



Infrastrutture urbane

Storia e alta ingegneria per il metrò di Napoli

La metropolitana di Napoli è oggi uno dei cantieri di maggiore rilievo in Italia, sia per la dimensione economica – su di essa si stanno investendo almeno 900

milioni (circa 1.700 miliardi di lire), la metà dei quali già spesi per completare una tratta oggi funzionante – sia per le difficoltà tecniche che il progetto ha dovuto affrontare, sia, infine, per la riscoperta senza precedenti della storia e delle origini della città e del Paese, grazie proprio agli scavi della metropolitana.

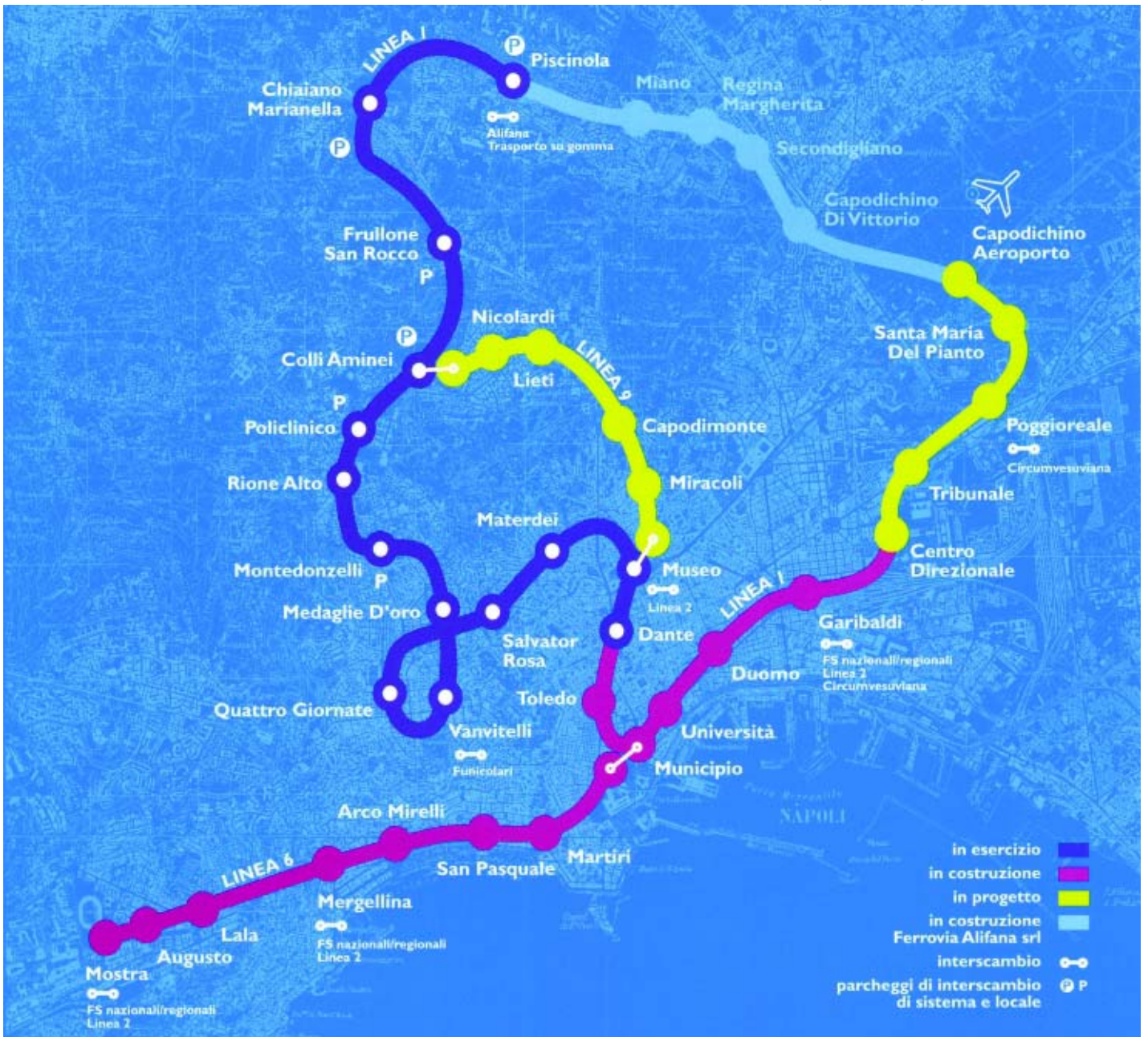
Tempi e costi di un'accelerazione

L'aspetto economico e quello dei tempi di realizzazione della metropolitana di

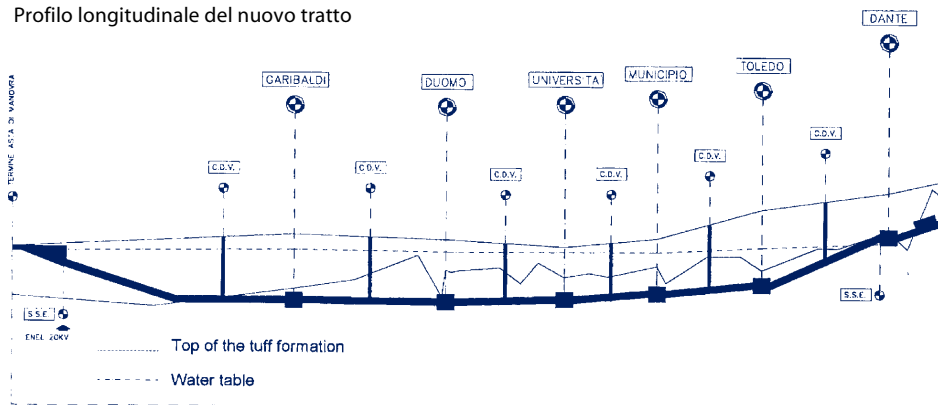
Napoli sono emblematici delle difficoltà dei progetti infrastrutturali nelle città italiane negli ultimi trent'anni, così come lo è la recente accelerazione.

La linea 1 – affidata dal 1972 alla concessionaria Metropolitana di Napoli spa, che si avvale di Metropolitana Milanese spa per la progettazione e direzione lavori – è il fulcro del sistema metropoli-

Pianta della rete della metropolitana di Napoli realizzata o in costruzione



Profilo longitudinale del nuovo tratto



litano del capoluogo partenopeo, costituita da un ampio anello di circa 25 chilometri interconnesso con tutte le linee metropolitane e ferroviarie e collegato con i principali punti strategici della città, dalla stazione centrale ai quartieri collinari, dalla periferia nord all'aeroporto.

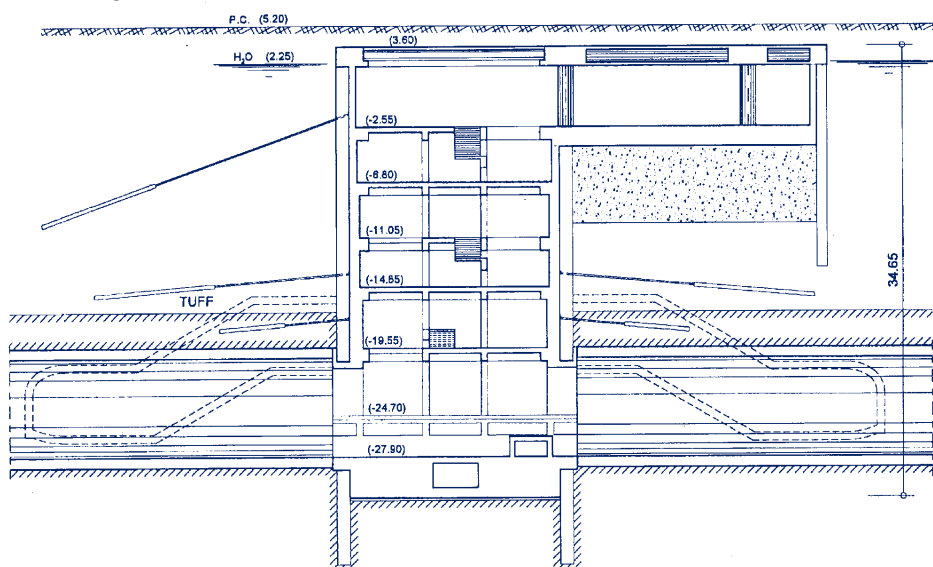
Oggi circa il 50 per cento dell'anello è realizzato e funzionante, ma il primo cantiere risale al 1976: la carenza di fondi ha costretto a un avanzamento lento e per piccoli tratti, fino a rischiare l'abbandono, a metà degli anni Ottanta.

Solo nell'ultimo decennio la linea si è concretizzata, grazie anche a un finanziamento della legge 211/92 (di circa 900 miliardi di lire, oltre 460 milioni di euro), che fra il 1993 e il 1995 ha consentito la realizzazione di un primo tratto importante e complesso: nove chilometri

fra la stazione Vanvitelli, ai piedi del quartiere collinare del Vomero, e il deposito periferico di Piscinola, prolungato poi di altri 3,5 chilometri nel 2001, da Vanvitelli al Museo archeologico (con una delle stazioni aperta però nel 2003), e di altri 500 metri nel 2002, fino alla stazione Dante, (vedi il numero *Quarry and Construction* di giugno 2002).

Il tutto gratificato da un successo notevole di utilizzo, ben al di sopra delle previsioni (+ 57 per cento dal 2000 al 2003, secondo la Regione Campania). Dal 1999 si sta lavorando sulla tratta piazza Dante-stazione Garibaldi, lunga 3,5 chilometri, i cui lavori hanno ricevuto un finanziamento di 210 milioni di euro dal Cipe a fine 2002, che ha permesso di sbloccare opere per un totale di 418 milioni di euro.

Sezione longitudinale della stazione Università



Nodi tecnici passati e presenti

Le due fasi di costruzione della metropolitana, quella già terminata e l'altra in corso, segnano anche il passaggio da due problematiche costruttive differenti, entrambe particolarmente significative nel panorama italiano e internazionale.

La prima è caratterizzata da un tracciato con pendenza del 55 per mille, tanto elevata (e unica al mondo) che ha richiesto anche la realizzazione di un tornante, necessario per superare un dislivello che raggiunge punte di 235 metri (la pendenza è tale che in origine si era ipotizzato l'uso di un sistema a cremagliera).

La seconda ha una pendenza elevata solo nella tratta iniziale, tra le stazioni di Dante e Toledo, poi si sviluppa quasi in piano; però è molto profonda, mediamente a 30 metri sotto il piano campagna, ma soprattutto con battenti idrostatici elevati, che richiedono l'utilizzo di metodologie innovative (e costose) per la realizzazione della linea e delle stazioni.

Altrettanto importanti sono gli scavi archeologici, che se stanno ritardando di quasi due anni i lavori sono però vissuti con entusiasmo da una parte della città per il succedersi di scoperte senza precedenti, quasi di giorno in giorno.

Un tracciato sotto la falda

Il tracciato della tratta Dante-Garibaldi interessa una parte di città adiacente al mare, che per le sue caratteristiche geologiche ha visto successive rielaborazioni del progetto; in particolare, rispetto alle ipotesi originarie, il profilo altimetrico è stato spostato a una quota più bassa, per consentire lo scavo delle gallerie di linea nel tufo, così da evitare lo strato superficiale, alto circa 15/20 metri, costituito da materiali sabbiosi o pozzolanici.

In questo modo anche la quota delle banchine si trova al di sotto della falda, a circa 20-30 metri di profondità, riducendo da un lato i problemi di subsidenza, per il fatto stesso di scavare nel tufo, ma ampliando di contro quelli legati alle pressioni idrostatiche.



Altre modifiche sono state l'inserimento di una nuova stazione in piazza Municipio – in una zona ad elevata concentrazione della potenziale domanda di trasporto, sia perchè di interesse turistico sia per la concentrazione di uffici e di flussi d'interscambio con la zona portuale – e l'adozione di una tipologia di stazione unica (eccetto che per quella di Toledo), con indubbi vantaggi nelle modalità esecutive e nei costi.

Gallerie di linea

Lo scavo in presenza d'acqua rimane in ogni caso l'elemento condizionante, che ha inciso sulle scelte progettuali sia delle gallerie di linea sia delle stazioni. Per la linea si è scelta la soluzione di una doppia galleria a foro cieco – preferita anche per il minore impatto in superficie (dove si prevede di operare solo ed esclusivamente per la realizzazione dei pozzi delle stazioni e per quelli di ventilazione) – scavata utilizzando due scudi a

pressione bilanciata di tipo Epb (Earth pressure balance) a singolo binario, che impediscono le infiltrazioni d'acqua in avanzamento e consentono l'immediata messa in opera di un rivestimento in conci prefabbricati.

I due scudi Epb, raggiunte le stazioni, sono traslati a vuoto fino al lato opposto, approfittando di questo passaggio per effettuare la loro manutenzione.

Oggi i lavori procedono secondo le modalità già previste e illustrate dai progettisti al convegno internazionale sulle gallerie, organizzato a Milano nel 2001 dalla Società italiana gallerie e dalla Swiss Tunnelling Society: era stato ipotizzato lo scavo della linea con frese Tbm del tipo Epb, e oggi stanno operando due macchine di questo tipo, che viaggiano parallele e non hanno avuto problemi, se non nella messa a punto iniziale; una ha scavato più di un chilometro e ha raggiunto una stazione, l'altra poco meno.

Stazioni

Ben diversa è l'impostazione, e i problemi, dello scavo delle cinque stazioni (Toledo, Municipio, Università, Duomo e Garibaldi), tutte molto profonde, con quote variabili dai 16,9 metri slm di Toledo ai 26,42 di Garibaldi.

Tranne quella di Toledo, le stazioni hanno lo stesso approccio progettuale, che consiste nello scavo di un pozzo verticale a cielo aperto – fra pannelli di paratia scavati con idrofresa (nel tufo la benna mordente non funziona) – da cui si scavano poi gli allarghi delle gallerie di banchina, che hanno circa 8 metri di diametro e sono lunghe circa 50 metri ciascuna, nelle due direzioni, con un'interasse tra i binari di 11 metri.

Durante la fase di scavo dei pozzi, ormai quasi tutti completati, le pareti sono contrastate con tiranti e puntoni e in alcuni casi dai solai ai diversi piani (tranne a

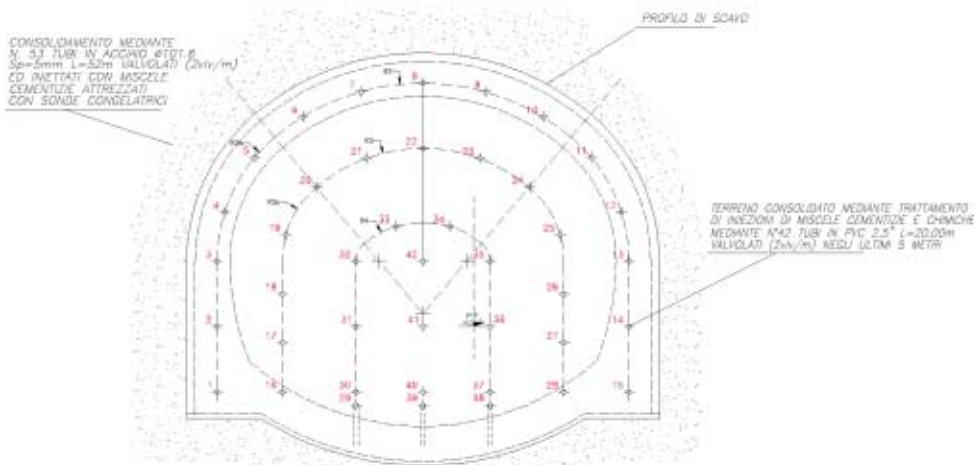
Veduta degli scavi in piazza Municipio







Schema di progetto del tampone di fondo



Municipio, dove il pozzo è completamente vuoto e sostenuto da tiranti).

Le gallerie di stazione sono scavate con metodi tradizionali, con scavo a piena sezione, posa di centine e spritz beton armato e infine getto del rivestimento definitivo, il tutto però dopo un esteso, e costoso, congelamento dell'acqua di falda.

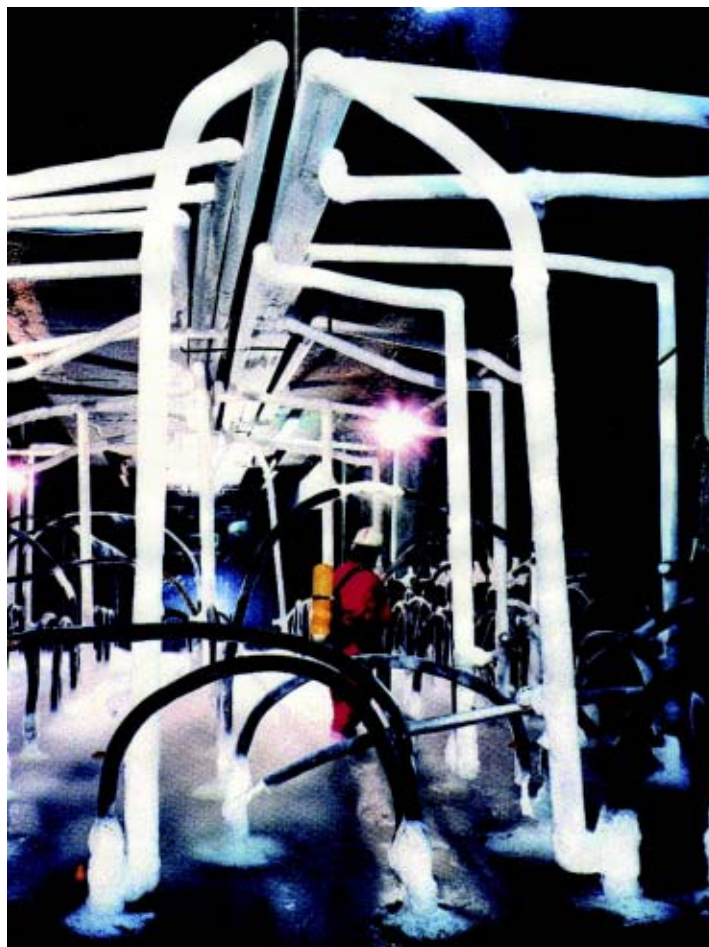
Contenimento dell'acqua

Il principale nodo critico delle gallerie di stazione è quello del contenimento dell'acqua in fase di scavo, che in teoria nel tufo non sarebbe un problema, perchè il terreno ha una buona resistenza, si scava con facilità e si autosostiene (in tempi antichi sono state realizzate grotte di dimensioni anche rilevanti, senza tecnologie particolari di scavo o cautele).

Il problema è invece legato alla permeabilità: se in genere il tufo è poco permeabile e le portate di acqua all'interno dello scavo sono modeste, a volte si registra la presenza di fratture verticali (scarpine) che in alcuni casi sono abbastanza grandi e contengono

materiale sciolto; attraverso queste fratture si potrebbero quindi verificare vene d'acqua importanti, con il rischio

Particolare del congelamento effettuato alla stazione Crocetta della linea 3 della metropolitana di Milano alla fine degli anni Novanta



di trascina-mento di materiale fine dallo strato so-prastante il tufo.

Per bloccare queste possibili infiltrazioni la soluzione che si sta applicando per impermeabilizzare e consolidare temporaneamente i terreni è quella del congelamento dell'acqua di falda, fino al completamento della galleria e lungo tutta la superficie dello scavo, con la messa in circolazione di un fluido refrigerante attraverso sonde disposte nel terreno.

Congelamento

Il raffreddamento dell'acqua di falda fino a temperature inferiori allo zero si ottiene sottraendo il calore in essa contenuto mediante la messa in circolazione nel terreno, con un opportuno sistema

di tubazioni (sonde congelatrici) di un fluido a temperatura inferiore a quella che si vuole ottenere.

In realtà la temperatura nel terreno è variabile con la distanza dalla sonda congelatrice: a distanze elevate l'acqua di falda non risente del trattamento e la temperatura sarà quella naturale della falda (nelle zone interessate dai lavori è a +18 gradi), viceversa, molto vicino alla sonda – una volta formato il ghiaccio – la temperatura continua a scendere fino a raggiungere quella del fluido refrigerante. A Napoli gli interventi in atto utilizzano come fluido refrigerante una soluzione di acqua e cloruro di calcio, detta salamoia, il cui punto di congelamento è a circa -55 gradi, prevedendo di raggiungere la consistenza del muro di ghiaccio, necessaria per lo scavo della galleria, con una isoterma di -10 gradi a circa 50-60 centimetri dalle sonde congelatrici.

Scavi archeologici

Il cantiere napoletano ha un altro aspetto rilevante: l'interrelazione fra i lavori di costruzione dell'infrastruttura e le scoperte archeologiche.



A Napoli il tradizionale dibattito – fra coloro che vedono l'archeologia come impedimento allo sviluppo delle infrastrutture e chi la ritiene un'opportunità – sembra proporsi in chiave positiva, nonostante il blocco dei lavori alle stazioni prosegua ormai da due anni e si prefiguri un cambio di percorso per una di esse, data la rilevanza e la vastità dei ritrovamenti.

Il problema rimane complesso, anche se si moltiplicano in Italia gli esempi in cui il progetto fa proprio l'aspetto archeologico e cerca di assumerlo come valore: così è ad esempio per il parcheggio della Darsena, a Milano (vedi il numero di *Quarry and Construction* di maggio 2003), ma soprattutto per la linea C di Roma, dove si ipotizzano stazioni-museo e si prevede un'elevata flessibilità realizzativa, compreso lo spostamento di una stazione in base al tipo di reperti.



A Napoli lo sfruttamento dell'arte come strumento di comunicazione è un dato acquisito da tempo – con la sua massima espressione nelle stazioni della linea 1 già realizzate, rivestite di opere di artisti contemporanei – e sembra ormai minoritaria l'opinione della dannosità degli scavi, anzi, molti sostengono che è in corso la realizzazione di due opere pubbliche contemporaneamente: la metropolitana e il recupero della storia della città.

Gli scavi archeologici, pur contemplati nel progetto, non sono stati però previsti nella dimensione attuale, che ha sorpreso la stessa Soprintendenza.

Alla stazione Duomo questo sta mettendo in discussione la normale procedura – rimozione dei reperti dopo la scoperta e il rilievo – come avvenuto invece nelle altre stazioni, compresa quella di Municipio, dove gli scavi sono durati molto per il ritrovamento di tre barche di età romana, con caratteristiche uniche per quest'area del Mediterraneo.

La storia oltre le stazioni

Come detto, il problema archeologico di maggiore rilievo nasce nella stazione Duomo, in piazza Nicola Amore, dove sono stati trovati reperti di importanza tale che hanno rallentato a dismisura le attività archeologiche e forse costringeranno a una modifica del progetto: il basamento di un tempio; una serie di tombe; parti di uno stadio o Gymnasium con un porticato d'epoca romana imperiale (II secolo avanti Cristo) sulle cui lastre di marmo sono incisi i nomi dei vincitori nei giochi Isolimpici napoletani; una fontana del XIII secolo.

L'edificio di epoca imperiale sembra essere in ottime condizioni e si fa sempre più pressante l'esigenza di non spostarlo, per non mettere a rischio le strutture architettoniche e i mosaici dei pavimenti. L'ipotesi di uno spostamento della stazione piace agli esperti di cose antiche, molto meno a chi vorrebbe completare la metropolitana senza allungare troppo i tempi.

La soluzione, secondo notizie di stampa, potrebbe essere un intervento in sotter-

raneo, facendo proseguire lo scavo della linea, visto che le frese operano sotto lo strato archeologico, e poi allargarle quanto basta, dall'interno, per realizzare la stazione (come per la stazione Quattro Venti di Roma, illustrata nel numero di dicembre 2004); questo però significa un aumento dei costi, per circa 15 milioni di euro, oltre che una serie di problemi tecnici piuttosto delicati, visto che le paratie esistenti sono armate ed è necessario predisporre la demolizione da un cunicolo.

Un'altra alternativa ipotizza di deviare lo scavo per aggirare l'ostacolo, però questo significa rivedere completamente il progetto, rischiando di perderne il controllo, creando forse problemi ancora più difficili da risolvere.

Un'ulteriore ipotesi è quella di non spostare la stazione ma di allargarla, inglobando i ritrovamenti archeologici.

La stazione nel museo

Intanto, il 22 marzo scorso è stato inaugurato un percorso tra la stazione Museo e il Museo archeologico nazionale, all'interno del quale sono stati sistemati circa cento dei 3 milioni di reperti rinvenuti durante gli scavi, sufficienti a rappresentare un quadro storico di diversi millenni, dal neolitico al Cinquecento. Il Neolitico (IV millennio a.C.) è presente con frammenti ceramici riferibili al culto di Diana e con un modello dei solchi d'aratro scoperti nel sottosuolo. La città greca (VII-II secolo a.C.) è illustrata con un vasto repertorio di ceramiche e con i resti di un'area sepolcrale nella quale venivano deposti i bambini. La città romana (dal II secolo a.C. al III secolo d.C.), rivive attraverso i fregi di un edificio imperiale, le epigrafi con i nomi dei vincitori dei giochi Isolimpici, la testa in marmo di un giovane principe (un ritratto del generale Germanico, secondo l'ipotesi più accreditata), i modelli delle tre barche recuperate nell'antico bacino portuale e un campionario degli oggetti d'uso comune ritrovati a bordo (vasi in terracotta e vetro, anfore, corredi delle imbarcazioni, resti dell'abbigliamento dei marinai). La città bizan-



tina ha vari reperti fra cui un breve tratto di condotta in piombo dell'acquedotto Augusteo del Serino, con graffiti, nomi, impegni e titoli del nobile napoletano che si è occupato del restauro.

La città medievale si mostra attraverso un modello della fontana del XIII secolo ritrovata in piazza Nicola Amore.

La città cinquecentesca è nel plastico del tratto di mura della seconda torre del Maschio Angioino.

Solo Parigi ha una metropolitana che arriva fin dentro il museo – ha dichiarato il sindaco Rosa Russo Iervolino – ma qui si entra a pieno titolo in una struttura museale, che oltretutto esibisce duemila anni di storia della città.

Le spese? Secondo Rocco Papa, vicesindaco e assessore all'Urbanistica, saranno tutte a carico del Comune, con 600 mila euro da finanziare attraverso obbligazioni comunali (Boc).

Arte e comunicazione

Infine, la metropolitana di Napoli si inserisce nel dibattito in corso da tempo sulla forma e l'immagine da dare alle stazioni, che una scuola di pensiero vuole uniforme, per rendere riconoscibile la linea e/o la rete, e un'altra ritiene debbano essere tutte differenti, per dare riconoscibilità al singolo luogo.

La scelta di Napoli è stata quella di fare dell'arte uno strumento di comunicazione, in quanto tale, con approccio che va al di là di questo dibattito: affidate all'artista o dell'architetto di fama, le stazioni diventano le vetrine di una città e di una Regione che cerca il suo rilancio anche attraverso queste forme. Il concetto emerge chiaramente dalle dichiarazioni dei responsabili politici e di esponenti del mondo dell'arte.

Il presidente della Regione Campania ed ex sindaco di Napoli, Antonio Bassolino, durante l'inaugurazione del 22 marzo scorso ha sottolineato che le stazioni costituiscono un museo all'aperto, invitando a cogliere in esse un vero e proprio "manifesto politico e culturale di queste amministrazioni". Nella stessa occasione, ancora più esplicito, e anche un po' inquietante, è stato Achille Bonito

Oliva: "la grande qualità della metropolitana di Napoli è di poter contare su esposizioni permanenti, non come quelle di Milano che durano due settimane; perchè qui si è realizzato un 'museo obbligatorio', dove i cittadini sono obbligati ad avere un contatto con l'arte".

Vetrina internazionale

Negli ultimi anni si registra però uno sviluppo nell'uso dell'arte come strumento di comunicazione, perchè dal vestito artistico calato sulle stazioni, come nella prima tratta della metropolitana, ci si avvia verso un approccio più organico, con l'intervento di un architetto "di fama" durante la costruzione, così da interagire con il progetto ingegneristico e, se necessario, modificarlo. Non è l'approccio integrato di un gruppo multidisciplinare di progettazione, comprendente architetti e artisti, come avviene ad esempio

in Francia, però il passo è significativo. Così sta avvenendo per la sistemazione delle piazze Municipio e Garibaldi, le due più importanti del centro urbano, affidate rispettivamente ad Alvaro Siza e Dominique Perrault, che a loro volta si aggiungono ad altre star del panorama architettonico e artistico mondiale: Zaha Hadid, progettista della stazione di Afragola dell'alta velocità e della stazione marittima di Salerno; Anish Kapoor, che realizzerà la fermata della ferrovia Cumana a Monte Sant'Angelo; lo studio Arup, a cui è stata affidata la progettazione di un tunnel stradale sotto il porto; Renzo Piano, autore del "Vulcano buono" di Nola, un maxi centro servizi con alberghi, ristoranti, cinema multisala, ipermercato ecc.

Rivestimento artistico in una delle stazioni della metropolitana di Napoli già in esercizio

