

# La dynamique des travaux souterrains en Italie

*Jean PIRAUD\**

## *Sommaire*

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROJETS FERROVIAIRES</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>LIGNES A GRANDE VITESSE</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>TUNNELS TRANSALPINS</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>GARES SOUTERRAINES</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PROJETS ROUTIERS</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>METROS</b> .....	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>TURIN</b> .....	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>MILAN</b> .....	<b>7</b>
<b>4.3</b>	<b>BRESCIA</b> .....	<b>7</b>
<b>4.4</b>	<b>GENES</b> .....	<b>8</b>
<b>4.5</b>	<b>ROME</b> .....	<b>8</b>
<b>4.6</b>	<b>NAPLES</b> .....	<b>8</b>

## **1 INTRODUCTION**

Le dernier Congrès mondial des tunnels, qui s'est tenu à Naples en mai 2019, a été l'occasion de remarquer le dynamisme remarquable de l'Italie dans le domaine des tunnels. Ce pays a longtemps occupé la 1<sup>ère</sup> place au Monde quant à la longueur cumulée de ses tunnels routiers et ferroviaires, avant d'être doublé récemment par la Chine (fig.1). Aujourd'hui encore, l'activité ne faiblit pas : des programmes considérables ont été engagés, en dépit de l'instabilité gouvernementale, d'une situation économique hésitante et d'une dette publique élevée.

Ce dynamisme reflète en particulier celui de la compagnie de chemins de fer *Ferrovie dello Stato Italiane* (FS), omniprésente lors du Congrès de Naples dont elle était le premier sponsor. Les FS possèdent l'infrastructure des chemins de fer italiens (via *RFI*, qui gère 1520 km de tunnels) et sont l'actionnaire majoritaire de la société *Trenitalia*. Leur filiale d'ingénierie *Italferr* est chargée de concevoir et de diriger les grands projets du groupe FS, tout en exportant largement ses services (surtout Europe orientale et Moyen-Orient). Dans le domaine routier, les FS gèrent un réseau de 30 000 km, notamment via la société autoroutière ANAS. Leur chiffre d'affaires total dépasse 12 Md€, en très forte croissance depuis 2015 ; ils ont engagé un plan quinquennal d'investissements de 25 Md€.

---

\*jean.piraud@setec.com

On a aussi noté que le secteur italien du BTP a connu récemment une consolidation importante, avec la fusion des entreprises **Salini** et **Impreglio**, formant ainsi un groupe d'importance mondiale qui travaille dans 50 pays et rivalise avec les majors français et européens, avec un chiffre d'affaires annuel de 6,5 Md€ ; il vient d'obtenir deux lots importants du Grand Paris Express : lot 2 sur la ligne 16 et lot GC04 sur la ligne 14. Salini a pris la tête d'une initiative de réorganisation industrielle du secteur du BTP, dite *Progetto Italia*, dont le but est de créer un « champion national » capable de débloquer et de réaliser de grands projets d'infrastructures en Italie.

D'autres entreprises italiennes spécialisées, de taille moyenne, ont pris également leur part, comme Pizzarotti (qui a gagné des lots sur les lignes 4, 11, 15 Sud et 17, ainsi que sur le projet EOLE à St-Lazare) ou CIPA (qui a réalisé les puits de la gare d'Eole sous le CNIT, en sous-traitance de Vinci). Ce dynamisme contraste avec l'absence des grandes entreprises françaises sur le marché italien.

Le linéaire de tunnels creusés en Italie en 2018 s'est élevé à 33 km, dont 18 km pour des chemins de fer, 7,5 km pour des métros et autant pour des tunnels routiers. Nous allons passer en revue les travaux en cours ou récemment achevés dans ces trois secteurs, en soulignant à chaque fois les innovations les plus originales mises en œuvre par nos amis italiens. On verra que l'expression « des travaux de Romains » reste d'actualité !

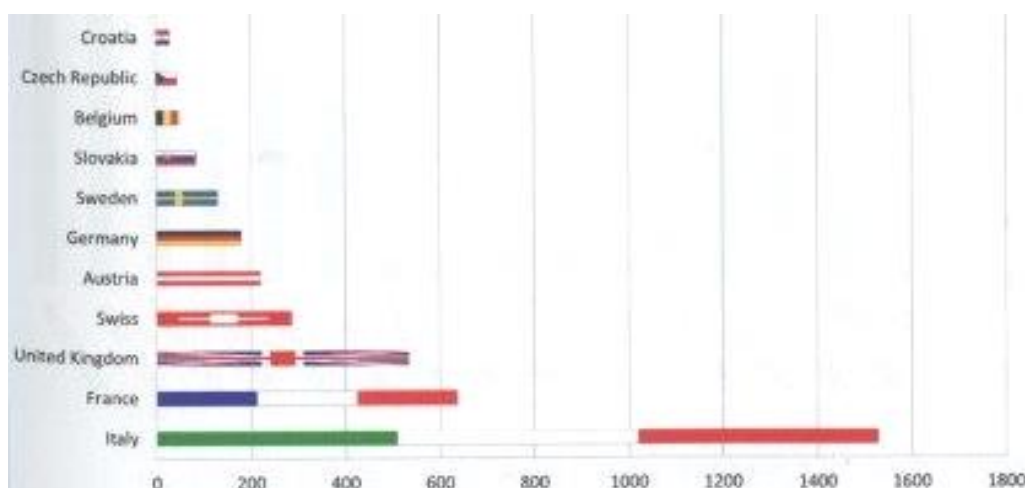


Fig.1 – Kilométrage de tunnels ferroviaires dans les divers pays d'Europe en 2019

## 2 PROJETS FERROVIAIRES

### 2.1 Lignes à grande vitesse

Après la mise en service des LGV Tours-Bordeaux et Nîmes-Montpellier en 2017, la France a décidé de faire une pause au bénéfice de l'amélioration des « trains du quotidien ». Au contraire, l'Italie poursuit activement l'extension de son réseau de LGV ; après l'achèvement de la grande dorsale ferroviaire Turin-Milan-Rome-Naples en 2008, quatre lignes nouvelles sont en construction (fig. 2).

- **Milan-Venise** : ce nouvel axe au Nord de la plaine du Pô comportera quatre tunnels importants, bien que le nouveau tracé soit le plus souvent jumelé soit avec la ligne classique, soit avec la nouvelle autoroute Milan-Vérone ; deux tronçons de LGV sont déjà en service, à l'Est de Milan et entre Padoue et Venise ;
- **Milan-Gênes** : cet axe essentiel pour la desserte du port de Gênes comportera un 3<sup>ème</sup> franchissement ferroviaire des Apennins, à double voie, dit *Terzo Valico* ; les travaux comportent une série de tunnels bitubes totalisant 37 km ont commencé en 2013 et sont réalisés pour les deux tiers en traditionnel ; la mise en service prévue en 2023, pour un coût total de 6,2 Md€ ;



Fig. 2 – Le réseau ferroviaire italien à grande vitesse, avec en rouge les lignes achevées et en bleu les lignes limitées à 250 km/h

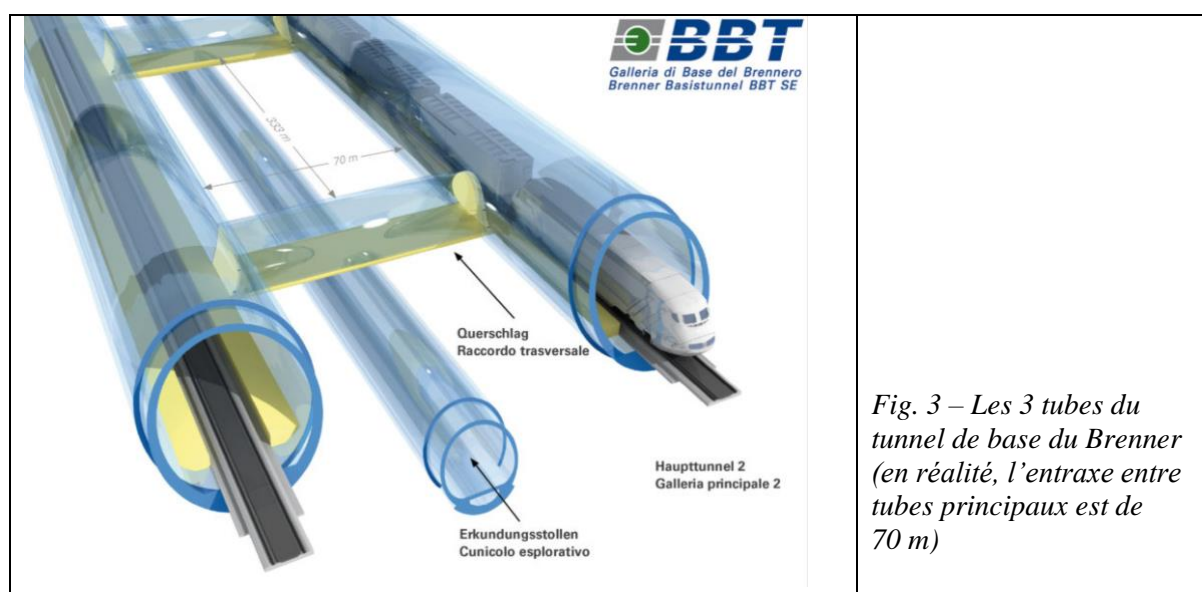
- **Naples-Bari.** Les Italiens ont prévu d'investir également 6,2 Md€ pour moderniser cette ligne, qui comprendra 120 km de raccourcis à grande vitesse, dont 68 km en souterrain. Citons notamment le tunnel de Irpinia (27 km), qui a la particularité d'avoir été implantée sous une topographie assez peu accidentée mais sujette à des glissements de terrain récurrents et de grande ampleur que l'on a préféré franchir en souterrain ; il sera réalisé en traditionnel par la méthode Adeco-RS du professeur Lunardi, avec un objectif d'ouverture vers 2025 ;
- **Messine-Palermo.** Les FS ont engagé les travaux de 82 km de ligne nouvelle sur cet axe ; la LGV passera par Catane et sera construite pour moitié en souterrain, avec en particulier une gare souterraine pour desservir Taormine sans porter atteinte au paysage.

Enfin, les FS travaillent toujours au doublement de la ligne à voie unique Gênes-Vintimille, qui ne serpente plus le long du littoral que sur un tiers de son parcours ; la ligne nouvelle est une succession quasi ininterrompue de viaducs et de tunnels parallèles à « l'Autoroute des Fleurs », tous construits en monotubes à 2 vois aptes aux 200 km/h. A noter que contrairement à la SNCF, les FS veillent à ce que leurs lignes nouvelles soient toujours praticables pour le fret, avec des pentes limitées à 1,25 %.

## 2.2 Tunnels transalpins

Deux grands tunnels de base, sous le Brenner et le Mont-Cenis, sont en cours de construction. Ces ouvrages sont considérés comme des maillons essentiels des axes de transport transeuropéens définis par l'Union européenne, qui participe largement à leur financement ; les deux ont le même objectif : transférer sur le rail l'essentiel de l'énorme trafic qui traverse les Alpes majoritairement par la route – sauf en Suisse où il passe maintenant par les tunnels de base du Gothard et du Lötschberg.

**a) Tunnel du Brenner.** Les travaux de ce tunnel sont engagés depuis 2008 entre Fortezza (Italie) et Innsbruck (Autriche), sous la direction du consortium public italo-autrichien BBT, auprès duquel l'ingénierie italienne SWS joue un rôle majeur. Dans sa conception, cet ouvrage de 2 x 55 km<sup>1</sup> est assez analogue aux tunnels de base déjà réalisés en Suisse et en Espagne : bitube Øint 8,1 m, avec rameaux de liaison tous les 333 m et des stations de secours implantées au 1/4, à la moitié et aux 3/4 du tunnel. Il se distingue cependant par une curieuse particularité : la présence d'une galerie centrale Øext 6 m située à 12 m au-dessous du bitube et creusée à l'avance pour parfaire les reconnaissances géotechniques, tout en facilitant le marinage et le drainage des tunnels principaux (fig. 3).



*Fig. 3 – Les 3 tubes du tunnel de base du Brenner (en réalité, l'entraxe entre tubes principaux est de 70 m)*

Comme au St-Gothard, cet ouvrage doit traverser des terrains cristallins ou cristallophylliens, a priori sans difficultés majeures hormis la hauteur de couverture qui atteindra près de 1 850 m. L'excavation doit être faite à 70 % au tunnelier et le reste en traditionnel. Les travaux ont été attribués à des groupements d'entreprises italo-autrichiens, et sont réalisés à partir des extrémités et de 3 descenderies d'accès. Fin 2019, la moitié des 230 km de galeries à creuser est déjà réalisé ; l'ouverture est prévue pour 2028, avec un coût d'objectif de 8,7 Md€.

Près de l'entrée sud, l'un des chantiers les plus remarquables de ce tunnel de base a été son passage à quelques mètres sous le fond de la rivière Isarco, à travers des alluvions grossières qui ont dû être congelées à l'azote à partir de quatre puits ovales. Les Italiens prévoient ultérieurement d'améliorer les accès sud du Brenner grâce à 62 km de nouveaux tunnels dans l'étroite vallée de l'Isarco.

**b) Axe Lyon-Turin.** Le tunnel de base du Mont-Cenis comprendra deux tubes de 57 km, avec 3 stations de secours accessibles depuis la surface, mais pas de galerie centrale de reconnaissance. Le creusement des 4 descenderies d'accès avait débuté dès 2003, mais les travaux principaux ont été longtemps retardés par les hésitations des deux gouvernements, par le peu d'intérêt de la SNCF pour le fret (qui reste pourtant la justification majeure de l'ouvrage), et aussi par une forte opposition locale en Italie, à caractère plus idéologique qu'environnemental.

<sup>1</sup> Cf. article détaillé sur ce projet publié dans *Tunnels & Ouv. Souterrains*, n° 233, sept. 2012.

La situation politique est aujourd'hui éclaircie, notamment suite à la décision de Bruxelles de cofinancer les travaux à 40 %, et grâce à l'opiniâtreté du maître d'ouvrage franco-italien TELT (Tunnel euralpin Lyon-Turin), qui a achevé les descenderies et réalisé avec succès un tronçon expérimental de 9 km au diamètre final sur la partie la plus difficile du projet, entre St-Martin et La Praz. Les appels d'offres des tunnels principaux sont en cours, en vue d'une mise en service vers 2030. Le coût prévisionnel de cette section transfrontalière de l'axe Lyon-Turin devrait être de 8,6 Md€, chiffre validé par des organismes indépendants.

## 2.3 Gares souterraines

Face à l'augmentation constante du trafic et à la nécessité d'améliorer l'intermodalité, l'Italie a engagé des travaux souterrains considérables dans ses plus grandes gares, souvent couplés avec la création d'un « *passante ferroviario* », c'est-à-dire d'un tunnel sous le centre-ville permettant de « diamétraliser » les trains de banlieue, ce qui facilite beaucoup leur exploitation. En la matière, les Allemands avaient été des précurseurs avec les lignes souterraines traversantes de Francfort et de Munich entreprises dès les années 1970 pour compléter des gares en cul-de-sac, suivies par celles de Leipzig, de Berlin, et bientôt de Stuttgart.

Les Italiens ont suivi avec la traversée souterraine de Milan, ouverte en 2004 et qui comprend 6 stations à double voie, desservies par 6 lignes de banlieue diamétralisées. D'autres traversées de grandes villes ont été réalisées ou sont en cours de construction :

- Celle de Bologne, située sous les débords de la gare centrale, a été ouverte en 2012, avec un niveau supérieur pour les trains de banlieue et un niveau inférieur pour les TGV Milan-Rome ;
- Celle de Florence est en construction ; elle inclut 9 km de tunnel bitube réalisés au tunnelier, avec une nouvelle gare souterraine de 450 m de long pour les TGV (fig. 4) ;
- A Naples, une ligne de banlieue souterraine fonctionne depuis 1925 en direction de Pouzzoles, et a été transformée en traversée Est-Ouest de la ville en 2014 ; deux autres lignes principalement souterraines desservent la banlieue Ouest depuis la gare terminus de Montesanto ;
- A Catane, le tronçon nord de la future traversée a été ouvert en 2017, tandis que le tronçon sud, qui sera intégré à la ligne modernisée Messine-Palermes, est en cours d'avant-projet ;
- A Palerme, le réaménagement des lignes de banlieue venant de l'Est et de l'Ouest a permis de constituer un réseau de quasi métro traversant le centre-ville et desservant l'aéroport.

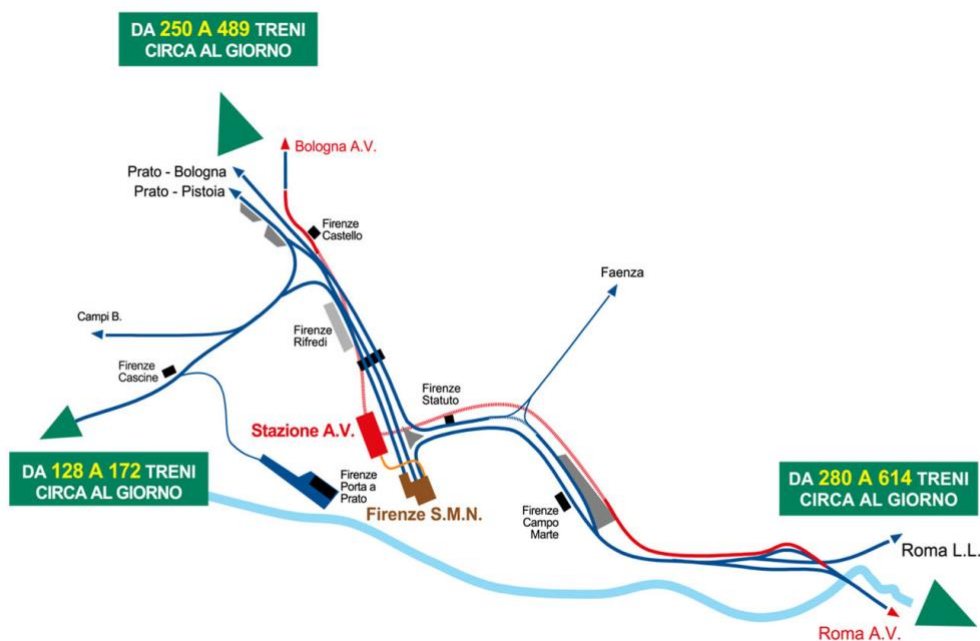


Fig. 4 – Schéma du « Passante ferroviario » de Florence (en rouge), avec la nouvelle gare souterraine (Stazione A.V.) qui court-circuitera la vieille gare terminus Firenze S.M.N.

### 3 PROJETS ROUTIERS

Comme en France, l'expansion du réseau autoroutier italien s'est progressivement arrêtée à la fin des années 1990, après des décennies d'investissements massifs qui ont fait de l'Italie le champion d'Europe des tunnels routiers : l'ANAS, filiale des FS, gère en effet plus de 1900 tunnels routiers, soit la moitié de l'effectif européen !

Cependant, la saturation des axes principaux a conduit à entreprendre leur doublement par de nouvelles autoroutes plus ou moins parallèles, car ces axes sont parsemés d'innombrables tunnels bitubes toujours construits à 2 x 2 voies, qu'il est presque impossible d'élargir. Les Italiens ont cependant imaginé et mis en œuvre une machine permettant d'aléser à 3 voies un tube à deux voies sous circulation, en garnissant le tube existant d'une carapace métallique mobile et en procédant à la sur-excavation avec une haveuse type Perforex ; cette méthode est efficace mais lente et coûteuse, de sorte que le creusement d'un troisième tube, voire d'une nouvelle autoroute parallèle, apparaît le plus souvent comme la meilleure solution. A ce titre, trois projets majeurs ont été entrepris :

**a) L'axe Est-ouest de la plaine du Pô**, qui est en cours de doublement partiel :

- d'une part au pied même des Alpes, avec l'autoroute *Tranpadana* qui progresse assez lentement au Nord de Milan sur l'itinéraire Ivree-Varèse-Brescia, autoroute qui comportera beaucoup de tunnels ;
- d'autre part sur l'axe direct Milan-Vérone en passant par Treviglio.

**b) Une nouvelle traversée des Apennins par « l'Autoroute du Soleil »**. Entre Bologne et Florence, l'autoroute A1 est en cours de doublement sous le nom de *Variante di Valico*, laquelle comprendra 44 nouveaux tunnels. L'ouvrage majeur de cette variante est un tunnel de base long de 8,7 km, traversant les Apennins à une altitude de 490 m (contre 700 m pour l'ancienne A1). Alors que la LGV Bologne-Florence avait traversé ces montagnes dans les années 1990 grâce à 73 km de tunnels monotubes entièrement construits en traditionnel selon la méthode Adeco-RS, la nouvelle A1 comprendra des tunnels creusés au tunnelier Herrenknecht à pression de terre :

- les tunnels de Sparvo (L = 2 x 2,5 km), déjà réalisés avec un tunnelier Ø15,6 m par l'entreprise Toto, ce qui a constitué un record européen ;
- le tunnel de Santa Lucia (L = 7,7 km), en cours de creusement en Ø15,9 m par Pavimental.

**c) La modernisation du nœud autoroutier de Gênes** et de son contournement (*Gronda di Genova*), où sont prévus 53 km de nouveaux tunnels – avec bien sûr la reconstruction du viaduc Morandi qui s'était effondré en 2018.

Enfin, il faut signaler la reprise des travaux du 2<sup>ème</sup> tube du *tunnel de Tende*, sur l'axe Nice-Coni, qui avaient été interrompus en 2017. Le premier tube, long de 3,2 km, a été ouvert en 1882, ce qui en fait le plus vieux tunnel routier transalpin ; mais il est si étroit (6 m seulement entre piédroits) qu'il a fallu se résoudre à l'exploiter en alternat horaire. Il a été convenu entre les deux pays de le doubler et de confier les travaux aux Italiens, qui appliquent ici un principe analogue à ce qui va être fait pour le tunnel routier du St-Gothard, avec la séquence suivante :

- Creusement en traditionnel d'un 2<sup>ème</sup> tube parallèle au premier, large de 6,5 m entre piédroits, avec des rameaux d'interconnexion fréquents ;
- Basculement de la circulation à double sens sur le nouveau tube équipé provisoirement pour deux voies, ce qui va permettre d'élargir à loisir le vieux tube et de rénover complètement son équipement ;
- Mise en service du bitube à 2 fois une voie, avec dans chaque tube une large bande d'arrêt d'urgence.

Malgré sa faible longueur, cet ouvrage est très délicat du fait de la présence de gypses triasiques, de fortes venues d'eau probables et de l'instabilité des têtes, qui ont déjà nécessité des confortements considérables.



## 4 PROJETS DE METROS

Six villes italiennes possèdent actuellement au moins une ligne de métro ; nous allons les passer en revue, du Nord au Sud.

### 4.1 Turin

Longtemps réticente vis-à-vis des métros en tant que capitale de l'automobile, Turin s'est brillamment rattrapée en ouvrant en 2006 une première ligne, entièrement creusée au tunnelier à pression de terre dans les alluvions graveleuses de la Doire, chargées de gros blocs. C'était la première ligne de métro automatique d'Italie (type VAL) ; elle atteint aujourd'hui 13 km et son extension est en cours vers l'Ouest et le Sud. Elle va être complétée par une 2<sup>ème</sup> ligne de 27 km orientée Nord-Est – Sud-Ouest, qui traversera le centre-ville.

### 4.2 Milan

La première ligne du métro de Milan a été ouverte dès 1964 ; elle a été complétée par trois autres lignes toutes creusées en méthode traditionnelle, formant un réseau totalisant aujourd'hui 101 km, non compris le *Passante ferroviario* exploité par les FS. Une 5<sup>ème</sup> ligne Est-Ouest dite M4, longue de 15 km avec 21 stations, est en cours d'achèvement ; elle sera entièrement automatique et desservira l'aéroport de Linate à l'horizon 2023.

Cette ligne M4 sera doublement innovante, d'abord parce qu'elle a été concédée en conception-construction à une société parapublique, ensuite parce que les travaux du tronçon central, sous le centre historique, appliquent un concept révolutionnaire : le tunnel bitube et les stations sont entièrement creusés avec des tunneliers dont le diamètre est suffisant ( $\varnothing_{\text{ext}}$  9,15 m) pour loger à la fois une voie et un quai ; de cette façon, l'emprise des stations en surface est limitée aux seuls puits d'accès, exécutés classiquement entre parois moulées, tandis que l'on économise le coût toujours très élevé du creusement en traditionnel de stations souterraines (fig. 5).

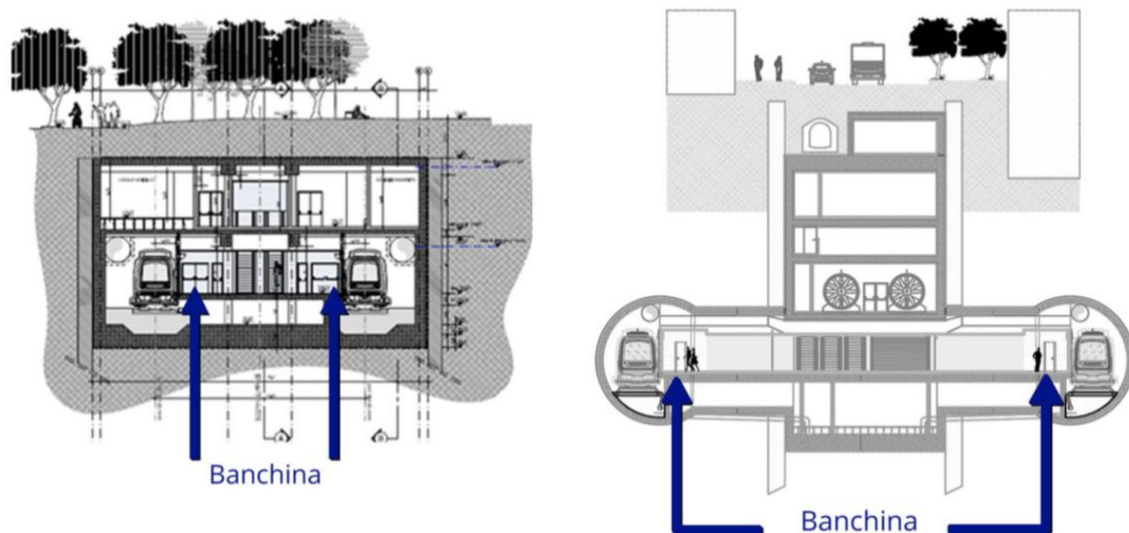


Fig. 5 – Coupe des stations de la ligne 4 du métro de Milan ; à gauche, station classique creusée à ciel ouvert, sur les tronçons extérieurs ; à droite, station à quais intégrés au bitube, avec accès par puits, sur le tronçon central.

### 4.3 Brescia

Brescia a été la plus petite ville européenne à se doter d'un métro : elle dispose d'une ligne de 14 km de métro automatique sur pneus, creusée au tunnelier et ouverte en 2013.

#### 4.4 Gênes

Gênes ne dispose que d'une seule ligne de métro de 7 km, inaugurée en 1990. Des prolongements vers le Nord et vers l'Est doivent être entrepris en 2020.

#### 4.5 Rome

Rome dispose d'un métro depuis 1955, avec deux lignes très profondes A et B, qui se croisent sous la gare centrale *Roma-Termini*. L'extrémité de la ligne B offre la particularité remarquable d'avoir été creusée au tunnelier sous forme de deux tubes superposés, ce qui permet d'insérer plus facilement des stations à deux niveaux sous des rues étroites. Le métro est complété par une 3<sup>ème</sup> demi-ligne C, entièrement automatique, qui dessert la banlieue Est ; mais le linéaire total de métro pour desservir cette capitale de 4,3 millions d'habitants n'est que de 60 km.

Ce réseau souffre aussi de l'absence de desserte du centre historique, pour des raisons compréhensibles liées à la profusion de vestiges archéologiques en surface et en profondeur, vestiges dont la préservation ralentit fortement les travaux. Cette lacune devrait être comblée par la poursuite de la ligne C vers le centre, qui a été confiée en conception-construction au groupement privé Métro-C, réunissant des constructeurs et les fournisseurs du système. Les travaux progressent en bitube profond creusé au tunnelier ; le passage le long du Colisée et sous le forum a nécessité des précautions considérables, avec injections de compensation pour préserver les monuments antiques.

#### 4.6 Naples

Du fait d'un terrain exceptionnellement favorable – une roche tendre constituée de cendres volcaniques consolidées et non fracturées, Naples dispose depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle d'un réseau ferroviaire souterrain très développé, en particulier le « *Passante ferroviario* » déjà cité, considéré comme la ligne M2 du métro, ainsi que deux lignes desservant la banlieue Ouest.

Pour accéder au centre-ville, une vraie ligne de métro dite M1 a été ouverte progressivement à partir de 1993 ; elle a la particularité unique d'avoir un tronçon hélicoïdal, afin de pouvoir remonter progressivement sous la colline du château Saint Elme en desservant le quartier correspondant ; elle a été prolongée en 2015 jusqu'à la gare centrale. Une autre originalité est d'avoir une demi-douzaine de stations décorées avec une profusion inouïe de couleurs et de trouvailles artistiques – d'où son nom de *Metro dell'Arte* ; c'est sans doute le plus beau métro du Monde, digne de rivaliser avec celui de Moscou quoique dans un style très différent. Cette ligne constitue une réponse éblouissante du génie italien au délabrement général de la ville, et une fierté légitime pour ses habitants.

Une 3<sup>ème</sup> ligne de métro (ligne 6) est en construction depuis les années 1980, mais elle a rencontré de gros problèmes géotechniques dans des dépôts volcaniques meubles et aquifères, qui n'ont pu être surmontés que par congélation ; cependant, un premier tronçon isolé du reste du réseau a pu être mis en service en 2007.



Fig. 6 – Aperçu des stations centrales du métro de Naples (ligne 2)