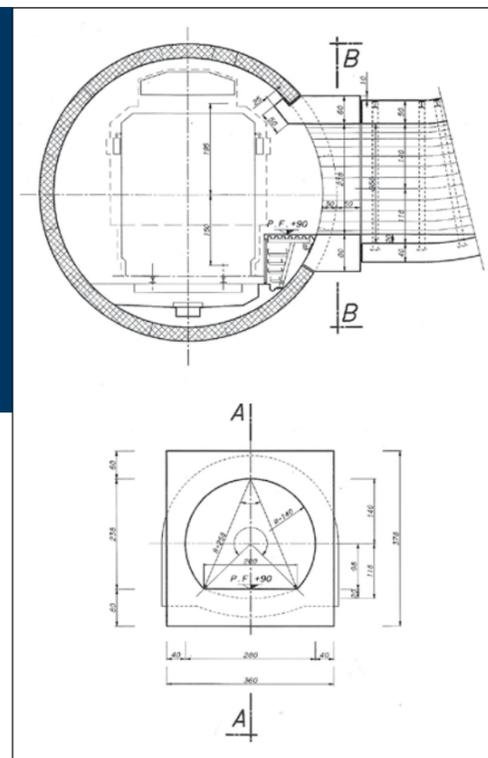
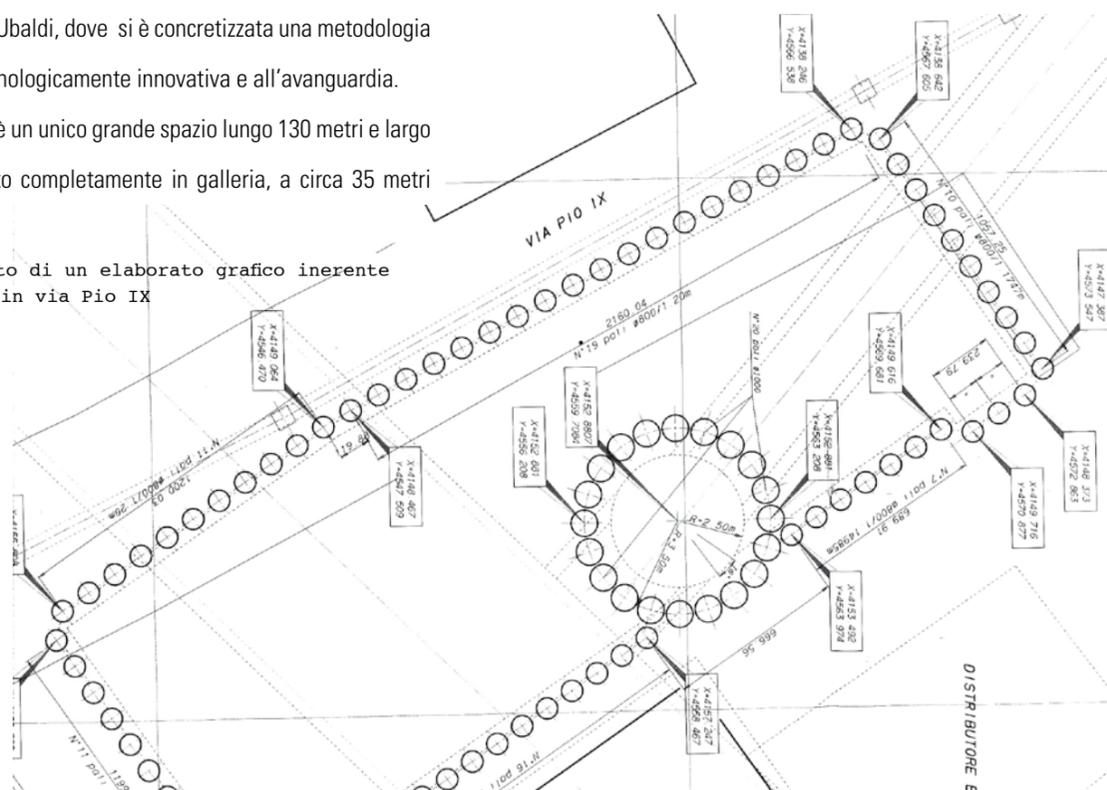
mettere il sottoattraversamento di un condotto fognario. La realizzazione ha comportato 4 campi di infilaggi.

Dei pozzi abbiamo realizzato anche i setti divisorii interni, mentre della camera di ventilazione del pozzo in piazza Imerio abbiamo realizzato i solai.

Abbiamo partecipato anche alla realizzazione della stazione Baldo degli Ubaldi, dove si è concretizzata una metodologia di scavo tecnologicamente innovativa e all'avanguardia.

La stazione è un unico grande spazio lungo 130 metri e largo 16, realizzato completamente in galleria, a circa 35 metri

Estratto di un elaborato grafico inerente il pozzo in via Pio IX

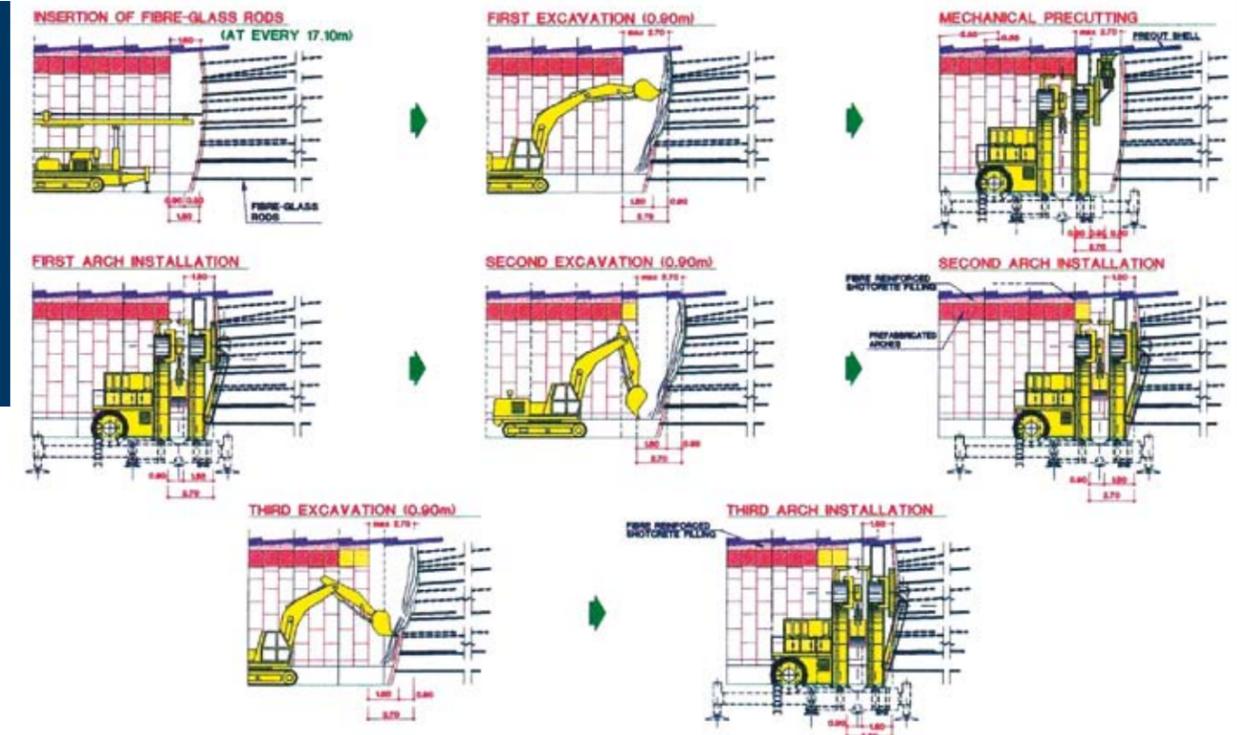
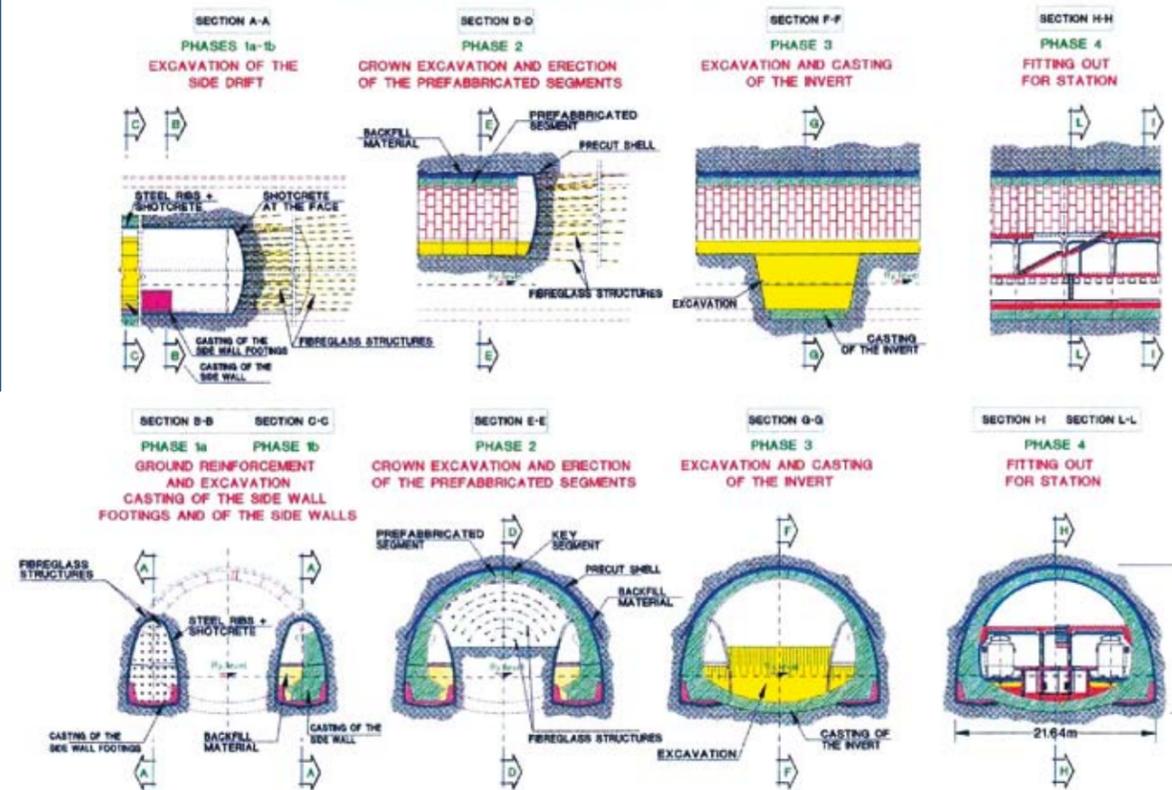


Pozzo piazza Imerio



di profondità, coperto da una volta in conci di cemento prefabbricati, per la costruzione della quale si sono utilizzate due soluzioni tecnologiche particolari: il "pretaglio" e la cosiddetta "volta attiva". Le sue peculiarità sono diretta conseguenza dei vincoli delle aree, legati principalmente dal tipo di terreni da scavare, dal calibro ridotto della via omonima (24 metri) e dalla sua importanza come asse viario che generò un obbligo contrattuale di costruire la stazione senza interruzione del traffico. L'impossibilità di portarsi oltre le fondazioni dei fabbricati ha imposto una soluzione costruttiva a volta unica che permettesse di contenere la stazione all'interno di questo spazio, mentre non sarebbe stato possibile con la soluzione tradizionale a tre gallerie. Il cantiere avrebbe operato comunque a filo delle fondazioni degli edifici, con il rischio di assestamenti del terreno che si sarebbero ripercossi immediatamente sulla stabilità dei fabbricati. I progettisti hanno quindi messo a punto un tipo di intervento che, pur lavorando su un volume molto ampio, coperto da un'unica grande volta, è stato scavato per parti successive (prima due piedritti, poi la parte superiore del nucleo centrale e infine la restante parte inferiore) con la contemporanea messa in opera della struttura di sostegno, realizzata anch'essa per tappe successive, a partire dai piedritti, con un costante e sistematico consolidamento del terreno mediante

Sequenza di costruzione della stazione Baldo degli Ubaldi



Fasi di scavo della stazione Baldo degli Ubaldi

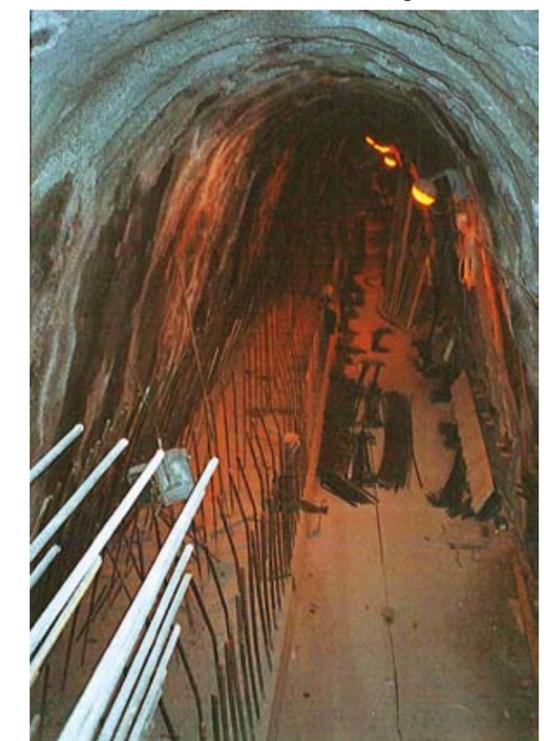
Scavo del piedritto



Piedritto di appoggio alla volta attiva della stazione Baldo degli Ubaldi

elementi in vetroresina. La volta vera e propria della stazione è costituita da 12 conci prefabbricati in calcestruzzo: due sono in appoggio sui piedritti, nove sono standard e uno, speciale, è il concio di chiave della "volta attiva", contenente al suo interno due martinetti piatti da 360 tonnellate (corsa massima di 3,5 centimetri) che hanno permesso di mettere in tensione l'intera volta: all'ultimazione di un arco, lo spazio rimanente tra il suo estradosso e il guscio di pretaglio veniva riempito di conglomerato cementizio additivato e proiettato. Agendo sui due martinetti del concio di chiave, l'intero arco veniva messo in precompressione, rendendolo così immediatamente attivo e autoportante, in modo da annullare qualsiasi fenomeno di deformazione o recuperare

le deformazioni elastiche già subite dal guscio di pretaglio. In questa opera la Cipa ha realizzato: i piedritti in calcestruzzo armato per tutta la lunghezza della galleria e le mensole di appoggio sui piedritti del solaio del mezzanino di stazione; lo scavo parziale del pozzo di valle e del solettone di fondo; il solettone di fondo e le controfondere in calcestruzzo; tutti i tagli con filo diamantato. Abbiamo inoltre realizzato il sottofondo di appoggio all'armamento ferroviario nella tratta Ottaviano – Valle Aurelia per circa 1,6 km e nella tratta Valle Aurelia – Battistini per ca. 2,5 km su ambedue le canne. Sono state altresì eseguite opere nel sottosuolo in piazza della Salle per una cabina elettrica dell'Acea direttamente per conto del Concessionario del Comune di Roma, con il quale ancora alla data Cipa sta eseguendo opere relative al programma di AMLA 3 ed AMLA 4 (ammodernamento Linea A), di nuovi pozzi di intertratta e relative camere di ventilazione ed accesso VVFF. ■



Parcheggio del Gianicolo Città del Vaticano

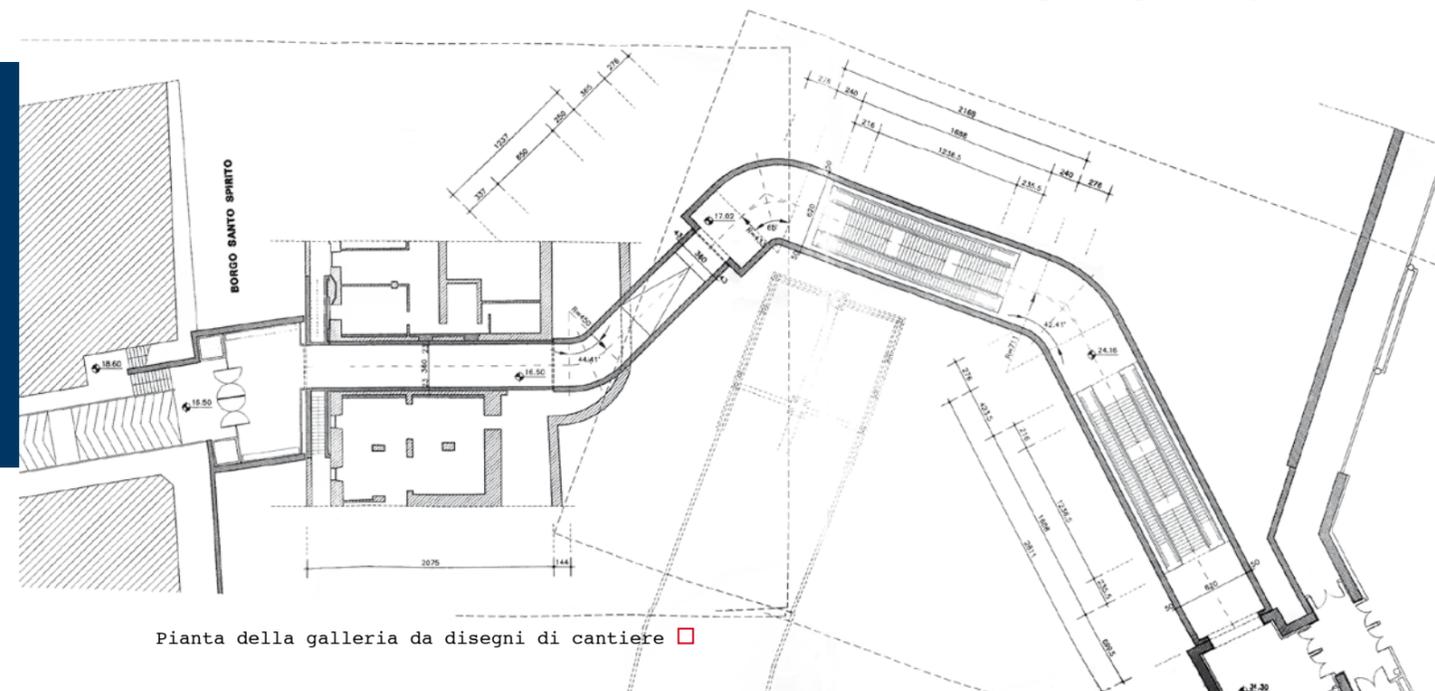
Il parcheggio fu costruito in occasione del Grande Giubileo del 2000. In esso realizzammo i due percorsi pedonali di via Pfeiffer e di Porta Cavalleggeri, oltre ai fornici di ingresso.

Nel 1999 realizzammo la galleria di via Pfeiffer, la cui tortuosità, unita alla forte pendenza, costituì una sfida magistralmente superata in soli tre mesi di lavorazioni.

Essa rappresenta, congiuntamente a quella di Porta Cavalleggeri, il collegamento pedonale meccanizzato tra la Piazza San Pietro ed il parcheggio per auto ed autobus costruito in zona Gianicolo in occasione del Grande Giubileo 2000. La galleria collega, su una lunghezza totale di 108 metri, livelli a differenza di quota di oltre 14 metri. Gli obbligati punti di partenza e di arrivo, congiuntamente alla necessità di evitare l'attraversamento di fondazioni di corpi fabbrica esistenti, hanno imposto il tracciato poi realizzato.

In dettaglio la galleria, il cui scavo è avvenuto dall'alto verso il basso, inizia dall'ultimo livello inferiore del parcheggio, con un innesto di 8 metri in piano e una sezione di scavo di 41 m²; successivamente presenta una prima rampa con pendenza del 58% e lunghezza

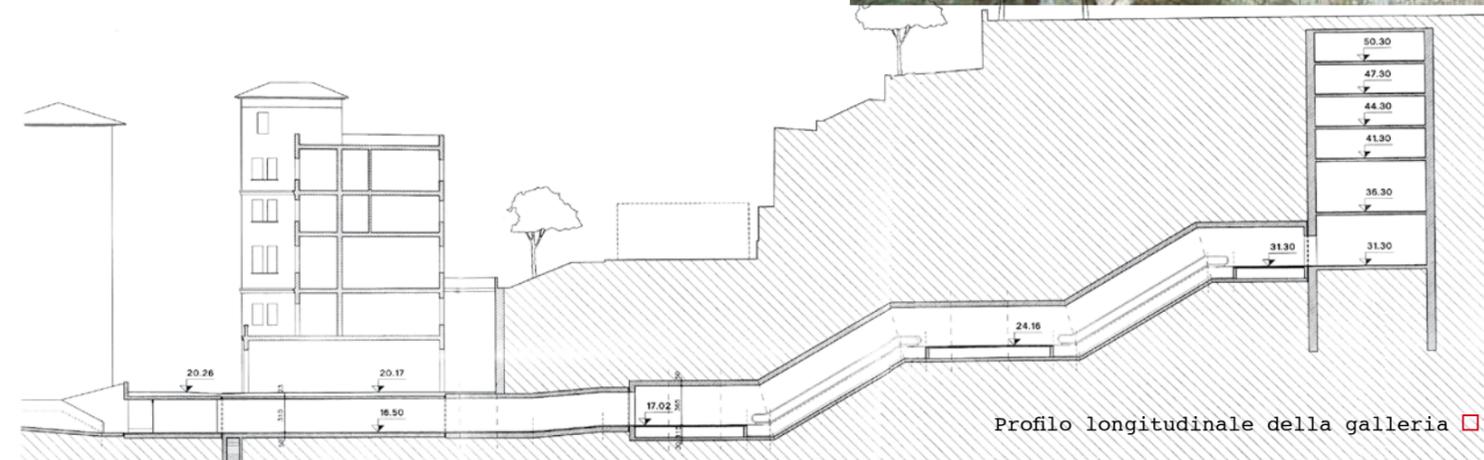
□ Rendering 3D della galleria



□ Pianta della galleria da disegni di cantiere

□ Apertura fornici di ingresso al parcheggio

13 metri; ancora si prosegue con un pianerottolo di riposo che si sviluppa per 12 metri, curvando a sinistra per 45°; segue la seconda rampa, simile alla precedente, che sbarca in un terzo pianerottolo lungo 10 metri che curva a sinistra di circa 80°. In corrispondenza del terzo pianerottolo, la sezione subisce un brusco restringimento, portandosi a 16 m² per consentire il sottoattraversamento delle antiche mura Vaticane. Un ulteriore restringimento a 12 m² per consentire l'attraversamento della Casa Generale dei Gesuiti ed



□ Profilo longitudinale della galleria



Macchinario multifunzione in transito nel tratto di sezione minore



Pianerottolo in curva tra due discenderie

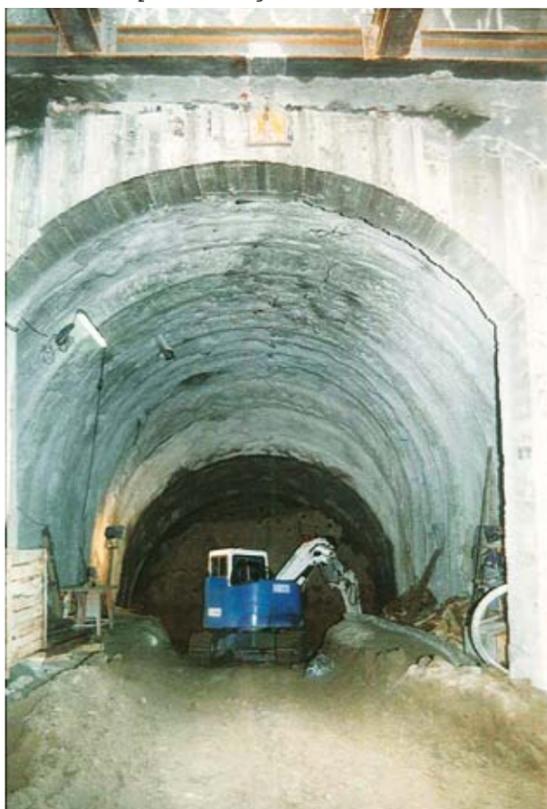


Apertura fornici nelle mura vaticane



Ingresso al parcheggio Gianicolo

Mezzo di piccola taglia in fase di scavo



innestarsi nel recapito finale di via Pfeiffer a poche centinaia di metri dal colonnato di Piazza San Pietro.

La problematica maggiore, aggravata dalla non linearità del percorso, è stata determinata dalla notevole pendenza. La soluzione è stata nell'adozione di dumpers cingolati (gatti delle nevi) con capacità di carico fino a 3 m³, il cui uso ha consentito di risolvere il problema dello smarino, in primo luogo, ma anche dell'accosto al fronte di avanzamento di tutti i materiali necessari.

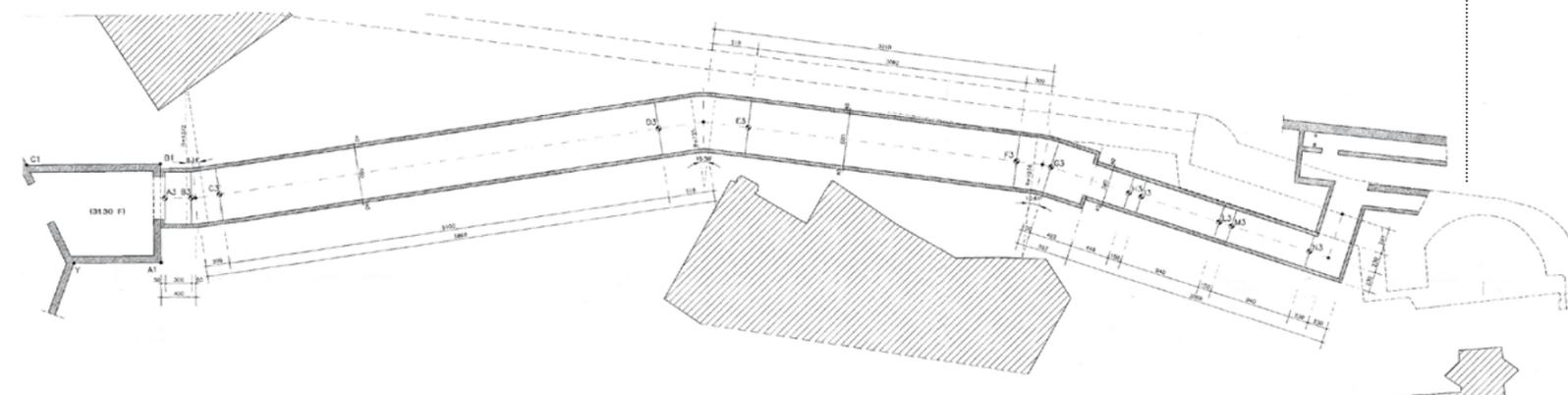
L'avanzamento è stato eseguito per la maggior parte con l'utilizzo di attrezzatura multifunzione del peso di 10 t dotata, mediante sistema ad attacco rapido, di testa fresante, di martello demolitore, di ripper, di benna rovescia e frontale, di cestello portapersona e di pinza posacentine.

L'impossibilità fisica di eseguire consolidamenti in calotta ha imposto uno scavo con estrema cautela, in molti casi eseguito a mano, nonché l'utilizzo di centine doppie a passo 80 cm, con uso massivo e frequentissimo di spritz-beton a copertura delle centine e del fronte di avanzamento.

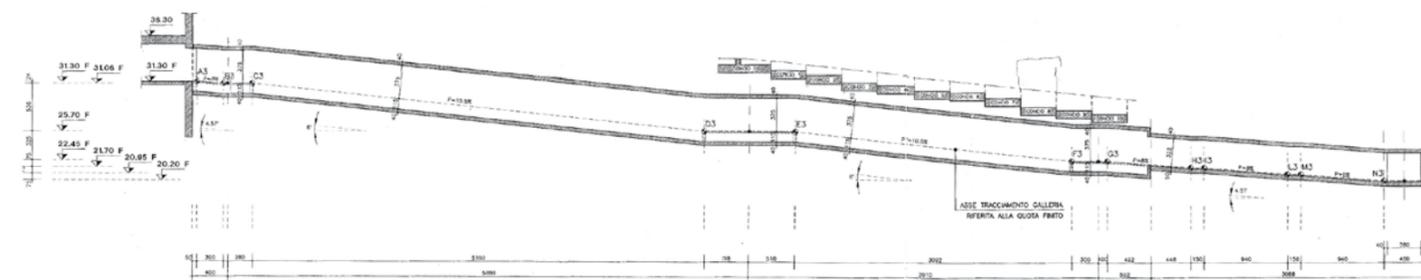
Il rivestimento definitivo è stato condotto dal basso verso l'alto, con opere di carpenteria esclusivamente tradizionale a causa delle numerose curve e dei salti di livello.

Il secondo percorso, quella di Porta Cavalleggeri, presenta un percorso più lineare che si sviluppa lungo 140 metri con una pendenza del 10,75%, di cui i primi 52 metri con sezione di scavo di 34 m², cui seguono 50 metri dove durante l'ese-

cuzione si decise di allargare lo scavo e seguire l'andamento delle fondazioni di un muraglione sovrastante. Gli ultimi metri sono costituiti da uno scatolare costruito a cielo aperto che con brusca variazione porta la sezione a 19 m².



Disegni di cantiere della galleria di Porta Cavalleggeri - Planimetria e profilo longitudinale



2001/2006



CELEBRIAMO LA NOSTRA PATRONA



ATTENTI A QUEI TRE!



ORA TUTTI A TAVOLA



IL NOSTRO BIGLIETTO DA VISITA... GIALLO





Tunnel Borbonico

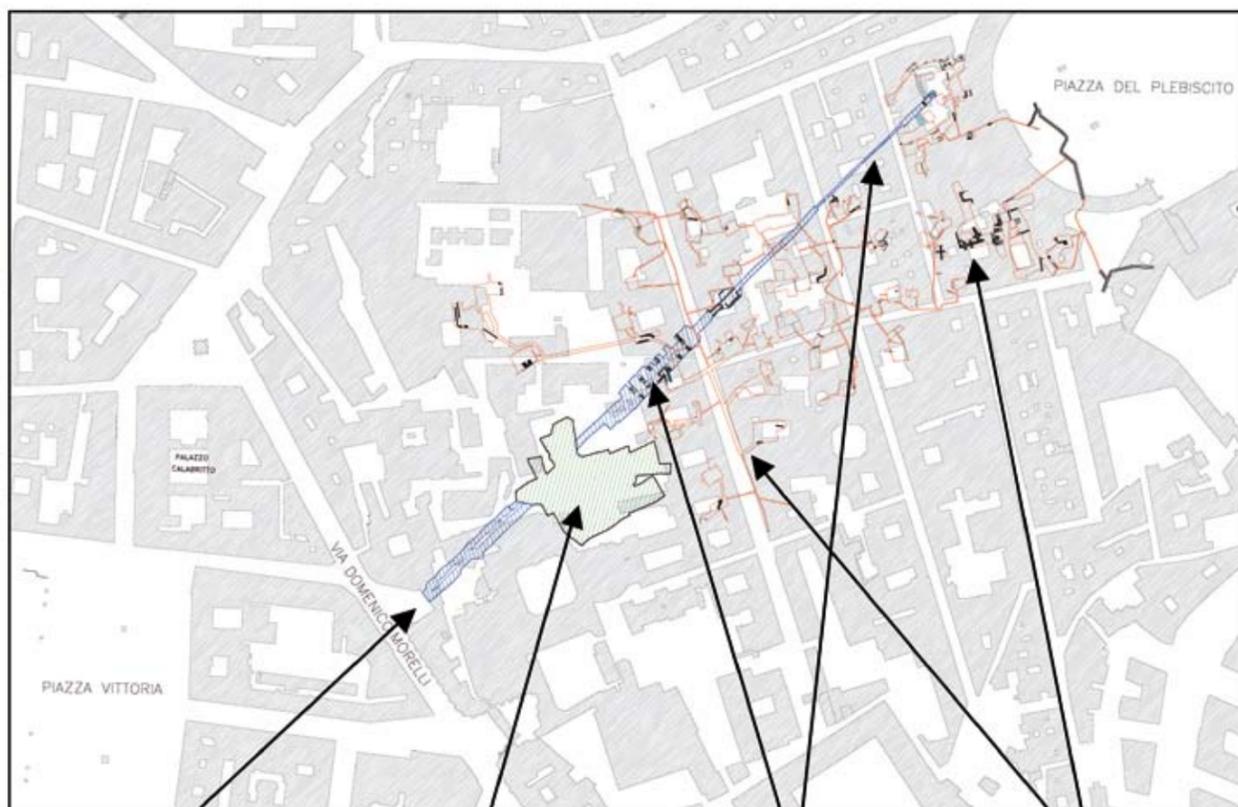
il vanto dell'ingegneria civile borbonica in sotterraneo

Gianluca Minin

Enzo De Luzio

Ferdinando II di Borbone il 19 febbraio 1853 firmava un decreto col quale incaricava l'Arch. Errico Alvino, già commissario straordinario per via Chiaia e S. Ferdinando, di progettare un viadotto sotterraneo che, passando sotto Monte Echia, congiungesse il Palazzo Reale con piazza Vittoria, prossima al mare e alle caserme.

Galleria carrabile e galleria pedonale del primo tratto del Tunnel Borbonico



I° tratto del Tunnel Borbonico

Cave Carafa sede del parcheggio multipiano

II° tratto del Tunnel Borbonico

Acquedotto della Bolla

Tale decreto non aveva affatto un carattere sociale; contemplava, infatti, ad ottenere un percorso militare rapido, in difesa della Reggia, per quelle truppe acquisite nella caserma di via Pace (attuale via Domenico Morelli), al largo Ferrantina ed a San Pasquale a Chiaia, nonché una sicura via di fuga per gli stessi monarchi, visti i rischi occorsi durante i moti del 1848.

Gennaio 1853

Alvino progettò una galleria con sezione trapezoidale, muri d'imposta a scarpa, larghezza e altezza di 12 metri, suddivisa in due corsie per gli opposti sensi di marcia. Tali corsie dovevano essere ampie, ciascuna, 4 metri e separate da un sottile parapetto sostenente i lampioni per l'illuminazione a gas e dotata infine di marciapiedi laterali larghi 2 metri. La corsia recante a Chiaia doveva avere il nome di "Galleria Reale" o "Strada Regia", mentre la corsia in senso contrario doveva chiamarsi "Strada Regina"; entrambe si sarebbero

innestate presso la vecchia caserma di cavalleria in via Pace, ora via Morelli, ma una avrebbe raggiunto il largo Carolina dietro il colonnato di piazza Plebiscito e l'altra via Santa Lucia.

Febbraio 1853

Alvino venne incaricato di elaborare i disegni esecutivi solo per la prima delle due gallerie (Galleria Reale).

Aprile 1853

Inizio dei lavori per l'apertura della traccia; si attaccò la montagna in via Pace, ora via Domenico Morelli, dallo slargo che coincideva con un precedente piazzale di cava dove si trova l'attuale accesso al Tunnel.

Da esso partivano due gallerie, una carrabile e l'altra pedonale, che procedevano parallele per 84 m, per finire all'interno delle Cave Carafa; da queste cave già utilizzate nel seicento per la costruzione di edifici, nel 1788, fu estratto altro



□ Cave Carafa intercettate dallo scavo del Tunnel Borbonico sede del parcheggio Morelli

□ Tratto centrale del Tunnel; visibile in alto pozzo di ventilazione la cui chiusura non venne realizzata. Sullo sfondo muro alto 12 m di sostegno della volta in prossimità dell'accesso ad una cisterna



□ Arco in muratura di contrasto alle pareti del Tunnel



tufo per la costruzione della Chiesa della Nunziatella, che la Marchesa Anna Mendoza della Valle fece erigere per i Padri Gesuiti, cacciati da Ferdinando IV nel 1787 per insediarsi al Collegio Militare della Nunziatella.

Prima di giungere nelle Cave Carafa, lo scavo del tunnel intercettò un cunicolo dei rami seicenteschi dell'acquedotto della Bolla; il cunicolo era ancora attivo e, per non togliere l'acqua ad alcuni edifici in via Cappella Vecchia, furono realizzati degli ingegnosi lavori idraulici per consentire il passaggio dell'acqua a quote inferiori rispetto a quella del Tunnel.

Dopo le Cave Carafa, attualmente sede di un parcheggio



Ponte realizzato per attraversare □ la cisterna; visibile sulla sinistra la spalletta del ponte ancora esistente e a destra i servizi igienici e le sottostanti latrine realizzate durante la II Guerra Mondiale sfruttando proprio l'altezza del ponte; dopo l'attraversamento della cisterna la sezione di scavo prosegue con dimensioni di 4x3 m

multipiano, parte il secondo tratto del Tunnel il cui scavo ebbe numerosi problemi tecnici.

In particolare, dopo circa 40 m dalle Cave Carafa furono intercettati ambienti più antichi e più alti topograficamente; la sezione di scavo divenne, quindi, irregolare creando problemi statici alla struttura. L'Arch. Alvino intervenne prontamente facendo regolarizzare, per quanto possibile, la sezione di scavo superiore con quella inferiore, realizzando al contempo una ripetizione di moduli trasversali costituiti ciascuno da un arco poggiate su piedritti a scarpa; tali strutture in muratura con funzione di contrasto alle pareti bloccarono l'apertura delle lesioni e lo scavo poté continuare in sicurezza.

Lo scavo del Tunnel proseguì lambendo, a circa 200 m dall'inizio dello scavo, una grossa cisterna della rete seicentesca dell'acquedotto della Bolla che, a pelo libero, serviva di acqua la città di Napoli.

A circa 245 m lo scavo intercettò in pieno una grossa cisterna che serviva le sovrastanti case di via Egiziaca a Pizzofalcone; dovendo proseguire non privando al contempo dell'acqua gli utenti, si decise di superare la cisterna realiz-



Sezione lunga □ 70 m di 1x2 m rivestita in muratura in attraversamento di una sacca di piroclastiti sciolte

zando un ponte alto 8 m e muri colossali in tufo ed in laterizi per isolarsi da possibili accessi laterali da pozzi.

Dopo questa zona, il tunnel proseguì con una sezione m 4x3 intercettando marginalmente un'enorme cisterna dello stesso acquedotto; anche in questo caso, per superare la cisterna, fu realizzato un ponte lungo circa 20 m ed alto 10 m, dopo il quale lo scavo proseguì con la stessa sezione.

Si giunse a 337 m dall'imbocco dove la sezione si riduce ulteriormente fino a m 1x2; la riduzione ed il totale rivestimento in muratura delle pareti e della volta fu causata dal rinvenimento di una sacca di piroclastici sciolte lunga 69 m, derivante dalla mancata litificazione, per cause naturali, del tufo.



Autoveicoli e motoveicoli sequestrati nel dopoguerra rinvenuti nel Tunnel

Superato anche questo ostacolo, ricomparve il tufo e la sezione di m 4x3; dopo altri 25 metri si giunse, avendo scavato in tutto m 431, sotto piazza Carolina nel cortile presente alle spalle del colonnato di piazza del Plebiscito.

Per la ventilazione furono scavati due pozzi verticali in corrispondenza delle strade di Santa Maria Egiziaca e Monte di Dio.

Per evitare che i pozzi potessero rappresentare degli accessi rischiosi per l'incolumità dei militari che attraversavano il Tunnel, si decise di chiudere gli stessi pozzi con due archi in muratura alti circa 12 m; tuttavia, si riuscì a realizzarne solo uno, mentre per il secondo si preparò la sagoma della sezione sulle pareti in tufo e predispose le fondazioni.

Maggio 1855

Completamento dei lavori; il 25 maggio del 1855 il Tunnel Borbonico venne decorato ed illuminato sfarzosamente per la visita di Ferdinando II di Borbone, e rimase aperto al pubblico transito per soli 3 giorni. Numerose varianti furono apportate in corso d'opera tra le quali la variazione delle dimensioni agli imbocchi e, soprattutto, si optò per una galleria unica (non più doppia) con due corsie divise da un unico marciapiede centrale; inoltre, fu abolito il progetto di

aprire delle botteghe lungo il tragitto del Tunnel. Negli anni successivi, il progetto fu dichiarato sospeso per motivazioni economiche e per il variato assetto politico che portò all'unità d'Italia.

1939-1945

Durante il periodo bellico il Tunnel ed alcune ex cisterne limitrofe furono utilizzate come ricovero bellico; trovarono rifugio tra i 5.000 ed i 10.000 napoletani, molti dei quali persero le case durante i numerosi bombardamenti, prima alleati e poi tedeschi, che subì la città.

Furono creati diversi accessi agli ambienti per consentire l'uscita sicura degli occupanti; in particolare, un accesso fu realizzato dalla Prefettura creando un collegamento orizzontale che, arrivando sul Tunnel Borbonico, fu completato con una scala a chiocciola che giungeva proprio dove si era fermato l'Alvino.

Nel 2007 i geologi che lavoravano nel Tunnel scoprirono un passaggio murato che divideva il Tunnel da un'altra grande cavità, successivamente riattata a ricovero bellico. In questi ambienti fu scoperto dagli stessi geologi un altro accesso ai ricoveri che nel Seicento costituiva già una via di accesso al sottosuolo; l'accesso era utilizzato dai "pozzari" che si occu-

Busto e parte della statua in marmo raffigurante il capitano Aurelio Padovani



pavano della manutenzione dell'acquedotto ed è costituito da una stretta scala di 75 gradini in coccio pesto che giunge in un locale di Vico del Grottone, alle spalle della chiesa di Piazza Plebiscito.

Il Tunnel e gli ambienti limitrofi furono dotati di impianto elettrico e di servizi igienici da tecnici dell'UNPA – Unione Nazionale Protezione Antiaerea, utilizzando risorse economiche del Ministero degli interni e del Comune di Napoli; al contempo, su gran parte delle pareti e delle volte degli ambienti fu messa della calce bianca per eliminare la disgregazione in particelle del tufo e per migliorare la luminosità degli spazi.

1945-1970

Finita la guerra il Tunnel Borbonico fu utilizzato come Deposito Giudiziale Comunale; in esso era conservato sia tutto ciò che si era estratto dalle macerie causate dai 200 bombardamenti subiti da Napoli, sia tutto ciò che fino agli anni '70 veniva recuperato da crolli, sfratti e sequestri.

Attualmente il Tunnel è gestito dall'Associazione Culturale "Borbonica Sotterranea" che ha aperto nell'ottobre 2010 il percorso ai turisti. Nel periodo compreso tra il 2005 ed il 2010 i membri dell'associazione, guidati da geologi e con

l'ausilio di volontari, si sono occupati di ripulire il Tunnel dalle enormi quantità di detriti e rifiuti accumulati nel corso degli anni, restaurando al contempo l'enorme numero di oggetti rinvenuti.

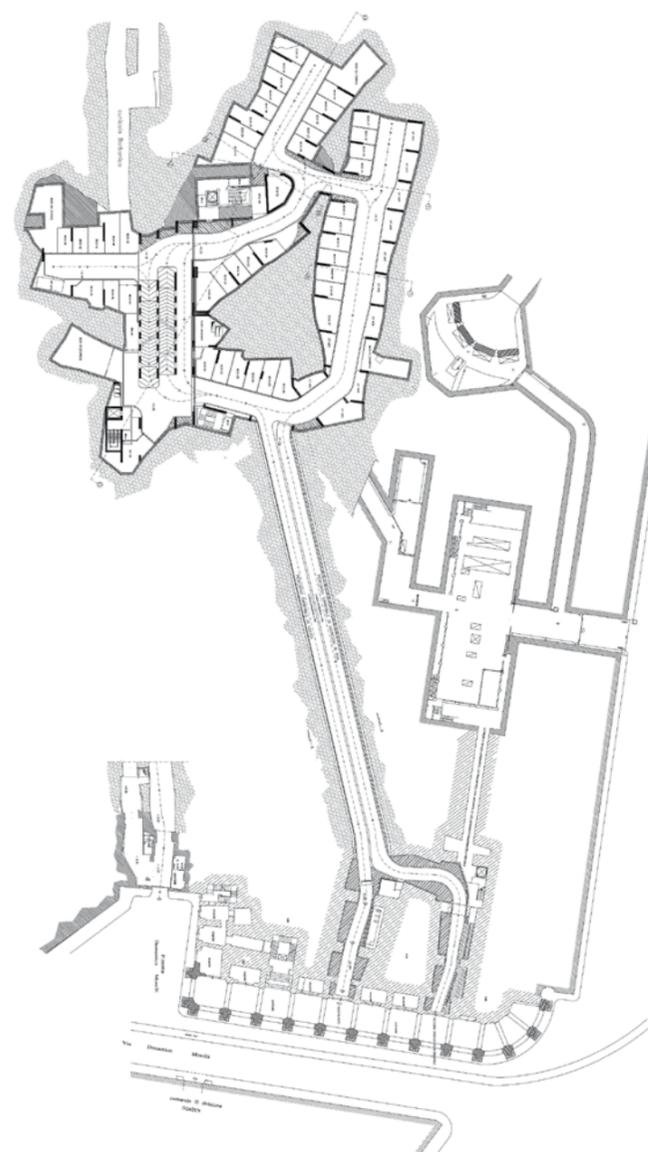
Oltre ai numerosi autoveicoli e motoveicoli, al di sotto di cumuli di detriti altri 8 m, sono state rinvenute numerose statue di epoche diverse tra le quali l'intero monumento funebre del capitano Aurelio Padovani, pluridecorato capitano dei bersaglieri nel I° conflitto mondiale e fondatore del partito fascista napoletano. ■

Parcheggio Morelli a Napoli

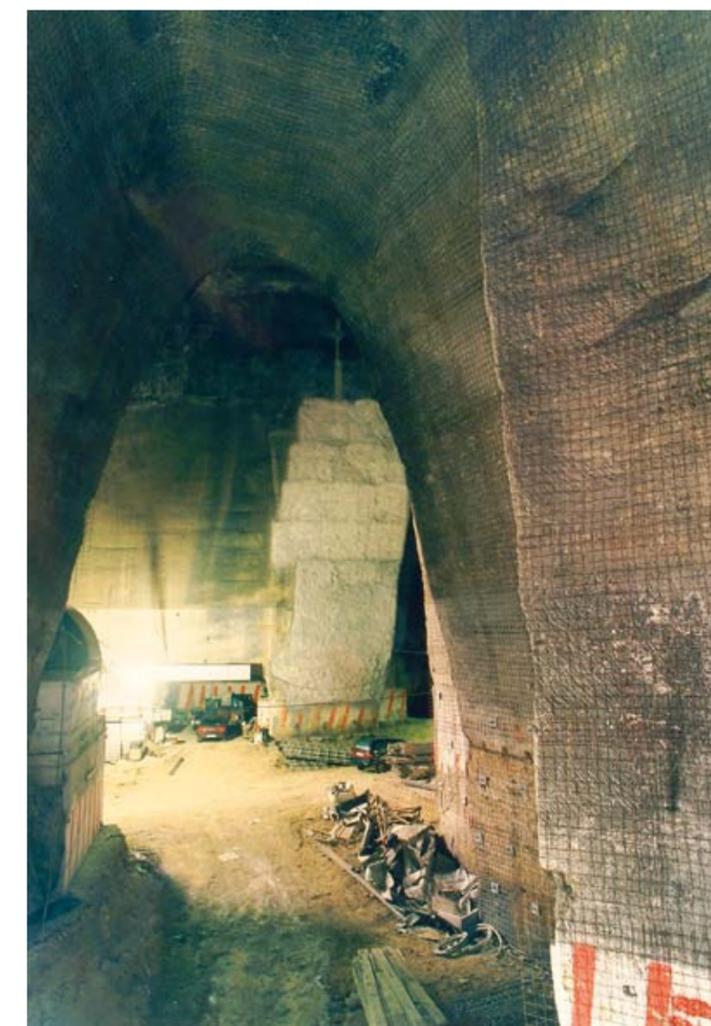
Nel 2004 sono iniziate le lavorazioni per l'ormai realizzato, funzionante e pluripremiato, anche a livello internazionale, parcheggio automatizzato di sette piani, capace di 480 posti auto, all'interno della "grotta Morelli", ubicata in una delle zone più strategiche della città di Napoli, a poche centinaia di metri dalla centralissima piazza Dei Martiri, dalla Villa Comunale, dalla via Caracciolo; da essa si diparte un "cunicolo Borbonico" che collega con la piazza del Plebiscito e la zona di via Toledo.



Rendering 3D delle strutture del parcheggio all'interno della grotta



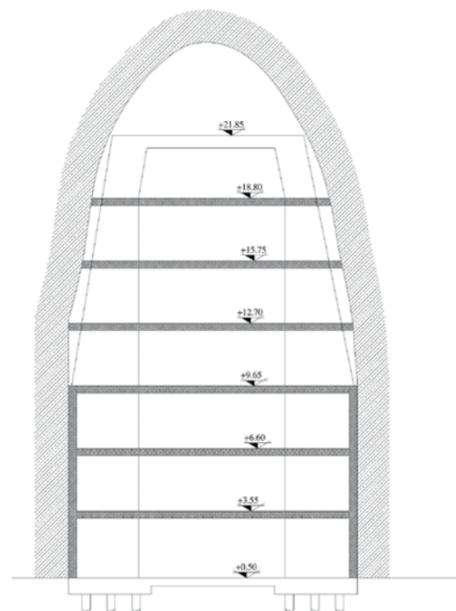
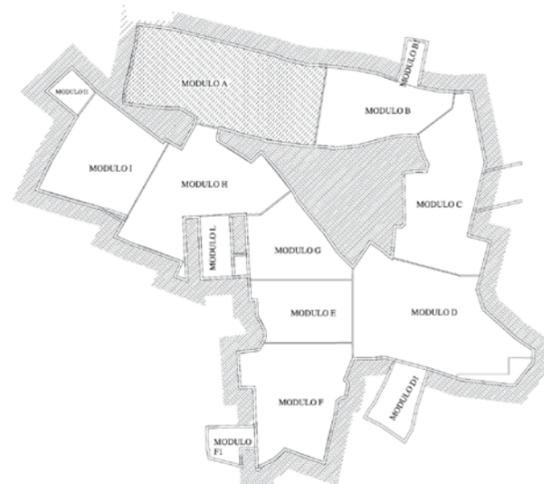
Le lavorazioni sono iniziate con lo scavo di ribasso e il consolidamento delle pareti e della volta della cavità. Tale consolidamento è stato effettuato mediante l'inserimento di elementi strutturali, barre filettate e Ct-Bolt, atti a migliorare le caratteristiche geomeccaniche. Un ulteriore intervento è stato effettuato in corrispondenza delle volte della cavità, queste ultime, in alcune sezioni, sono state rinforzate con centine reticolari, a costituire una sorta di rivestimento. Per la posa di tali centine, oltre che per il consolidamento di per se, sono stati allestiti ponteggi multidirezionali ad hoc con geometrie non regolari adattate alla morfologia della





cavità che consentissero di raggiungere tali altezze. Le operazioni sono state completate con la posa di rete elettrosaldata e spritz-beton.

Lo scavo della galleria di accesso al parcheggio da via Domenico Morelli è stato effettuato in un primo momento a piena sezione, consolidando la sezione di scavo con chiodi



e posa di rete. Successivamente nel settembre del 2005, essendo stata intercettata una cavità piena di detriti sciolti, si è dovuto procedere ad un cambio nelle modalità di scavo; difatti dopo aver provveduto all'iniezione di cls magro che consentisse di riempire detta cavità e dopo aver stabilizzato il fronte di scavo con spritz-beton, si è deciso di procedere



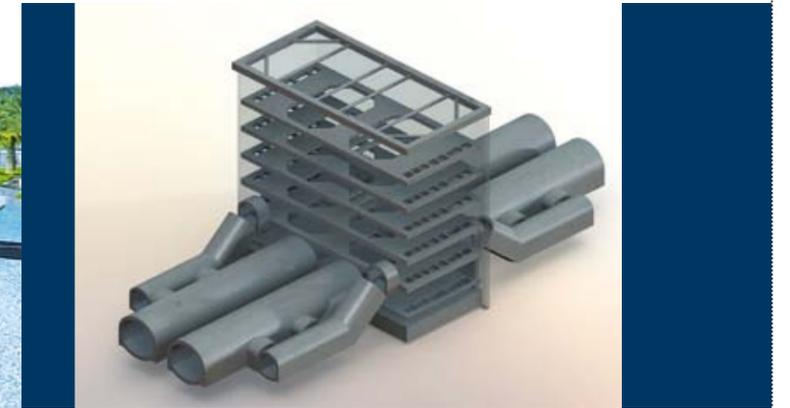
con una sezione troncoconica con un doppio ombrello di infilaggi in calotta, tubi di armatura 139,7 sp. 8 mm a interasse di circa 25 cm, che consentissero di superare tale problematica. Successivamente è stato realizzato il rivestimento di prima fase (centine e spritz), impermeabilizzazione, armatura cassetta e getto del rivestimento definitivo completato poi nel giugno 2006 con il getto di un solettone intermedio che rende la parte superiore della galleria in oggetto pedonabile.

La Cipa, oltre alle opere di consolidamenti e scavi siano essi di ribasso che della galleria di accesso, ha eseguito altresì tutti i cementi armati del parcheggio affrontando e risolvendo le non poche difficoltà dovute e alle lavorazioni in caverna e all'accesso unico e particolarmente angusto. ■

Metropolitana di Napoli – Linea 1

Sin dal 2002 partecipiamo alla realizzazione della linea 1 della metropolitana di Napoli, impegnandoci nello scavo di gallerie e pozzi con metodologia tradizionale, affrontando e incentivando nel contempo lo sviluppo di nuove tecnologie e metodologie.

In particolare abbiamo lavorato alla realizzazione di tre stazioni (piazza Garibaldi, Università e Toledo) e alle opere complementari di alcuni tratti significativi della linea.



Stazione Garibaldi
disegnata da Dominique Perrault

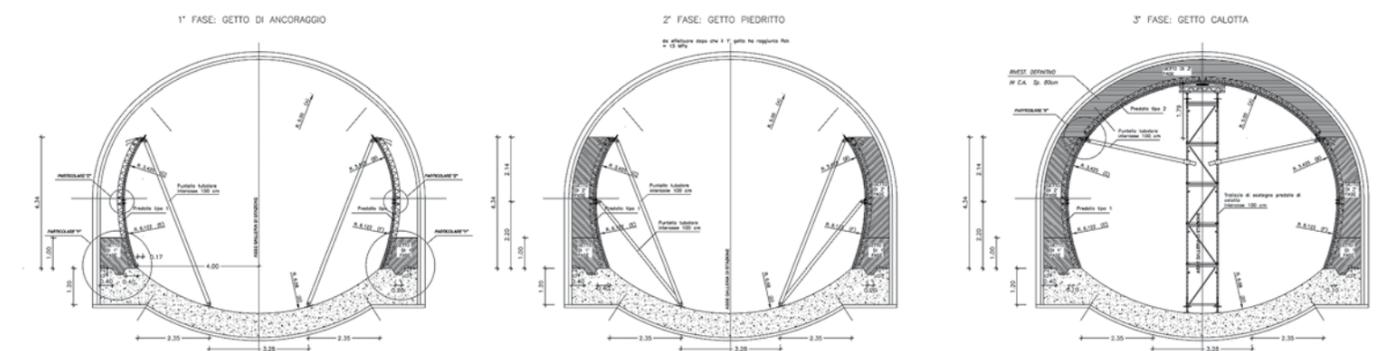
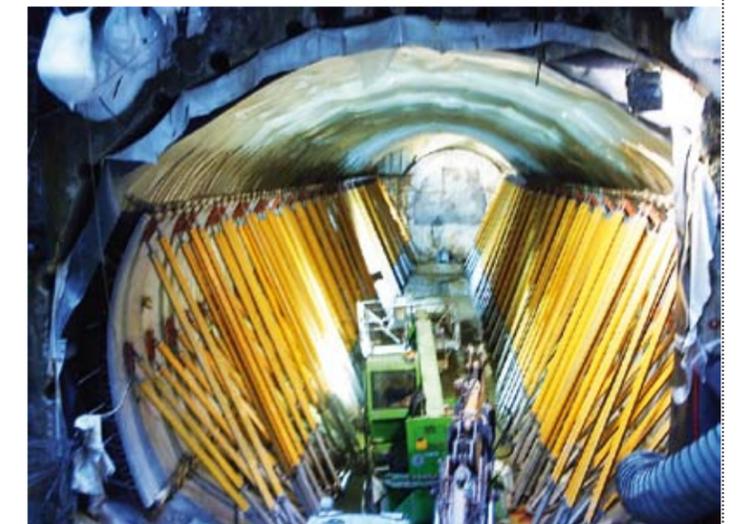
Stazione piazza Garibaldi

Abbiamo realizzato lo scavo del corpo della stazione di piazza Garibaldi disegnata da Dominique Perrault, lunga 46 metri, larga 21 metri e profonda 45 metri. La notevole profondità di scavo, ben sotto il livello di falda, ci ha costretto ad operare con notevoli e copiose venute di acqua. Per lo scavo sono stati utilizzati escavatori di varie taglie e pale

caricatrici, calate al piano di scavo tramite autogrù; sono stati usati anche per il tiro in alto di bidoni autoscaricanti idraulici telecomandati, da noi realizzati appositamente per la lavorazione.

Abbiamo costruito le quattro gallerie di stazione, lunghe ca. 46 m ciascuna e con sezione di scavo di 87 m², dove il contenimento delle venute d'acqua era affidato al congelamento del terreno con l'inserimento di sonde ad azoto liquido nel contorno di scavo. Scavo eseguito con escavatori attrezzati di testa fresante, operanti contemporaneamente sui quattro fronti. Per il rivestimento definitivo in calcestruzzo, seguito alla realizzazione dell'arco rovescio, sono state adottate lastre curve prefabbricate in calcestruzzo armato, posizionate in opera da escavatore munito di attrezzatura appositamen

Fasi del rivestimento definitivo gallerie
di stazione con lastre curve prefabbricate



Scavo galleria di stazione



Fondo scavo stazione e imbocco di una galleria di linea sotto congelamento



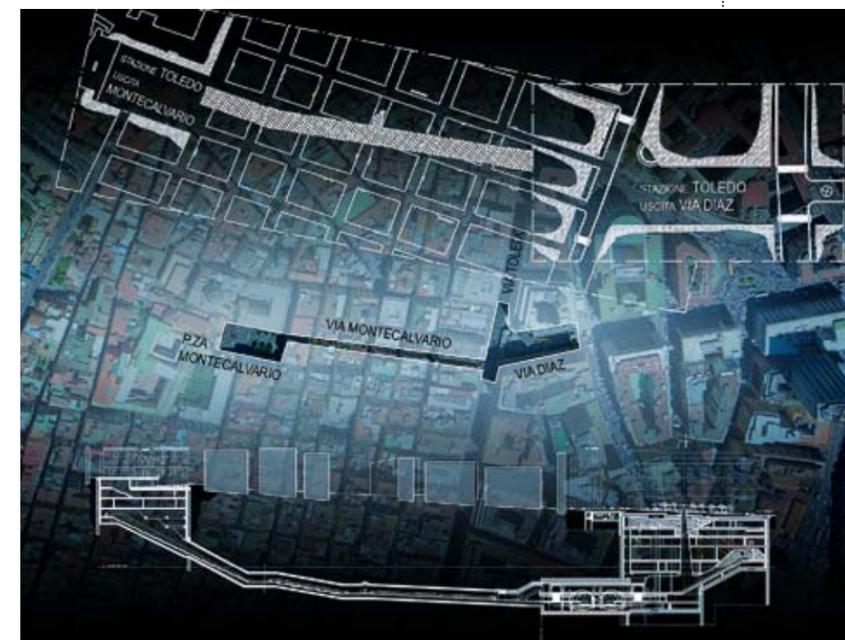
La Stazione Università disegnata da Karim Rashid



Scavo galleria di stazione sotto congelamento



Stazione Toledo disegnata da Oscar Tousquets



Fondo pozzo stazione e imbocco galleria di linea

te da noi progettata e realizzata, a tergo è stato gettato il calcestruzzo che costituisce il rivestimento definitivo delle gallerie e che ha inglobato in se le lastre.

Delle gallerie di stazione abbiamo realizzato anche il soletto di regolamento, le banchine, murature ed intonaci. Per il transito di una delle TBM, abbiamo realizzato una sella di traslazione in calcestruzzo armato lunga ca. 120 metri, con impianto di pompaggio del calcestruzzo che ha visto l'adozione di due pompe in serie, di cui l'ultima, a fondo pozzo, di rilancio. Anche lo scavo ed il preconsolidamento di due discenderie di stazione ci ha visto operare in presenza di congelamento del terreno, con l'ausilio di frese idrauliche

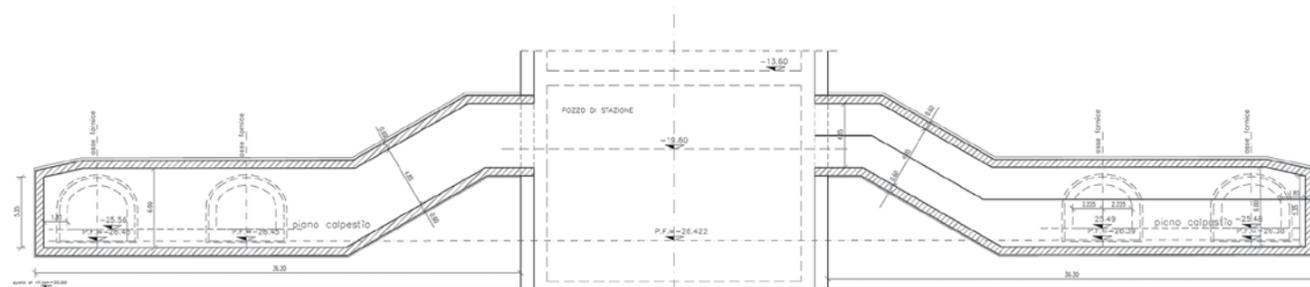
e minipale cingolate idonee a superare i tratti a forte pendenza presenti. Le discenderie hanno una sezione di scavo di 41 m² e sono lunghe 39 metri ciascuna, di cui 11 metri con pendenza del 57%.

Stazione Università

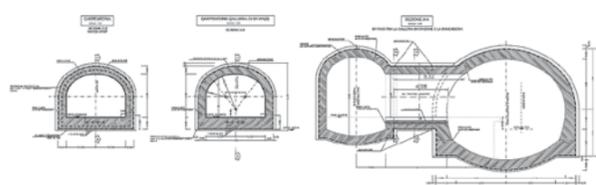
La stazione Università è stata disegnata da Karim Rashid. Anche in essa abbiamo realizzato le quattro gallerie di stazione, lavorando sempre sotto congelamento del terreno e con identiche modalità applicate a piazza Garibaldi. Le dimensioni sono identiche alle precedenti: sono lunghe ca. 46 m ciascuna e con sezione di scavo di 87 m², rivestite anch'esse con getto di calcestruzzo armato contenuto da pannelli curvi prefabbricati inglobati nello stesso. Anche le quattro discenderie, identiche per dimensioni e geometrie a quelle di piazza Garibaldi, sono state da noi realizzate, con stesse modalità e difficoltà dovute al lavoro sotto congelamento e alle forti pendenze.

Stazione Toledo

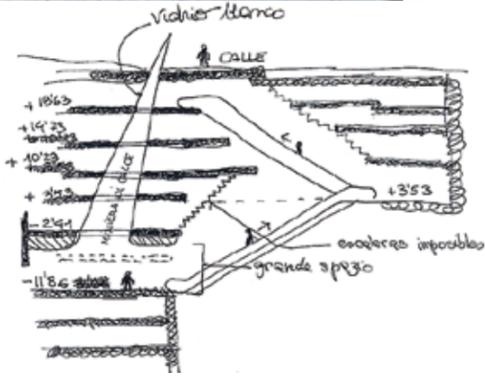
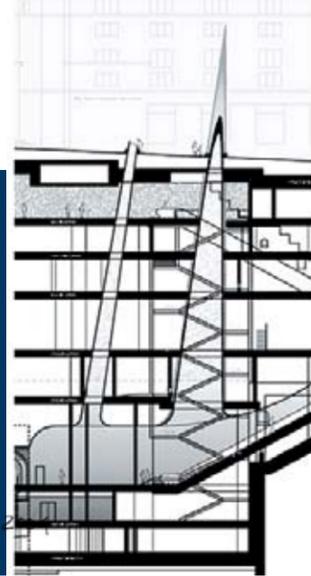
Nella stazione Toledo, disegnata da Oscar Tousquets, abbiamo realizzato un cunicolo con diramazioni, il cui scopo è stato quello di permettere l'inserimento delle sonde di con-



Schema discenderie di stazione

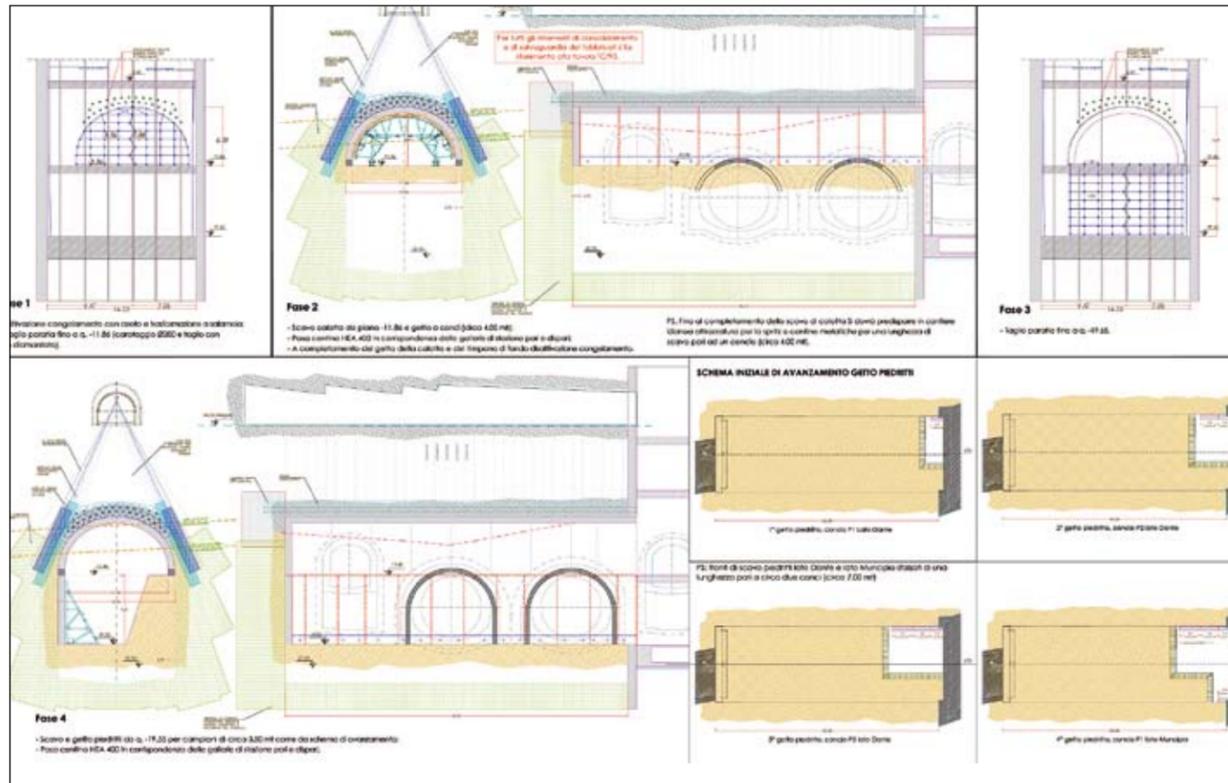


Stazione Toledo



gelamento necessarie alle successive lavorazioni per la realizzazione del Camerone di Scavalco. Il cunicolo, di sezione media di 22 m² e lungo circa 44 metri, è stato preconsolidato con centine metalliche a gradazione e ombrelli di inflaggi, scavato con piccoli mezzi e priverivesto con rete elettrosal-

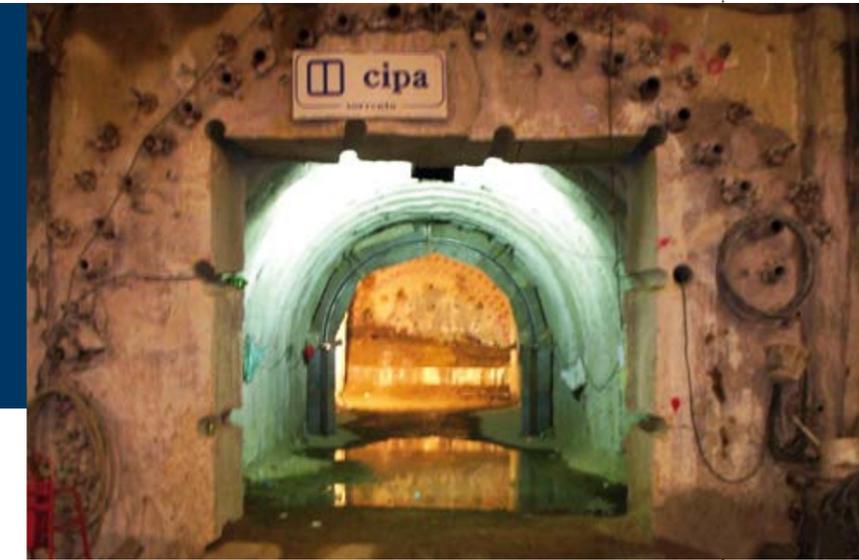
Camerone di scavalco e cunicolo



Camerone di scavalco e cunicolo

data e calcestruzzo proiettato a presa rapida (spritz-beton). Successivamente il camerone di scavalco, di sezione 202 m² e lunghezza 39 metri, stante la considerevole altezza di 17 metri, è stato da noi scavato, priverivesto e rivestito in più fasi a sezioni parzializzate, realizzando prima la calotta, a seguire un ribasso centrale, i piedritti ed infine il solettone di fondo.

Come nelle precedenti stazioni, anche qui abbiamo realizzato le quattro gallerie di stazione, con le stesse modalità già elencate, anche se per due di esse si è trattato di uno scavo in allargo, con demolizione dei conci posati dall'avvenuto transito della TBM.



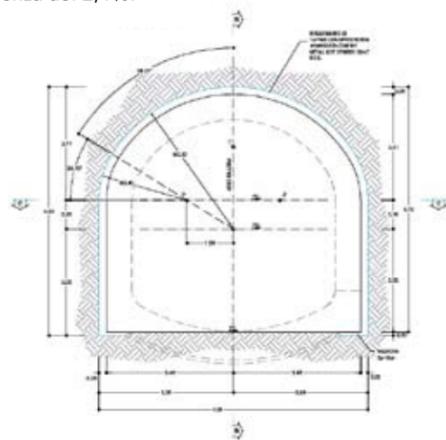
Scavo di allargo galleria di stazione e discenderie



Discenderia Montecalvario



Oltre alle quattro discenderie identiche alle precedenti, abbiamo realizzato anche la discenderia detta "Montecalvario", con sezione di scavo di 59 m² e lunghezza di ca. 131 metri, di cui 37 metri con pendenza del 57% ed i rimanenti 94 metri con pendenza del 2,4%.



Opere in linea

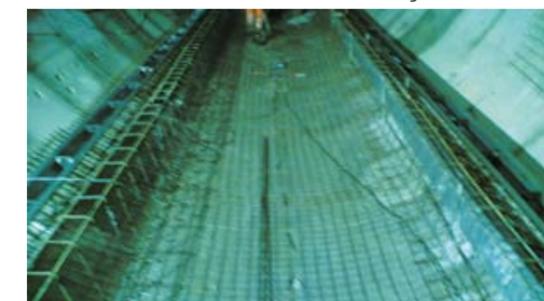
Nelle due tratte di linea tra il pozzo in via Brin e la stazione Dante, abbiamo realizzato circa 4 km di soletta di regolamento e banchine di linea, con rispetto millimetrico della variabilità delle quote di progetto, dovute alla diverse pendenze trasversali del piano del ferro necessarie ad assicurare l'ideale guida dinamica dei convogli transitanti in curva. Per la realizzazione del getto di calcestruzzo delle banchinette, al fine di seguire la variabilità delle sagome e delle quote lungo le tratte, è stata appositamente realizzata ed utilizzata una cassaforma a geometria variabile, con circuito ad acqua per il termoriscaldamento del getto, al fine di accelerarne la maturazione e permettere il disarmo in tempi brevi.

Le tratte di linea ci hanno visto anche realizzare diciotto cunicoli di collegamento ai pozzi di ventilazione, con scavo e

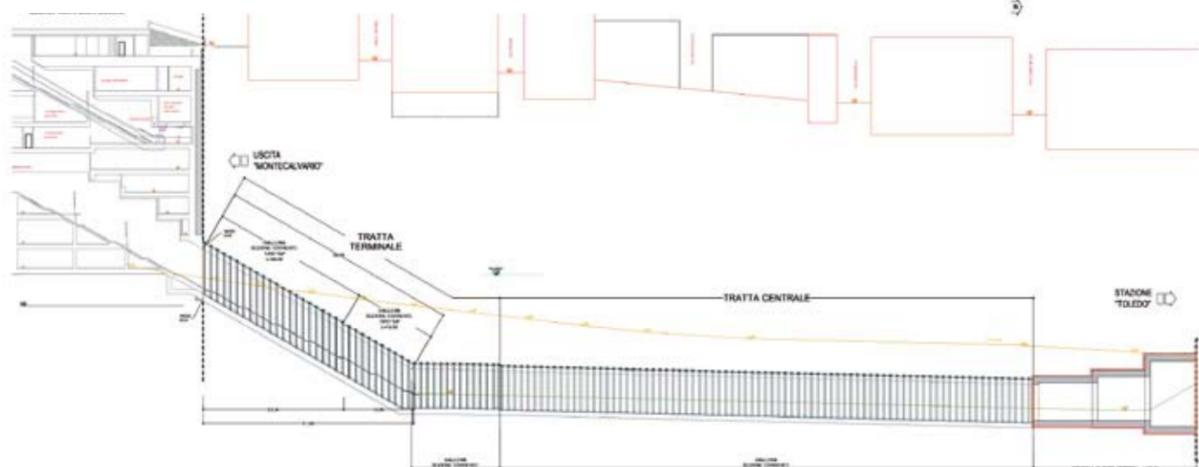
Soletta di regolamento gettata



Armatura della soletta di regolamento



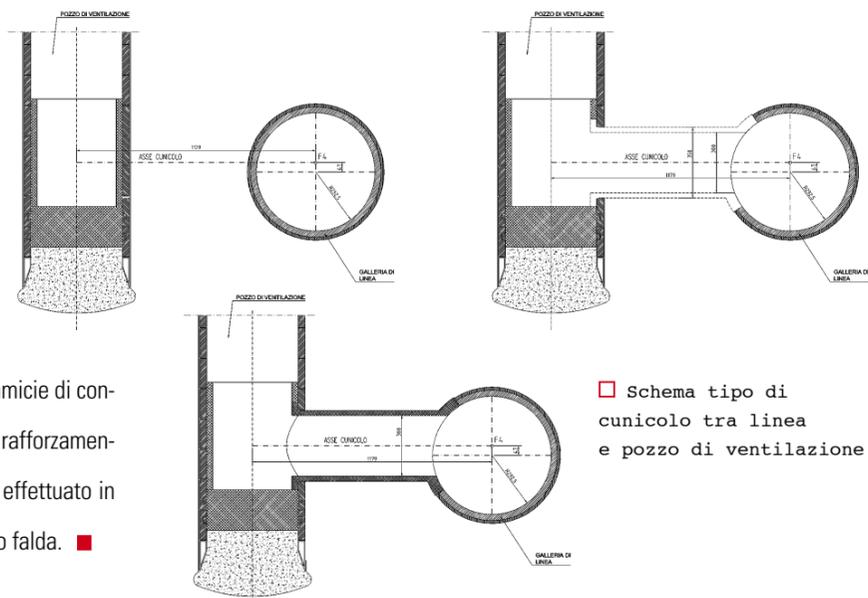
Cassaforma a geometria variabile per banchinette di linea



Realizzazione camicia di contrasto fondo pozzo e pozzo di ventilazione



Armatura cunicolo



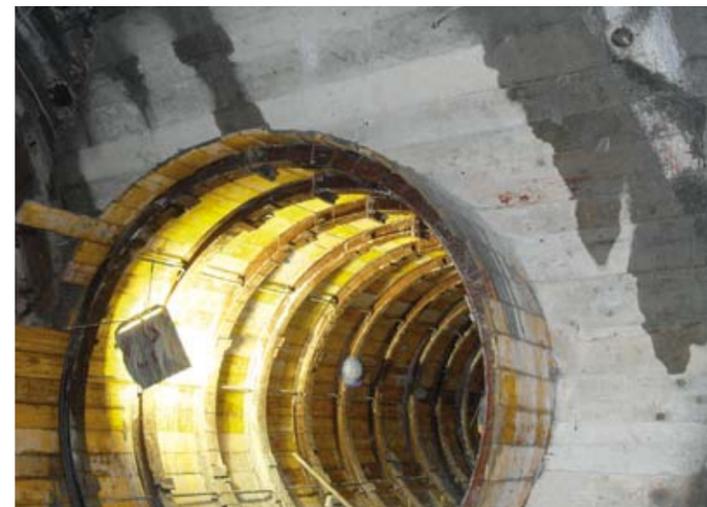
rivestimento definitivo, previa realizzazione delle camicie di contrasto in calcestruzzo armato a fondo dei pozzi, per il rafforzamento delle zone interessate da demolizione. Lo scavo effettuato in presenza di consolidamenti cementizi e chimici sotto falda. ■

Schema tipo di cunicolo tra linea e pozzo di ventilazione

Armature e centine di getto cunicolo



Cunicolo casserato e gettato



2006/2011

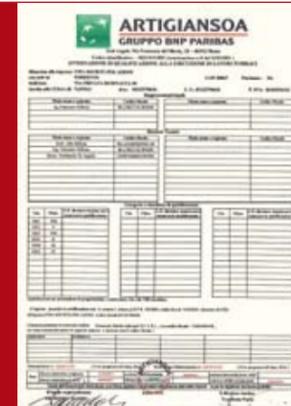


Complimenti e... Auguri!!!

Claudio D.D.

Tanti Auguri allora!

Speriamo che l'azienda continua la crescita e lo sviluppo come l'avete fatto crescere e svilupparsi negli ultime quasi 10 anni che ci conosciamo. Sono convinto che il potenziale ce ne. Auguri di nuovo,
Alex H.



Complimenti per il passato ed auguri per il futuro!

Cesare B.

Auguroni, portati davvero bene!

Andrea P.

Tantissimi auguri con la mia più autentica stima e sincerità.

Saluti affettuosi.

Gaetano T.

SANTA BARBARA ESTIVA



SANTA BARBARA
TECNOLOGICA



Caro Francesco,

In occasione del primo giubileo della Cipa invio un pensiero augurale affettuosissimo a te ed a tutti i tuoi collaboratori, in particolare ai tuoi figli e a Ferdinando. Anche se le condizioni al contorno non sono le migliori sono convinto che Cipa grazie alla sua elevata competenza specialistica avrà ottime prospettive, non solo all'estero. Il mio auguro più sincero è dunque quello che seguitiate a crescere realizzando tante e tante gallerie con tutti metodi, austriaco vecchio e nuovo,

adeco etc., etc., Un abbraccio

Antonio Z.



Auguri di ogni bene a te e alla CIPA!! Non so però se augurarti, visto che ti voglio bene, altri 100 anni di lavoro come quello che svolgi con grande passione!!

'M... a gesu' crist ch curagg ca c vo'!!!

Camillo C.

Mi suona come un giusto riconoscimento oltre che all'impegno ed alla capacità, al coraggio, all'ottimismo, all'allegria..

Un importante stimolo ed esempio per tutti.

Sinceri sentiti complimenti ed auguri

Massimo G.

Tanti auguri e complimenti per il venticinquesimo anniversario di CIPA. Quando CIPA é diventata maggiorenne ero con voi, poi le nostre strade si sono divise. Un pezzo del mio cuore comunque vi accompagna sempre.

Vi auguro un grandissimo "in bocca al lupo" e tantissimi successi per i prossimi 25 anni.

A proposito, ho visto le foto delle magliette e dei caschi commemorativi, bellissimi!

Piervito S.

Francesco

Complimenti auguri e felicità...

pe' cent'anni a te ed a tutti i tupamaros.

La maglietta me la vengo a ritirare di persona
così controlliamo la taglia, insieme...

Giustiniano C.



In bocca al lupo Francesco

iiite felicitoooo!!!

Francesco P.

Vi invio le foto che io e la mia squadra abbiamo fatto per festeggiare il 25° anniversario della CIPA. Sono sicuro che in esse traspaiano lo spirito di squadra con cui lavoriamo ogni giorno e l'orgoglio di far parte di questa nostra grande "famiglia". Ancora tanti auguri e spero che a queste foto se ne possano aggiungere tante altre negli anni che verranno.

Amedeo S.

25 anni si ma digalera....

Fabio A.

Noto con piacere che stai imparando l'inglese:

-To be contined

Ciao e auguri per i 25 !!!!

Andrea D.

Tanti Auguri cara CIPA!!!

E'emozionante e raro di questi tempi incontrare persone per bene come voi ma io sono stato davvero fortunato.

Con stima e amicizia.

Virgil C.



I "Tupamaros" del "foro"

cipa
PRODOTTORE E DIREZIONE

Avrei speso in formazione, formazione del personale, sviluppo di nuovi libri, attenzione alle nuove tecnologie, il tutto con l'orgoglio di essere un valido riferimento alla risoluzione dei problemi nel sottosuolo. Ma anche l'orgoglio di una Competenza soddisfacente del servizio. Un trend di crescita costante nel tempo nel settore delle gallerie in tradizionale, dei pozzi, dei consolidamenti.

Cipa 25 anni di passione e dedizione.

www.cipa.it

Tel. 04 8858144 Fax 04 8858222
E-mail: info@cipa.it

S.p.A. Capitali 1.000.000.000
Canc. Imp. di Roma

Sede amministrativa
Via S. Barbara, 10
00118 Roma

Gallerie
Pozzi
Consolidamenti

Auguri per la CIPA e che
i prossimi 25 vedano
il consolidamento dei
traguardi raggiunti
Con sincera amicizia
Giuseppe V.



Tantissimi auguri per i 25 anni della
mitica CIPA. Un abbraccio.

Maria Laura F.

Buona sera Ing. Complimenti.

Un saluto da Zena.

sempre a disposizione

Giampiero P.



Amici miei buongiorno, oggi per i Vostri Dipendenti (credo di interpretare il pensiero di Tutti) è un giorno speciale, non tanto per la splendida ricorrenza della nostra Azienda che festeggia 25 anni senza aver cambiato nome, ma per la consapevolezza che ci trasmettete tutti i giorni del fatto che Voi non mollerete, potranno non pagarVi, e non mollerete, potranno "fregarVi" i lavori, e non mollerete, potranno costringerVi a prendere commessenon remunerative, e non mollerete, potranno inventarsi qualsiasi cosa, e non mollerete, non mollerete mai! Questa consapevolezza che traspare e si percepisce ogni giorno è la benzina che ci alimenta e fa si che ... nemmeno Noi molleremo, Vi assicuro che terremo duro, certi del fatto che qualunque cosa accada Voi sarete li sarete li al posto che Vi compete e nella certezza/speranza che questo periodo cosi duro e difficile per tutti crei una selezione naturale dove solo i più forti sopravvivranno, e i più forti sarete ancora Voi.

Di questo siamo certi e Vi ringraziamo per l'impegno e lo passione che giornalmente impiegate per la Vostra creatura e per Noi tutti. RicordateVi che non siete soli, Noi siamo qua. Grazie.

Romeo B.

**Ing e Ferdinando buon Anniversario! Il mio augurio è di poterne vivere insieme
altri 25 insieme!**

Giusy S.

Bravo Francesco!

Mi piace soprattutto il ricordo delle proprie origini familiari e professionali.
Congratulazioni ed un caro ed affettuoso saluto.

Alberico N.

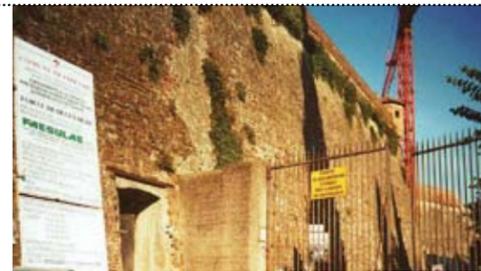


Carrellata su altre opere significative

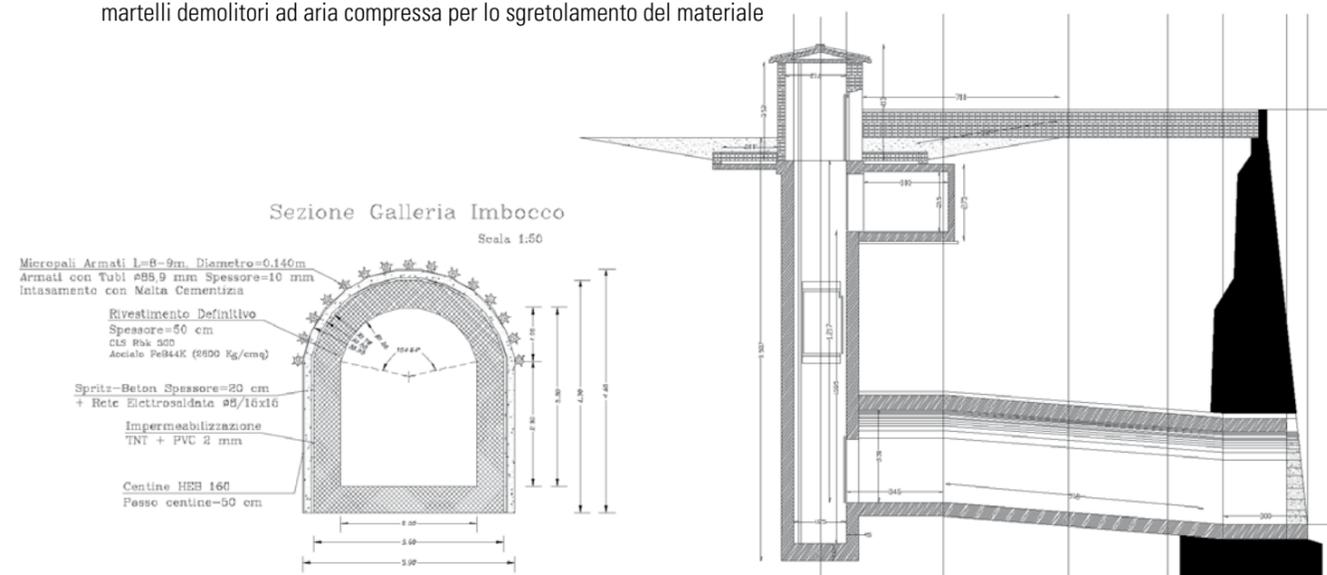


Pozzo ascensore e cunicolo – Forte Belvedere (FIRENZE)

LUNGHEZZE: profondità pozzo 15 metri; lunghezza cunicolo 15,60 metri circa
 DIMENSIONI (AL FINITO): raggio max: 1,98 m; vano ascensore 2,75 x 2,55 m²
 STATO LAVORO: eseguito
 PERIODO: 2001



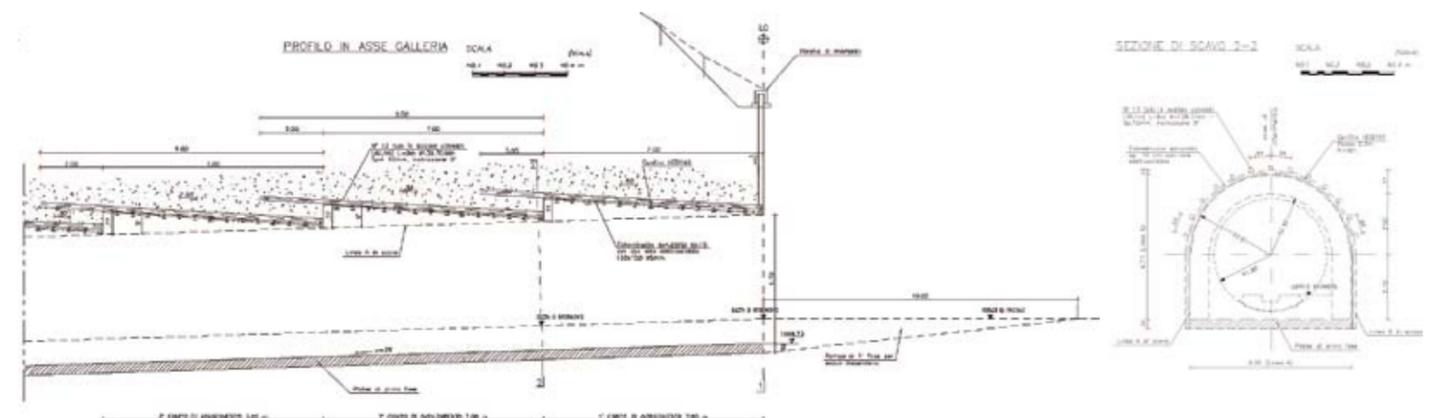
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: lo scavo del pozzo è stato eseguito con il metodo della sottomurazione con esecuzione di anelli da 2,00 ml., quindi nella fase di scavo il fronte di scavo non è stato mai maggiore di 2,00 ml. ed in ogni caso è protetto da micropali da eseguire lungo tutto il perimetro del pozzo. Tale metodologia consente contemporaneamente alla fase di scavo di realizzare anche il rivestimento definitivo (il quale è opportunamente ancorato con spinottature ai pali perimetrali) in assenza di impermeabilizzazione
 MEZZI D'AVANZAMENTO: lo scavo del pozzo date le ridotte dimensioni è stato eseguito a mano mediante l'impiego di martelli demolitori ad aria compressa per lo sgretolamento del materiale



SCAVO DEL CUNICOLO: escavatore con benna, martello o ripper e minipala cingolata o gommata
 N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1
 TECNICHE DI PRESOSTEGNO: ombrello di infilaggi, centine e spritz-beton

Impianto di Premadio – Nuovo Canale Viola – Galleria di sbocco in tradizionale (BORMIO)

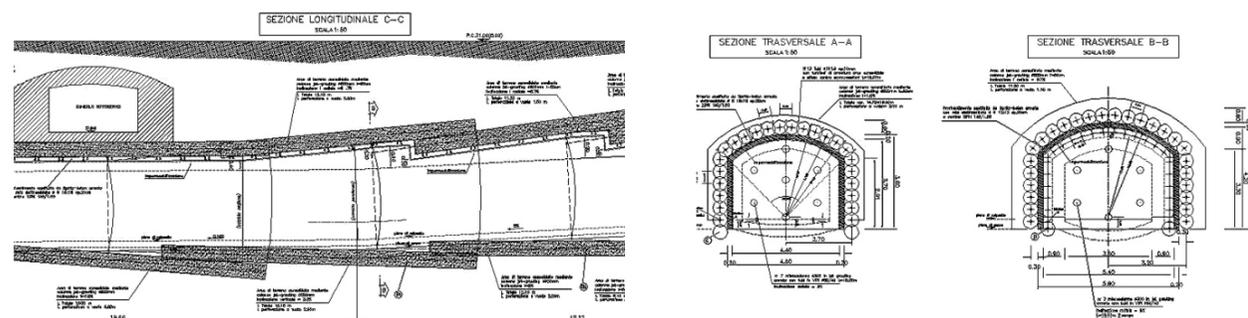
DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO): sezione di scavo 1: R=2,14 metri; sezione di scavo 2: R=2,65 metri
 STATO LAVORO: eseguito
 PERIODO: 2003
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: sezione "a camerette troncoconiche" con infilaggi in calotta
 MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore con martellone e fresa ad attacco puntuale
 N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1
 TECNICHE DI PRESOSTEGNO: ombrello di infilaggi, centine e spritz-beton





Linea 6 Metropolitana di Napoli – Cunicoli di collegamento atrio-banchina stazione Augusto (NAPOLI)

LUNGHEZZA GALLERIA:	cunicolo 1: 20 metri; cunicolo 2: 40 metri
DIMENSIONI GALLERIA:	sezione di scavo: 17.24 m ² ; sezione finita: 9.70 m ²
STATO LAVORO:	eseguito
PERIODO:	2003
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO:	avanzamento a "camerette troncoconiche"
MEZZI D'AVANZAMENTO:	escavatore
SMARINO:	mezzi di piccola dimensione
N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO:	1
TECNICHE DI PRESOSTEGNO:	jet-grouting dall'alto, ombrelli di jet-grouting VTR al fronte



Galleria delle Monache – FUTANI (SA)

Galleria stradale a due corsie nell'ambito della strada a scorrimento veloce in variante alla S.S. 18 per il miglioramento delle comunicazioni principali del Cilento – Tronco da Stazione di Vallo della Lucania a Policastro – Lotto 3 – da Futani a Centola.

LUNGHEZZA GALLERIA:	160 metri di galleria naturale + 46 metri in artificiale
DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO):	raggio calotta: 6.05 metri
GEOLOGIA:	argillite e detrito
STATO LAVORO:	eseguito
PERIODO:	2003 – 2004
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO:	avanzamento a sezione parzializzata "a camerette troncoconiche"
MEZZI D'AVANZAMENTO:	escavatore
SMARINO:	pala caricatrice ed autocarri
N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO:	1
TECNICHE DI PRESOSTEGNO:	infilaggi con micropali, tiranti e puntoni a sostegno della parzializzazione delle centine, centine e spritz-beton
PARTICOLARITÀ:	argille con presenza d'acqua





Strada dei Marmi 1° lotto "Miseglia" – CARRARA (MS)

By-pass all'abitato di Carrara per il traffico pesante proveniente dalle cave di marmo composto da: viadotto metallico (50 metri); galleria S. Croce e galleria Emergenza più tutte le opere accessorie.

GALLERIA S.CROCE

LUNGHEZZA:	1.000 metri
DIMENSIONI (AL FINITO):	raggio calotta: 6.05 metri
GEOLOGIA:	calcari varia natura e fatturazione, terreni in frana
STATO LAVORO:	eseguito
PERIODO:	dal 2003
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO:	avanzamento a sezione parzializzata, lato Carrara per imbocco in frana "a camerette troncoconiche" e con esplosivo
MEZZI D'AVANZAMENTO:	escavatore con martellone, esplosivo
SMARINO:	pala caricatrice ed autocarri
N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO:	1
TECNICHE DI PRESOSTEGNO:	infilaggi con micropali, centine e spritz-beton



METODOLOGIA DI AVANZAMENTO:	avanzamento a sezione corrente
MEZZI D'AVANZAMENTO:	escavatore con martellone
SMARINO:	pala caricatrice ed autocarri
N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO:	1
TECNICHE DI PRESOSTEGNO:	centine e spritz-beton



Interventi di rafforzamento della galleria presso Villa di Via Tenuta della Maglianella – ROMA

STATO LAVORO:	eseguito
PERIODO:	2004
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO:	consolidamento (rete e spritz)
TECNICHE DI PRESOSTEGNO:	rete e spritz-beton





Esecuzione gallerie in tradizionale – MOGGIO UDINESE (UD)

Gallerie Chivals sud, Masereit sud e nord e Priesnig.

DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO): raggio min. = 2,75 metri; raggio max = 3,40 metri

STATO LAVORO: eseguito

PERIODO: 2004

METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione ombrello di infilaggi, scavo prima fase Lmax=1,00 metri; spritz a fronte centine.

Esecuzione bullonatura laterale ad una distanza dal fronte di 2-3 metri. Realizzazione ombrello di infilaggi campo successivo, scavo di ribasso e completamento sostegno di prima fase con centine HEB160, riempimento sezione con materiale inerte compattato fino al piano di posa, fase getto soletta in cls per passaggio TBM, passaggio TBM demolizione sella e getto pavimentazione definitiva

MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore con martellone e fresa ad attacco puntuale

SMARINO: pala caricatrice ed autocarri

TECNICHE DI PRESOSTEGNO: ombrello, centine e spritz-beton



Galleria "Filippella" – Autostrada Catania-Siracusa – PASSO MARTINO (CT)

Galleria stradale a due fornici realizzata in ATI.

LUNGHEZZA GALLERIA: fornice CT-SR: 1265 metri; fornice SR-CT: 1202 metri

DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO): raggio calotta: 6.75 metri

STATO LAVORO: eseguito

PERIODO: 2003 – 2005

GEOLOGIA: calcareniti e materiali sciolti agli imbocchi



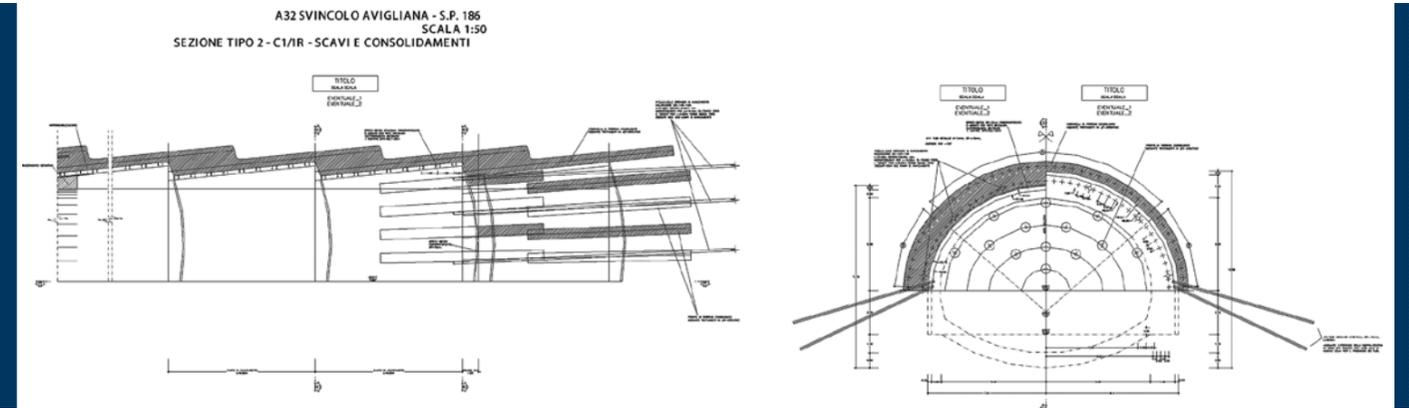
Lavori di risanamento delle gallerie "Pulz" e "Val Rosna" (BZ)

LAVORAZIONI: scavo e demolizione rivestimento preesistente ed esecuzione priverivestimento galleria "Val Rosna"

STATO LAVORO: eseguito

PERIODO: 2006

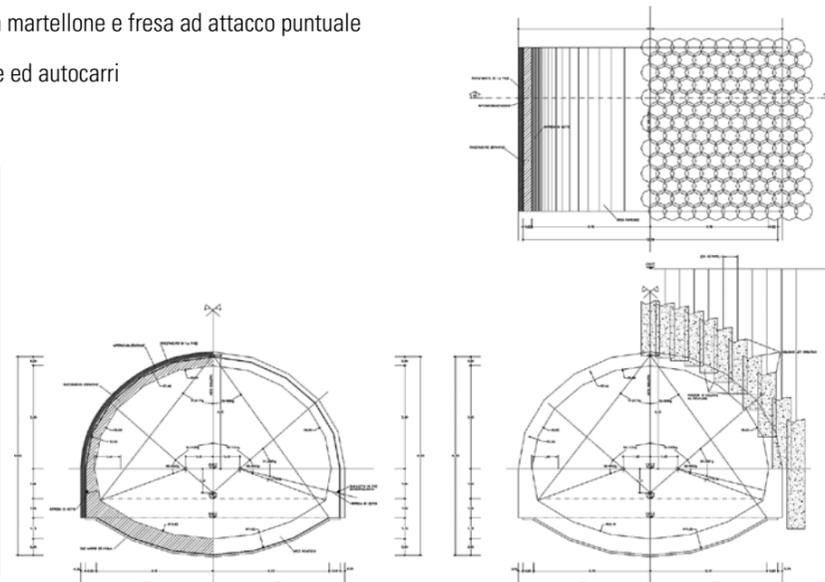




Galleria "Antica Via di Francia" – AVIGLIANA (TO)

Galleria stradale a due corsie nell'ambito della realizzazione di variante S.S. 589 dei "Laghi di Avigliana" in corrispondenza di Avigliana e Trana – Lotto 2.

- LUNGHEZZA GALLERIA: 366 metri di cui 240 con avanzamento a sezione corrente e 126 con avanzamento "a camerette"
- DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO): raggio calotta: 6.99 metri; raggio piedritti: 5.00 metri; area di scavo: min. 129 m², max 155 m²
- GEOLOGIA: materiali alluvionali in falda
- STATO LAVORO: eseguito
- PERIODO: 2005
- METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: imbocco nord a sezione corrente con jet-grouting dall'alto, imbocco sud sezione parzializzata "a camerette troncoconiche" con VTR al fronte e "ombrelli" di jet-grouting causa sottoattraversamenti abitazioni in presenza di basse coperture
- MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore con martellone e fresa ad attacco puntuale
- SMARINO: pala caricatrice ed autocarri
- N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 2



- TECNICHE DI PRESOSTEGNO: jet-grouting dall'alto e ad ombrello, centine e spritz-beton eseguito con macchina robotizzata
- PARTICOLARITÀ: nell'ambito dell'opera sono state eseguite, prima volta in Italia, paratie in soil mixing e pali in ghiaia

Galleria d'accesso, "caverna" e galleria per tubazione – FENIS (AO)

Nell'ambito della centrale idroelettrica di Aosta – Fenis.

- LUNGHEZZA GALLERIA: 44 metri galleria d'accesso, 28 metri caverna, 250 metri galleria per tubazione
- DIMENSIONI GALLERIA (SCAVO): 30 m² galleria d'accesso, 163 m² caverna, 11 m² galleria per tubazione
- STATO LAVORO: eseguito
- PERIODO: 2005
- METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: avanzamento a sezione corrente ed una sezione parzializzata in caverna
- MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore con martellone, esplosivo
- SMARINO: pala caricatrice, mezzi di piccola dimensione
- N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1
- TECNICHE DI PRESOSTEGNO: spritz-beton, chiodi e reti





Pozzo di raccordo Ø 14,20 metri in banchina a SAVONA

PROFONDITÀ: 41,30 metri circa

DIMENSIONI (AL FINITO): Ø 14,20 metri

STATO LAVORO: eseguito

PERIODO 2005

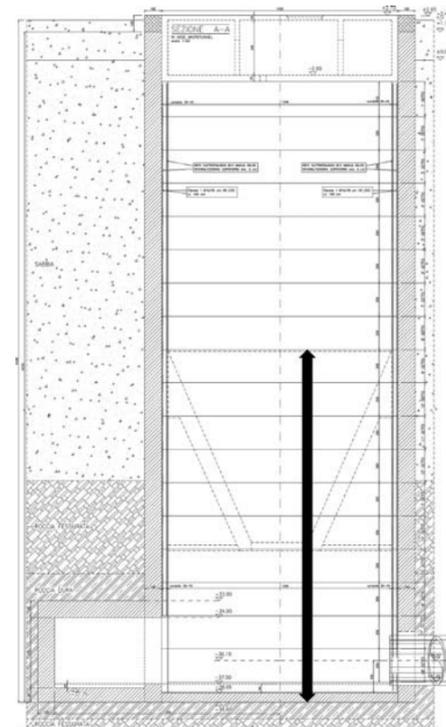
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: sottomurazione, che prevede le seguenti fasi:

scavo del pozzo per una profondità pari a 6,00 metri; posa in opera dell'armatura metallica; posizionamento del cassero circolare; getto del cls in elevazione per tre conci da 2,00 metri ciascuno; rimozione del cassero circolare; ripetizione delle fasi

MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore munito di benna, dente ripper e/o martellone

SMARINO: smarino del pozzo con tiro in alto del materiale, eseguito

mediante l'impiego di benna autoscaricante (secchione) idraulica e carroponete



Linea 6 metropolitana di Napoli – Discenderia stazione FS Mergellina – NAPOLI

LUNGHEZZA DISCENDERIE: 30 metri

DIMENSIONI GALLERIA (SCAVO): 6,32 x 7,50 m²; 6 x 6,25 m²

GEOLOGIA: tufo fratturato e pozzolane

STATO LAVORO: eseguito

PERIODO: 2005-2006

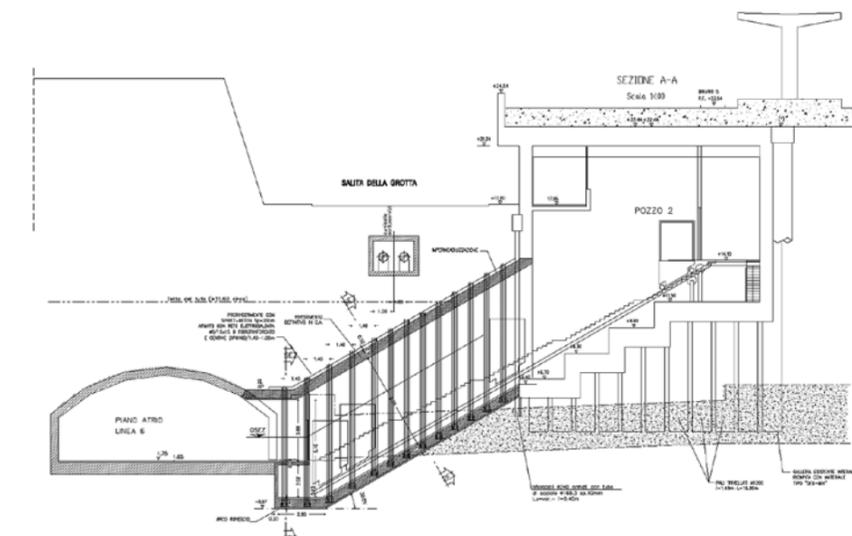
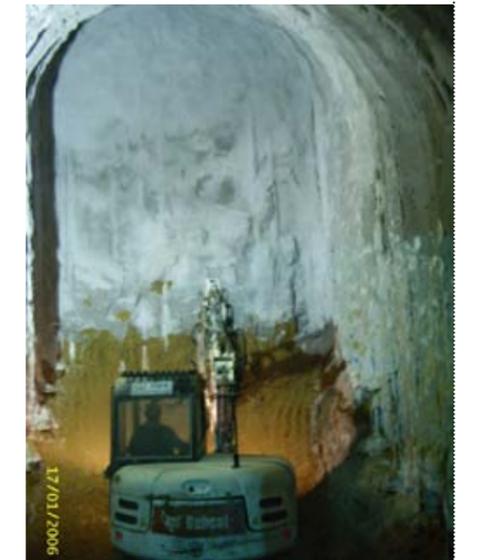
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: avanzamento a sezione corrente

MEZZI D'AVANZAMENTO: escavatore con martellone e fresa idraulica

SMARINO: pala caricatrice, mezzi di piccola dimensione

N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1

TECNICHE DI PRESOSTEGNO: spritz-beton-centine





Galleria stradale "Lerca" su nuovo tratto della SP78 – GENOVA



LUNGHEZZA GALLERIA: 200 metri
 DIMENSIONI GALLERIA (AL FINITO): raggio calotta: 4.49 metri
 STATO LAVORO: eseguito
 PERIODO: 2010
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: avanzamento con campi di infilaggi e VTR al fronte
 N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1



Adeguamento importazione dalla Russia del metanodotto Tarvisio Malborghetto – TARVISIO

Esecuzione in tradizionale della galleria Priesnig (imbocco ovest – 35 m circa).

LUNGHEZZA GALLERIA: 35 metri circa
 STATO LAVORO: eseguito
 PERIODO: 2006
 N° FRONTI D'AVANZAMENTO: 1



Pozzi e stazione Metropolitana di BRESCIA

PERIODO: 2010

N°6 POZZI DI ACCESSO V.V.F

DIMENSIONI DI SCAVO: Ø 7 metri; profondità media 24 metri
 STATO LAVORO: eseguito
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione in sottomurazione

N°1 POZZO RETTANGOLARE DI VENTILAZIONE

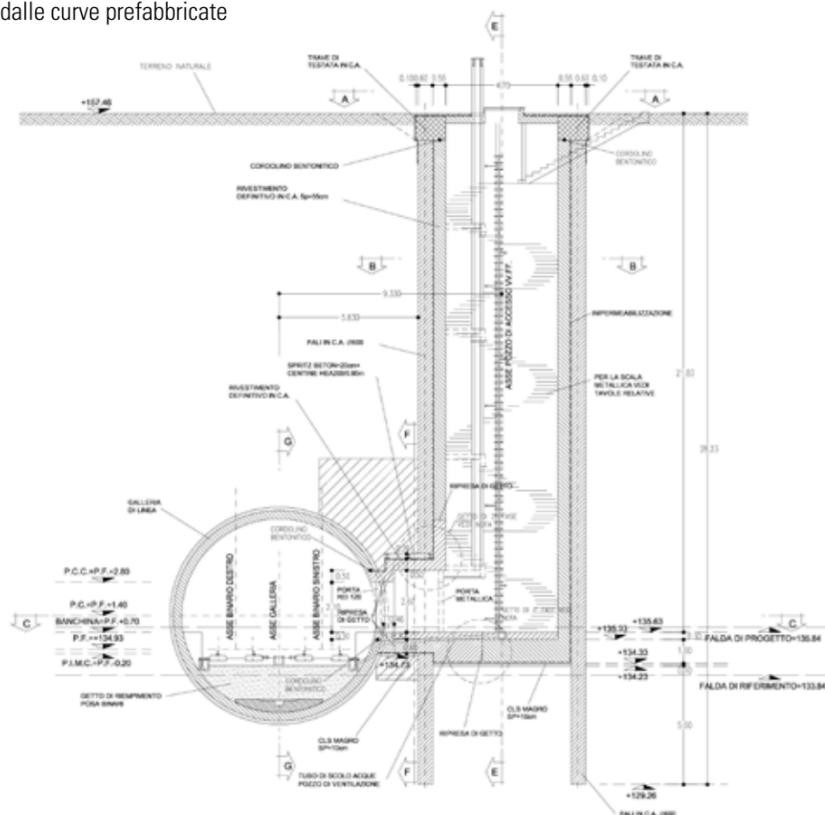
DIMENSIONI DI SCAVO: 5,90 x 10,70 metri; profondità 24 metri
 STATO LAVORO: eseguito
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione in sottomurazione





GALLERIE DI BANCHINA DELLE STAZIONI S. FAUSTINO E VITTORIA

LUNGHEZZA GALLERIA: 50 metri ciascuna
 SEZIONE DI SCAVO: totale 142 m², di cui 52 m² già eseguiti da TBM
 STATO LAVORO: eseguito
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: scavo in allargato a tutta sezione con demolizione conci posti in opera dalla TBM
 RIVESTIMENTO DEFINITIVO: uso di predalle curve prefabbricate
 N° DI FRONTI D'AVANZAMENTO: 1



Pozzi PI20 e PI30 con cunicoli della linea B1 della Metropolitana di ROMA

Opere eseguite interamente in presenza di congelamento dei terreni.

PERIODO: 2011

POZZO PI20

DIMENSIONI: Ø 5,4 metri al finito; profondità 28 metri

STATO LAVORO: eseguito

METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione in sottomurazione

POZZO PI30

DIMENSIONI: Ø 6,2 metri al finito; profondità 28 metri

STATO LAVORO: eseguito

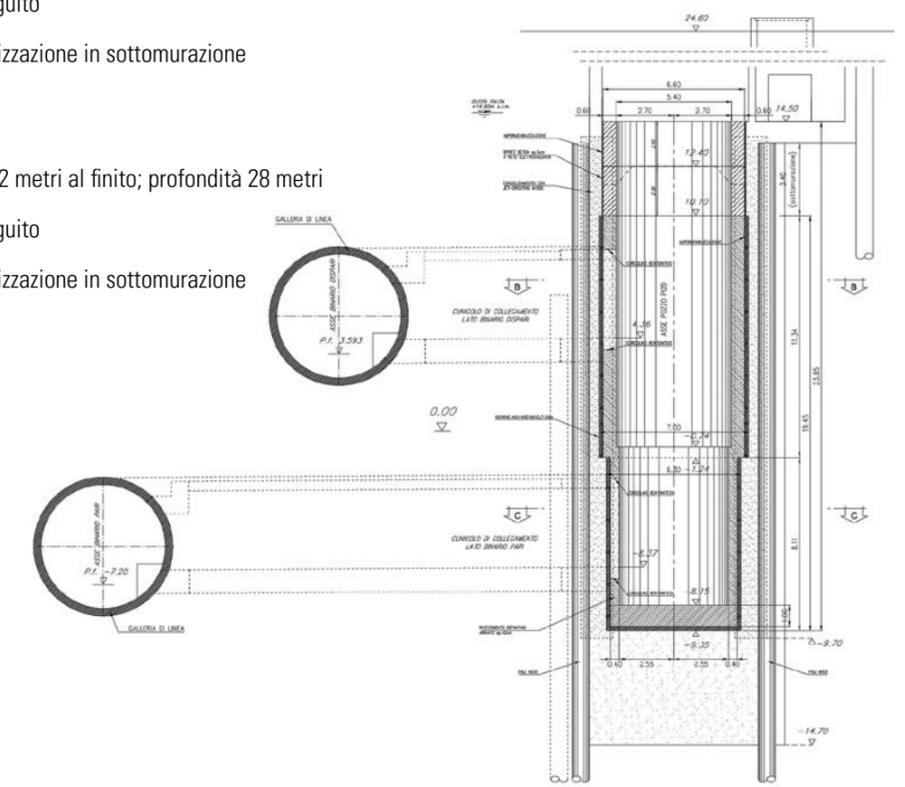
METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione in sottomurazione

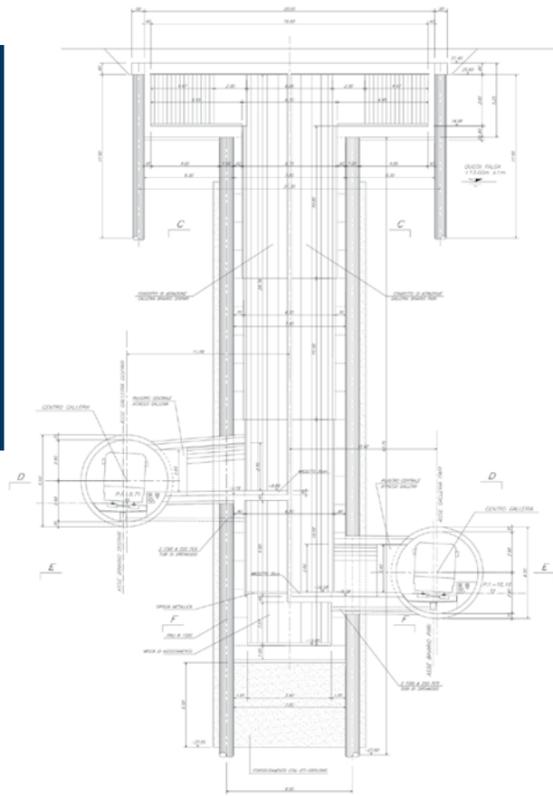
N° 4 CUNICOLI

DIMENSIONI DI SCAVO PER LUNGHEZZA

DA ASSE POZZO AD ASSE GALLERIA:

- PI20: 21 m² x 26,6 metri
- 21 m² x 15,6 metri
- PI30: 21 m² x 11,5 metri
- 21 m² x 10,5 metri





STATO LAVORO: eseguito
 METODOLOGIA DI AVANZAMENTO: realizzazione sotto congelamento

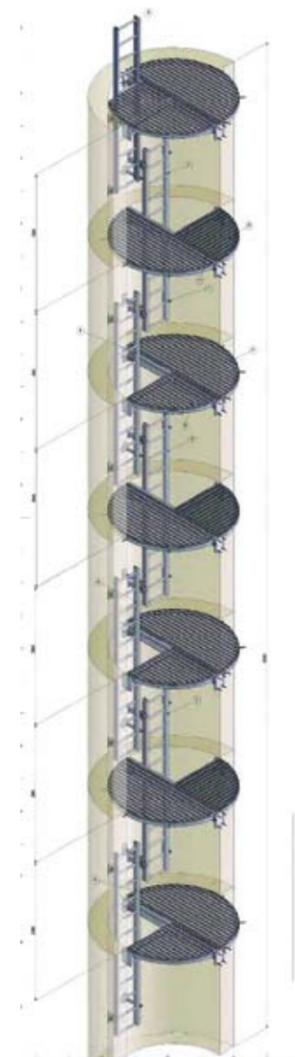
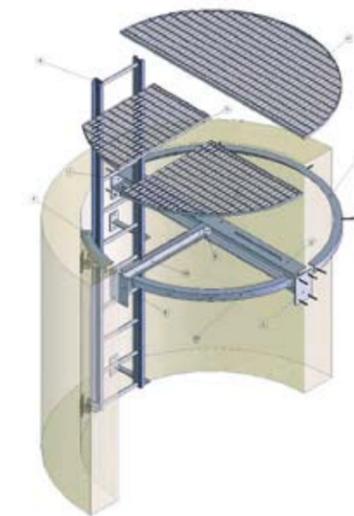
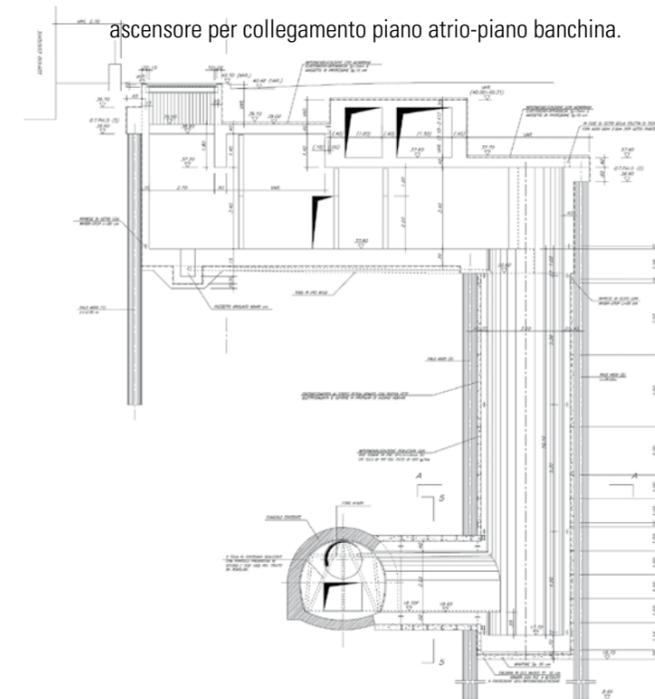
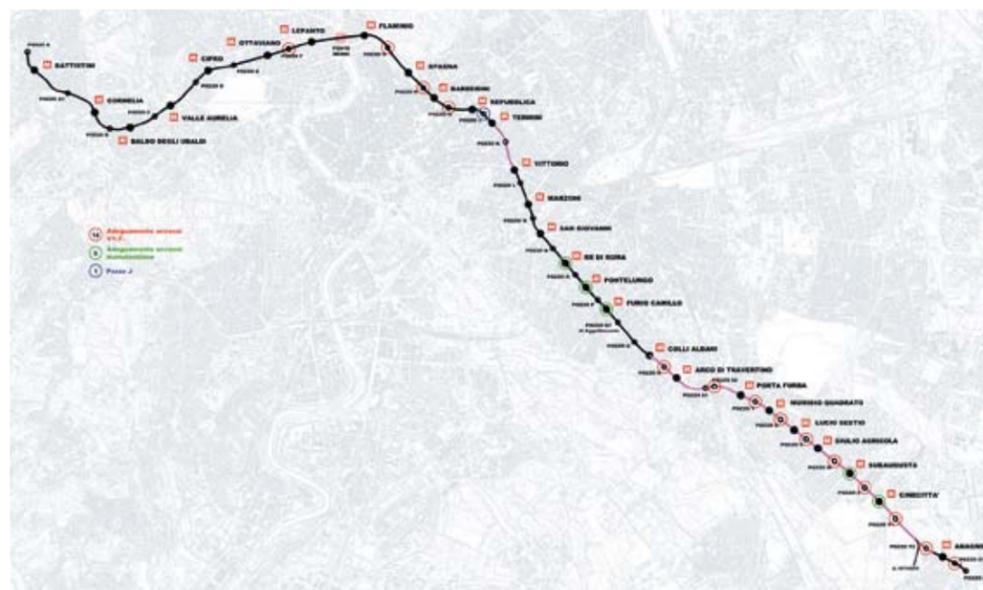
- Adeguamento del pozzo J e nuovo rivestimento a ripristino dell'impermeabilizzazione oramai compromessa.
- Realizzazione pozzo M Ø 2 metri e profondo 18,5 metri, compresa camera di ventilazione e cunicoli.
- Realizzazione pozzo ascensore con cunicoli per la stazione Manzoni.
- Realizzazione Apertura equilibratrice presso la stazione Manzoni, compresa camera di ventilazione, pozzo e cunicoli.
- Realizzazione adeguamento banchinette per ca. 8 km di tratta.
- Ammodernamento dei pozzi L M N O P Q S1 per accesso VV.F. – interventi urgenti integrati Pozzo di ventilazione Via Stalilia – Pozzo M – interventi urgenti integrati stazione Manzoni: esecuzione pozzo ascensore per collegamento piano atrio-piano banchina.

Metropolitana di Roma – Ammodernamento linea A – Amla 3 interventi urgenti integrati – ROMA

PERIODO: 2004 - 2011

Gli adeguamenti hanno comportato la realizzazione di costruzioni e carpenterie metalliche, oltre al ripristino delle opere già esistenti e alla creazione di nuove.

- Adeguamento accessi di manutenzione delle stazioni: Re di Roma; Cinecittà; Subaugusta; Furio Camillo; Ponte Lungo.
- Adeguamento degli accessi dei VV. F. dei pozzi: R; T; U; V; W; X; Y1; Y2; Z; Z1; F; G; H; I.



25 anni 16 settembre 2011

LE ORIGINI



IL PRESENTE



IL FUTURO



VARIANTE DI VALICO



I SORRENTINI

Questo testo è dedicato a tutti coloro che affondano le mani nella terra, ne scrutano il ventre, ne lambiscono la pietra scabra. A tutti coloro che viaggiano nelle viscere della caverna che è accoglienza primordiale e cosmo. Un abbraccio forte e in bocca al lupo.

Ivana D. P.



GENTE CON LA PALA

Dove eravamo

Auguri di cuore per questi 25 anni di attività!

Complimenti per la tenacia a lei e tutto il suo staff!

Stefano B.

Complimenti vivissimi e grazie
in anticipo.

Ugo A.

Caro Francesco,

Gli auguri sinceri di chi ha
potuto apprezzare CIPA e i suoi
uomini lavorandoci.

Angelo A.



I miei affettuosi complimenti.

Paolo M.

Auguri di cuore e un abbraccio
affettuoso.

Maurizio S.

Devi essere fiero di quello che hai
realizzato con tanto entusiasmo
e... sudore. Noi siamo molto fieri
di avere un amico come te.

Ti auguro altri cento anni di
successo in termini professionali
ma anche e specialmente in termini
economici.

Ad maiora, un caldo abbraccio

Nicola D.S.

AUGURI X TUTTI

Alfredo D.

Caro Francesco,

25 anni di duri sacrifici e
grandi soddisfazioni che si
manifestano con la "freschezza"
dell'azienda e lo slancio dei
suoi amministratori.

Auguroni e, mo' c' vo', ALTRI
100!!

Aristodemo B.



CONGRATULAZIONI!!!

Guido P.

Non solo complimenti.

Come sempre una spanna.....

anzi 25..... sopra gli altri.

E.....aspettando il 100ennale.

25 mila volte AUGURI !!!!!!!!!!!

Stefano M.





NONOSTANTE IL NOME...
DA VARSAVIA

Congratulazioni Ing. Bellone,
E' un piacere condividere con Lei e il suo team questa importante tappa per Cipa!
Ad maiora!
Caterina T.

Congratulazioni, l'alta professionalità, la serietà ed anche la vostra simpatia contraddistinguono il vostro anniversario d'argento.
La povertà cosa vuoi che sia a confronto!
Con affetto
Piero G.



GLI JONICI

Sempre grandissimo!!!!
Ettore B.

Bravo Francesco,
tanti sinceri auguri e complimenti!
Ad maiora
Alberto T.

LA SANTA BARBARA
DEL VENTICINQUENNALE



Grande FRA!
Max B.

Hai azzeccato la parola "BRAVI", ma non credo poveri!!!
È un traguardo importante che non poteva passare inosservato.
Nelle foto c'è anche qualche nostro prodotto, e ne sono compiaciuto.
Ti auguro altri 25 ricchi di soddisfazioni.
Tantissimi Auguri
Fabio M.



Ingegnere carissimo,
i miei sentiti complimenti per questo anniversario che suffraga e consolida le vostre capacità.
Andrea F.

Congratulazioni e auguri.
Quando ci vedremo, se mi ricordo, ti confesserò, impetrandolo la tua assoluzione, la mia non meditata impressione, riguardante principalmente altri soggetti, all'incontrare la prima volta e fortuitamente il nome della Cipa.
Non essendo nel giro dei cantieri non avevo ancora sentito parlare di voi, non ti conoscevo e non vi conoscevo.
Da allora, nel corso degli anni, ho potuto apprezzare le tue qualità umane e tecniche e il vostro valore. Ti sono profondamente grato per l'annoverarmi tra gli amici.
Ancora complimenti e auguri.
Domenico I.



Io ricordavo "poveri ma belli", capisco il motivo della forzata e voluta dimenticanza
 Ad ogni modo Congratulazioni e si ricordi che sono le frequentazioni che avete sul
 lavoro che vi hanno portato a questi livelli (... La fortuna di aver incontrato
 imprese come !)

Mario B.

ALTA RAPPRESENTANZA DEL C.I.S.



Ciao Aldo,
 non ho avuto ancora molto
 tempo per comprendere al
 100% la vostra/mia nuova
 realta' che rappresenta
 CIPA spa, ma la sensazione
 di fresca ventata di una
 nuova aria supportata
 da giovani energie e
 consolidate esperienze e'
 veramente un bel mix, per
 il nostro stanco paese.
 Mi piace il vostro
 modo di operare, sono
 felice di farne parte
 in questa fase e spero
 nelle future che saranno
 sicuramente ricche di
 soddisfazioni....quindi
 vi auguro a voi tutti un
 BUON ANNIVERSARIO.....:)

Elio P.

Congratulazioni ed auguri per un proficuo avvenire ricco di soddisfazioni.

Grazie per la maglietta che per me vaextra extra large!

Sebastiano P.

Quando nacque la CIPA si credeva fosse nata un'iniziativa imprenditoriale, come tante, prima e dopo, salvo, accorgersi, nel tempo, che era stato avviato un modello ed uno stile che, anche dopo tanti anni, continua ad essere riferimento. Chi ha avuto il piacere di fare parte della famiglia CIPA e chi ha avuto con la stessa solo rapporti lavorativi ha potuto apprezzare l'entusiasmo dei suoi dipendenti e soci che la sentono come casa loro e cosa loro. Questa è stata la capacità del suo promotore che ha trasmesso a ogni parte del meccanismo la sensazione di essere importante e fondamentale, in ogni ruolo e compito da svolgere, ciò detto sono sicuro che questi saranno solo i primi di tanti 25 anni da festeggiare con lo stesso spirito.

Fabio A.

©2011 CIPA Spa Edizioni PEI Srl

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare dicembre 2011

progetto editoriale Francesco Bellone

progetto grafico Edizioni Pei, Marianna Delgrosso

stampa tipografia "Stamperia" Parma

editore

edizioni
PEI
art

Strada Naviglio Alto, 46/1 43122 Parma
tel. 0521 771818 fax 0521 773572
www.edizionipei.it info@edizionipei.it



Sede legale e amministrativa
via Privata Rubinacci 10
80067 Sorrento (NA)
tel. 081 3622135
fax 081 3622112

Direzione tecnica e gare
via Modesto Panetti 95
00138 Roma
tel. 06 88588144
fax 06 88588322

www.cipaspa.it
info@cipaspa.it





