

Un nuovo sistema costruttivo per la realizzazione di gallerie  
di grande luce in terreni sciolti: l'“arco cellulare”

*Pietro Lunardi*

# Un nuovo sistema costruttivo per la realizzazione di gallerie di grande luce in terreni sciolti: l'"arco cellulare"

Pietro Lunardi\*

## SOMMARIO

L'apertura di una cavità in terreni sciolti, se spinta oltre una certa luce di scavo, non è realizzabile con le metodologie tradizionali, specie se la copertura è ridotta come nel caso delle stazioni metropolitane, perché non è possibile ottenere un consolidamento del terreno al contorno del cavo sufficiente per omogeneità e resistenza.

L'"arco cellulare" è una nuova metodologia costruttiva, ideata dallo scrivente, che consente di superare le difficoltà mediante la realizzazione dell'intera struttura portante, di contenimento del terreno e di rivestimento della cavità, ancor prima dello scavo. Questa metodologia si sta applicando per la prima volta per la realizzazione della stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano, attualmente in corso di costruzione. La stazione, quando sarà ultimata, avrà un diametro esterno di 28,80 m ed una copertura di terreno incoerente di soli 4 m sotto l'abitato urbano.

## SOMMAIRE

### Une nouvelle méthodologie constructive pour la réalisation de grandes cavités en terrains meubles: l'"arc cellulaire".

La réalisation d'une cavité en terrains meubles, au-delà de normales ouvertures de creusement, n'est pas praticable avec les méthodologies traditionnelles, surtout si le recouvrement est réduit comme dans les cas de stations de métro.

Cela est dû principalement à deux raisons:

- il n'est pas possible d'obtenir une consolidation homogène du terrain autour de l'excavation avec une résistance suffisante en relation à l'état de forte tension provoquée par le creusement;
- la structure du pré-revêtement apparaît excessivement déformable.

La méthodologie de l'"arc cellulaire" permet de dépasser ces difficultés au moyen de la réalisation de l'ensemble de la structure porteuse, du maintien du terrain et du revêtement de la cavité avant même d'effectuer le creusement. Elle a été conçue par l'Auteur pour la réalisation de la "Gare Venezia" du Passante Ferroviario à Milan, une liaison souterraine du chemin de fer, dont la cavité aura un diamètre externe de 28.80 m, avec une recouvrement du terrain meuble de seulement 4 m.

Les phases de réalisation de la gare avec cette nouvelle technologie sont:

- a) consolidation, à partir d'une galerie centrale de service, du terrain alentours des tunnels latéraux;
- b) creusement en deux phases des tunnels latéraux et achèvement de la consolidation du terrain sur tout le périmètre de l'excavation, puis bétonnage des piédroits en b.a.;
- c) réalisation à partir d'un puits de poussée, avec la méthode du pousse-tube, de 10 micro-tunnels constitués par des tuyaux en b.a. de 2.1 m de diamètre;
- d) creusement de tunnels de liaison entre les microtunnels et entre ceux-ci et les tunnels latéraux. Ces liaisons constituent le coffrage dans lequel seront réalisées les arcs cellulaires;
- e) armature et bétonnage des arcs et des micro-tunnels;
- f) creusement en plusieurs phases du tunnel principal et exécution en parallèle des finitions superficielles de la voûte;
- g) creusement et bétonnage du radier.

Avant d'adopter cette méthodologie de travail, dans le but d'en vérifier la possibilité de réalisation et de mettre au point tous les aspects de construction, on a effectué une expérimentation complexe, pendant laquelle on a enfoncé dans le terrain consolidé avec des intensités différentes, trois séries d'éléments circulaires en b.a.

Pendant l'essai on a effectué des mesures de déformation sur le terrain alentours, des essais de dilatomètre, de charge sur plaque de l'intérieur des tuyaux, et de carottage sonique.

L'essai est terminé par la simulation de la réalisation de deux arcs de liaison entre les tuyaux.

L'expérimentation a donné un résultat positif et a permis de dissiper toute réserve sur la possibilité de réalisation de la méthode, dont est maintenant en cours la première "vritable" application sur le tunnel de la "Gare Venezia".

Actuellement sont achevés:

- le puits de poussée de dimensions 10 x 20 m, réalisé en Viale Regina Giovanna sans interrompre la circulation;
- la galerie centrale de service;
- le deux galeries laterales.

L'enfoncement des tuyaux est en phase d'achèvement, avec une production quotidienne d'environ 8 m/jour. On a jusqu'ici constaté le déroulement régulier des phases de enfoncement en relevant des secousses plaoaltimétriques maximales d'environ 2 cm.

Aucun affaissement constaté en surface.

\* Prof. Ing. Pietro Lunardi - Università di Parma.

## SYNOPSIS

### A new large span tunnels construction method in non cohesive soil: the "cellular arch".

The excavation of cavities in loose ground, exceeding a certain dimension, are not feasible using traditional methods, especially if the overburden is small, as often takes place in underground railway stations.

This is mainly due to the following reasons:

- it is not possible to consolidate the ground around the cavity in such a way as to sufficiently guarantee homogeneity and resistance as compared with the high state of stress caused by the excavation;
- pre-lining structures are too flexible.

The "Cellular Arch" method allows these difficulties to be overcome by creating the complete earth supporting structure and cavity lining even before the excavation is started. This method has been devised by the Author for constructing the "Venezia" Station of the Milan Railway Link which, when completed, will have an inside diameter of 28.80 m and only 4 m loose soil overburden.

The development phases of the Station using this new method are the following:

- a) consolidation, from a central service trench duct, of the ground along the perimeter of the side tunnels;
- b) two-steps excavation of the side tunnels and completion of ground consolidation along the perimeter of the station tunnel, followed by concrete pouring of the posts;
- c) jacking, from a thrust shaft, of 10 micro tunnels consisting of reinforced concrete 2.1 m diameter pipe segments;
- d) excavation of drifts connecting the micro tunnels, and the side tunnels. These drifts will constitute the formwork within which the cellular arches will be constructed;
- e) steel reinforcing and concrete pouring of the arches and micro tunnels;
- f) excavation of the station tunnel in several phases and simultaneous finishing of the vault;
- g) excavation and casting by sections of the invert.

Before applying the method, complex experiments were carried out by driving into the ground, consolidated at various strengths, three sets of r.c. circular members: the tests had the aim of verifying the feasibility and of perfecting all the construction details.

During the tests, measurements were performed of the surrounding soil movements in addition to dilatometer tests, plate loading tests from the inside of the tubes and sonic coring.

The tests have been completed by simulating building two arches connecting the tubes.

The experiment gave positive results, and allowed any reserves on feasibility to be removed, with the result that currently the first "real" application is under construction, in the Porta Venezia tunnel station.

The following structures have been completed to date:

- the thrust shaft, 10 x 20 m in plan, excavated in Viale Regina Giovanna, without any traffic disruption;
- the central service drift;
- the two post-tunnels.

Pipes jacking is currently undergoing completion; it is achieved with an average daily pace of 8 m per day.

To date, jacking is proceeding regularly, with maximum deviation of about 2 cm both vertically and/or horizontally. No surface settlement has been detected.

## PREMESSA

Se la realizzazione di scavi a foro cieco di grande dimensione ( $\varnothing > 15$  m) comporta normalmente problemi progettuali e costruttivi non comuni, ciò è dovuto principalmente all'entità delle masse di terreno mobilitate dallo scavo ed alla difficoltà, in fase operativa, tenuto conto della scala delle sezioni in gioco, di controllare qualsiasi tipo d'instabilità. Da questa considerazione deriva la necessità, da parte di chi si accinge a progettare e costruire una cavità di grandi dimensioni, di conoscere a fondo la natura dei terreni per poterne prevedere, in fase di diagnosi, la risposta deformativa allo scavo e per poter programmare, in fase di terapia, le fasi, le cadenze, i sistemi di scavo e gli interventi di stabilizzazione necessari a garantire l'autoportanza del cavo a breve ed a lungo termine. In particolare dovrà essere tenuto ben presente come la canalizzazione del flusso di tensioni deviato dall'apertura della cavità ("effetto arco") possa essere controllata attraverso la scelta delle fasi di scavo e degli interventi di stabilizzazione e, di conseguenza, come la deviazione del flusso possa essere pilotata con i medesimi strumenti (fasi di scavo e strumenti di stabilizzazione) nelle diverse situazioni geostutturali e geomeccaniche dei terreni in gioco.

Tenuto conto poi che una galleria risulterà tanto più stabile quanto più l'"effetto arco", compatibilmente con la resistenza del mezzo, riesce a mobilitarsi vicino alle pareti di scavo, si dovrà allora operare affinché in ogni caso la canalizzazione delle tensioni avvenga in un terreno dotato di resistenza sufficiente a garantire che le sollecitazioni e le relative deformazioni si evolvano in campo elastico.

Si possono configurare, a questo punto, tre diverse situazioni:

- a) l'"effetto arco" si mobilita in corrispondenza al profilo di scavo: se la resistenza e la deformabilità del terreno saranno sufficienti a garantire una risposta elastica agli stati di coazione indotti dall'apertura del cavo, la stabilità sarà garantita con la mobilitazione dell'"effetto arco" vicino alla cavità;
- b) l'"effetto arco" si mobilita lontano dal profilo di scavo: se il terreno reagisce anelasticamente agli stati di coazione indotti, il fenomeno di plasticizzazione che s'innescia al contorno della cavità, per poi propagarsi radialmente, produce lo spostamento della canalizzazione delle tensioni più all'interno dell'ammasso, ove lo stato tensionale di tipo triassiale risulta compatibile con le caratteristiche di resistenza del terreno; l'"effetto arco", che tende così a prodursi lontano dal profilo di scavo, potrà essere richiamato verso il cavo o per lo meno arrestato solo attraverso la realizzazione di adeguati interventi di stabilizzazione dell'anello di terreno plasticizzato;
- c) l'"effetto arco" non riesce a mobilitarsi. È il caso dei terreni incoerenti o sciolti, in cui l'"effetto arco", non riuscendo a formarsi per via naturale come ai casi a) e b), deve essere prodotto per via artificiale.

Se la cavità da realizzare ha sufficiente copertura ( $H > \varnothing/2$ ) da consentire l'impiego delle tradizionali tecniche di consolidamento (iniezioni a bassa pressione, jet-grouting, ecc.), una fascia di terreno trattato di adeguato spessore potrà garantire la corretta canalizzazione delle tensioni al contorno al momento dell'apertura del cavo e, di conseguenza, la mobilitazione artificiale dell'"effetto arco" in prossimità della calotta. Se d'altra parte le coperture sono talmente ridotte ( $H < \varnothing/2$ ) da imporre una limitazione delle pressioni d'iniezione e quin-

di da impedire la realizzazione di consolidamenti con funzione statica al contorno del cavo, diventa imperativo ricorrere a sistemi costruttivi diversi.

A parte le tecniche di "scavo a cielo aperto" (fig. 1), non sempre attuabili specie in area urbana, sino ad oggi l'unico sistema disponibile per costruire a foro cieco grandi cavità corticali è stato il "sistema Anversa", adottato per la prima volta negli anni '70 per la costruzione di alcune gallerie della metropolitana nell'omonima città. Esso consiste nell'infiggere nel terreno, su un piano orizzontale, con il metodo dello spingitubo, una serie di tubi affiancati. Successivamente essi vengono armati e riempiti di calcestruzzo, mentre il terreno intorno viene trattato in modo da ottenere una piastra monolitica sotto cui iniziare i lavori di scavo (fig. 1). Con questo sistema fino ad oggi sono state realizzate, in terreno sciolto, gallerie di luce massima non superiore a 15 m. Oltre questa luce i tubi, che lavorano come travi appoggiate agli estremi, diventano eccessivamente deformabili ed i cedimenti in superficie diventano incompatibili con i vincoli generalmente imposti nelle aree urbane.

In alternativa al "sistema Anversa", l'unica strada che oggi appare percorribile sembra quella di realizzare, all'interno del terreno, un arco portante prefabbricato (di consistenza superiore a quella del terreno consolidato) prima ancora di procedere allo scavo vero e proprio della galleria.

Da questa considerazione è scaturita l'idea dell'"arco cellulare", un nuovo sistema costruttivo ideato e messo a punto dallo scrivente, che consente di aprire a foro cieco ed a piena sezione gallerie di dimensioni finora impensabili ( $\varnothing > 20$  m) in terreni incoerenti o semicoerenti a fronte di coperture anche inferiori al raggio di scavo.

## L'ARCO CELLULARE

L'"arco cellulare" (figg. 2 e 3) è una struttura composta assimilabile ad un graticcio a sezione semicircolare i cui elementi longitudinali (celle) sono costituiti da tubi in c.a. resi collaboranti da una serie di grosse centine trasversali (archi).

Sotto il profilo costruttivo è interessante sottolineare come questa struttura nasca dall'assemblaggio coordinato di tecnologie tutte già note ed ampiamente sperimentate.

Il sistema dell'"arco cellulare" rappresenta, infatti, una evoluzione del "sistema Anversa" già descritto: invece di utilizzare i tubi in modo da formare una piastra, prevede di infiggerli orizzontalmente nel terreno, secondo un profilo sub-circolare, in direzione longitudinale all'asse della futura galleria, e di irrigidire la struttura con collegamenti ad arco trasversali, che costituiscono la struttura portante principale, posti ad interasse adeguato (fig. 4). Si forma così, ancor prima di scavare la galleria, un graticcio semicilindrico di c.a. capace di garantire la perfetta canalizzazione delle tensioni al contorno del cavo, generando artificialmente l'"effetto arco" indispensabile per la stabilità a breve ed a lungo termine dell'opera da scavare.

La realizzazione pratica dell'"arco cellulare" avviene in 9 fasi principali (vedi figg. 4 e 5):

a) da una galleria di servizio, praticata in asse alla galleria finale, si eseguono preconsolidamenti sistematici del terreno al contorno delle future gallerie di piedritto ed eventualmente lungo l'arco di volta. È da notare che il preconsolidamento in corrispondenza alla calotta della galleria ha lo scopo di conferire una leggera coesione al terreno e può non essere eseguito in molti tipi di materiale;

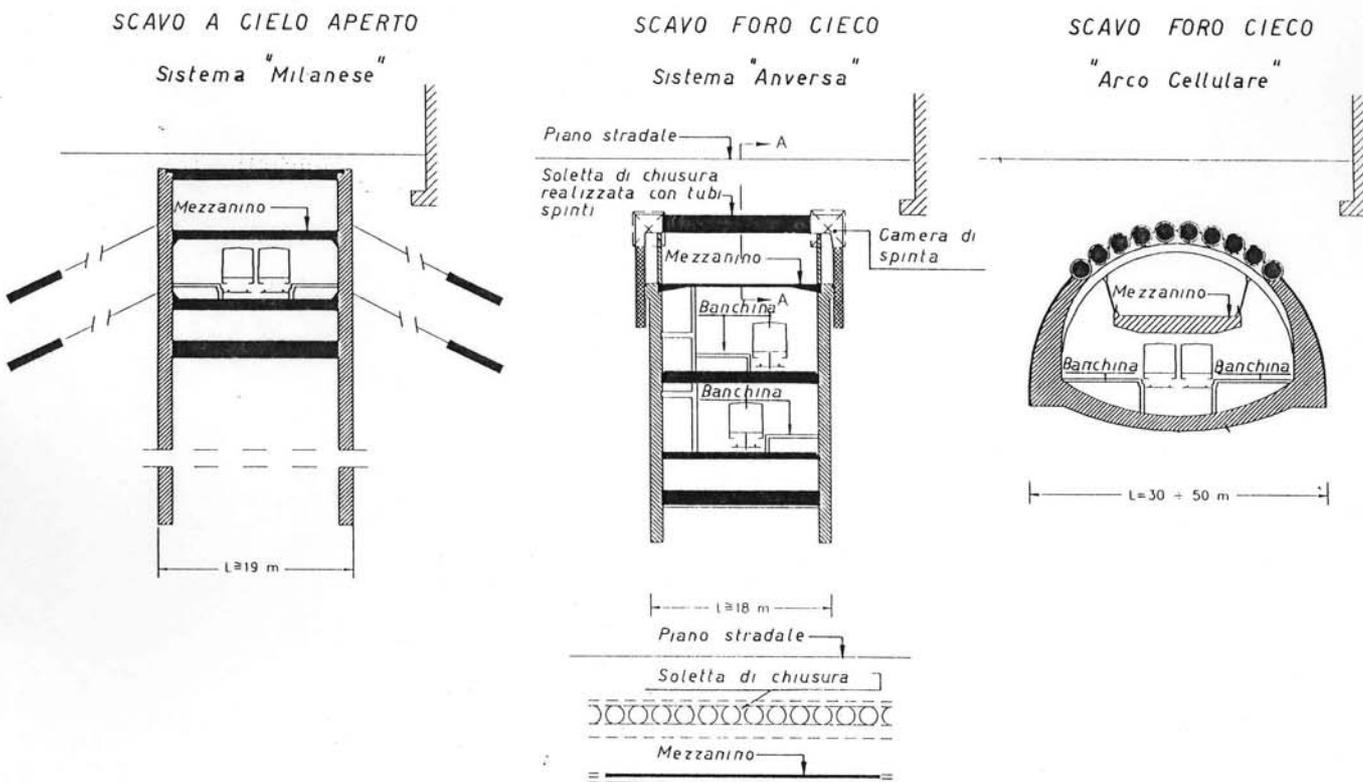


Fig. 1  
 Evoluzione dei sistemi costruttivi per grandi cavità metropolitane: scavo a cielo aperto, "Sistema Anversa", "arco cellulare".  
 Evolution des systèmes de construction pour les grandes cavités souterraines: creusement "à ciel ouvert", "Système Anvers", "Arc Cellulaire".  
 The evolution of construction systems for large metropolitan cavities: cut and cover method, "Antwerp System", "Cellular Arch".

ARCO CELLULARE

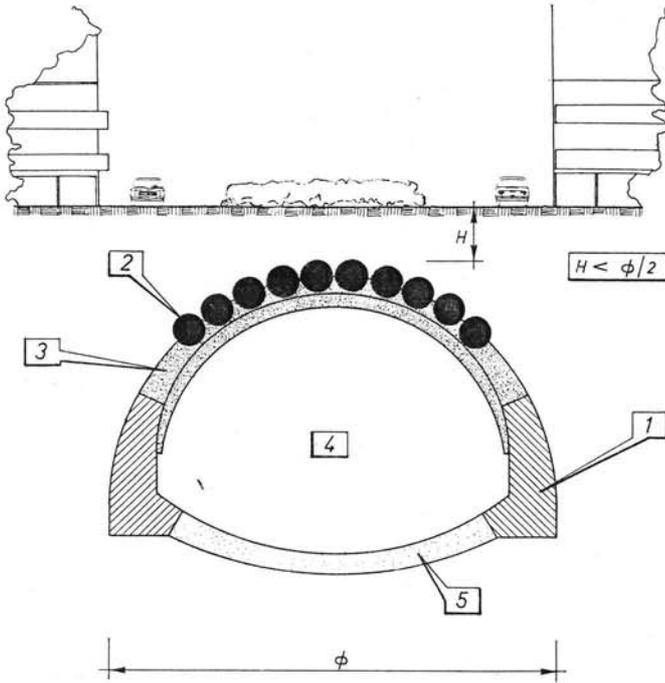


Fig. 2  
 Sintesi delle fasi esecutive dell'"arco cellulare": 1) getto dei piedritti; 2) infissione dei tubi prefabbricati; 3) getto dell'arco di calotta; 4) scavo; 5) getto dell'arco rovescio.  
 Synthèse des phase exécutives de l'"Arc Cellulaire": 1) bétonnage des piédroits; 2) enfoncement des tuyaux préfabriqués; 3) bétonnage de l'arc de calotte; 4) creusement; 5) bétonnage du radier.  
 Synthesis of the executive phase of the "Cellular Arch": 1) casting the posts; 2) jacking the precasted pipes; 3) casting the roof arch; 4) excavation; 5) casting the invert.

ARCO CELLULARE - Fasi esecutive

- 1) Infissione tubi.
- 2) Taglio tubi e scavo arco cellulare.
- 3) Casseratura, armatura e getto arco.
- 4) Getto tubi e scavo della galleria.

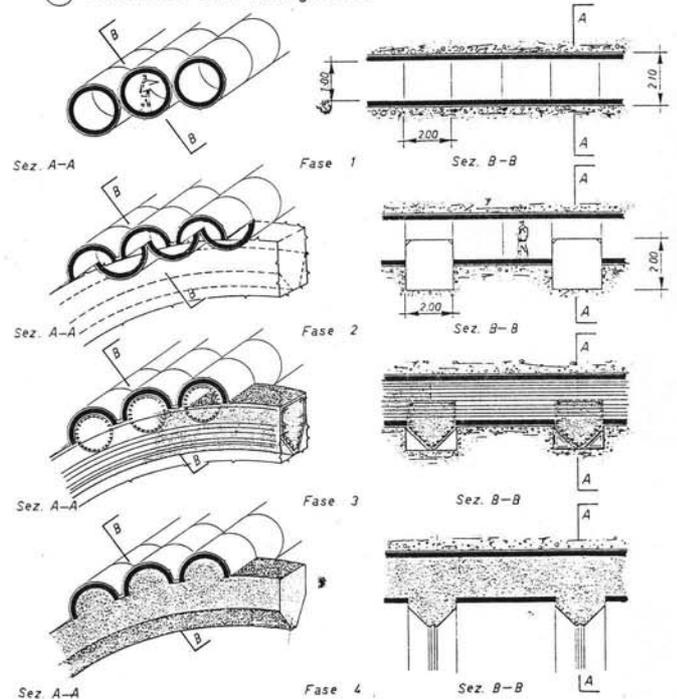


Fig. 3  
 Particolari costruttivi delle "celle" e degli "archi".  
 Détails de la construction de "cellules" et des "arcs".  
 Constructional details of the "cells" and "arches".

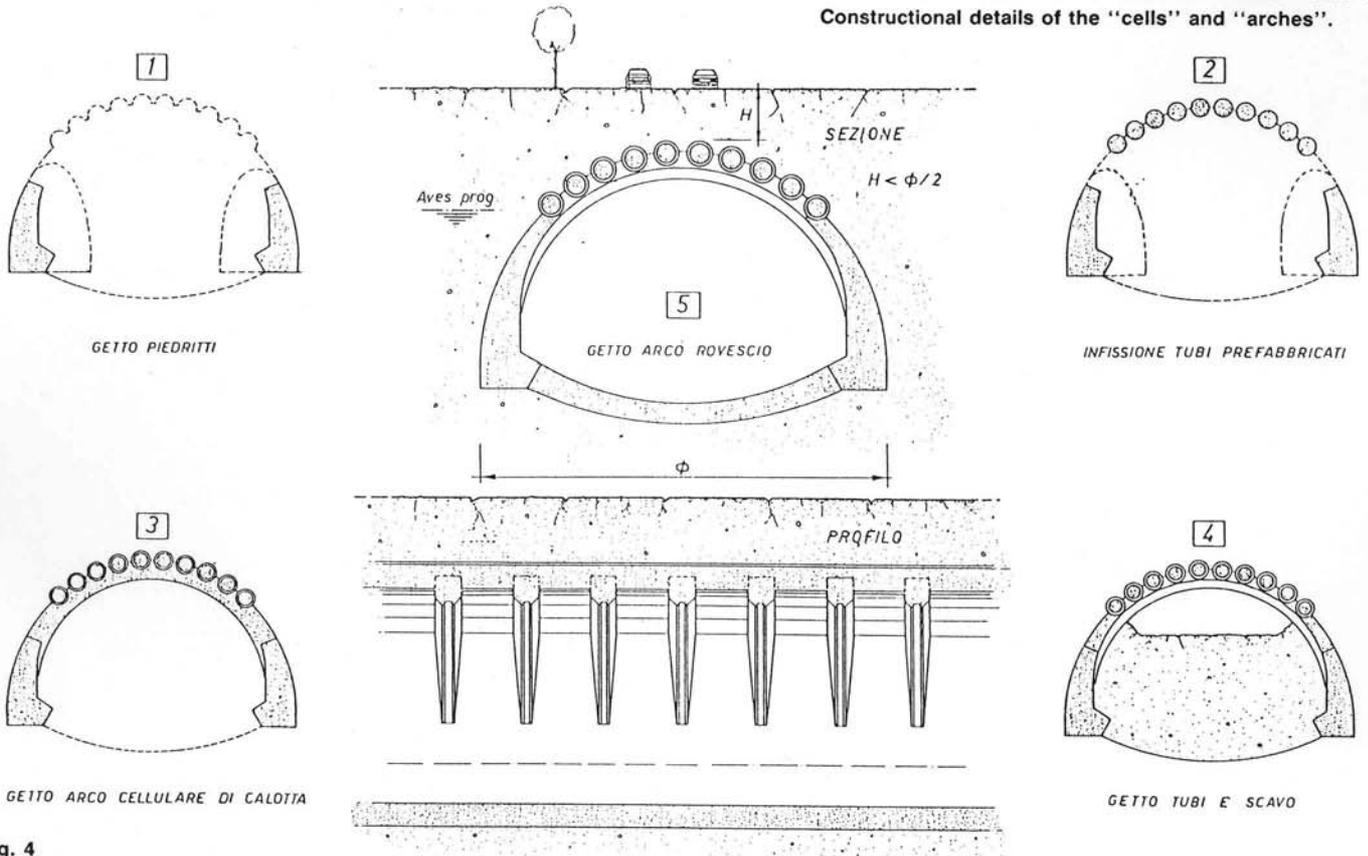


Fig. 4  
 Fasi esecutive dell'"arco cellulare".  
 Phases exécutives de l'"Arc Cellulaire".  
 Executive phases of the "Cellular Arch".

ARCO CELLULARE  
 (Fasi esecutive)

Questa, tecnica già ampiamente sperimentata con successo per le gallerie di linea ( $\varnothing = 8.80$  m) e per cavità di luce maggiore con sufficiente copertura ( $H > \varnothing/2$ ), risultò invece, a seguito di una prima serie di verifiche eseguite col metodo degli elementi finiti, non in grado di garantire, in questo caso particolare, una sufficiente sicurezza nei riguardi della stabilità dello scavo e del controllo dei cedimenti superficiali. La simulazione numerica evidenziò infatti la formazione di ampie zone di terreno plasticizzato al momento dello scavo della calotta ed il raggiungimento di valori assai elevati per i cedimenti superficiali, del tutto incompatibili con il mantenimento della funzionalità delle strutture e dei sottoservizi preesistenti. La causa di ciò è da attribuirsi all'impossibilità di poter realizzare un adeguato spessore di terreno consolidato nella zona di calotta, date le ridotte coperture ed il conseguente scarso confinamento del terreno, ed all'eccessiva deformabilità del perinvestimento.

La fig. 6 mostra comparativamente la geometria e i consolidamenti eseguiti per la galleria di linea e per la Stazione Venezia. In essa, in particolare, è riportata la sagoma della Stazione realizzata col metodo dell'"arco cellulare", a cui si è ricorso per superare le problematiche precedentemente esposte.

La figura 7 mostra un modello dell'"arco cellulare" costruito mediante elaboratore elettronico.

Le analisi agli elementi finiti eseguite per la galleria di stazione realizzata con il sistema dell'"arco cellulare" (vedi fig. 8) dimostrarono la validità della scelta progettuale in quanto, nel corso di tutti i 14 passi di calcolo corrispondenti alle varie fasi operative, non veniva evidenziata alcuna plasticizzazione importante del terreno ed i cedimenti superficiali calcolati non superavano il valore di qualche millimetro.

Confortati da questo risultato, prima di procedere nell'applicazione del sistema per la realizzazione della Stazione vera e propria, si ritenne opportuno approfondirne lo studio e la messa a punto eseguendo una prova, in scala reale, di infissione di tre tubi, in un terreno consolidato con diversa intensità, e del loro collegamento a mezzo di segmenti di arco, previa demolizione parziale dei tubi stessi (foto 1). La prova venne strumentata con estensimetri incrementali per il rilevamento delle deformazioni del terreno durante le varie fasi di lavoro, in modo che potesse costituire anche un'utile verifica alle incertezze del modello numerico non sempre sufficientemente attendibile nella sua bidimensionalità.

La sperimentazione permise di acquisire la certezza che il disturbo provocato al terreno dalle suddette operazioni, è praticamente inesistente. I massimi cedimenti superficiali misurati risultarono inferiori al millimetro.

Forti dell'esperienza maturata con la sperimentazione, si sono quindi iniziati i lavori per l'esecuzione vera e propria della stazione "Venezia".

Si è scavato ed attrezzato il pozzo di spinta per l'infissione dei tubi, ubicato in viale Regina Giovanna, previo montaggio di tre ponti prefabbricati in acciaio per garantire la continuità del traffico stradale e tranviario (fig. 9). Si è poi realizzato un cunicolo di servizio, lungo l'asse della futura stazione, da dove si sono lanciati leggeri preconsolidamenti del terreno per una fascia comprendente la zona dei tubi e degli archi (foto 2). L'infissione dei tubi di cemento armato, che misurano 210 cm di diametro esterno e 180 cm di diametro interno, è attualmente in fase di completamento ed è avvenuta con produzioni medie giornaliere di circa 8 m (foto 4).

Le gallerie di piedritto sono già state ultimate e sono ora in corso i getti per la realizzazione dei piedritti della stazione (foto n. 3 e 5).

I lavori stanno tuttora procedendo senza imprevisti o difficoltà particolari e si prevede che saranno ultimati prima del 1991.

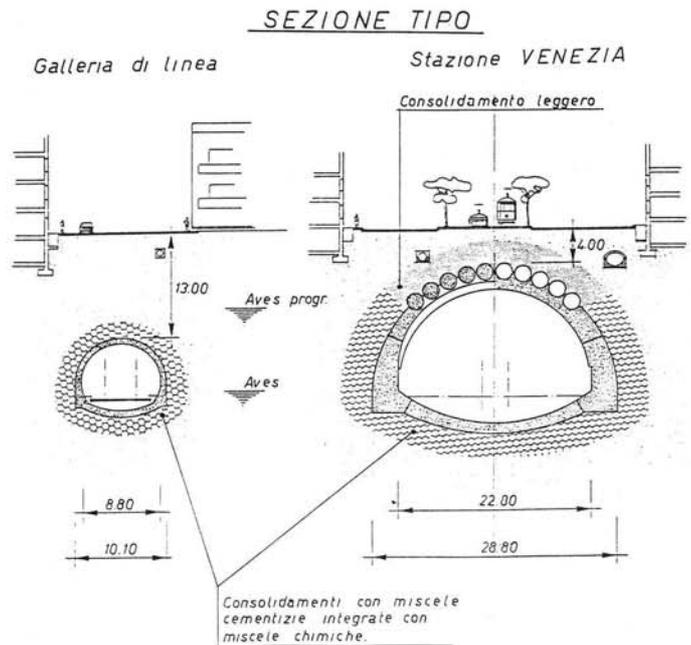


Fig. 6 Passante Ferroviario di Milano: sezioni tipo di una galleria di linea e della galleria di stazione "Venezia".

Gare du "Passante Ferroviario" de Milan: sections type d'un tunnel de ligne et du tunnel de la "Gare Venezia".

The Milan Railway Link: typical section of a route tunnel and of the "Venezia" station tunnel.

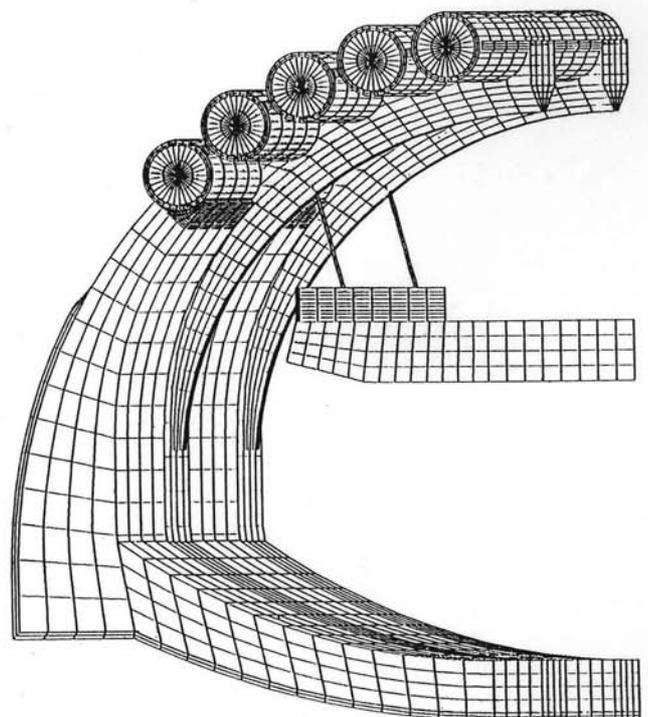


Fig. 7 Modello tridimensionale dell'"arco cellulare" ottenuto mediante elaboratore.

Modèle tridimensionnel de l'"Arc Cellulaire" obtenu par ordinateur. CAD three dimensional model of the "Cellular Arch".

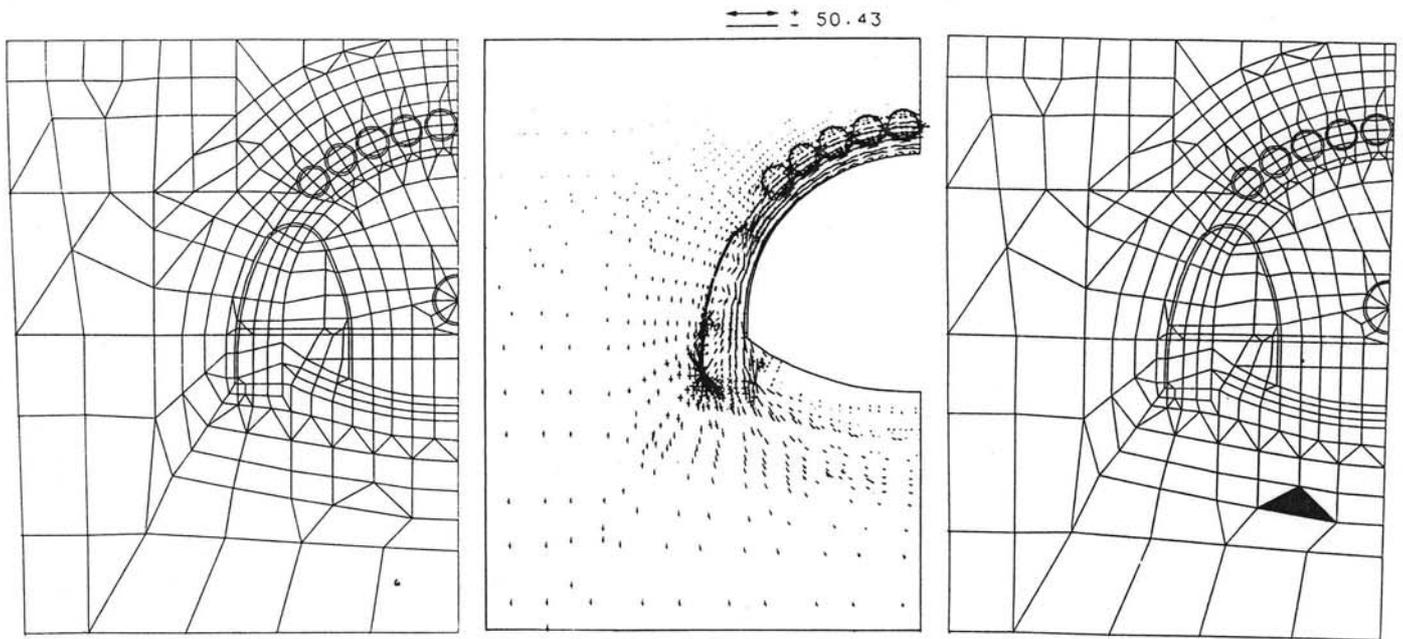


Fig. 8

Esempi di output grafico dei calcoli eseguiti con un programma per elaboratore agli elementi finiti non lineari: particolare della maglia utilizzata, tensioni principali ed elementi plasticizzati dopo il getto dell'arco rovescio.

Exemples de production graphique des calculs effectués avec un programme pour ordinateur aux éléments finis non linéaires: détail de la maille utilisée, tensions principales et éléments plastifiés après le bétonnage du radier.

Examples of graphic output of finite non-linear elements calculations: details of the mesh used, as well of the principal stresses and of the yielded elements, after invert casting.

### POZZO SPINGITUBO

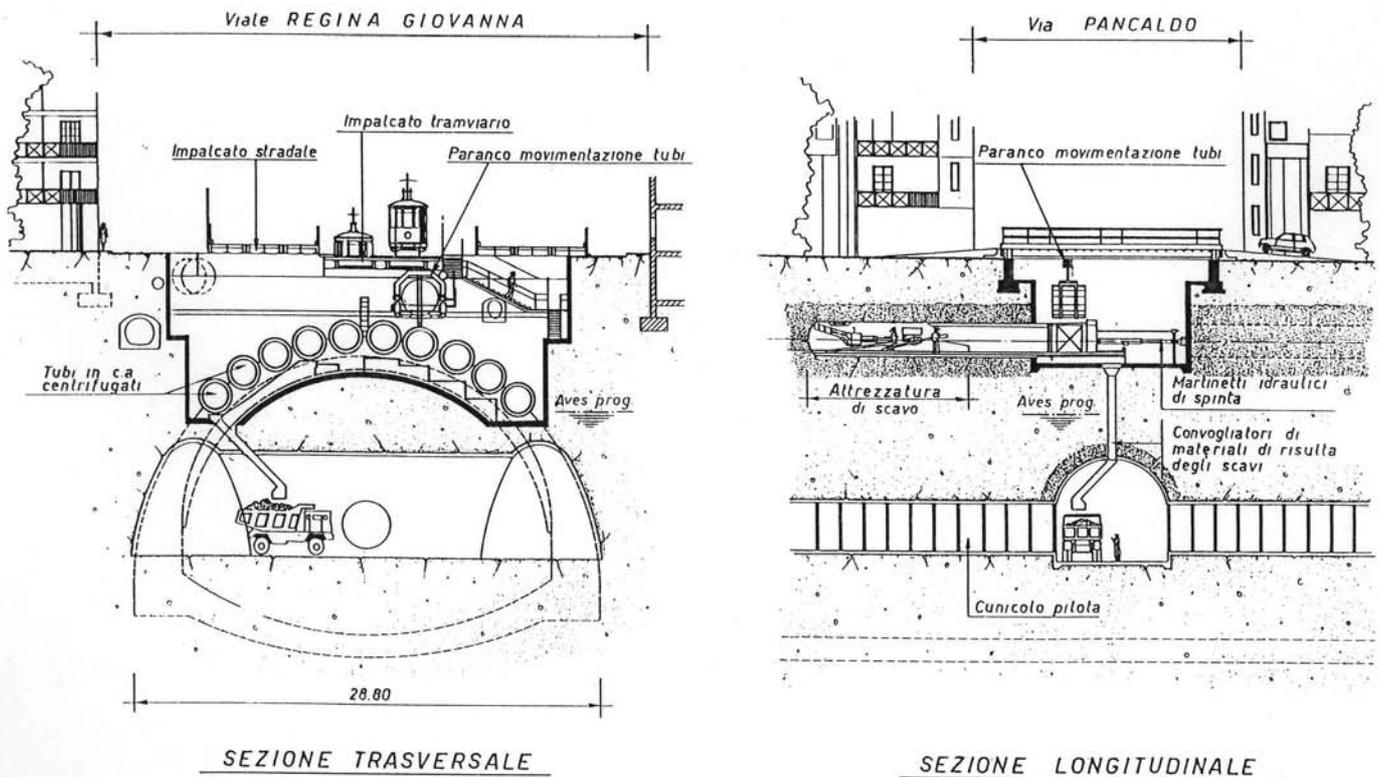


Fig. 9

Sezioni trasversale e longitudinale del pozzo da dove avviene l'infissione dei tubi.

Sections transversale et longitudinale du puits pour l'enfonçage des tuyaux.

Longitudinal and cross sections of the thrust shaft used for pipes jacking.

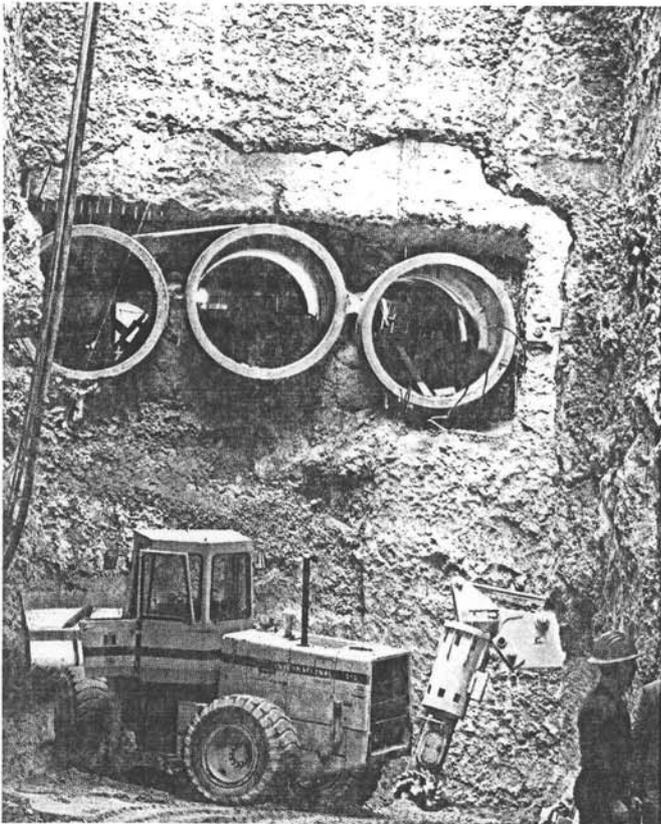


Foto 1  
 Stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano: campo prove, risultato dopo l'infissione dei tubi in scala reale.  
 "Gare Venezia": terrain d'essai, résultat après l'enfoncement des tuyaux en échelle réel.  
 The "Venezia" Station of the Milan Railway Link: tests field, result after jacking of the pipes at real scale.

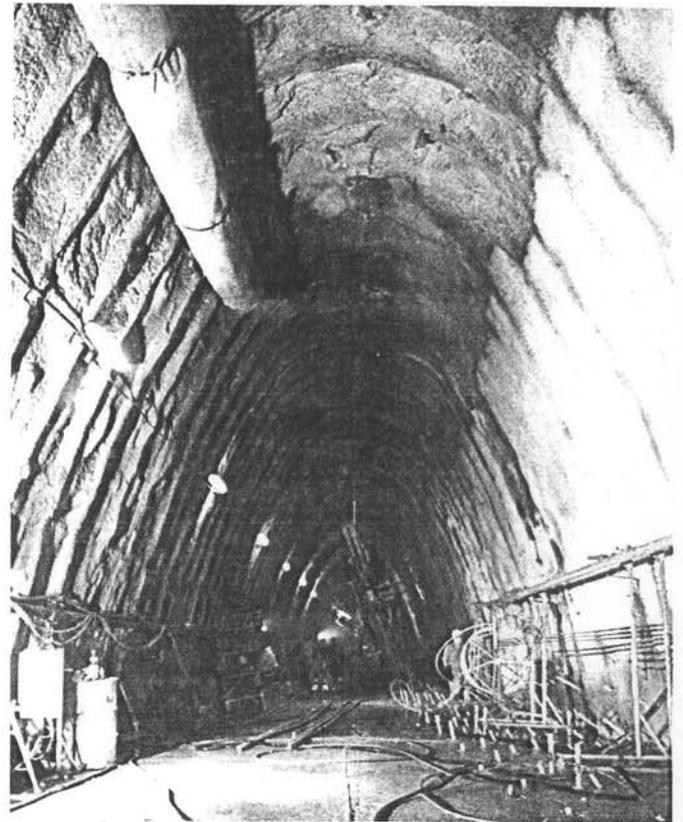


Foto 3  
 Stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano: galleria di piedritto prima del ribasso.  
 "Gare Venezia": tunnel de piédroit avant l'abaissement.  
 The "Venezia" Station of the Milan Railway Link: the post-tunnel before lowering.

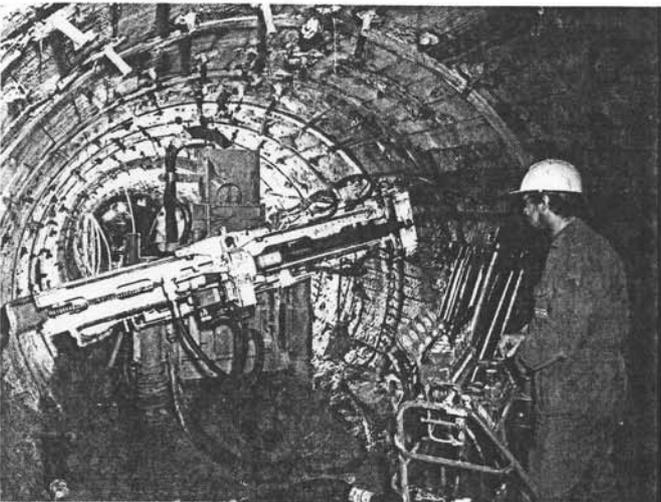


Foto 2  
 Stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano: cunicolo centrale di servizio, preconsolidamento del terreno in corrispondenza alla calotta ed all'arco rovescio della futura galleria mediante iniezioni cementizie.  
 "Gare Venezia": galerie centrale de service, pré-consolidation du terrain en correspondance de la voute et du radier du futur tunnel par injections de coulis de ciment.  
 The "Venezia" Station of the Milan Railway Link: central service drift, initial ground consolidation by cement grouting in the crown and in the invert areas of the future tunnel.

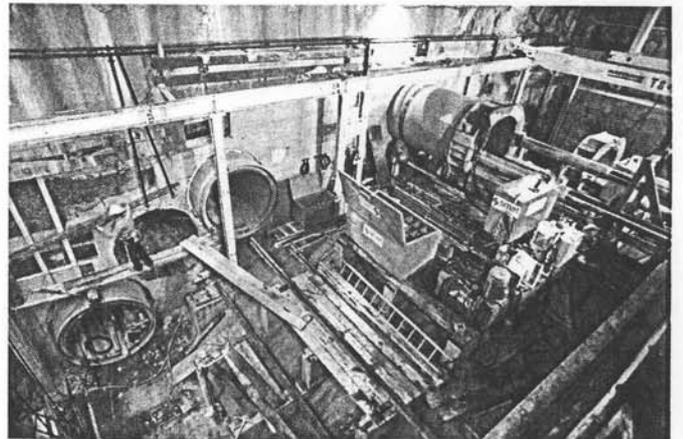


Foto 4  
 Stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano: infissione dal pozzo di spinta.  
 "Gare Venezia": puits de poussée et enfonçage des tuyaux.  
 The "Venezia" Station of the Milan Railway Link: pipe jacking from the thrust shaft.

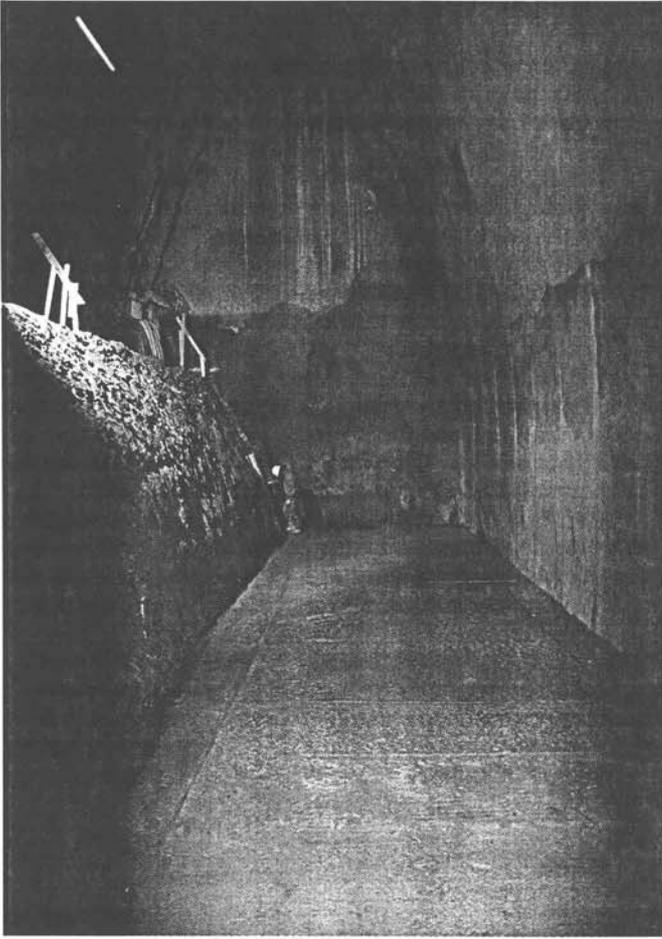


Foto 5  
Stazione "Venezia" del Passante Ferroviario di Milano: preparazione della platea per il getto del piedritto.  
"Gare Venezia": préparation du plateau pour le bétonnage du piédroit.  
The "Venezia" Station of the Milan Railway Link: post footing before casting.

## CONCLUSIONI

Oggi quando si parla di ricavare spazi nel sottosuolo di centri urbani si è portati sempre di più a ricercare soluzioni a foro cieco piuttosto che a cielo aperto per una serie di motivi tra i quali i più importanti sono:

a) è sempre più difficoltoso interferire, con cantieri urbani, con il traffico di superficie già al limite del collasso;

b) l'apertura di cantieri per scavi a cielo aperto in zona metropolitana produce disservizi e danni di cui non è facile valutare i costi reali diretti ed indiretti, parametro che dovrebbe essere tenuto presente nei confronti tra costi di scavo a foro cieco ed a cielo aperto.

Il metodo dell'"arco cellulare" permette di realizzare a foro cieco ed a piena sezione cavità di notevoli dimensioni anche con coperture assai ridotte ed in terreni difficili. Per questo motivo la sua applicazione sembra adeguata soprattutto all'ambiente cittadino e comunque ovunque sia necessario provocare il minimo disturbo a strutture preesistenti. La Stazione Venezia del Passante Ferroviario Metropolitano della città di Milano, attualmente in esecuzione, con i suoi quasi 29 m di luce e soli 4 m di copertura è una conferma della validità del metodo.

Si ritiene oltremodo possibile il raggiungimento di luci di scavo ancora maggiori, dal momento che la metodologia si presta, variando opportunamente le dimensioni degli archi e delle cellule (tubi) e l'interasse tra gli archi stessi, ad essere adeguata con estrema flessibilità.

## RINGRAZIAMENTI

L'autore desidera ringraziare l'ing. Adolfo Colombo, Direttore Tecnico della Progettazione della Metropolitana Milanese SPA, e l'ing. Enzo Luongo, Direttore del Consorzio G.M.

