

Pietro Lunardi
Alessandro Focaracci
Stefano Merlo

IL PRETAGLIO MECCANICO PER LA COSTRUZIONE DELLA VOLTA DI 21,5 m DI LUCE
DELLA STAZIONE "BALDO DEGLI UBALDI"

*MECHANICAL PRE-CUTTING FOR THE CONSTRUCTION
OF THE 21.5 m SPAN ARCH OF THE "BALDO DEGLI UBALDI" STATION*

Publicato su
Gallerie e Grandi Opere Sotterranee N. 53



Estratto

Pietro Lunardi
Alessandro Focaracci
Stefano Merlo

IL PRETAGLIO MECCANICO PER LA COSTRUZIONE
DELLA VOLTA DI 21,5 m DI LUCE
DELLA STAZIONE "BALDO DEGLI UBALDI"

*MECHANICAL PRE-CUTTING FOR THE CONSTRUCTION
OF THE 21.5 m SPAN ARCH
OF THE "BALDO DEGLI UBALDI" STATION*

Novembre 1997

**Pietro Lunardi
Alessandro Focaracci
Stefano Merlo**

Il pretaglio meccanico per la costruzione della volta di 21,5 m di luce della stazione "Baldo degli Ubaldi"

Le pré-coupage mécanique pour la construction de la voûte de 21,5 m. de portée de la station "Baldo degli Ubaldi"

La Stazione "Baldo degli Ubaldi" ha una luce di 21,5m ed un'altezza di 16m. La presenza di edifici civili pluripiano con le fondazioni a meno di due metri di distanza dall'estradosso di calotta della galleria, il tipo di terreni da scavare e l'obbligo contrattuale di costruirla senza mai interrompere il flusso del traffico di via Baldo degli Ubaldi durante le fasi della sua realizzazione hanno imposto l'adozione di scelte progettuali e costruttive inusuali.

La station "Baldo degli Ubaldi" présente une lumière de 21,5 m. et une hauteur de 16 m. La présence de bâtiments civils à plusieurs étages avec les fondations à moins de deux mètres de distance de l'extrados de calotte du tunnel, le type des terrains à creuser et l'obligation contractuelle de la construire sans jamais bloquer la circulation de Via Baldo degli Ubaldi pendant les phases de sa réalisation ont imposé le recours à des choix de conception et construction inhabituels.

Le fotografie richiamate nell'articolo sono a pagina 39 e 43

Prof. Ing. Pietro Lunardi, Studio di progettazione Lunardi, Milano
Dott. Ing. Alessandro Focaracci, Rocksoil S.p.A., Milano
Dott. Ing. Stefano Merlo, Impregilo S.p.A., Roma

1. Generalità

La stazione "Baldo degli Ubaldi" della metropolitana di Roma è ubicata nel centro cittadino, a circa 25 m di profondità, in corrispondenza di una delle più importanti arterie di collegamento viario con l'aeroporto di Fiumicino (via Baldo degli Ubaldi). Le sue ingenti dimensioni (21,5 m di luce per 16 m di altezza), la presenza di edifici civili pluripiano con le fondazioni a meno di due metri di distanza dall'estradosso di calotta della galleria (fig. 13), il tipo di terreni da scavare (argille plioceniche sotto falda) e l'obbligo contrattuale di costruirla senza mai interrompere il flusso del traffico di via Baldo degli Ubaldi durante le fasi della sua realizzazione hanno imposto l'adozione di scelte progettuali e costruttive inusuali, che costituiscono il tema centrale di questo rapporto.

2. Inquadramento geologico-geotecnico (fase conoscitiva)

I terreni che costituiscono il sito ove viene costruita la Stazione "Baldo degli Ubaldi" si possono distinguere entro due categorie principali:

- i terreni appartenenti alla formazione di base, costituita da argille azzurre plioceniche con livelli sabbiosi di spessore da centimetrico a decimetrico;
- i terreni recenti appartenenti alla fascia superiore, costituiti da sabbie limose poco addensate e, presso il pozzo lato Valle Aurelia, da limi sabbiosi soffici di paleoalveo.

Una intensa campagna geognostica condotta dal 1987 fino al 1994 ha permesso, in fase conoscitiva, di ricostruire con accuratezza la successione stratigrafica (fig. 14), e, in particolare, l'andamento del letto del paleoalveo presso il pozzo di valle, che arriva a lambire l'estradosso di calotta in zona reni. Dal punto di vista idrogeologico, le letture dei numerosi piezometri installati nell'area interessata dalla stazione hanno evidenziato la presenza, a 10 ÷ 12 m di profondità dal piano campagna, di una falda a pelo libero non influenzata dalle precipitazioni meteoriche. Inoltre, all'interno dei livelli sabbiosi della formazione pliocenica, si è riscontrata l'esistenza di falde in pressione (circa 2 bar), con ogni probabilità confinate all'interno degli interstrati sabbiosi.

Dal punto di vista geotecnico, la formazione delle argille plioceniche, unica ad essere interessata direttamente dagli scavi della galleria di stazione, è risultata costituita da limi argillosi sovraconsolidati e consistenti, caratterizzati dai seguenti parametri geomeccanici:

TABELLA I

peso specifico γ (t/m ³)	2,0
angolo d'attrito ϕ (°)	24° ÷ 33°
coesione c' (t/m ²)	1,5÷4,1
coesione c_u (t/m ²)	20÷57
modulo elastico E (t/m ²)	10000÷25000
permeabilità K (cm/sec)	10 ⁻⁶

3. Aspetti progettuali (fasi di diagnosi e di terapia)

La progettazione della galleria di stazione "Baldo degli Ubaldi" è stata condotta sulla base dei principi dell'approccio ADECO-RS (Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli).

Gli studi eseguiti in fase di diagnosi, soprattutto attraverso l'interpretazione di prove d'estrusione in cella triassiale (fig. 14), hanno permesso di inquadrare la galleria da realizzare in categoria B (fronte stabile a breve termine).

Sulla base di questa previsione, in fase di terapia è apparso subito evidente che, trovandosi la galleria da scavare in prossimità di fabbricati di civile abitazione, il contenimento dei fenomeni deformativi entro valori minimi, ben al di sotto dell'ordine di grandezza normalmente accettato per gallerie da scavare in terreni coesivi, sarebbe stata un'esigenza primaria.

L'adozione di interventi e metodi costruttivi tradizionali, basati sul rivestimento dello scavo mediante centine metalliche e spritz-beton, non avrebbe consentito di fronteggiare questa esigenza, nemmeno parzializzando gli scavi tra gallerie di piedritto, calotta, strozzo e arco rovescio.

Pertanto, si sono studiati interventi di precontenimento del nucleo al fronte e del cavo che, agendo a monte del fronte, fossero in grado di mantenere il nucleo d'avanzamento in elasticità e, di conseguenza, potessero garantire un adeguato controllo dei fenomeni deformativi del cavo durante le diverse fasi di costruzione della galleria di stazione.

Per la realizzazione delle gallerie di piedritto si è optato per un sistema d'avanzamento che prevede l'adozione del preconsolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina (onde limitare i movimenti estrusivi che si sarebbero tradotti immediatamente in cedimenti in superficie) quindi lo scavo a piena sezione e il rivestimento con spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche con pun-

ROME UNDERGROUND - "BALDO DEGLI UBALDI" STATION

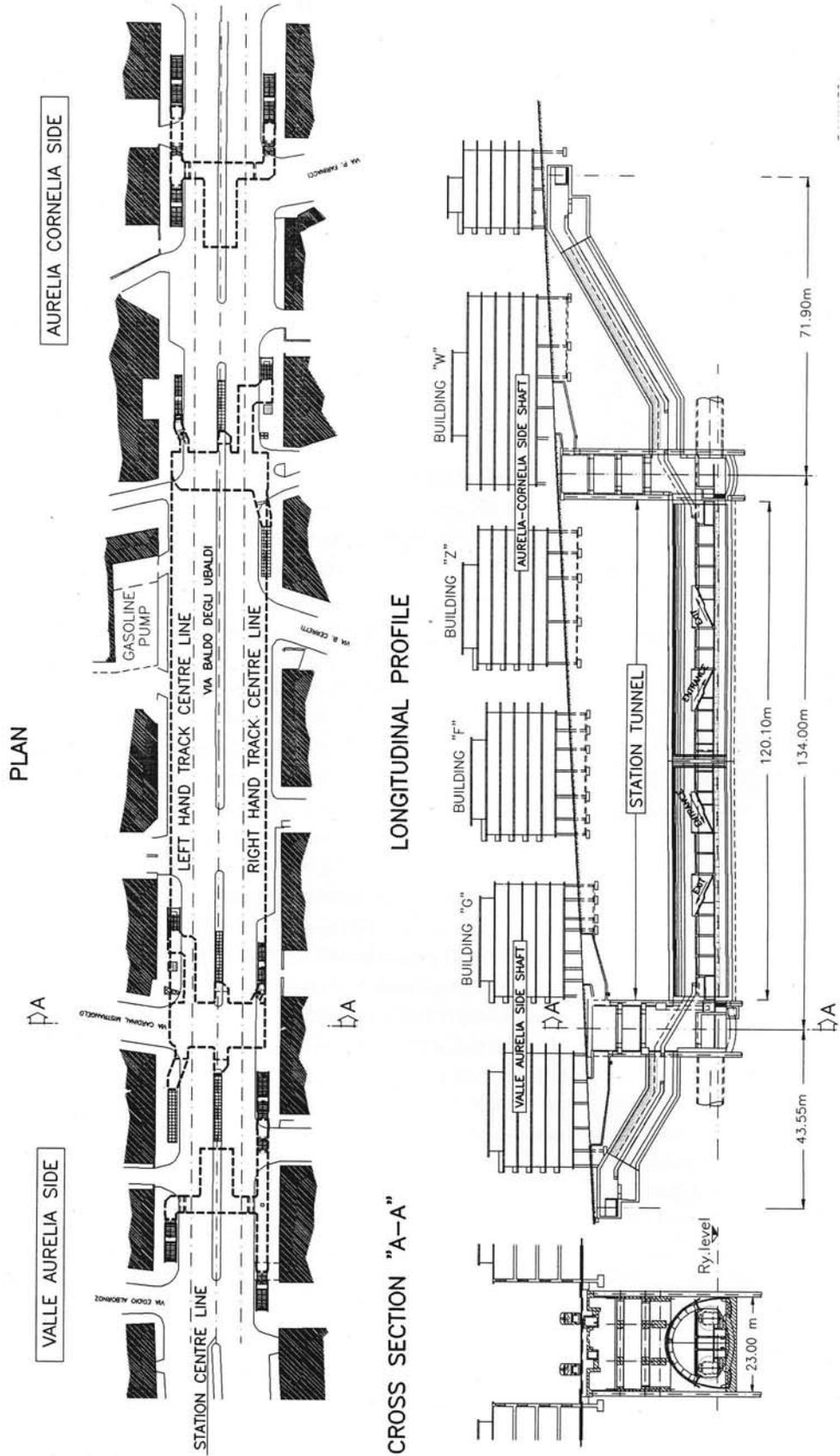
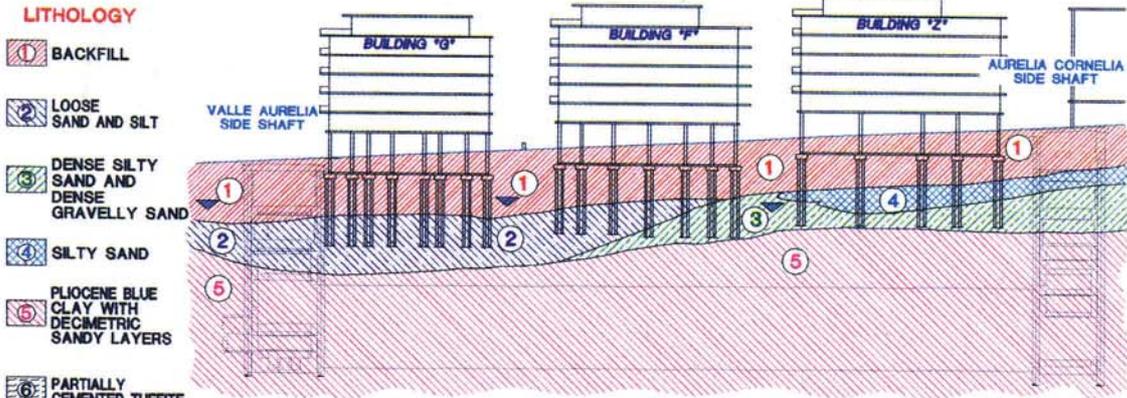


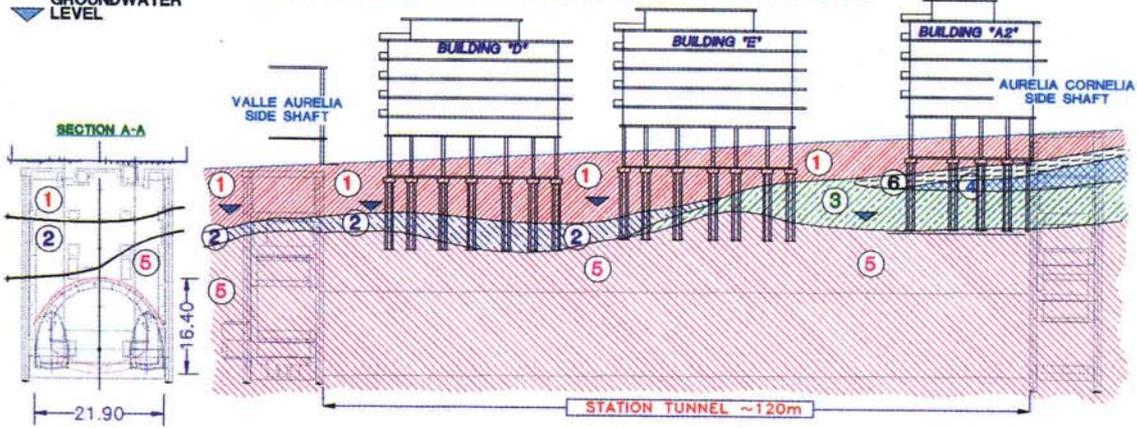
Fig.13 "Baldo degli Ubaldi" Station-Plan and Longitudinal Profile

ROME UNDERGROUND - "BALDO DEGLI UBALDI" STATION

STRATIGRAPHICAL SECTION ALONG THE LEFT HAND TRACK



STRATIGRAPHICAL SECTION ALONG THE RIGHT HAND TRACK



PHYSICAL AND GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF UNIT No 5 PHYSICAL INDICES VARIATION IN FUNCTION OF DEPTH

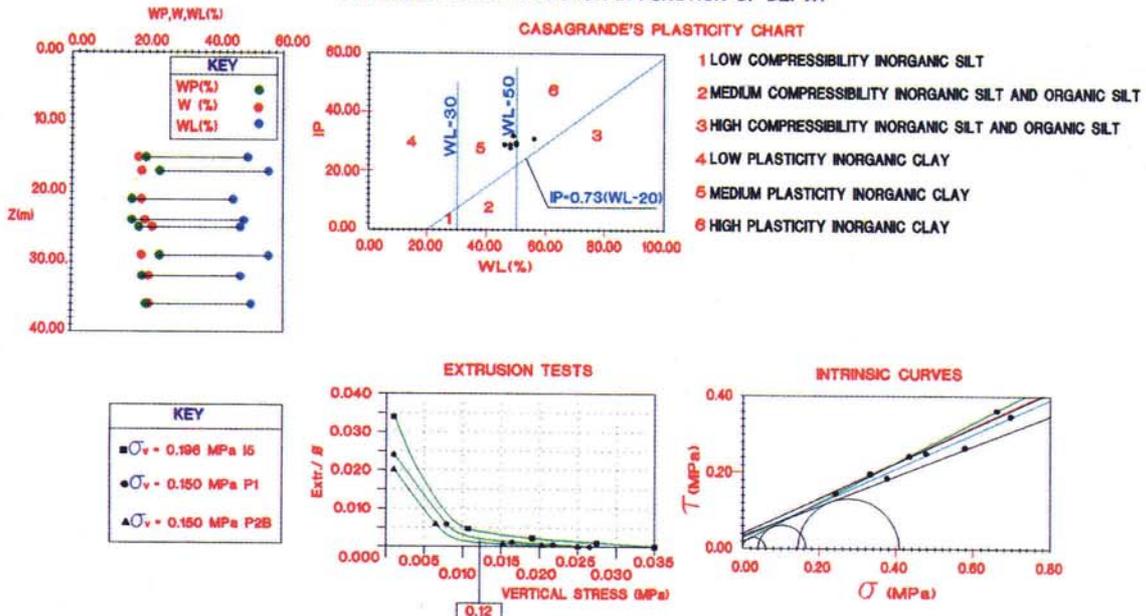


Fig. 14 "Baldo degli Ubaldi" Station-Stratigraphical Sections and Geomechanical Characteristics

tone in arco rovescio e murette di cemento armato. Per la realizzazione dello scavo di calotta, invece, si è progettato un nuovo sistema costruttivo, che coniuga il preconsolidamento del nucleo d'avanzamento con elementi strutturali di vetroresina e la tecnologia del pretaglio meccanico (per la prima volta al mondo applicata su una luce di 21,5 m) con il principio della "volta attiva".

Questa scelta è stata dettata dalla assoluta necessità di ottenere il controllo più completo possibile dei fenomeni deformativi in galleria, premessa indispensabile per poter poi rispettare i vincoli alle subsidenze in superficie imposti dalla presenza di edifici abitati. Per fondere queste tecnologie, tutte più o meno recenti, in un unico sistema costruttivo altamente industrializzato, si è progettata, in collaborazione con i tecnici di IMPREGILO e RODIO, un'apposita macchina, che è stata poi realizzata dalla ditta STAC. Essa consiste (foto 5.3) in un grande portale metallico, geometricamente rispondente al profilo di calotta della galleria di stazione, appoggiato, all'interno delle gallerie di piedritto, tramite stabilizzatori posti su longheroni in modo da consentirne la traslazione longitudinale. Sul portale, oltre all'attrezzatura necessaria per l'esecuzione dei gusci di pretaglio meccanico, è montata anche quella che serve per la movimentazione e il montaggio dei conci prefabbricati del rivestimento definitivo.

Una volta eseguito lo scavo di due pozzi d'accesso di 200 m² di sezione e profondi rispettivamente 30 e 40 m, alle estremità della galleria da realizzare (al termine dei lavori saranno utilizzati per l'ubicazione di alcuni locali tecnologici), per costruire la galleria di stazione si sono previste, in estrema sintesi, le seguenti fasi esecutive (fig. 15):

- 1a. scavo di due gallerie laterali di 5 m di larghezza per 9 m d'altezza, futura sede dei piedritti della galleria di stazione, previo consolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina e rivestimento del cavo con spritz-beton fibrorinforzato armato con centine metalliche dotate di puntone;
- 1b. getto dei suddetti piedritti in calcestruzzo armato;
2. scavo di calotta della galleria di stazione (21,5 m di luce, 8,5 m d'altezza, per una sezione di 125 m²), previo consolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina ed esecuzione del guscio di pretaglio meccanico, quindi rivestimento immediato della calotta con "volta attiva" di conci prefabbricati;
3. scavo di ribasso della galleria di stazione (90 m² di sezione) e getto immediato dell'arco rove-

scio, per campioni (7 m max) dopo la realizzazione della calotta.

4. completamento delle infrastrutture di stazione con la realizzazione del piano banchina e del mezzanino, nonché delle relative scale d'accesso alle discenderie.

Il sistema di scavo e il dimensionamento degli interventi di stabilizzazione sono stati verificati per le diverse fasi di lavorazione attraverso numerosi calcoli numerici condotti mediante elaboratore su modelli agli elementi finiti in campo non lineare, anche tridimensionali. I calcoli hanno permesso, tra l'altro, di verificare l'idoneità del sistema a garantire la sicurezza degli edifici limitrofi all'area del cantiere.

4. Aspetti costruttivi (fase operativa)

Dopo aver delimitato lo spazio necessario al cantiere sottraendo al traffico le corsie centrali di via Baldo degli Ubaldi, si è cominciato a scavare i due pozzi d'accesso ubicati alle estremità della futura galleria di stazione (Pozzo Valle Aurelia e Pozzo Aurelia Cornelia), previo contenimento del terreno al contorno con paratie di pali Ø 1200 e contrasti in cemento armato realizzati durante lo scavo.

Una volta completato il pozzo di monte, si sono scavate le gallerie di piedritto (foto 5.1), procedendo dal Pozzo Aurelia Cornelia verso il Pozzo Valle Aurelia. Come accennato in precedenza, le caratteristiche e la situazione tenso-deformativa del terreno, le dimensioni e la forma allungata verso l'alto della sezione di scavo, insieme ai vincoli relativi ai cedimenti ammissibili in superficie, hanno richiesto l'adozione di severe misure di stabilizzazione preventiva per contenere l'estrusione del fronte di scavo. Queste sono consistite nell'esecuzione di un intenso preconsolidamento del nucleo d'avanzamento con elementi strutturali di vetroresina appositamente progettati per ottenere la massima resa dal trattamento; le pareti delle gallerie, invece, sono state stabilizzate mediante un rivestimento di spritz-beton fibrorinforzato di 20 cm di spessore, armato con centine metalliche doppie IPN 180 chiuse in arco rovescio con puntone metallico e getto di murette armate. Un puntone è stato utilizzato anche all'altezza delle reni delle gallerie laterali per contenere le convergenze entro 2 cm (valore stimato accettabile). In tal modo le due gallerie si sono potute realizzare, mantenendo i fronti di scavo sfalsati di almeno 40 m, senza incontrare inconvenienti di sorta, con produzioni dell'ordine di 2 m/giorno.

Ultimate le gallerie laterali, al loro interno si sono gettati in opera, in due fasi, i piedritti di cemento armato della galleria di stazione.

Si è quindi passati alla parte più interessante e caratterizzante il progetto della Stazione "Baldo degli Ubaldi": la costruzione della grande galleria a volta unica.

L'avanzamento è stato frazionato in uno scavo di calotta e in un successivo scavo di ribasso, con getto dell'arco rovescio, per campioni. Procedendo dal Pozzo Valle Aurelia verso il Pozzo Aurelia Cornelia si è realizzato innanzi tutto (fig. 16) un intervento d'irrigidimento del nucleo di terreno al fronte mediante l'inserimento nello stesso di 47 elementi strutturali di vetroresina di 25 m di lunghezza (sovrapposizione minima tra elementi successivi: 6,10 m). Quindi si è eseguito, ogni 2,70 m, un guscio di pretaglio meccanico di 3,50 m di lunghezza e 20 cm di spessore, per uno sviluppo di circa 28 m su 21,5 m di luce netta.

Per ottenere un guscio particolarmente omogeneo e resistente, la tecnica del pretaglio è stata opportunamente modificata in modo da poter impiegare calcestruzzo pompato, anziché spruzzato.

A questo scopo, per evitare che, durante la fase di riempimento, il calcestruzzo debordasse fuori dal taglio, si sono posizionati, lungo il bordo dello stesso, a tergo della lama, speciali casseri pneumatici tubolari di diametro compatibile con l'altezza del taglio da casserare.

All'esecuzione di ogni guscio seguiva lo scavo (per sfondi di 0,90 m) e l'immediato assemblaggio del rivestimento definitivo a non più di 2,70 m dal fronte. Questo consisteva nella posa in opera di 12 conci prefabbricati del peso medio di 6,5 t ciascuno: 2 conci di appoggio sui piedritti, 9 conci standard e un concio di chiave (fig. 17, e foto 5.2). Una volta ultimato un arco di rivestimento, con questo ancora appoggiato alla macchina, lo spazio che rimaneva tra esso e il guscio di pretaglio veniva riempito di conglomerato cementizio additivato e proiettato. Quindi, agendo su due martinetti tipo Freyssinet da 360 t (corsa massima di 3,5 cm) alloggiati all'interno del concio di chiave, si metteva una prima volta in precompressione (per 40 t) l'intero arco di rivestimento rendendolo così immediatamente attivo e autoportante, in modo da annullare qualsiasi fenomeno deformativo insorgente e, addirittura, recuperare le deformazioni elastiche già subite dal guscio di pretaglio.

Procedendo in tal modo si è riusciti a garantire la realizzazione e l'attivazione del rivestimento definitivo della galleria a brevissima distanza dal fronte, riducendo enormemente il rischio di cedimenti in superficie e ottenendo una produzione media di 0,7 ÷ 0,9 m/giorno di calotta finita.

STATION TUNNEL CONSTRUCTION SEQUENCE

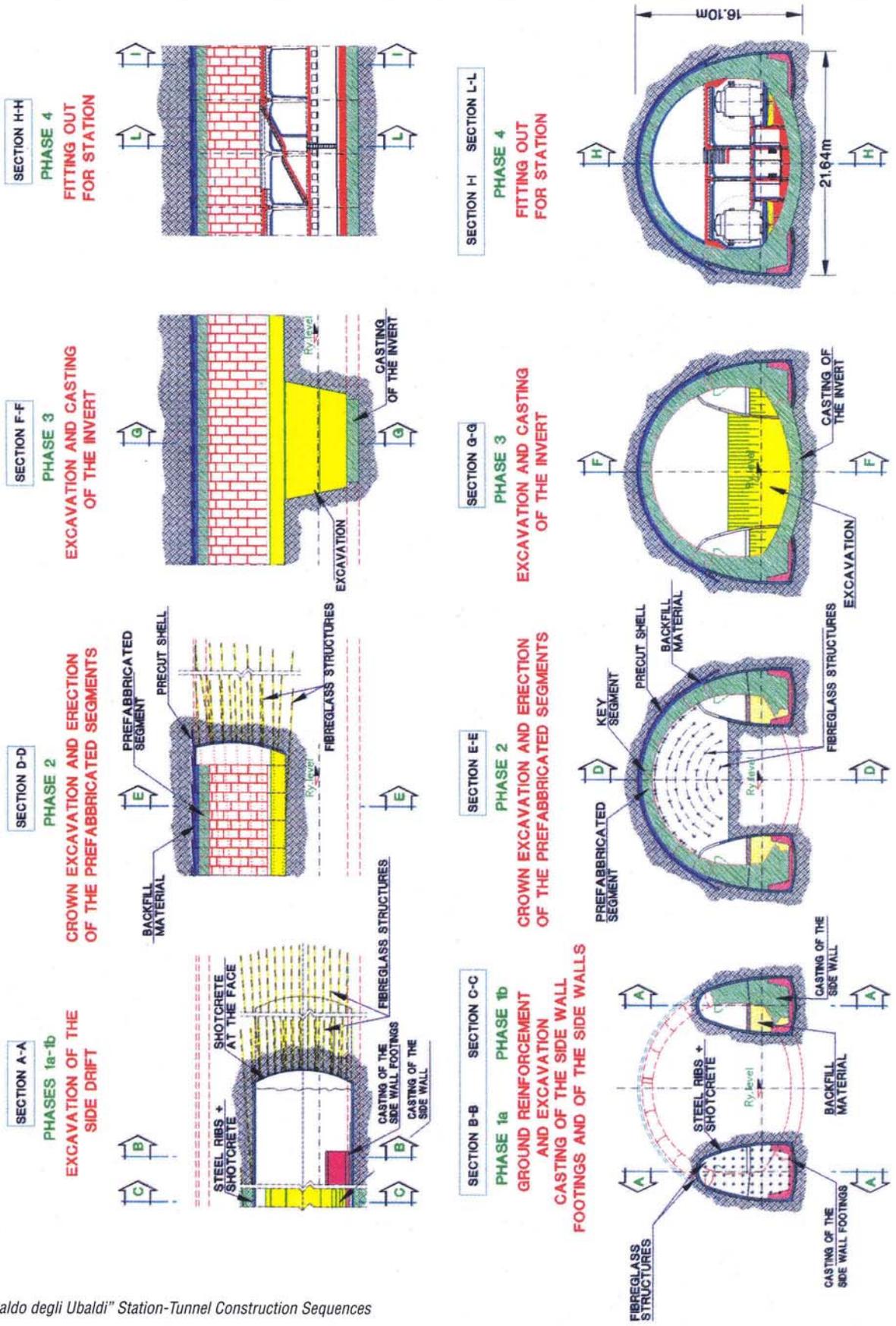


Fig.15 "Baldo degli Ubaldi" Station-Tunnel Construction Sequences

CONSTRUCTION PHASES OF THE STATION TUNNEL CROWN EXCAVATION

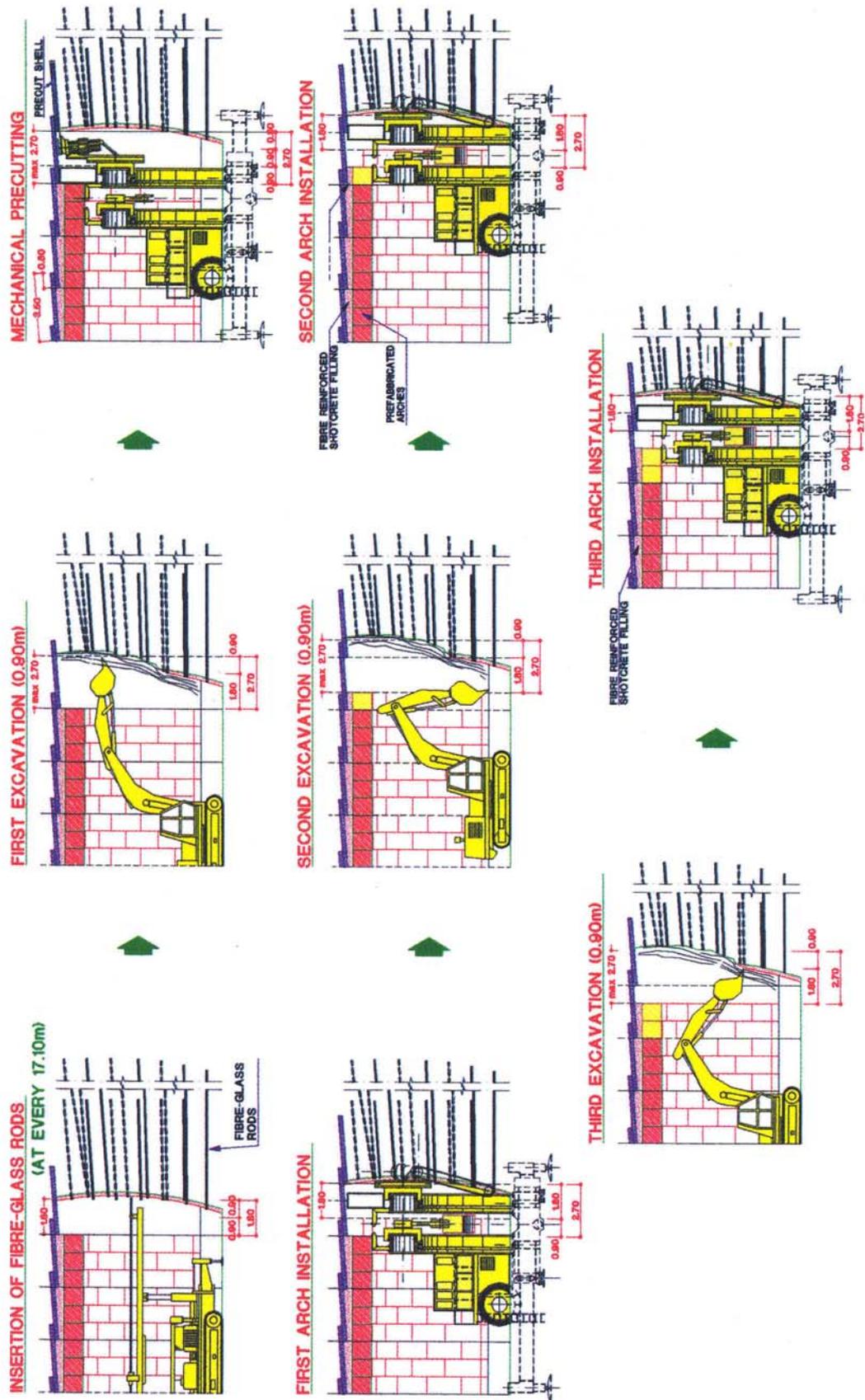


Fig. 16 "Baldo degli Ubaldi" Station-Tunnel Crown Excavation Construction Phases

STATION TUNNEL - PREFABRICATED SEGMENT ERECTION

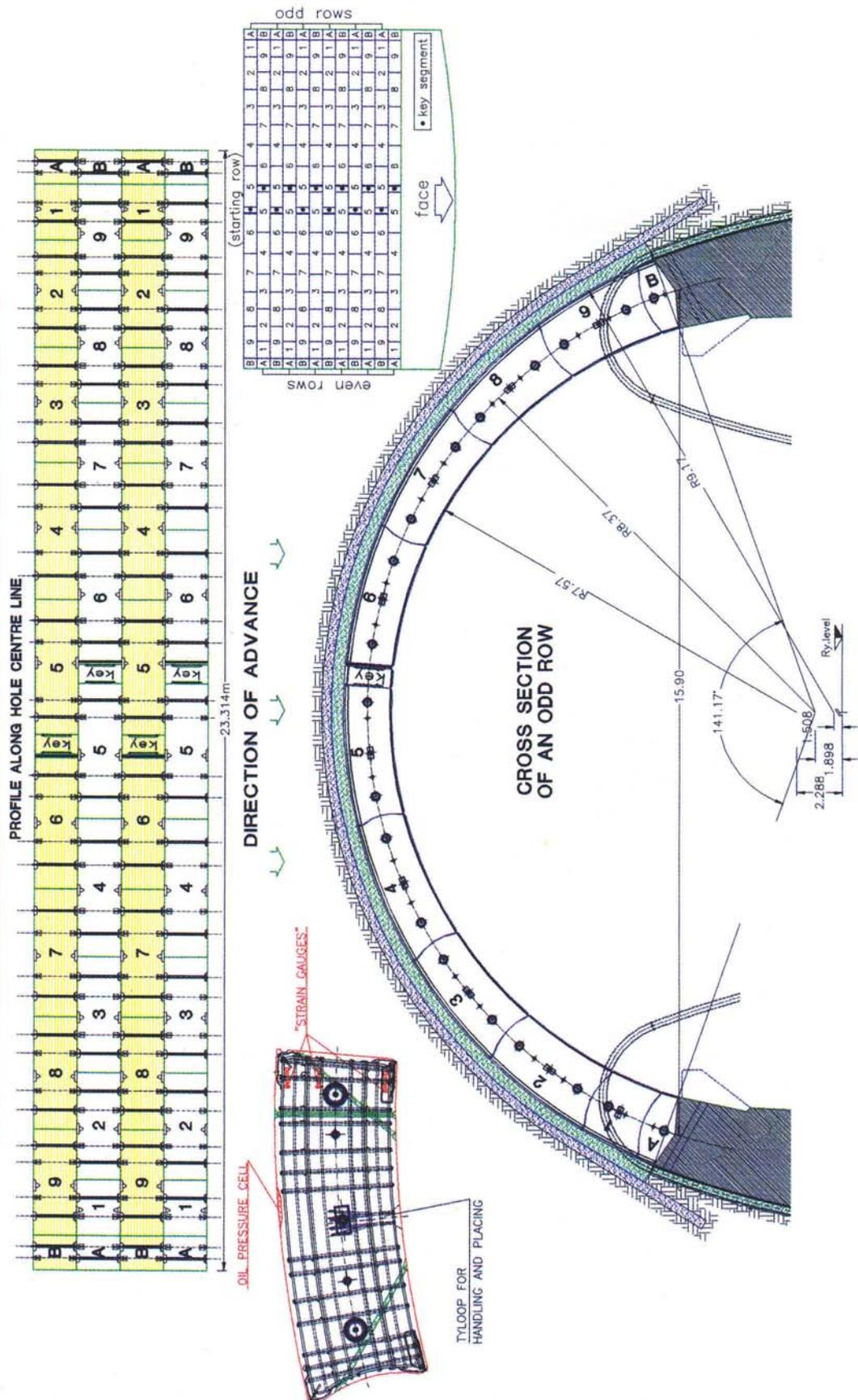


Fig. 17 "Baldo degli Ubaldi" Station-Arch Prefabricated Segment Erection

**ROME UNDERGROUND - "BALDO DEGLI UBALDI" STATION
MONITORING OF STATION TUNNEL TOTAL SUBSIDENCE BUILDING "G"**

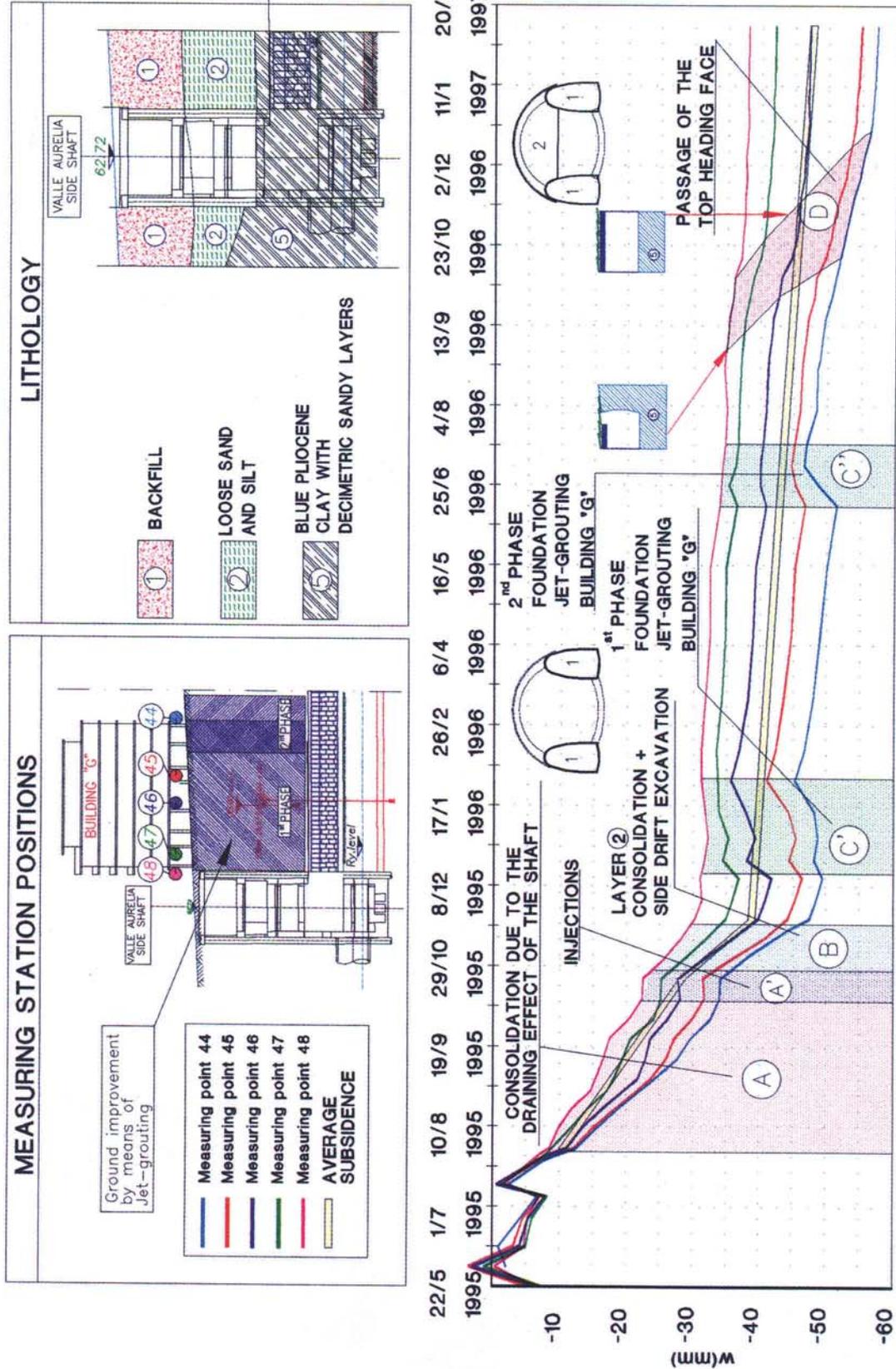


Fig.17 "Baldo degli Ubaldi" Station-Arch Prefabricated Segment Erection

**ROME UNDERGROUND - "BALDO DEGLI UBALDI" STATION
MONITORING OF FACE EXTRUSION
IN THE SIDE AND IN THE CROWN DRIFTS**

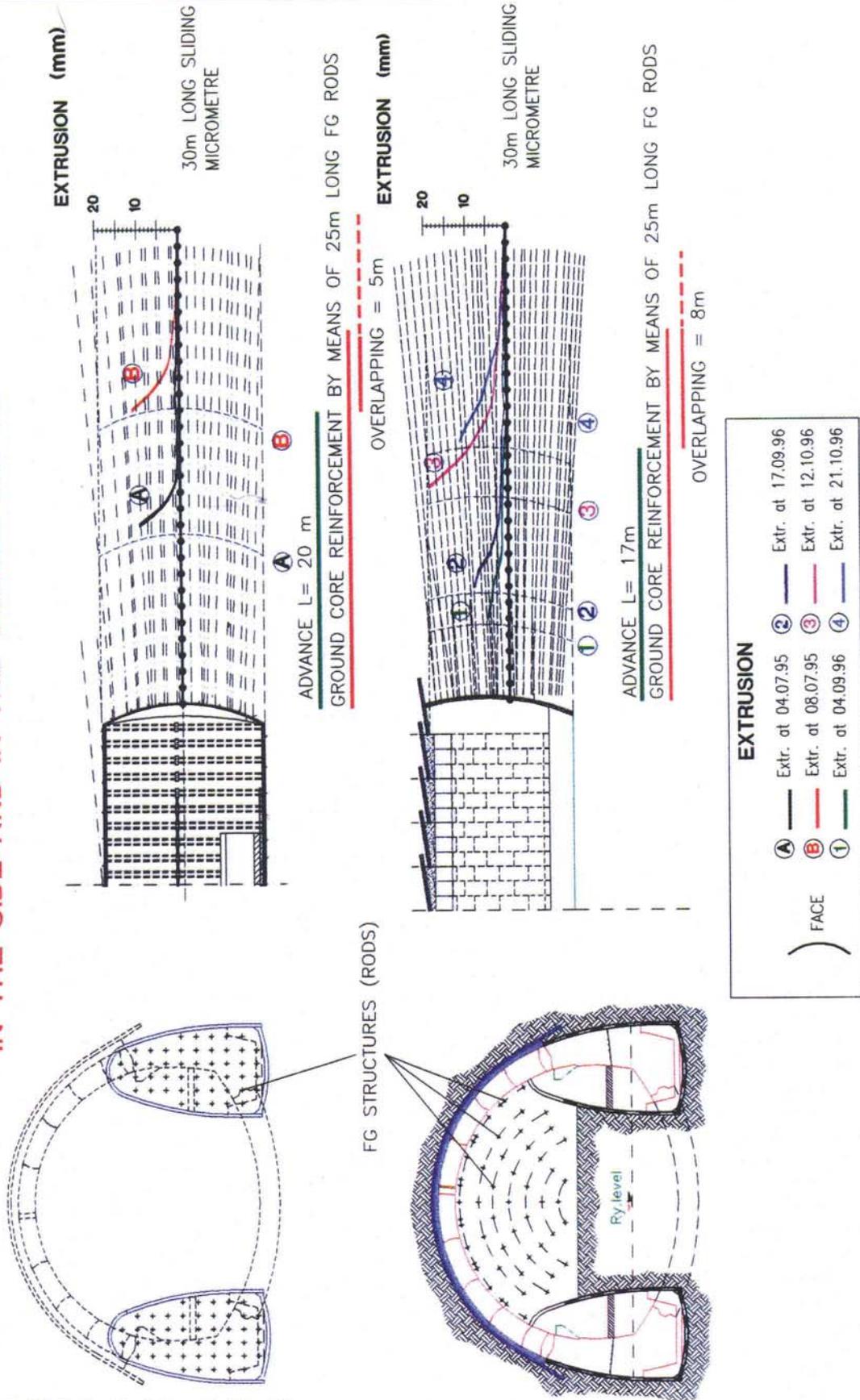


Fig.18 "Baldo degli Ubaldi" Station-Monitoring of Building "G"

Una volta completata la calotta della galleria si è passati all'esecuzione, per campioni, dello scavo di ribasso e al getto dell'arco rovescio (foto 5.3 e 5.4). A seguire, si completerà la precompressione degli archi di rivestimento sino a raggiungere il valore di 360 t, necessario per ottenere il centraggio definitivo delle sollecitazioni instauratesi negli stessi.

La volta così realizzata rimarrà faccia a vista e la sua impermeabilità sarà garantita, oltre che dalle guarnizioni in neoprene opportunamente dimensionate, da iniezioni di miscele impermeabilizzanti eseguite attraverso tubi predisposti all'interno dei conci.

5. Verifica in corso d'opera

Nel caso della Stazione "Baldo degli Ubaldi", la collocazione in ambito urbano rendeva d'importanza fondamentale eseguire, oltre ai consueti controlli sul comportamento tenso-deformativo delle gallerie, il monitoraggio continuo degli effetti delle lavorazioni in corso in termini di subsidenza superficiale.

Di conseguenza, si sono sottoposti ad attento e continuo monitoraggio:

- i movimenti dei fabbricati ubicati nell'area interessata dalle lavorazioni;
- i cedimenti del terreno di fondazione degli stessi;
- la variazione del livello delle falde superficiali e profonde;
- l'estrusione del nucleo al fronte di scavo e la convergenza al contorno delle gallerie;
- l'evoluzione delle sollecitazioni e delle deformazioni all'interno del rivestimento di conci prefabbricati.

Nel seguito si distinguerà, per opportunità, tra misure effettuate durante lo scavo dei pozzi d'accesso e delle gallerie di piedritto e misure eseguite durante lo scavo della calotta e dell'arco rovescio della galleria di stazione.

5.1 Il monitoraggio durante lo scavo dei pozzi d'accesso e delle gallerie di piedritto

In questa fase, lo scopo principale del monitoraggio era controllare l'ampiezza e l'effetto dei fenomeni di subsidenza del terreno sui fabbricati.

Se si esclude l'effetto locale di un accentuato fenomeno di consolidazione dei terreni limo-sabbiosi del paleoalveo adiacenti al fabbricato G - dovuta alle variazioni d'equilibrio idrogeologico indotte dalle lavorazioni per lo scavo del pozzo e prontamente contenuto con un apposito intervento di

confinamento del terreno di fondazione interessato - i valori dei cedimenti misurati in superficie durante la realizzazione delle due gallerie di piedritto non hanno mai superato gli 8 ÷ 10 mm su entrambe le canne (fig. 18). Per quanto riguarda, invece, l'estrusione del fronte, essa è risultata contenuta, nei passaggi più delicati, mediamente entro il centimetro, a fronte dei due considerati ammissibili.

A questo scopo, fondamentale è stato l'effetto del consolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina.

Lo dimostra il fatto che l'estrusione misurata aumentava proporzionalmente al decrescere, in seguito all'avanzamento, della lunghezza residua degli elementi di vetroresina inseriti nel nucleo (vedi fig. 19).

5.2 Il monitoraggio durante lo scavo della calotta e dell'arco rovescio della galleria di stazione

Il progetto di monitoraggio della galleria di stazione prevedeva l'esecuzione di:

- misure d'estrusione topografiche (a fronte fermo) e mediante sliding micrometre di 30 m di lunghezza installati sul fronte;
- misure assestometriche incrementali e inclinometriche per valutare gli spostamenti del terreno in profondità;
- misure piezometriche per controllare le variazioni di livello delle falde.

Contemporaneamente si è proceduto al controllo delle subsidenze e dell'integrità dei fabbricati sovrastanti.

Le misure eseguite mostrano che (figg. 18 e 19):

- le estrusioni cumulative si sono mantenute mediamente su valori di 10 ÷ 15 mm, in funzione della lunghezza residua del consolidamento del nucleo di terreno al fronte, dell'andamento della stratigrafia del terreno soprastante e delle caratteristiche geotecniche locali del materiale scavato;
- la fascia di terreno interessata da movimenti si è estesa, in verticale, per circa 3 ÷ 4 m sopra la calotta della galleria di stazione, con movimenti massimi di 15 ÷ 20 mm durante il passaggio del fronte di scavo;
- il bacino dei cedimenti in superficie è assai contenuto. Questi iniziavano a verificarsi circa 10 m prima dell'arrivo del fronte di scavo. I movimenti in corrispondenza dei fabbricati sono risultati uniformi e conformi alle previsioni, dell'ordine di 6 ÷ 7 mm. I valori maggiori della me-

dia, osservati a prog. 25 ÷ 40 m, sono da addebitarsi a residui del fenomeno di consolidazione dei livelli delle alluvioni recenti. Dall'analisi delle deformazioni misurate in galleria, i cedimenti in superficie sembrano correlati alle estrusioni. Infatti, dove queste sono state maggiori anche i cedimenti sono risultati più importanti. Tra gli scopi del monitoraggio rientrava anche il "collaudo" del sistema costruttivo adottato, essendo questo assolutamente nuovo e all'avanguardia nel campo delle opere in sotterraneo.

A tal fine, si sono eseguite misure di convergenza del guscio di pretaglio e misure di deformazione e di sollecitazione della volta di conci prefabbricati mediante la messa in opera di:

- 3 stazioni primarie (ubicata a 5, 10 e 15 m di distanza dal Pozzo Valle Aurelia), ciascuna composta da:
 - 3 estensimetri a corda vibrante per concio, montati sui nove conci standard, per conoscere lo stato di sollecitazione nella struttura e le modalità di trasmissione della sollecitazione di compressione;
 - 3 celle di pressione a olio montate sui conci 2, 5, 8 all'estradosso della volta, per misurare le pressioni trasmesse tra il terreno e la struttura.
 - 3 stazioni secondarie (ubicata a 36, 60 e 90 m di distanza dallo stesso pozzo), ciascuna composta da:
 - 3 estensimetri a corda vibrante, montati sui conci 2, 5, 8 della volta attiva;
 - 3 celle di pressione a olio, montate sui conci 2, 5, 8.
 - target disposti sui conci per valutare le variazioni di posizione di questi mediante misure laser.
- I risultati forniti da questa strumentazione mostrano:
- valori massimi di abbassamento del guscio di pretaglio dell'ordine di 1 ÷ 1,5 mm;
 - movimenti della volta, in fase di prima compressione, quasi esclusivamente orizzontali e variabili tra un minimo di qualche millimetro a un massimo di 20 mm. All'allontanamento del fronte il rivestimento ha assestamenti inferiori ai 5 mm (sia verticalmente che orizzontalmente verso il centro della sezione di scavo);
 - le sollecitazioni di trazione all'interno della volta di conci prefabbricati risultano nulle già dopo la prima precompressione e permangono eventualmente in misura minima solo in corrispondenza del piedritto.

Riguardo alla fase di scavo dell'arco rovescio (attualmente in corso), vengono misurati gli spostamenti verticali e orizzontali subiti dai piedritti.

Dopo lo scavo dei primi campioni, rispettivamente di 7 e di 5 m di lunghezza, si sono registrati valori dell'ordine del millimetro, inferiori a quelli calcolati. Per adesso non si sono osservate variazioni significative nelle altre grandezze monitorate (cedimenti in superficie, livello della falda, ecc.).

6. Conclusioni

Si sono illustrate le problematiche progettuali e costruttive della Stazione sotterranea "Baldo degli Ubaldi", attualmente in fase di realizzazione per il prolungamento della linea A della metropolitana di Roma.

Si tratta di una grande galleria a volta unica di 21,5 m di luce per 16 d'altezza, da scavare a circa 25 m di profondità in condizioni tenso-deformative difficili, in prossimità di importanti edifici civili e sotto vincoli particolarmente re-

strittivi. Per realizzarla si è progettato un nuovo sistema costruttivo, che coniuga il preconsolidamento del nucleo d'avanzamento con elementi strutturali di vetroresina e la tecnologia del pretaglio meccanico (per la prima volta al mondo applicata su una luce di 21,5 m) con il principio della "volta attiva", in modo da conseguire l'attivazione del rivestimento definitivo della galleria a meno di 3 m di distanza dal fronte, riducendo enormemente ogni rischio di cedimenti in superficie.

I lavori, iniziati alla fine del 1992, sono in fase molto avanzata: il sistema evidenzia un eccellente funzionamento, avendo permesso di tenere, sino a oggi, produzioni superiori alla media per questo genere di opere e di terreni scavati.

I cedimenti in superficie, se si esclude quello avvenuto per consolidazione del terreno presso il Pozzo Valle Aurelia e prontamente contenuto, sin'ora sono risultati assai ridotti ed inferiori a quelli previsti dal calcolo.

Bibliografia

- [1] LUNARDI P., "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - Parte prima: Presostegno e precontenimento", Quarry and Construction, marzo 1994
- [2] LUNARDI P. "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - Parte seconda: Ruolo e risultati della ricerca sperimentale", Quarry and Construction, marzo 1995
- [3] LUNARDI P., "L'importanza del precontenimento del cavo in relazione ai nuovi orientamenti in tema di progetto e costruzione di gallerie", Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 45 marzo 1995
- [4] LUNARDI P. "Progetto e costruzione di gallerie secondo il metodo basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli" - Parte terza: Proposta del nuovo approccio. Quarry and Construction, aprile 1996. ••