

Bored tunnel excavation of enormous diameter (almost 30 m) in loose ground and under the water table with only 4 m of overburden in the city centre and consequently very severe constraints with regard to surface subsidence  
First application in the world of the Cellular Arch Method

Percement d'un tunnel d'un diamètre considérable (près de 30 m) dans un terrain meuble et sous la surface de la nappe souterraine avec une couverture de 4 m seulement sous le centre-ville, d'où des contraintes extrêmement sévères quant aux tassements en surface  
Première mondiale de la méthode des "voûtes alvéolaires"

Longueur totale: 214,5 m  
Diamètre: 28,80 m  
Section excavée: 450 m<sup>2</sup>  
Coût du gros œuvre: 46.481.000 €  
Durée des travaux: 1988–1992  
Date de mise en service: 1997

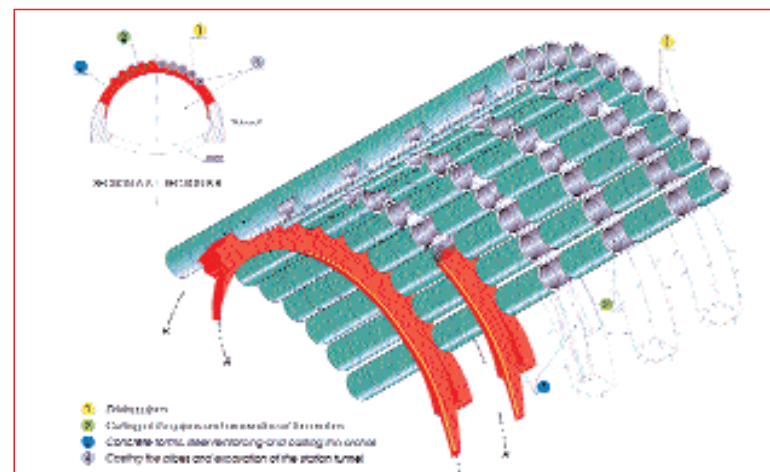
L'énorme diamètre (28,5 m), la faible épaisseur de couverture (4 m), la présence de vastes structures de surface et la nature du terrain, meuble et sous la surface de la nappe souterraine, n'ont pas permis de faire appel à des méthodes de construction traditionnelles. Il n'était pas possible de stabiliser le terrain sur une épaisseur suffisante devant le front pour assurer l'homogénéité et la résistance requises.

Pour surmonter la difficulté, La Rocksoil S.p.A. de Milan a étudié et développé en coopération avec des ingénieurs de la Metropolitana Milanese S.p.A. une nouvelle méthode de construction dite méthode des "voûtes alvéolaires" selon laquelle la totalité de la structure portante et le chemisage du futur tunnel sont réalisés avant de procéder effectivement à l'excavation. Les limites théoriques du système permettaient de construire des tunnels à couverture très faible et d'un diamètre de jusqu'à 60 m dans n'importe quel type de terrain et sans causer

de tassements notables en surface.

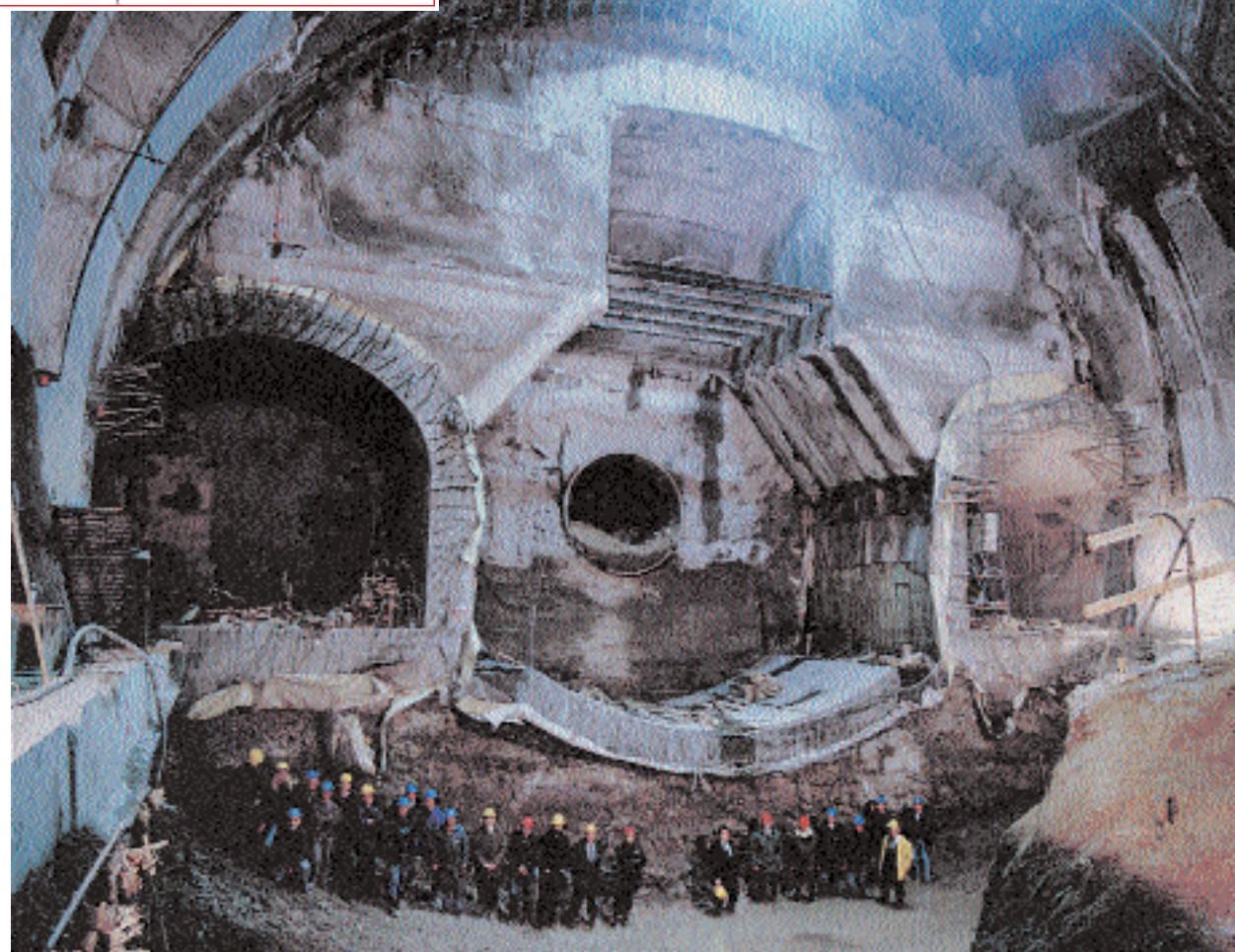
Dans le cas de la station Venezia – après stabilisation préalable et systématique du terrain le long des galeries latérales et de la calotte du futur tunnel à partir d'une petite galerie de service percée le long de l'axe du tunnel final – la "voûte alvéolaire" a connu une première et a été appliquée en cinq étapes principales:

1) excavation partielle des galeries latérales et parachèvement de la stabilisation du terrain autour du tunnel final  
2) achèvement de l'excavation des galeries latérales et bétonnage des murs latéraux de la station et réalisation (méthode du 'pipe jacking') dans une section supérieure isolée de 10 tubes en béton armé (microtunnels) côte à côte le long de la courbure du profil de la calotte du futur tunnel à partir d'un puits d'excavation  
3) excavation, à partir des miniers, de tunnels transversaux faisant office de coffrages (les parois étant constituées par le terrain lui-



même) en vue du bétonnage armé entre les voûtes de liaison, puis mise en place d'un renforcement et bétonnage des voûtes elles-mêmes  
4) bétonnage des microtunnels longitudinaux dans la calotte puis excavation du terrain dans la section du tunnel de la station sous la protection de la "voûte alvéolaire" qui remplit déjà sa fonction  
5) bétonnage de l'envers du tunnel par étapes.

La mise en œuvre de cette nouvelle technique pour laquelle son inventeur, le Professeur Pietro Lunardi, a été nommé "Homme de l'année sur le secteur des travaux pu-



blics" par le United States Journal Engineering News-records, a permis de construire la station sans difficulté, dans les délais impartis (avance moyenne de 57 m<sup>3</sup>/jour) et sans dépassement du budget.

The enormous diameter (28.5 m), the shallow overburden (4 m), the presence of large surface structures and the nature of the ground, loose and under the water table, did not allow the use of traditional construction methods. It was not possible to cre-

ate a band of improved ground ahead of the face that would have been sufficiently thick to provide the required homogeneity and strength.

In order to overcome the difficulty, Rocksoil S.p.A. of Milan in co-operation with engineers from Metropolitana Mi-



Name of Project/Nom du projet  
Milan Urban Railway Link – Venezia Station

Location/Région  
Milan, Italy

Tunnel Use/Destination du tunnel  
Urban railway tunnel

Client/Maitre d'ouvrage  
Municipality of Milan

Consulting Engineer/Planification et direction des travaux  
Rocksoil S.p.A. (Milan) for Metropolitana Milanese S.p.A.

Contractor/Exécution  
Giemme Consortium

Total Length: 214.5 m  
Diameter: 28.80 m  
Cross-Section: 450 m<sup>2</sup>  
Roughwork Costs: 46,481,000 €  
Construction Time: 1988 to 1992  
Opened: 1997

lanese S.p.A. researched and developed a new construction system, known as the "Cellular Arch" method, with which the entire load bearing structure and the lining of the future tunnel is built before actual excavation begins. The theoretical limits of the system allow tunnels with a shallow overburden and a diameter of up to 60 m to be constructed in any type of ground without causing appreciable surface subsidence.

In the case of the Venezia Station, the cellular arch was actually created – after first systematically improving the ground around the side drifts and along the crown of the final tunnel from a small diameter service drift driven along the centre line of the final tunnel – in five main stages:

1) half-face excavation of the side drifts and completion of ground improvement around the final tunnel  
2) completion of excavation of the side drifts and casting of the station tunnel and driving (pipe jacking method), in a completely separate site above, of 10 r.c. pipes (microtunnels) side by side into the ground around the profile of the crown of the future tunnel from a thrust pit  
3) excavation, from the microtunnels, of transverse tunnels to be used as formwork (the walls consisting of the ground itself) for casting in r.c. of the connecting arches and then placing of reinforcement and actual casting of the arches  
4) casting of the longitudinal microtunnels in the crown and then excavation of the ground in the section of the station tunnel under the protection of the "cellular arch", already practically active  
5) casting of the tunnel invert in steps.

By using this new technique, for which the inventor, Prof. Ing. Pietro Lunardi, was nominated "man of the year in the construction field" by the United States journal Engineering News-Record, it was possible to construct the station without difficulty, on time (average rates of advance were 57 m<sup>3</sup>/day) and without any extra costs with respect to traditional methods.

