

SOCIETÀ
DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI
IN TORINO

ATTI E RASSEGNA TECNICA

Anno 122

XLIII - 4-5

NUOVA SERIE

APRILE
MAGGIO 1989

POLITECNICO DI TORINO
SISTEMA BIBLIOTECARIO

**PER
15
3059**

BIBLIOTECA DI INGEGNERIA

IL NODO FERROVIARIO DI TORINO

Alessandro MACCHI

EDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - GR. III/70 - MENSILE

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO XLIII - Numero 4-5 - APRILE-MAGGIO 1989

SOMMARIO

Introduzione	pag. 111
Gli schemi generali di impostazione del Nodo Ferroviario di Torino	» 114
<i>Cos'è il Nodo di Torino</i>	
<i>Cenni storici</i>	
<i>Le ragioni di una linea passante ed esempi di opere</i>	
<i>Il Nodo di Torino ed il nuovo modello di esercizio</i>	
<i>Attività comprese nella Concessione</i>	
L'evoluzione del progetto dallo schema generale all'esecutivo	» 119
<i>Tratta tra Lingotto e Corso Vittorio Emanuele</i>	
<i>Stazioni e proseguimento delle linee fino a Stura</i>	
Gli aspetti geologici e geotecnici del sottosuolo di Torino	» 125
<i>Inquadramento geologico ed idrogeologico generale</i>	
<i>Indagini svolte nella tratta tra Lingotto e Porta Susa</i>	
<i>Analisi delle indagini e prospezioni tradizionali</i>	
<i>Analisi delle perforazioni strumentate PA.PE.RO. (Parametri Perforazione Rodio)</i>	
<i>Comparazione tra i dati geotecnici e l'energia specifica</i>	
<i>Conclusione dello studio</i>	
Sezioni caratteristiche delle strutture	» 134
Dimensionamento ed esecuzione delle opere	» 135
<i>La galleria naturale</i>	
<i>Le gallerie artificiali con diaframmi</i>	
<i>Il Ponte sul fiume Stura di Lanzo</i>	
<i>Altri manufatti</i>	
Interferenze con i servizi della città	» 143
Fasi di esercizio ferroviario interconnesse con i lavori	» 145
Stato dell'arte e programmi	» 145

Direttore: Roberto Gabetti

Vice-direttore: Elena Tamagno

Redattore-capo: Francesco Barrera

Comitato di redazione: Giovanni Bardelli, Guido Bonicelli, Giuseppe Camoletto, Vera Comoli Mandracchi, Rocco Curto, Giorgio De Ferrari, Mario De Giuli, Marco Filippi, Piero Gastaldo, Gian Federico Micheletti, Vittorio Nascé, Franco Pennella, Mario Federico Roggero, Cristina Sertorio-Lombardi, Giovanni Torretta, Giuseppe Varaldo, Anna Maria Zorgno Triscuoglio.

Comitato di Amministrazione:

Presidente: Giuseppe Fulcheri

Segretario: Laura Riccetti

Vice Segretario: Emanuela Recchi

Tesoriere: Giorgio Rosental

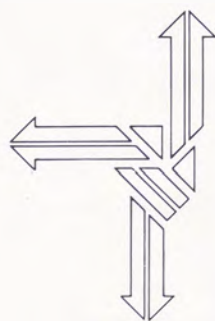
Sede: Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, Corso Massimo d'Azeglio 42, 10125 Torino, telefono 011 - 6508511

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.



NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA



IL NODO FERROVIARIO DI TORINO

Alessandro MACCHI (*)

(*) Ingegnere, Recchi S.p.A. Costruzioni Generali - Torino, direttore operativo delle opere in concessione all'Associazione di Imprese Recchi S.p.A. Costruzioni Generali, C.I.S. Compagnia Italiana Strade S.p.A., C.C.P.L. Consorzio Cooperative Produzione e Lavoro, Fiat Engineering S.p.A.

IL NODO FERROVIARIO DI TORINO

di ENZO RECCHI

L'autore ringrazia tutti i collaboratori delle società Recchi e R.C.C.F. Nodo di Torino e in particolare l'ingegnere Piercarlo Sibille e il grafico Pietro Pintore.

La nascita del Nodo di Torino è stata possibile grazie ad attività articolate e multidisciplinari prodotte con grande impegno da Enti e Società che ne hanno curato da anni le complesse problematiche. Si menzionano in particolare:

- le Ferrovie dello Stato: Direzione Generale, Direzione Compartimentale di Torino - 1^a Unità Speciale di Novara - 1^a Unità Progetti Speciali di Orbassano;
- la Regione Piemonte con i suoi assessorati;
- il Comune di Torino con i suoi assessorati, l'ufficio tecnico e le ripartizioni;
- l'ufficio del Piano Regolatore Generale di Torino;
- la Provincia di Torino;
- la Società SATTI;
- il Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria e Facoltà di Architettura.



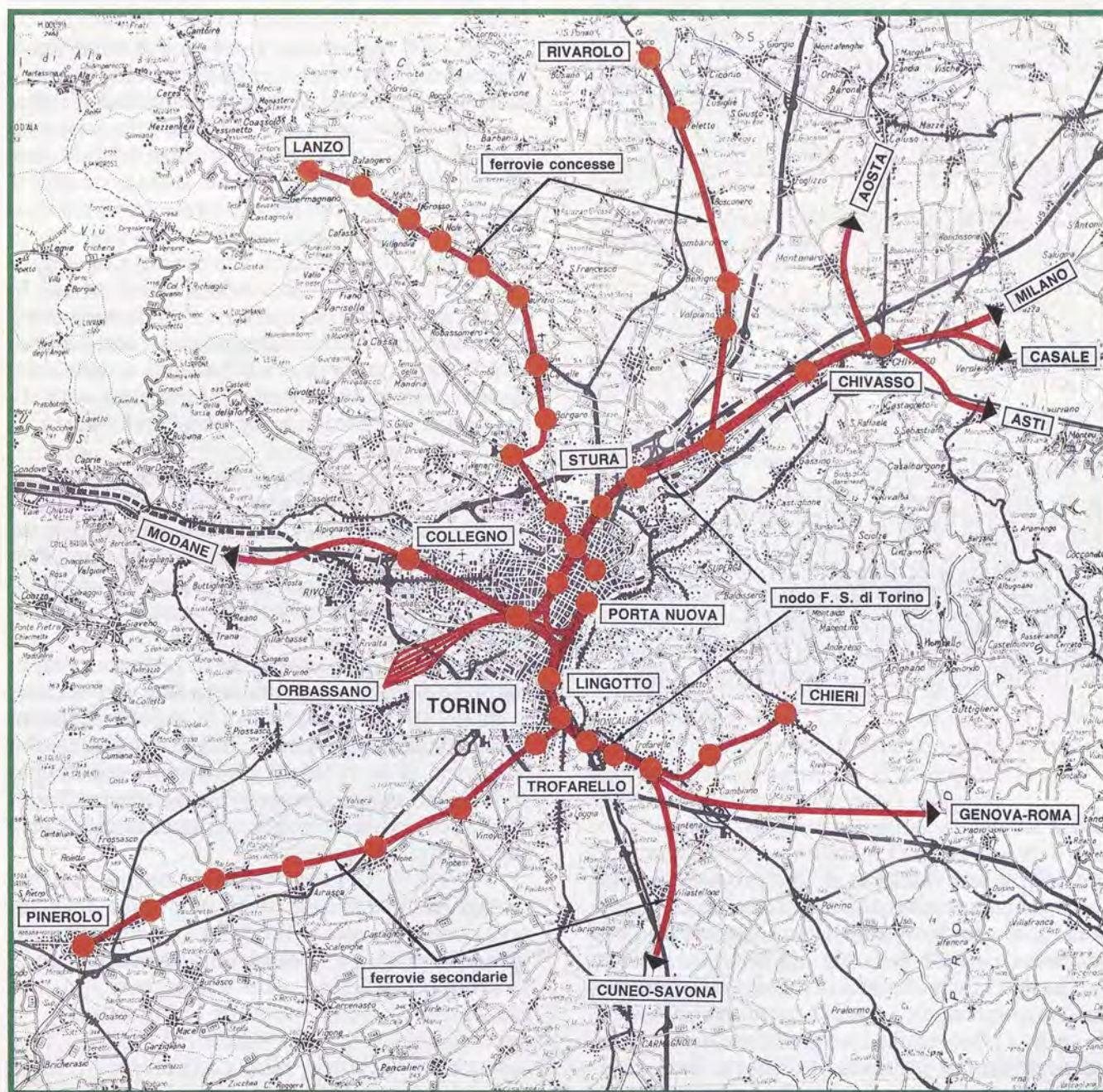
Nell'articolo si illustra il «Nodo ferroviario» di Torino partendo dalla sua genesi storica. Si è perseguito l'intento di esaminare l'importante infrastruttura non solo in rapporto al contributo che essa può dare alla soluzione dei problemi specifici di trasporto, ma anche al significato che l'opera può assumere in una prospettiva e in un orizzonte più vasto, cittadino e regionale.

L'illustrazione riguarda in dettaglio la tratta urbana tra la Stazione di Torino Lingotto e la Stazione di Torino Stura, tratta che interessa in particolare la nuova relazione ferroviaria denominata «passante» e il riassetto di tutte le linee e delle stazioni della città.

A sistema attivato, si stima di poter servire un traffico in entrata a Torino di 50.000 viaggiatori/giorno. Il Nodo consentirà il collegamento tra le 11 linee ferroviarie che confluiscono su Torino e la corrispondenza in 6 stazioni tra la ferrovia e i mezzi di trasporto di superficie o di metropolitana.

Vengono illustrate le impostazioni progettuali originarie, la loro evoluzione, le importanti indagini conoscitive eseguite sui terreni, le soluzioni previste per superare i vincoli posti al lavoro dall'esercizio ferroviario in essere e dalle infrastrutture cittadine.

L'articolo infine illustra le parti realizzate e le tecniche costruttive scelte per poter operare ad un ritmo industriale tale da contenere l'intervento in tempi ridotti.



Il Nodo di Torino e le sue potenzialità.

Cos'è il Nodo di Torino

Per «Nodo di Torino» si intende l'insieme delle stazioni, delle linee e di tutti gli impianti ferroviari compresi nell'area torinese. In esso convergono ben 11 linee utilizzate promiscuamente per i treni viaggiatori a lungo percorso, per i treni regionali e comprensoriali e per i treni merci. Le stazioni che lo delimitano sono: a Sud Trofarello, ad Ovest Collegno, a Nord Chivasso. Esso comprende anche altri importanti impianti ferroviari tra cui soprattutto il nuovo scalo merci intermodale di Torino Orbassano, uno dei più grandi d'Europa.

Le opere del nodo sono finalizzate a potenziare ed ammodernare tutte le infrastrutture, linee, stazione e scali merci.

Quelle illustrate nella presente monografia riguardano in particolare le tratte urbane ed interessano una fascia lunga circa 15 km con origine a Torino Lingotto, termine a Torino Stura e diramazione verso Torino Porta Nuova.

È fondamentale puntualizzare che, per il territorio piemontese, la effettiva potenzialità del Nodo di Torino è di gran lunga maggiore di quella che può apparire dalle delimitazioni geografiche sopra elencate. In esso, infatti, si collegano i rami delle ferrovie principali e di quelle secondarie con interscambio e integrazione in città tra i vari sistemi di trasporto. La fluidità che ne consegue individua il Nodo come fulcro moltiplicatore di servizi e la città di Torino come fattore trainante.

Cenni storici

Il Piemonte dal 1840 al 1870, in soli 30 anni, costruì un complesso di strade ferrate a livello dei più grandi paesi industriali primeggiando fra essi per la costruzione delle più grandi opere di ingegneria dell'epoca. Infatti il regno subalpino eseguì, in quegli anni, i trafori più lunghi del mondo, prima i Giovi sulla linea per Genova (3259 m; anno 1853), poi il Fréjus (13.636 m; anni 1861-1871), e tutto questo mentre portava avanti attraverso costose guerre l'ambiziosa politica di unificazione dell'Italia.

Le prime linee, aventi come punto nodale Torino, furono volte a collegare l'Europa settentrio-

nale ai porti, dalla Francia a Genova, e alle regioni asburgiche, mediante una linea trasversale per Novara-Milano.

La crescente industrializzazione di Torino e la nascita di sempre nuove officine, richiese l'integrazione della città con la sua area e con l'intera regione cosicché dal 1845 presero il via, per lo più in regime di concessione, i lavori di innesto sulle grandi comunicazioni delle linee regionali Torino-Savigliano (poi prolungata a Saluzzo, Bra e Cavallermaggiore), Torino-Pinerolo, Mortara-Vigevano, Vercelli-Valenza con diramazione per Casale, Alessandria-Stradella e le sue diramazioni, Santhià-Biella, Chivasso-Ivrea e via via tutte le altre.

Nel 1868 vennero terminati i lavori della grande stazione di Porta Nuova, edificio funzionale ed insieme monumentale, voluta per la capitale d'Italia.

Il Nodo di Torino era, a fine secolo, una realtà, e nel 1906 in vista dell'esposizione del 1911 (primo cinquantenario dell'unità d'Italia), le ferrovie presentarono al Comune due proposte di sistemazione del Nodo, la soluzione A e la soluzione B (fig. 1 e 2). La soluzione A prevedeva di sopprimere Porta Susa e di instradare i treni su una linea tangenziale ai piedi di Rivoli; la B manteneva Porta Susa per i servizi viaggiatori e merci a grandi velocità e proponeva anche la linea tangenziale: la tratta Porta Nuova-Porta Susa sarebbe stata abbassata di 6 metri. In entrambe Porta Nuova rimaneva invariata ⁽¹⁾

Nel 1908 venne approvato il progetto A, che venne poi rivisto con la sostanziale approvazione del progetto B. Nel 1911 iniziò il primo abbassamento dei binari che, ultimato nel 1925 dopo l'interruzione della grande guerra, portò sostanzialmente il sistema ferroviario torinese alla configurazione attuale.

L'inaugurazione del Nodo avvenne per l'esposizione del 1928. Dopo tale data fu solo più effettuata nel 1941 a Porta Nuova la incredibile demolizione della grande tettoia in ferro e ghisa a volta cilindrica, di 48 m di luce. Per dare «ferro alla patria» si distrussero pregevolissime opere d'arte. Stessa sorte ebbero le due ampie tettoie di Porta Susa parimenti demolite.

Mentre la città cresceva rapidamente (a partire dagli anni 50 si assistette al raddoppio della popolazione), il sistema ferroviario piemontese subiva sostanzialmente solo dei ritocchi senza seguire lo sviluppo cittadino e ciò a scapito soprattutto del trasporto merci vitale per le industrie.

⁽¹⁾ L. BALLATORE - F. MASI, *Torino Porta Nuova*, Edizioni Abete, Roma 1988.

Nel 1960 il complesso delle linee e degli impianti del Nodo aveva raggiunto la saturazione della sua potenzialità. Per questo negli anni 70 e nei primi anni 80 le Ferrovie dello Stato studiavano un potenziamento e cominciavano ad attuarlo con la costruzione della nuova stazione di smistamento di Torino-Orbassano, oggi in via di ultimazione, ed il quadruplicamento della linea da Trofarello a Lingotto, compreso il potenziamento di quest'ultima stazione.

Le Ferrovie dello Stato (Direzione Generale, Direzione Compartimentale e Unità Speciale di Novara), La Regione Piemonte (Assessorato ai Trasporti, Centro Studi sui Sistemi di Trasporto) e il Comune di Torino collaboravano per redigere un Piano Regolatore Generale del Nodo, individuando in particolare gli interventi prioritari da realizzarsi nella seconda metà degli anni 80 (1^a fase lavori) con l'obiettivo di perseguire il riequilibrio sociale, territoriale ed economico del Piemonte.

Gli studi prendevano in esame tre soluzioni:

- la prima prevedeva il «quadruplicamento in asse» della attuale linea da Lingotto a Stura e cioè la realizzazione di quattro nuovi binari in sostituzione dei due esistenti;
- la seconda prevedeva il «quadruplicamento fuori asse» mediante la costruzione di una nuova linea a doppio binario da Stura, lungo Corso Marche, verso la collina di Rivoli sino alla linea di Modane e il potenziamento delle stazioni Stura, Dora, Porta Susa e Lingotto;
- la terza prevedeva la sostituzione integrale di tutte le linee ferroviarie di Torino, con la creazione di nuove linee ed impianti lungo l'anello tangenziale della città.

Di queste soluzioni veniva ritenuta perseguibile dalla Regione soltanto la prima e ciò coincideva con le vedute delle Ferrovie. La soluzione prescelta consentiva di realizzare, in un percorso urbano come quello esistente, due presupposti sostanziali:

- «Il passante» per quanto riguarda gli assetti infrastrutturali delle linee.
- «Gli attestamenti incrociati» per quanto riguarda il modello di esercizio.

Le ragioni di una linea passante ed esempi di opere

La politica ferroviaria italiana, fino a pochi anni fa, ha privilegiato nelle grandi città l'attestamento dei treni in stazioni di testa tra cui le più importanti sono: Roma Termini, Firenze S. Maria Novella, Napoli Centrale, Milano Centrale, Venezia S. Lucia, Bari Centrale, Torino Porta Nuova. In queste stazioni si concentrano ogni giorno

migliaia di persone che arrivano e partono, in fasce orarie molto ristrette, interessando in punti singolari le reti di trasporto pubblico urbano e contribuendo quindi in modo determinante a metterle in crisi.

Questo fatto, noto all'estero ormai da moltissimi anni e che in Italia si è rivelato in tutta la sua imponenza soltanto nel secondo dopoguerra e segnatamente dagli anni 70 in poi, ha imposto lo studio di una diversa filosofia del servizio. Si è compreso che, invece di concentrare fortissimi volumi di traffico nelle stazioni di testa, era necessario distribuire direttamente i viaggiatori delle linee suburbane nei punti più vicini alla loro destinazione finale; si poteva così conseguire il duplice vantaggio di abbreviare i tempi complessivi di viaggio degli utenti e di alleggerire i carichi sulle reti dei mezzi pubblici urbani.

Questo tipo di servizio, denominato «passante», è stato ampiamente attuato all'estero: funziona fino dal 1884 a Berlino, dal 1906 ad Amburgo (6 km di sviluppo con 5 stazioni e la confluenza di 7 linee), dal 1933 a Varsavia, dal 1934 a Copenaghen. Negli anni 60 hanno adottato questo sistema Monaco (4,2 km di sviluppo con quattro stazioni intermedie e la confluenza di 13 linee), Francoforte (5 km di sviluppo con cinque stazioni intermedie e la confluenza di 13 linee), Stoccarda (8,8 km di sviluppo complessivo con 2 collegamenti terminali, 3 stazioni intermedie e confluenza di 8 linee), Düsseldorf, Amburgo e, negli anni 70, Parigi che ha realizzato una imponente interconnessione funzionale, grazie alla rete regionale RER — Réseau Express Régional —, la quale collega a due a due le più importanti stazioni ferroviarie mediante gallerie diametrali sotto la città e realizza numerose ed essenziali corrispondenze con le linee metropolitane ed urbane di superficie tramite l'organizzazione integrata RAPT (Régie Autonome des Transports Parisiens).

Anche Bruxelles, Oslo, Stoccolma e Londra, hanno adottato questa nuova filosofia, attuando delle linee ferroviarie che attraversano la città e collegano tra loro le stazioni di testa.

I passanti realizzati sono linee ferroviarie con caratteristiche intermedie tra la ferrovia vera e propria e la metropolitana. Generalmente l'impiantistica ferroviaria è quella tradizionale. Le opere civili invece sono più assimilabili ad una metropolitana: si fa infatti largo uso di gallerie naturali o artificiali, spesso sotto i fabbricati cittadini, di stazioni in sotterraneo, spesso connesse con stazioni di metropolitane vere e proprie.

In Italia gli esempi di linee passanti sono ancora pochi. Tra i più vecchi si possono citare quelli di Genova (passante «naturale» tra le stazioni Brignole e Principe) e di Napoli (galleria che attraversa gran parte del centro storico tra Mergellina e Napoli Centrale). Milano sta costruendo il pri-



Fig. 1 - Torino. Piano Regolatore del 1906. Soluzione A.

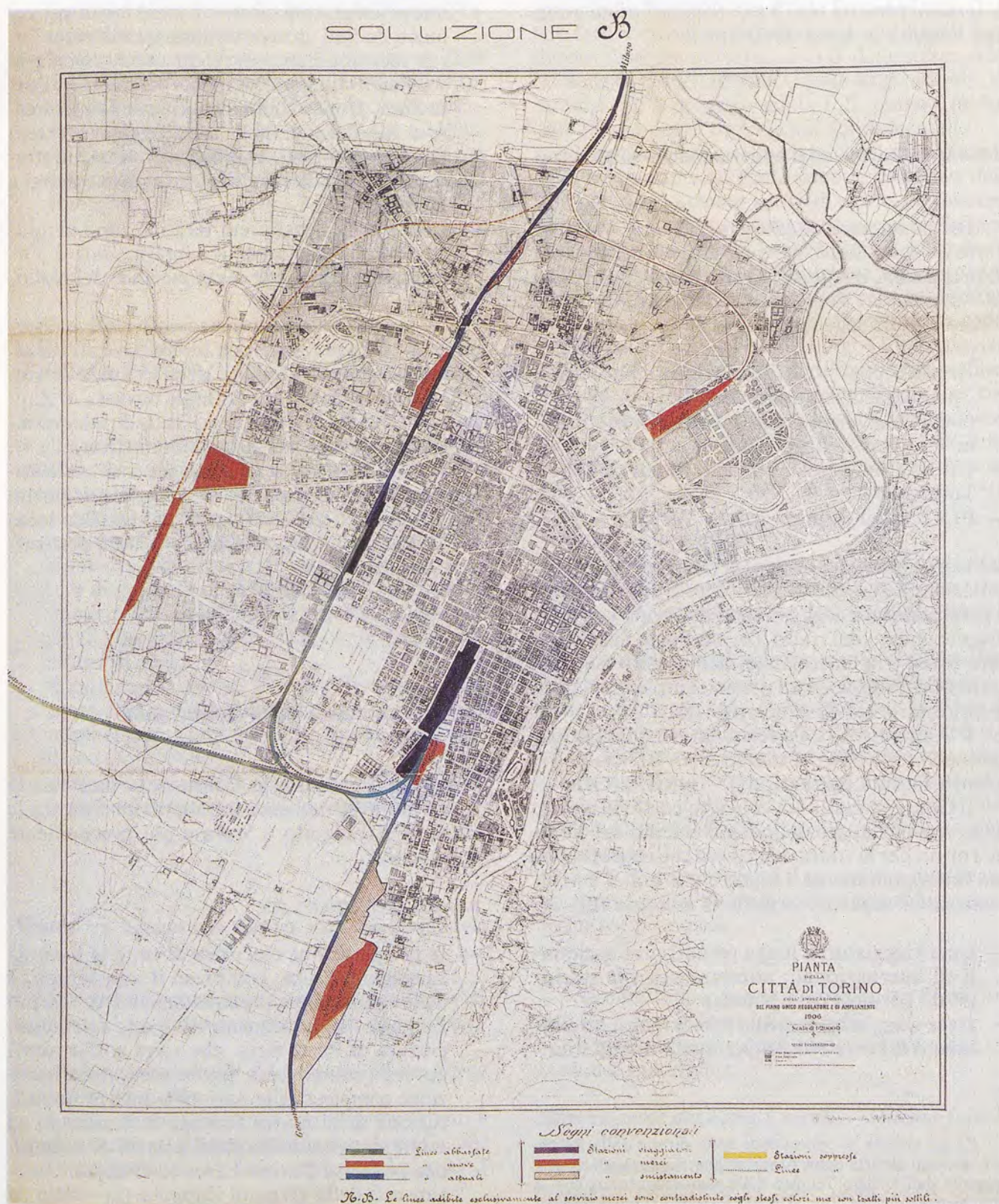


Fig. 2 - Torino. Piano Regolatore del 1906. Soluzione B.

mo vero grande passante ferroviario italiano, capace di realizzare efficaci e capillari interconnessioni con la rete metropolitana, con la rete ferroviaria e con la rete di servizi pubblici di superficie: l'opera, che si sviluppa in lunghezza tra linee e diramazioni per circa 20,5 km, collega 4 stazioni in galleria e 5 in superficie, con una frequenza di servizio prevista tra i 3 ed i 6 minuti primi e con una velocità in linea di 60 km/h.

Il Nodo di Torino ed il nuovo modello di esercizio

Per concretare quanto emerso dagli studi, le Ferrovie dello Stato, nel quadro delle concessioni di prestazioni integrate, hanno affidato nel 1984 all'Associazione Temporanea di Imprese R.C.C.F. formata dalle seguenti società:

- Recchi S.p.A. - Costruzioni Generali - Torino - mandataria capogruppo;
- C.C.P.L. Consorzio Cooperative di Produzione e Lavoro - Reggio Emilia;
- C.I.S. Compagnia Italiana Strade S.p.A. - Torino;
- FIAT Engineering S.p.A. - Torino;

la «Concessione di prestazioni integrate per la progettazione delle opere relative ai provvedimenti per il potenziamento degli impianti di Torino con quadruplicamento del tratto Torino Porta Susa - Torino Stura e la costruzione, nell'ambito del progetto di cui sopra, di un primo complesso di opere prioritarie (1^a fase lavori)» ⁽²⁾.

L'Amministrazione ferroviaria esplica la sua azione di controllo per mezzo di un Ufficio di Vigilanza facente parte della 1^a Unità Speciale.

Il Concessionario, di concerto con le Ferrovie, ha avviato lo studio del potenziamento del Nodo di Torino per la tratta dell'opera che interessa l'area metropolitana da Lingotto a Stura al fine di realizzare il seguente modello di esercizio (fig. 3):

- treni viaggiatori a lunga percorrenza nazionali ed internazionali: attestamento alla stazione di Torino Porta Nuova;
- treni viaggiatori a media percorrenza: attestamento a Porta Nuova per quelli di importan-

za regionale, attestamenti incrociati attraverso il «passante» a Stura o a Lingotto per quelli di rilevanza comprensoriale;

- treni viaggiatori a breve percorrenza, compresi quelli della ferrovia concessa Torino-Ceres (con l'allaccio all'aeroporto di Caselle): attestamento incrociato a Stura e a Lingotto tramite la nuova linea «passante». I treni locali provenienti da Sud attraverseranno quindi tutta l'area metropolitana servendo capillarmente le stazioni di Lingotto, Zappata (eventuale), Porta Susa, Dora e Rebaudengo prima di giungere al capolinea di Stura. Analogamente i treni locali provenienti da Nord serviranno le stesse stazioni in direzione inversa per attestarsi a Lingotto;
- treni merci: questi treni faranno capo al nuovo scalo di smistamento e intermodale di Orbassano, utilizzando le nuove linee del Nodo.

In conclusione il potenziamento risolve il servizio di 11 linee ferroviarie servendo, con un attraversamento della città di circa 15 km, 5 stazioni intermedie (6 con la eventuale fermata di Zappata) e una di testa con possibilità di interscambio con le previste reti metropolitane (linee 1 e 4).

A sistema attivato, si stima un traffico in entrata a Torino di circa 50.000 viaggiatori/giorno suddiviso in circa 33.000 unità per traffico locale, 12.000 per traffico regionale e 5.000 per traffico interregionale.

Attività comprese nella Concessione

Come accennato, la Concessione interessa la tratta più propriamente urbana della città tra le stazioni di Lingotto e Stura e più precisamente comprende:

attività progettuale per

- la progettazione esecutiva di tutte le linee da Lingotto a Stura, compreso il «passante», e delle stazioni con completamento di Torino Lingotto, abbassamento del piano ferro e copertura di Porta Susa, che verrà così a configurarsi totalmente in sotterraneo, ristrutturazione completa delle stazioni Dora e Stura, istituzione della nuova fermata Rebaudengo ed inoltre innesto, a Dora, nella rete F.S. della Linea concessa Torino-Ceres ed eventuale inserimento della fermata Zappata (in studio su proposta dell'Ufficio del nuovo Piano Regolatore di Torino);

⁽²⁾ Le attività di concessione sono dirette dalla Recchi S.p.A., mandataria della Associazione. La progettazione è eseguita dall'Ufficio Tecnico della Fiat Engineering con la consulenza del Prof. Ing. Alfredo Passaro; la parte impiantistica è affidata alle Società Wabco Westinghouse, Siette, Luzi, C.L.F.-Paroldi.

attività di costruzione con

- la realizzazione della tratta in galleria, parte a paratie e parte a foro cieco, dalla stazione Lingotto alla stazione di Porta Susa per uno sviluppo di 5,4 km circa, con linee a doppio binario per circa 9,5 km;
- il quadruplicamento dei binari da Piazza Statuto alla stazione Dora;
- la realizzazione fuori asse di una nuova linea a 4 binari da C.so Grosseto alla stazione Stura per uno sviluppo di 2,5 km circa comprendente, tra l'altro, il nuovo ponte a 8 campate sul fiume Stura di Lanzo, il cavalcavia di via Germagnano ed il calcaferrovia di Strada Cuornè.

L'EVOLUZIONE DEL PROGETTO DALLO SCHEMA GENERALE ALL'ESECUTIVO

Il progetto guida delle F.S. posto a base della concessione presentava i seguenti vincoli e presupposti:

- progettare la linea passante ed il quadruplicamento per iniziarne immediatamente la costruzione ma prevedendo strutture tali da permettere di eseguire in tempi successivi il completamento previsto dal piano regolatore ferroviario di altri due tratti di linea, come meglio precisato in seguito;
- mantenere in essere l'esercizio ferroviario durante l'esecuzione dei lavori;
- minimizzare l'impatto delle nuove opere con il tessuto urbano;
- studiare le necessarie opere di presidio nei confronti dei fabbricati e dei manufatti esistenti.

Tratta tra Lingotto e Corso Vittorio Emanuele

I lavori di questa tratta sono in corso di esecuzione. Il progetto si è evoluto in più tappe.

— Prima tappa: analisi del progetto base e prima stesura progettuale

La situazione delle linee ferroviarie esistenti è rappresentata nello schema funzionale 0 (fig. 4).

Il progetto di 1^a fase veniva redatto in 2 soluzioni:

- soluzione base;
- soluzione alternativa.

Soluzione base - schema funzionale 1 (fig. 5)

Questa soluzione prevedeva il «passante» (indicato con ⑥ in schema) in galleria a foro cieco fino a Corso Vittorio Emanuele. La sua ubicazione planimetrica doveva essere tale da consentire il suo instradamento a Porta Susa e fino a Stura senza creare interferenze con l'esercizio della direttrice principale Porta Nuova-Porta Susa-Milano. Questo fatto richiedeva di sottopassare le attuali linee in esercizio per portarsi, al di là delle stesse, a lato delle O.G.R. (Officine Grandi Riparazioni). Va notato che il progetto guida F.S. poneva inoltre alle nuove opere due vincoli fondamentali.

Il primo vincolo richiedeva che l'asse della galleria del passante nel tratto in corrispondenza delle O.G.R. fosse ubicato sotto gli edifici per lasciare libera una fascia di terreno compresa tra la nuova galleria e l'attuale trincea ferroviaria tale da consentire in futuro la costruzione della nuova linea Porta Susa-Modane, indicata nello schema con la dicitura «futuribile» e ⑦. Il secondo vincolo richiedeva un nuovo bivio in Largo Orbassano, che consentisse in futuro di costruire una nuova linea superficiale, indicata con ⑨ nello schema, per collegare direttamente Porta Nuova e Porta Susa senza impegnare il quadrivio Zappata; tale linea avrebbe dovuto correre parzialmente sovrapposta alla galleria a foro cieco del passante.

Soluzione alternativa

Un più attento esame della situazione globale portava alla formulazione di una proposta alternativa con la costruzione del passante tramite paratie.

Con questa tecnica si riducevano drasticamente costose opere di presidio e di consolidamento e contestualmente veniva prevista, per la tratta in corrispondenza delle O.G.R., l'eventuale utilizzazione delle paratie stesse per realizzare una struttura a due piani: l'inferiore per il passante ed il superiore per il tratto della prevista futura linea per Modane (⑦ sovrapposto a ⑥ nello schema funzionale 2) (fig. 6).

Le F.S. approvavano il progetto e invitavano ad approfondire gli studi relativi alla soluzione alternativa proposta.

— Seconda tappa: nuova alternativa tra Bivio Crocetta e Corso Vittorio Emanuele

Il proseguimento degli studi portava a due sostanziali modifiche:

Eliminazione del Bivio Crocetta - schema funzionale 2

L'instradamento dei treni al di sopra del passante realizzava la sede della linea diretta Porta Susa-Modane, ⑦ sovrapposto a ⑥): in tale configurazione si riteneva opportuno togliere

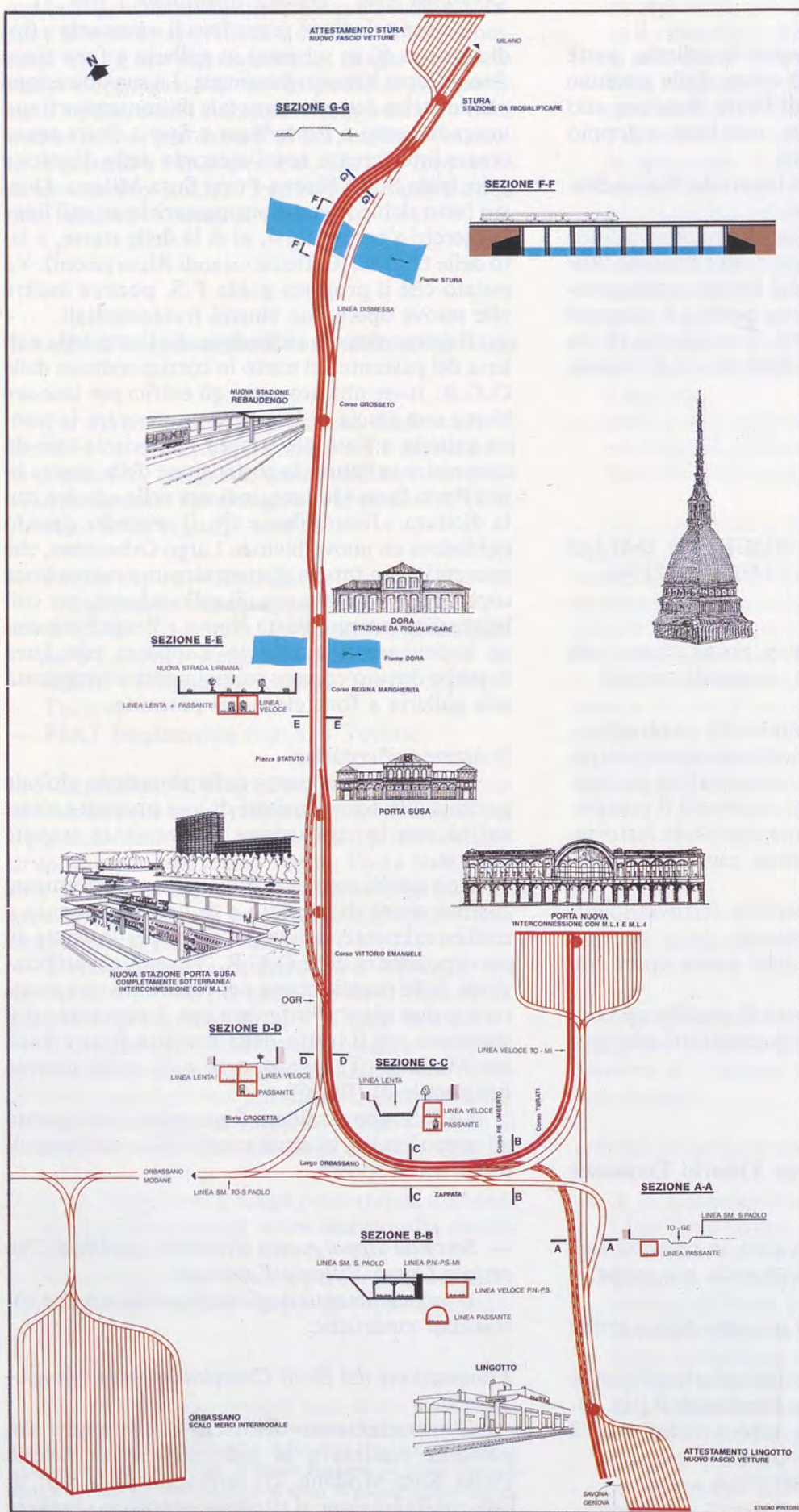


Fig. 3 - Il Nodo di Torino nella tratta Lingotto-Stura. Schema illustrativo.

la comunicazione tra le linee ③ e ⑦ in corrispondenza del Bivio Crocetta che veniva così eliminato.

Eliminazione del sottopasso Crocetta

Anche con questa vantaggiosa configurazione, restava comunque la necessità di sottopassare con il passante le linee esistenti ed in esercizio nella zona del Bivio Crocetta. La tratta in sottopasso, dati gli angoli di incidenza tra le varie linee, risultava di una lunghezza prossima a 300 m con estradosso della galleria a circa 1,50 m dal piano ferro in esercizio. Questo fatto comportava problematiche statiche, tecnologiche, progettuali tali da costituire elemento vincolante per sicurezza, costi, programmi di esecuzione ed oneri di esercizio provvisorio delle linee. Veniva pertanto studiata per la tratta O.G.R. una nuova soluzione traslando il passante al di sotto della attuale trincea dove corre la linea Porta Nuova-Porta Susa (schema funzionale 3) (fig. 7).

— Terza tappa: nuova alternativa tra Corso Turati e Bivio Crocetta - schema funzionale 3

Anche in questa configurazione rimaneva invariato il problema relativo alle opere di presidio necessarie, tra il Bivio Crocetta e Corso Turati, nei confronti delle preesistenze urbane con la previsione della futura linea in superficie. Infatti le strutture dovevano consentire, come già detto, di mantenere l'attuale linea proveniente da Porta Susa con destinazione Lingotto e di staccare, da Largo Orbassano, una linea indipendente corrente in superficie sopra il passante e forzatamente disassata dallo stesso.

Si intuiva che, qualora la linea deviata per Porta Nuova fosse stata distaccata dal Bivio Crocetta anziché da Largo Orbassano, sarebbe bastato continuare da questo punto la struttura a paratie a due livelli verso Porta Nuova ubicando al di sotto il passante e al di sopra la linea diretta Porta Nuova-Porta Susa. Ciò avrebbe consentito di realizzare subito l'intervento previsto per il futuro senza dover reintervenire nel tessuto cittadino né eseguire onerose opere di predisposizione.

— Quarta tappa: schema funzionale 4 (fig. 8)

Ritenuta interessante la soluzione, si proseguivano gli studi per la realizzazione delle opere con le necessarie fasi provvisorie per mantenere l'esercizio.

In particolare, a partire dal Bivio Crocetta verso Porta Susa, dovendo costruire il passante sotto la trincea in esercizio, occorreva spostare le linee ivi esistenti nella nuova sede prevista per la Porta Susa-Modane e pertanto era necessario ripristinare un raccordo al Bivio Crocetta. Questo

richiedeva comunque una risistemazione globale molto complessa per gli impianti ferroviari esistenti, le aree industriali in esercizio e i sovrappassi cittadini molto importanti. Il raccordo, per motivi di costo, nasceva come provvisorio (cioè senza costituire bivio).

Si intuiva la possibilità, rendendo definitivo il raccordo con $V = 100$ km/h, di ripristinare un nuovo bivio realizzando completamente il quadruplicamento delle linee per Milano con partenza da Porta Nuova. Ciò avrebbe consentito di sfruttare appieno le spese da sostenere.

Questa tappa concludeva l'iter progettuale fino a Corso Vittorio Emanuele.

— Schema funzionale finale da Lingotto a Corso Vittorio Emanuele

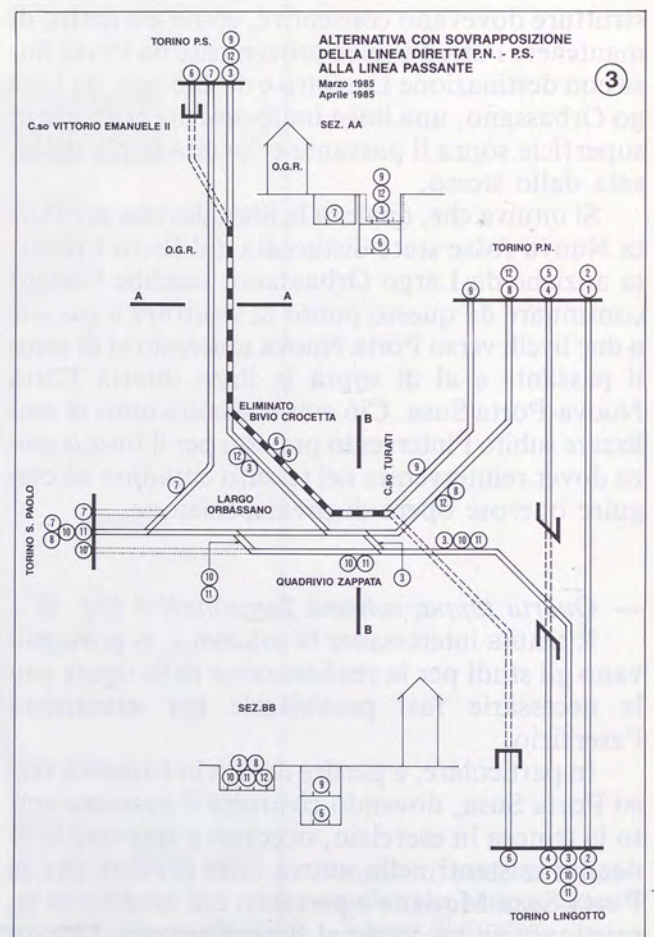
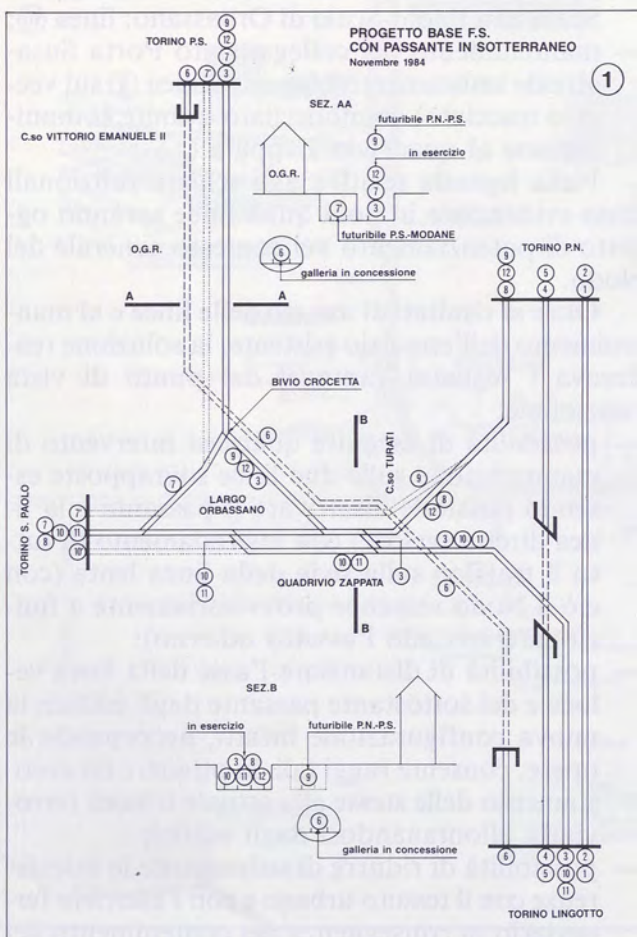
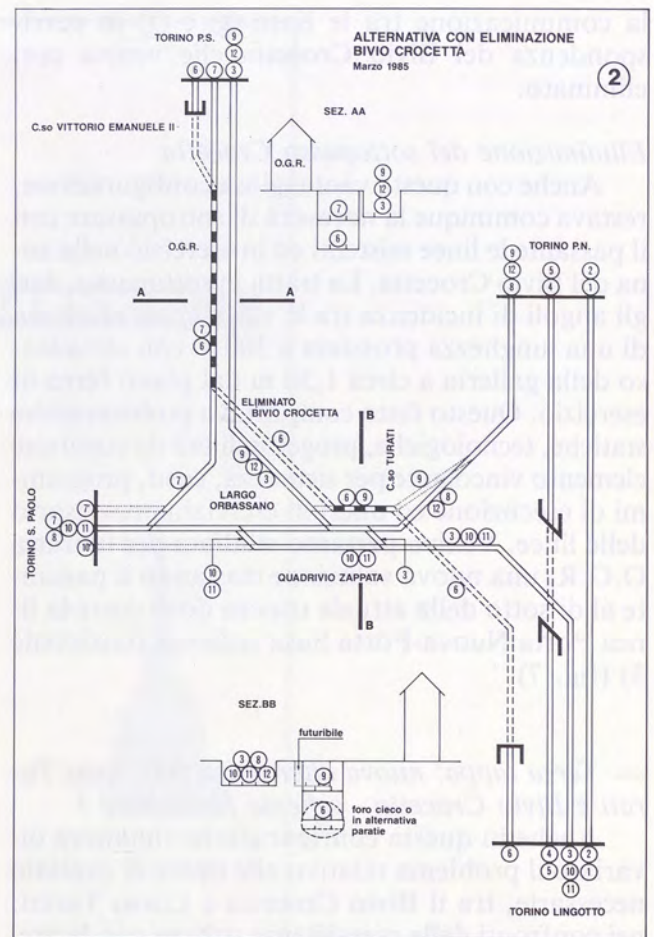
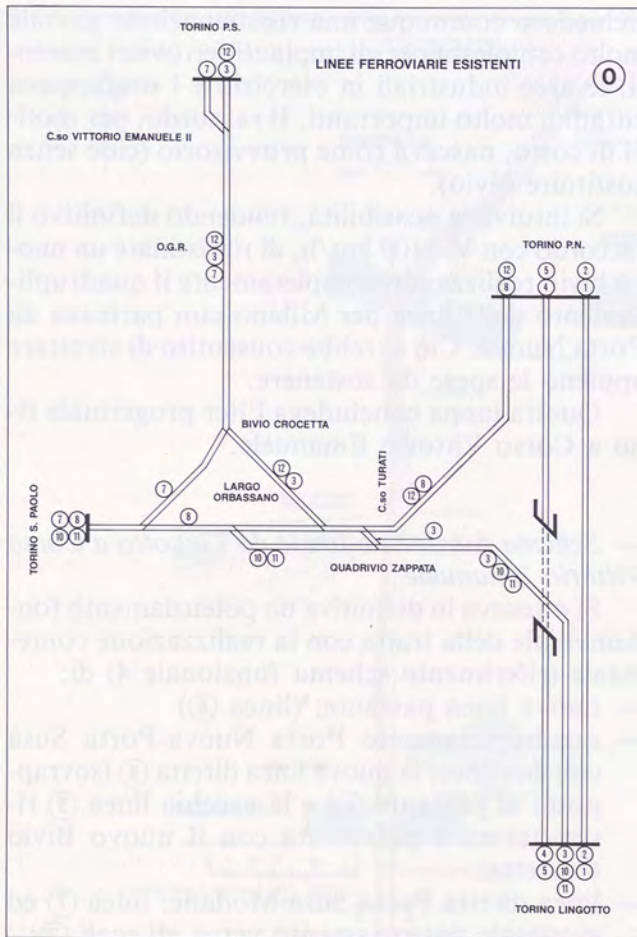
Si otteneva in definitiva un potenziamento fondamentale della tratta con la realizzazione contestuale (riferimento schema funzionale 4) di:

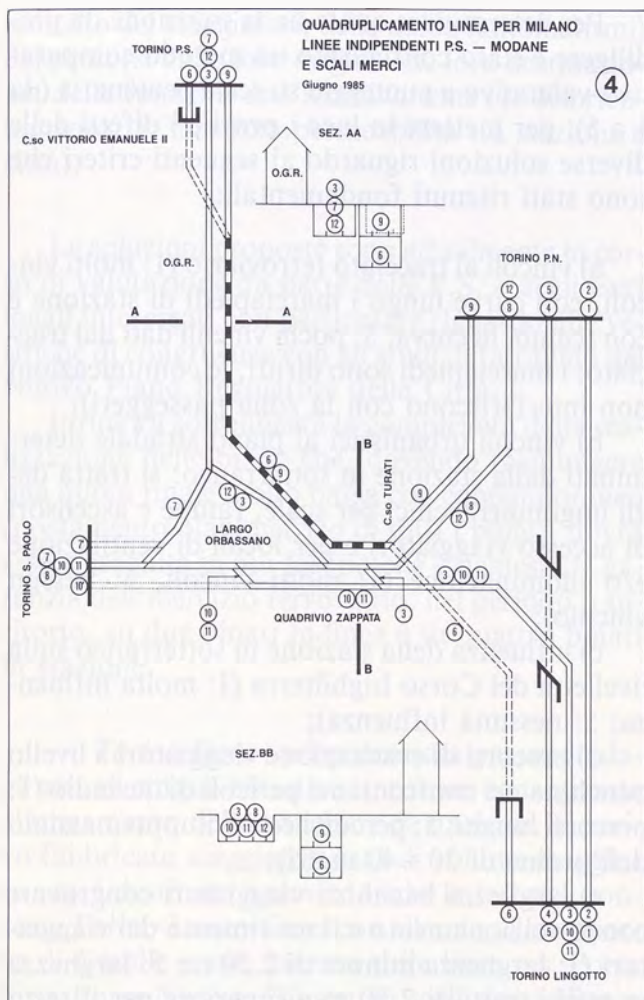
- nuova linea passante; (linea ⑥)
- quadruplicamento Porta Nuova-Porta Susa con due linee: la nuova linea diretta ⑨ (sovrapposta al passante ⑥) e la vecchia linea ③ ristrutturata e potenziata con il nuovo Bivio Crocetta;
- linea diretta Porta Susa-Modane: linea ⑦ ed eventuale potenziamento verso gli scali ⑦;
- predisposizione per una nuova linea Lingotto-Scalo San Paolo-Scalo di Orbassano: linea ⑩;
- mantenimento del collegamento Porta Susa-attuale smistamento Lingotto (linea ③ sul vecchio tracciato) ammodernato tramite comunicazione al quadrivio Zappata.

Nella legenda relativa agli schemi funzionali sono evidenziate in nota quali linee saranno oggetto di potenziamento nel contesto generale del Nodo.

Oltre ai risultati di assetto delle linee e al mantenimento dell'esercizio esistente, la soluzione realizzava i seguenti vantaggi dal punto di vista funzionale:

- possibilità di eseguire qualsiasi intervento di manutenzione sulle due linee sovrapposte essendo possibile disattivare il passante e la linea diretta (veloce) con instradamento di tutto il traffico sulla sede della linea lenta (con ciò il Nodo verrebbe provvisoriamente a funzionare secondo l'assetto odierno);
- possibilità di distanziare l'asse della linea veloce e del sottostante passante dagli edifici: la nuova configurazione infatti, accorpendo le opere, consente raggi tali da ottenere un accostamento delle stesse alla attuale trincea ferroviaria allontanandosi dagli edifici;
- possibilità di ridurre drasticamente le interferenze con il tessuto urbano e con l'esercizio ferroviario in conseguenza del contenimento dei





Legenda:

LINEE FERROVIARIE

- 1 - Impianti polifunzionali
- 2 - Deposito locomotive
- 3 - Lingotto-Porta Susa
- 4 - Genova-Porta Nuova
- 5 - Savona-Porta Nuova
- 6 - Passante: Lingotto-Porta Susa
- 7 - Porta Susa-Modane
- 7' - Futuribile: Porta Susa-Modane
- 8 - Porta Nuova-Modane
- 9 - Futuribile: Porta Nuova-Porta Susa
- 10 - Lingotto-Scali S. Paolo e Orbassano
- 10' - Potenziamento Lingotto-Scali S. Paolo e Orbassano
- 11 - Lingotto-Modane
- 12 - Porta Nuova-Porta Susa-Milano

È previsto il quadruplicamento delle linee:

- 1 e 2 nella tratta Torino Porta Nuova - Torino Lingotto (impianto polifunzionale).
- 4 e 5 nella tratta Torino Porta Nuova - Torino Lingotto.

Figg. 4-8 - Schemi funzionali.

tempi di intervento perché gli stessi vengono ad essere concentrati in un'unica fase eliminando la necessità di interventi successivi.

Infine le opere così configurate venivano a suggerire un parallelo tra la viabilità ferroviaria sotterranea e quella di superficie. Ne scaturiva l'idea di studiare la possibilità di coprire tutte le opere ferroviarie, nuove ed esistenti, con la conseguenza di creare un nuovo assetto viario di superficie su aree più ampie e di suggerire quindi nuovi orizzonti urbani.

Tale assetto veniva a costituire il primo nucleo di idee su cui poi, come si accennerà in seguito, si sarebbe impostato il concetto della «Spina centrale di Torino».

— Scelte esecutive

Le Ferrovie sceglievano lo schema funzionale 4 per la redazione finale del progetto esecutivo, progetto le cui caratteristiche di ingegneria verranno illustrate in appositi paragrafi.

Stazioni e proseguimento delle linee fino a Stura

Contemporaneamente al progetto delle linee tra Lingotto e Corso Vittorio Emanuele, il Concessionario provvedeva a redigere i progetti sia delle stazioni sia delle nuove linee per il successivo tratto tra Corso Vittorio Emanuele II e la stazione Stura.

— Le stazioni

Venivano studiati i piani schematici di stazione (schemi funzionali) con l'indicazione dei binari di corsa, di ricevimento, di incrocio e di precedenza; veniva eseguita la determinazione delle caratteristiche plano-altimetriche e il dimensionamento sia dell'intervista tra i binari, sia dei marciapiedi, sia degli impianti di stazione (numero e lunghezza dei binari), e ciò in funzione della massima composizione dei convogli in linea (modulo).

— Torino Lingotto

Nell'ambito dei lavori di quadruplicamento dei binari fra Torino e Trofarello era già stata realizzata una prima parte della nuova Stazione Viaggiatori. L'ulteriore potenziamento riguarda l'attestamento della linea «passante» e la creazione di un impianto «polifunzionale» per la pulizia e la manutenzione dei treni che si attestano sia a Lingotto sia a Porta Nuova, con modifiche di tutti i fasci binari e la realizzazione di nuovi sottopassi scatolari di servizio.

Ulteriori adeguamenti, in correlazione con altri servizi attualmente in fase di spostamento (mercato ortofrutticolo, dogana, parco Satti per Ferrovie Concesse), sono in corso di perfezionamento progettuale.

— Torino Porta Susa

Per la stazione di Torino Porta Susa è stata prevista una radicale trasformazione: lo spostamento planimetrico verso Corso Vittorio Emanuele II e l'abbassamento del piano dei binari di circa 7 metri rispetto alla quota attuale allo scopo di mettere il complesso di opere totalmente in sotterraneo.

La progettazione di tale stazione ha una rilevanza sostanziale perché la sua ubicazione e le sue caratteristiche, nei confronti sia degli interscambi urbani sia dei nuovi assetti di superficie, richiedono la riorganizzazione degli spazi cittadini e la formulazione di nuovi aspetti architettonici che vincolano non solo la funzione ferroviaria ma l'intero progetto della Spina Centrale della città. Basti pensare che l'area interessata tra Corso Vittorio Emanuele e Piazza Statuto è di circa 60.000 m² che, con le opere ferroviarie coperte, si renderanno interamente disponibili. In diretta connessione con la stazione l'area sarà impegnata dalle seguenti funzioni:

- nuova sede di Corso Inghilterra;
- nuova urbanizzazione dell'area di Corso Bolzano;
- nuovo assetto degli attraversamenti viari in direzione Est-Ovest;
- nuovi accessi pedonali al contesto urbano attuale ed ai nuovi insediamenti previsti;
- nuovo fabbricato viaggiatori e organizzazione delle aree connesse per viabilità e sosta;
- scambio intermodale su più sistemi di trasporto: ferrovia, metropolitana, mezzi pubblici di superficie su gomma e ferro, mezzi privati.

Dal punto di vista ferroviario sono previsti 6 binari: il I e il II, serviti da marciapiedi separati, costituiscono i binari di corsa delle linee per Milano; il V ed il VI sono i binari della linea passante; il III e il IV sono binari di precedenza. Sono previste velocità di 100 km/h sui binari di linea e 60 km/h su quelli di precedenza.

Di larga massima è stato individuato il seguente schema di previsione di traffico:

- linea «passante»: convogli/giorno n° 121 (di cui 71 a trazione termica);
- linea Porta Susa-Bivio Crocetta-Modane/Zappata: convogli/giorno n° 122;
- linea «diretta» Porta Susa-Porta Nuova: convogli/giorno n° 78.

Questi dati insieme ai flussi di punta dei passeggeri (8.500 viaggiatori/ora) sono stati presi a base dei dimensionamenti tecnici di stazione come i percorsi, le aree di servizio e le vie di fuga, ecc.

Sono state studiate 7 soluzioni progettuali con diverse ipotesi distributivo-funzionali.

Per determinare quale sia la soluzione da prediligere è stato configurato un metodo comparativo-valutativo a punteggio su scala pentenaria (da 1 a 5), per mettere in luce i pregi e i difetti delle diverse soluzioni riguardo ai seguenti criteri che sono stati ritenuti fondamentali:

a) vincoli al tracciato ferroviario (1: molti vincoli, con curve lungo i marciapiedi di stazione e con scambi in curva; 5: pochi vincoli dati dal tracciato: i marciapiedi sono diritti, le comunicazioni non interferiscono con la zona passeggeri);

b) vincoli urbanistici al piano stradale determinati dalla stazione in sotterraneo: si tratta degli ingombri tecnici per scale, rampe e ascensori di accesso viaggiatori e per locali di ventilazione e/o illuminazione (1: molti vincoli, 5: nessun vincolo);

c) influenza della stazione in sotterraneo sulla livelletta del Corso Inghilterra (1: molta influenza; 5: nessuna influenza);

d) percorsi di evacuazione viaggiatori a livello banchina nei confronti dei pericoli di incendio (1: percorsi lunghi; 5: percorsi con sviluppo massimo dell'ordine di 30 ÷ 40 metri);

e) larghezza banchina viaggiatori congruente con lo stazionamento e il movimento dei viaggiatori (1: larghezza minore di 2,50 m; 5: larghezza in pochi tratti di 2,50 m e superiore per il resto della banchina; presenza di una zona di stazionamento dei viaggiatori ben delimitata e possibilità di creare isole confortevoli per l'attesa con panchine, telefoni, servizi, ecc.);

f) possibilità di specializzare le scale o rampe di accesso in banchina per la salita o la discesa (1: specializzazione non possibile; 5: specializzazione possibile in ogni gruppo di accesso);

g) incarrozzamento rispetto al piano binari nei confronti dei marciapiedi di stazione (1: incarrozzamento a quota +0,25; 2-3-4: incarrozzamenti misti a quota +0,25 e a quota +0,60 con possibilità o meno di scendere dal marciapiede al piano binari; 5: incarrozzamento a quota +0,60 con gradino di servizio e sicurezza a quota +0,25);

h) tempi di deflusso dei viaggiatori dalle banchine: (1: tempo più elevato; 5: tempo più ridotto);

i) vincoli imposti dai gruppi scala all'estetica interna della stazione in sotterraneo (1: molti vincoli, 5: pochissimi vincoli);

l) barriere architettoniche: percorsi attrezzati con rampe a pendenza massima del 3% o con ascensori per l'accesso in banchina dal piano stradale di persone con ridotta attività motoria (1: nessun accesso attrezzato; 5: molti accessi attrezzati);

m) efficacia dell'impianto evacuazione fumi (1: impianto modesto; 5: impianto con evacuazione diretta dei fumi all'aperto);

n) rapporto esterno-interno nello schema generale di stazione (lay-out) nei riguardi: dell'orien-

tamento dei viaggiatori, della guida (automatismi) dei percorsi dalla loro origine alla loro destinazione, delle funzioni dell'illuminazione (1: disorientamento; 5: massima permeabilità tra stazione e città).

Le soluzioni proposte sono attualmente in corso di valutazione da parte delle F.S. e degli Enti locali interessati con particolare riguardo alle verifiche di congruenza con gli studi di fattibilità del Nuovo Piano Regolatore della Città.

Infine va sottolineata la complessità della realizzazione delle opere che, dovendo raggiungere una quota finale molto bassa con contemporaneo spostamento planimetrico di tutti i binari, dovrà essere eseguita in più fasi poiché è richiesta la garanzia dell'esercizio ferroviario, nel periodo transitorio, su due binari in linea e su quattro binari in stazione.

— *Torino Dora* sarà potenziata passando dagli attuali cinque binari a sei, con un conseguente allungamento delle banchine di stazione. Il nuovo fabbricato viaggiatori sarà di volume maggiore e sarà destinato a servire anche la ferrovia concessa Torino-Lanzo-Ceres con allaccio all'aeroporto di Caselle e suo innesto sulle linee per Porta Susa-Porta Nuova. Gli attuali scali merci (Barca e Valdocco) perderanno la loro funzione per assumere esclusivamente quella di fasci di appoggio a servizio dei raccordi ed a ricovero di rotabili viaggiatori.

— *Torino Rebaudengo* sarà una fermata con tre marciapiedi, pensiline e sottopassi, destinata a funzionare per i treni locali ed a servire l'ampia zona di Torino su cui gravita tutto il comprensorio Nord-Ovest del complesso urbano.

— *Torino Stura* assumerà una grande importanza in quanto stazione di testa per gli attestamenti incrociati, così come Lingotto. Per questo è previsto un notevole potenziamento con la costruzione, oltre ai quattro binari di corsa, di un fascio per composizione treni viaggiatori e di uno per treni merci, ciascuno di 4 binari. Sarà costruito un nuovo fabbricato di stazione e tutti i servizi per il ricovero e la manutenzione ordinaria delle carrozze viaggiatori.

— *Eventuali altre fermate.* Si tratta di una fermata in zona Zappata tra Corso Re Umberto e Largo Orbassano: l'inserimento avverrebbe sulla linea del passante. L'ipotesi realizzativa, già a suo tempo proposta, è stata recentemente ripresa dall'Ufficio incaricato della redazione del Nuovo Piano Regolatore.

— Movimento viaggiatori previsto a regime nelle stazioni del Nodo di Torino

STAZIONE	PREVISIONI DI VIAGGIATORI/GIORNO IN ENTRATA	PREVISIONE PERCENTUALE DI TRAFFICO
Lingotto	11.000	22
Porta Susa	16.000	32
Dora	5.000	10
Stura	2.000	4
Porta Nuova	16.000	32 (*)
	50.000	100

(*) Attuale percentuale: circa 70%.

— Nuove linee da Porta Susa (Piazza Statuto) a Stura

Nella tratta sono previste due linee a doppio binario affiancate, lunghe circa 8 km, denominate: «veloce» la linea lato collina, «lenta» quella lato montagne. Sulla prima verranno di prevalenza instradati i treni da e per Porta Nuova, sulla seconda saranno instradati in prevalenza i treni da e per Lingotto; entrambe le linee corrono parte in galleria, parte allo scoperto.

Attualmente per il tratto da Piazza Statuto alla Stazione Dora e fino a Corso Grosseto è stato posto allo studio, su invito dell'Ufficio del Nuovo Piano Regolatore di Torino, l'abbassamento del piano binari rispetto ai progetti già eseguiti, in modo da poter realizzare un viale cittadino, sopra le nuove linee, che ricucia il tessuto urbano oggi tagliato dalla ferrovia. Tale realizzazione, unitamente alla copertura di tutte le trincee ferroviarie tra Largo Orbassano e Corso Vittorio Emanuele II, già in esecuzione, e alla nuova stazione di Porta Susa in sotterraneo, consentirà la realizzazione della già accennata «Spina Centrale di Torino» che costituisce uno dei punti qualificanti del Nuovo Piano Regolatore della Città.

La tratta tra Corso Grosseto e la Stazione Stura, per la quale i lavori sono in fase di ultimazione, costituisce il quadruplicamento fuori asse, prevalentemente in rilevato, della attuale linea per Milano e comprende tra l'altro la sostituzione del vecchio ponte sul fiume Stura di Lanzo con un manufatto ragguardevole. Le opere previste in questa ultima tratta sono in via di ultimazione e verranno descritte nei paragrafi successivi.

GLI ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI DEL SOTTOSUOLO DI TORINO

L'infrastruttura ferroviaria da costruire si pone come un'opera che non ha precedenti per ampiezza

nell'ambito della città, per cui non esisteva una quantità di dati sufficiente per una stima corretta dei parametri di base. È stato così necessario eseguire, dopo un primo inquadramento geognostico generale dell'intero tracciato, una campagna molto approfondita di indagini per le tratte oggetto della fase funzionale costruttiva.

Lo studio si è avvalso di specialisti di geologia e geotecnica, coinvolti anche in altre indagini di comparabile ampiezza, per realizzare un approccio multidisciplinare al tema ⁽³⁾.

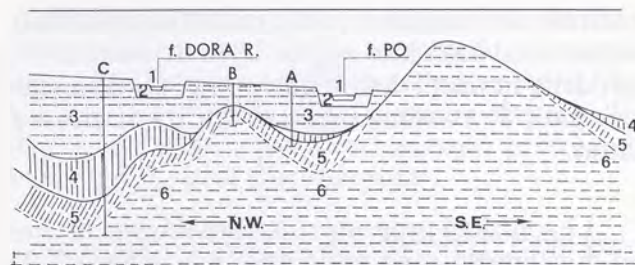
Inquadramento geologico ed idrogeologico generale

Il sottosuolo di Torino è costituito da un deposito sabbioso ghiaioso ben addensato con livelli cementati. Le caratteristiche fisico-meccaniche delle alluvioni antiche costituenti la formazione (fig. 9) dipendono non solo dall'ambiente deposizionale-periglaciale e fluviale in cui si sono originate, ma anche dall'azione delle acque sotterranee, di diversa provenienza e contenuto ionico, che le hanno percorse. In particolare, l'incontro e la miscelazione nel sottosuolo di acque dure e fredde provenienti dalle Alpi, a Ovest, con altre più temperate e di diverso pH, ha dato luogo alla precipitazione di concrezioni calcaree, in forma via via meno massiva e continua, procedendo nel territorio della città da Nord-Ovest verso Sud-Est. Ne risultano distribuzione, frequenza ed estensione delle concrezioni del tutto casuali.

La falda è stata rinvenuta a quote assolute comprese tra 217 e 220 m s.l.m. (da -22 m a -25 m dal p.c.) a circa 4 m al di sotto del piano ferro. È da osservare che, nel corso dell'ultimo decennio la falda freatica nel sottosuolo di Torino è risultata in costante risalita e ciò suggerisce la necessità di periodici controlli in corso d'opera e in fase di esercizio.

⁽³⁾ Hanno collaborato:

- S.G.I. s.r.l. Studio Geotecnico Italiano, Milano;
- Geoanalysis s.r.l., Ingegneria Geotecnica; Meccanica delle rocce; Applicazioni numeriche, Torino;
- Politecnico di Torino:
 - Prof. Ing. E. Armando (Prospezione Geofisica),
 - Prof. Ing. G. Barla (Meccanica delle rocce),
 - Prof. Dott. M. Civita (Geologia Applicata),
 - Dott. Ing. L. Sambuelli (Prospezione Geofisica);
- ed inoltre:
 - Dott. Ing. C. Mascardi (S.G.I.),
 - Dott. Ing. P. Jarre, Dott. Ing. L. Vai (Geoanalysis),
 - Dott. A. Volpe, Dott. Ingg. G. Olivero, B. Bianco (Radio Spa).



- 1 - Alluvioni attuali
- 2 - Alluvioni recenti
- 3 - Alluvioni antiche
- 4 - Depositi villafranchiani, prevalentemente argillosi
- 5 - Depositi piacentani, prevalentemente sabbioso-conglomeratici
- 6 - Marne ed arenarie mioceniche

Fig. 9 - Sezione geologico-tecnica schematica della zona tra i fiumi Dora Riparia e Po nell'area urbana torinese.

Indagini svolte nella tratta tra Lingotto e Porta Susa

Sono state eseguite:

- perforazioni geognostiche, con sondaggi a rotazione Ø127 e Ø177 mm (n° 18) ed a percussione Ø530 mm (n° 2);
 - prelievo di campioni per analisi granulometriche (115 prove);
 - prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) con l'acquisizione di 170 valori di Nspt, entro i sondaggi a rotazione;
 - prelievo di campioni di grosse dimensioni di terreno cementato ed esecuzione di prove meccaniche in laboratorio;
 - prove geofisiche di tipo sismico con:
 - rifrazione lungo 5 stendimenti;
 - prove down-hole in 4 fori;
 - tomografia sismica;
 - esami diretti sui materiali dei primi scavi effettuati ed ispezione di un cunicolo fognario di 5 m² di sezione.
 - perforazioni strumentate (n° 34) per valutare l'energia specifica di perforazione;
 - saggi con benna a fune (n° 2 paratie di prova);
- Le indagini sono state eseguite per conoscere:
- la natura del terreno e la tipologia del deposito alluvionale;
 - la quota e le caratteristiche della falda freatica;
 - la composizione granulometrica e il grado di addensamento in sito;
 - la presenza e le caratteristiche geometriche e fisiche dei livelli più addensati e cementati con la determinazione dei criteri atti a individuarli;
 - le caratteristiche geotecniche del terreno con la determinazione dei parametri di calcolo per il progetto;
 - la messa a punto delle tecnologie di esecuzione delle opere.

Analisi delle indagini e prospezioni tradizionali

— Prove granulometriche

La composizione media del terreno risulta la seguente (fig. 10):

- 51% di ghiaia e ciottoli (questi ultimi solo per l'1%);
- 31% di sabbia;
- 18% di fine (limo e argilla).

Nella tabella n° 1 si riportano i dettagli dell'analisi statistica per zone, e secondo la profondità, degli stessi dati. Si osserva che:

- nel suo insieme il terreno del sottosuolo di Torino risulta eterogeneo, e caratterizzato dalla presenza uniforme di tutte le frazioni granulometriche, senza forti discontinuità della curva granulometrica media;
- il calcolo del grado di disuniformità (U) (rapporto tra il D60 e D10, rispettivamente diametri dei setacci che lasciano passare il 60% ed il 10% del materiale) indica un valore medio partico-

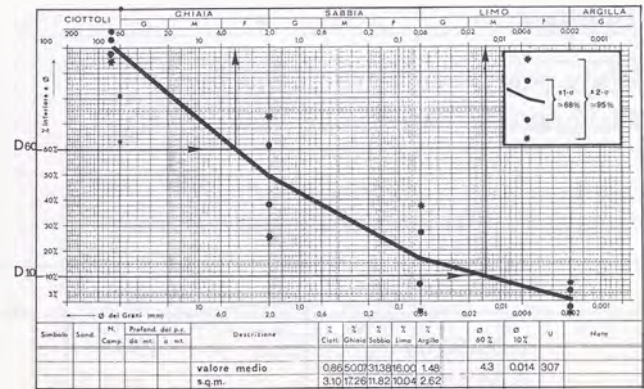


Fig. 10 - Curva granulometrica media.

larmente elevato, pari a circa 300. In altre situazioni, Milano ad esempio, dove il deposito di terreno sciolto è stratificato in modo ben distinto, il grado di disuniformità (U) raggiunge valori ben più bassi (alcune decine di unità). Ciò riflette la possibilità di distinguere gli strati più fini (sabbie) da quelli più grossolani (ghiaie);

Tabella 1

Analisi granulometriche - Elaborazione statistica

Analisi di tutti i valori Lingotto-P. Susa

	valori tra p.c. e -50.0 m (115 dati)	valori tra p.c. e -10.0 m (32 dati)	valori tra -10.0 e -20.0 m (40 dati)	valori tra -20.0 m e -50.0 m (43 dati)
ciottoli	0,86 ± 3,10	1,22 ± 4,05	0,72 ± 2,66	0,7 ± 2,68
ghiaia	50,07 ± 17,26	54,78 ± 15,15	54,05 ± 14,99	42,86 ± 18,58
sabbia	31,38 ± 11,82	29,28 ± 7,07	30,80 ± 13,27	33,49 ± 13,07
limo	16,00 ± 10,04	13,00 ± 10,96	13,00 ± 5,75	20,00 ± 11,40
argilla	1,48 ± 2,62	0,75 ± 2,13	0,67 ± 1,53	2,77 ± 3,22

Analisi per zone lungo il tracciato

progressive	ZONA 1 Lingotto-C.so Re Umberto 1470-3000 (38 dati)	ZONA 2 C.so Re Umberto-C.so Ferrucci 3000-4300 (53 dati)	ZONA 3 C.so Ferrucci-O.G.R. 4300-4810 (6 dati) (°)	ZONA 4 O.G.R.-P.ta Susa 4810-6119 (18 dati)
ciottoli	1,74 ± 4,53	0,62 ± 2,34	0,00	0,00 ± 0,00
ghiaia	45,50 ± 21,29	49,11 ± 15,09	64,83	57,61 ± 9,92
sabbia	32,55 ± 15,11	32,68 ± 10,36	23,33	27,78 ± 6,28
limo	17,00 ± 15,09	16,00 ± 6,65	11,00	14,00 ± 5,21
argilla	2,26 ± 3,42	1,49 ± 2,24	0,00	0,28 ± 1,18

(°) Non è stato calcolato lo scarto quadratico medio visto l'esiguo numero di dati.

Tabella 2

Prove penetrometriche dinamiche S.P.T.
Elaborazione statistica dei valori di N_{spt}

Analisi di tutti i valori Lingotto-P. Susa

profondità dal p.c.	n. dati	media	s.q.m.
0,00-50,00	170	62,2412	14,0120
0,00-10,00	51	60,2745	17,5557
10,00-20,00	66	64,1667	12,0110
20,00-50,00	53	61,7358	12,3555

Analisi per zone lungo il tracciato

	progressive	n. dati	media	s.q.m.
Zona 1	1470-3000	44	61,7045	17,2432
Zona 2	3000-4300	78	59,1154	12,1729
Zona 3	4300-4810	21	67,2381	11,9282
Zona 4	4810-6119	27	68,2592	12,1895

Tabella 3

Prove meccaniche di laboratorio sui campioni di terreno cementato

Campione	Litotipo	Peso di volume apparente (kN/m^3)	Velocità di propagazione degli ultrasuoni			Caratteristiche meccaniche	
			Velocità media in direzione del lato di base maggiore (m/s)	Velocità media in direzione del lato di base minore (m/s)	Velocità media in direzione dell'altezza (m/s)	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	Modulo elastico tangente (MPa)
R1	congl. cem.	22,00				6,02	2550
R2	»	21,17				6,06	1533
R3	»	20,63	3334		2730	1,94	1538
R4	»	20,98	3358		3210	2,86	1325
R5	»	21,58	3482	3076	3083	4,61	714
R6	»	23,22	3169	3215	3443	3,70	2521

— in merito alla distribuzione per tratte, si può notare che non si verificano grandi variazioni nella composizione granulometrica. È apprezzabile un incremento della frazione ghiaiosa, all'avvicinarsi a Porta Susa dal Lingotto, a spese della frazione sabbiosa. Si nota inoltre che in profondità si incrementano i valori percen-

tuali delle frazioni più fini, che passano dal 14% al 23% sul totale nelle fasce più profonde.

— *Prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.)*
Nella tabella n° 2 sono raccolti i dati relativi alle prove S.P.T. Su un totale di 218 dati si sono verificati 48 rifiuti (pari al 23%). Il valore medio

dei 170 Nspt acquisiti, esclusi i rifiuti, è pari a 62. Non si registrano variazioni significative nelle diverse fasce di profondità, mentre è invece evidente un certo incremento nel passaggio dal Lingotto (zone 1 e 2) a Porta Susa (zone 3 e 4).

— *Prove meccaniche di laboratorio su campioni di terreno cementato*

Da alcuni blocchi di materiale cementato sono stati estratti provini di grosso diametro, determinando il peso di volume, la velocità di propagazione dell'onda elastica longitudinale, la resistenza alla compressione ed il modulo elastico. I risultati sono raccolti nella tabella n° 3.

— *Misure sismiche con il metodo a rifrazione*

Si sono registrate velocità delle onde longitudinali crescenti, con la profondità, e distinte in 3 unità sismiche:

u	Vp (m/s)
1	380-450
2	720-880
3	1376-1833

I risultati sembrano indicare la presenza, nei punti di prova, di materiali ad alta velocità di propagazione al di sotto di 7-10 m. Ciò potrebbe indicare la presenza di un terreno più addensato o cementato, ma si deve tenere conto che queste prove consentono di individuare soltanto il primo rifratore incontrato: non è possibile, quindi, rilevare eventuali altri strati sottostanti di minore velocità, effettivamente evidenziati dalle altre indagini, quali quelle tipo PA.PE.RO.

— *Prove sismiche in foro con il metodo «Down-Hole»*

Sono state misurate le velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione (Vp) e di taglio (Vs).

La riscontrata variazione delle velocità con la profondità è indice della notevole eterogeneità del terreno: non sono rari i casi in cui a valori elevati delle onde elastiche seguono valori significativamente minori e viceversa.

— *Tomografia sismica*

Si è proceduto a misurare, con un geofono posto in un foro, la velocità di propagazione delle onde elastiche da una sorgente che si spostava in superficie lungo un segmento di 27 m. Se ne è ricavata una distribuzione della velocità («tomografia») nel piano verticale definito dal foro e dal segmento (fig. 11).

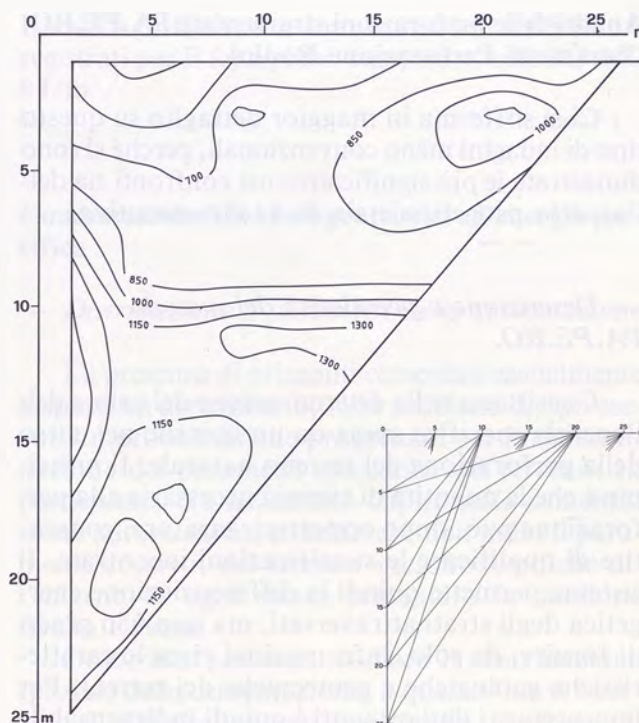


Fig. 11 - Tomografia Sismica - Zona Largo Ferrucci. Sezione verticale. L'equidistanza delle curve è di 150 m/s.

— *Esame diretto di un cunicolo fognario*

In un cunicolo, con quota di scorrimento 228 m s.l.m., si è ricavata una visione diretta delle formazioni attraversate, esposte su molte decine di metri quadri lungo le pareti non rivestite del cunicolo stesso.

L'ispezione ha consentito di rilevare la presenza di concrezioni di calcite negli strati più grossolani ed intorno ai ciottoli. La calcite non è sempre cementata agli elementi lapidei in modo da saldarli; più spesso li avvolge semplicemente, ripetendone la forma come in uno stampo. La calcite è molto più fragile della maggior parte degli elementi lapidei, e viene quindi macinata sotto l'azione delle corone nella perforazione a rotazione, che trascina in un moto di rotolamento ghiaie e ciottoli a cui la matrice non aderisce: non risulta quindi possibile il recupero di carote, ed anche l'esame dei detriti porta a sottovalutare la presenza di questa particolare ed incompleta forma di cementazione. Per contro, la cementazione influenza pesantemente il rendimento delle benne mordenti usate per la costruzione dei diaframmi, perché impedisce la penetrazione dei denti fra gli elementi ghiaiosi ed i ciottoli, e ne limita considerevolmente la mobilità quando anche le valve della benna riescono in qualche modo ad afferrarli.

Analisi delle perforazioni strumentate PA.PE.RO. (Parametri Perforazione Rodio)

Ci si sofferma in maggior dettaglio su questo tipo di indagini meno convenzionali, perché si sono dimostrate le più significative nei confronti sia dell'aspetto progettuale sia di quello esecutivo.

— Descrizione e peculiarità del metodo PA.PE.RO.

Consistono nella determinazione del valore dell'energia specifica spesa da un utensile nel corso della perforazione del terreno naturale. Il principio è che la quantità di energia necessaria alla perforazione può, dopo opportune tarature, consentire di qualificare le stratificazioni incontrate. Il sistema permette quindi la differenziazione energetica degli strati attraversati, ma non è in grado di fornire, da solo, informazioni circa le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni. Per interpretare i dati ottenuti è quindi indispensabile abbinare ai valori rilevati di energia altri dati certi di riferimento.

L'energia specifica (E) è calcolata in funzione della spinta (F) sull'utensile inserito nel foro di sezione (A) ed avanzante con velocità di rotazione (N) e velocità di avanzamento (u) sotto una coppia applicata (T) ed è espressa da:

$$E = F/A + 2\pi \cdot (N \cdot T/u)/A \quad (\text{kJ/m}^3)$$

Il rapporto F/A rappresenta la pressione media esercitata dall'utensile a fondo foro; in assenza di rotazione (N) l'energia specifica è pari a tale termine. Se si assume che solo la velocità di avanzamento (u) sia variabile lungo il foro, l'energia specifica (E) risulta invece inversamente proporzionale alla velocità di avanzamento (u).

La funzione $E(z)$, cioè il variare dell'energia con la profondità (z), viene ricavata da registrazioni «continue» (fino ad intervalli prossimi al centimetro) dei parametri componenti u, T, N e F. In base ai valori medi registrati in un intervallo campione prescelto, si ottiene un istogramma che rappresenta, a fronte della profondità (z), un valore $E(z)$ per ogni intervallo. Per queste indagini, si sono scelti intervalli di 10 cm, per cui 1 m di avanzamento viene caratterizzato da 10 valori di energia specifica.

Per omogeneità di valutazione, le perforazioni sono state eseguite con valore della spinta media (F) bassa e costante, e velocità di rotazione (N) costante, per cui la coppia applicata (T) è pressoché invariata da un foro all'altro e lungo il medesimo foro.

Anche la pressione del fluido di perforazione (miscela acqua-bentonite) è stata tenuta pressoché costante, scartando le perforazioni dove si sono verificate perdite del fluido.

In tali condizioni, quindi, l'energia specifica E è risultata funzione della sola velocità di avanzamento u, a sua volta influenzata soltanto dalla perforabilità del terreno. A titolo di esempio si riporta un diagramma dei valori registrati in una perforazione tipica (fig. 12). I numerosissimi dati acquisiti e immagazzinati su supporto magnetico (ca. 800 m di lunghezza perforata, con circa 8000 dati di energia specifica) sono stati analizzati dal punto di vista statistico, nel loro complesso, e rappresentati in modo da ottenere per ogni verticale il diagramma di energia specifica $E(z)$.

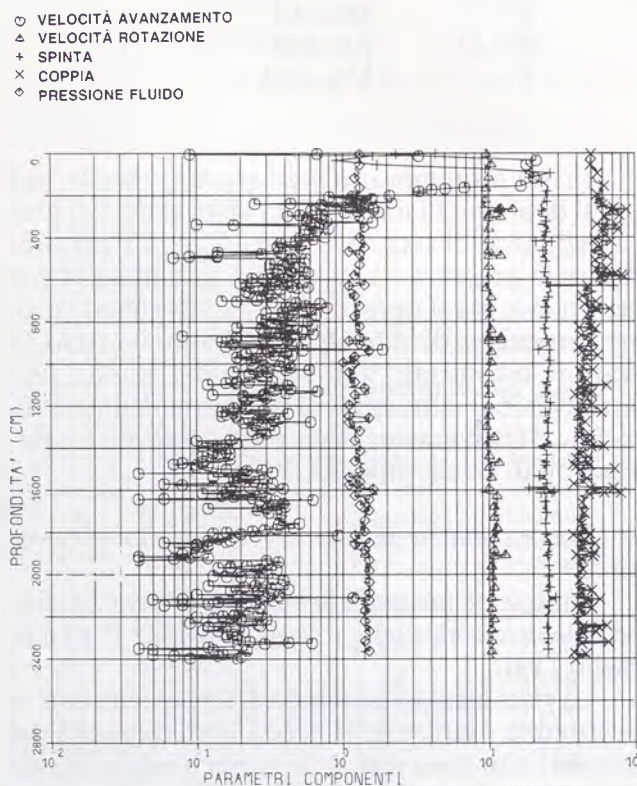


Fig. 12 - Tratta Lingotto-Stura - Zona O.G.R. Indagine con perforazione strumentata PA.PE.RO. Parametri dell'energia specifica.

— Interpretazioni relative all'energia specifica di perforazione

Il parametro energetico si è dimostrato determinante per evidenziare le variazioni, lungo la profondità, delle caratteristiche geotecniche e di scavabilità del terreno, e per tarare tutto il complesso dei dati. A tal fine è stato necessario in primo luogo osservare che l'energia specifica di perforazione aumenta in modo sensibile con la profondità a causa di fattori «secondari», quali il carico litostatico e le resistenze meccaniche, che si incrementano appunto con l'approfondimento. Per utilizzare $E(z)$ quale parametro caratteristico per discriminare la presenza di livelli cementati o meno, si è valutata la curva media caratteristica di $E(z)$ ottenendo la seguente relazione:

$$E(z) = Kz + E_0 \quad (\text{kJ/m}^3)$$

Il valore di K , ottenuto come valore medio dei gradienti $E'(z)$ ricavati depurando le curve $E(z)$ dei valori locali di picco, vale $61.000 \text{ (kJ/m}^3\text{)/m}$.

Il valore di E_0 , ottenuto misurando tutti i valori registrati per $E(z)$ a piano campagna, vale 229.000 kJ/m^3 .

Comparazione tra i dati geotecnici e l'energia specifica

— Distribuzione e parametri della cementazione

La presenza di orizzonti cementati casualmente disposti ha determinato, oltre problemi di tipo esecutivo, problematiche progettuali per la determinazione dei parametri meccanici del terreno. In particolare, era necessario capire se la cementazione autorizzava a considerare non nullo il parametro coesivo, del terreno «sciolto», poiché all'interno di ogni strato cementato la coesione risulta elevata.

Occorreva pertanto studiare la distribuzione spaziale della cementazione; a questo fine si è cercato di istituire un confronto tra le distribuzioni

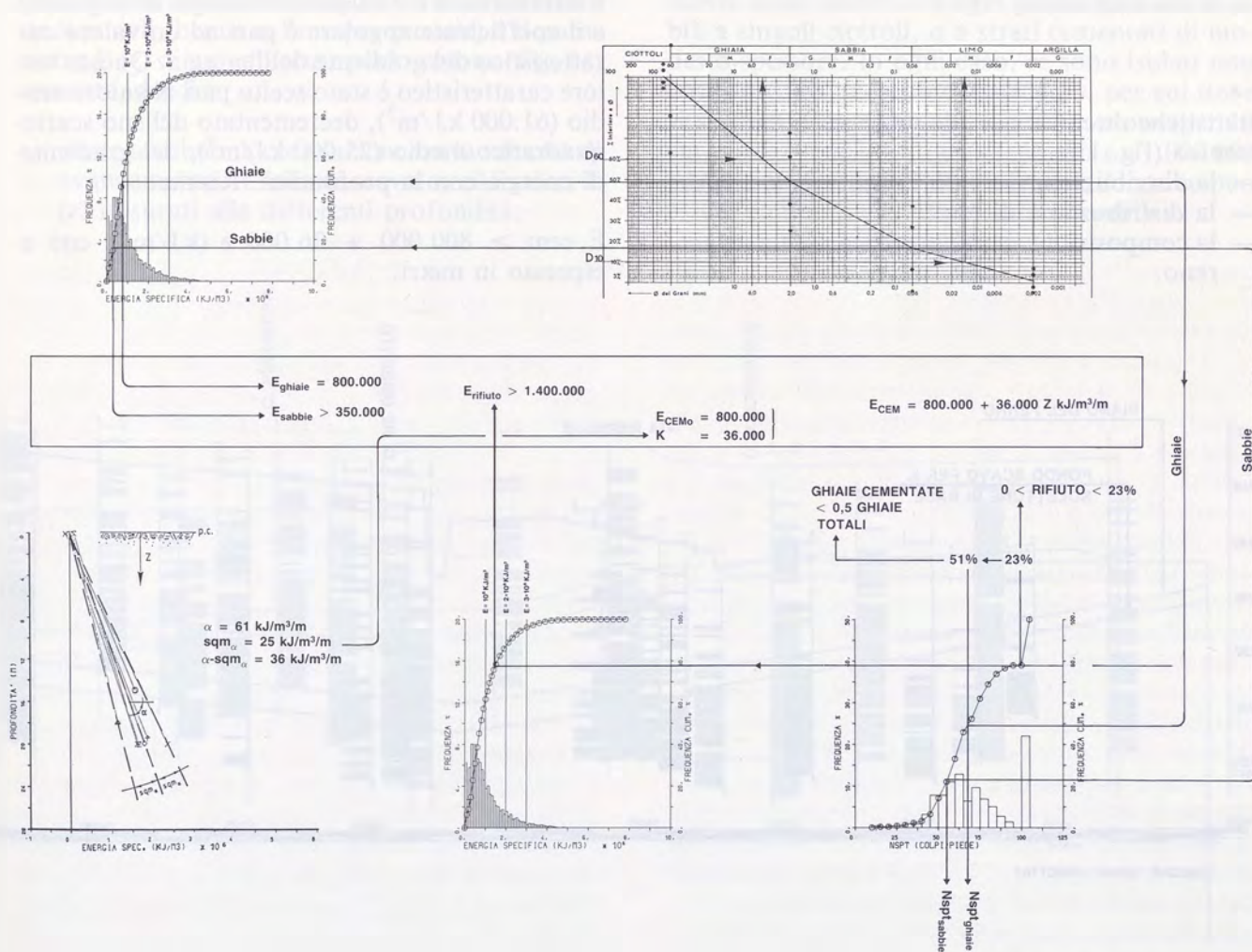


Fig. 13 - Quadro comparativo tra i dati geotecnici e l'energia specifica.

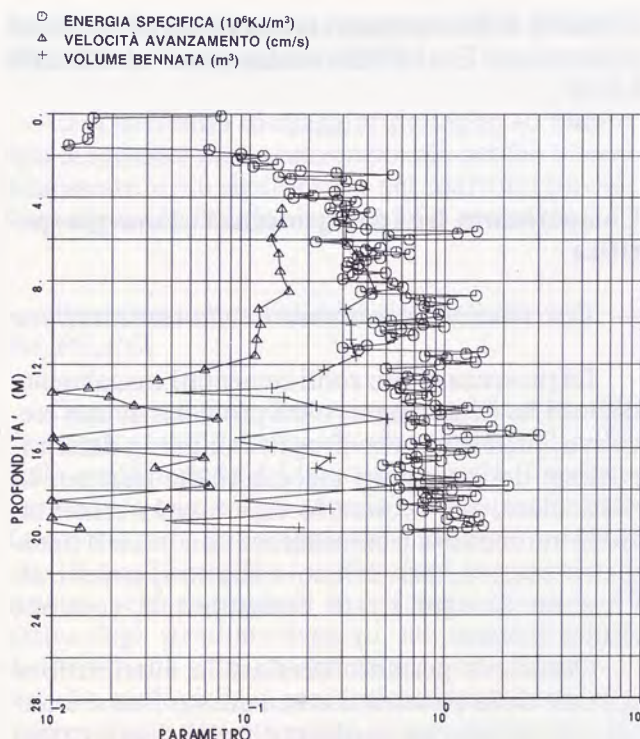


Fig. 14 - Tratta Lingotto-Stura - Zona Corso Turati. Confronto tra energia specifica, velocità di avanzamento e volume di scavo con benna.

statistiche ottenute per ciascun tipo di dato geotecnico (fig. 13):

- la distribuzione dei valori di energia specifica;
- la distribuzione di N_{spt} ;
- la composizione granulometrica media del terreno.

Da questo confronto è emerso che:

- l'energia che corrisponde al passaggio dai fini alle sabbie è pari a 350.000 kJ/m^3 ;
- il passaggio dalle sabbie alle ghiaie si ha intorno al valore 800.000 kJ/m^3 .

Se si considera la distribuzione di N_{spt} si ha che:

- il valore di N_{spt} che corrisponde alla suddivisione fini/sabbie è pari a 55;
- il valore di N_{spt} che corrisponde alla suddivisione sabbie/ghiaie è pari a 69;
- il 23% dei valori di N_{spt} corrisponde a valori a rifiuto; la stessa percentuale, in termini di energia specifica, indica il valore $1.400.000 \text{ kJ/m}^3$. Tale valore è ben confrontabile con il limite superiore apprezzato ($1.200.000 \text{ kJ/m}^3$) per la scavabilità con benna, come si vedrà in seguito.

Per ricercare un valore caratteristico della cementazione, che si è generata nei livelli ghiaiosi, ci si deve riferire al campo delle ghiaie ($E \geq 800.000 \text{ kJ/m}^3$). Ricordando inoltre che esiste un incremento di E con la profondità, si è proposto che il criterio di discriminazione della cementazione degli strati sia dato da una relazione lineare, dove il termine noto è il valore dell'energia delle ghiaie, e il coefficiente angolare è pari ad un valore caratteristico del gradiente dell'energia. Questo valore caratteristico è stato scelto pari al valore medio (61.000 kJ/m^3), decrementato del suo scarto quadratico medio (25.000 kJ/m^3), del gradiente di energia con la profondità. Risultata:

$$E_{cem} \geq 800.000 + 36.000 z \text{ (kJ/m}^3\text{)}, \text{ con } z \text{ espresso in metri.}$$

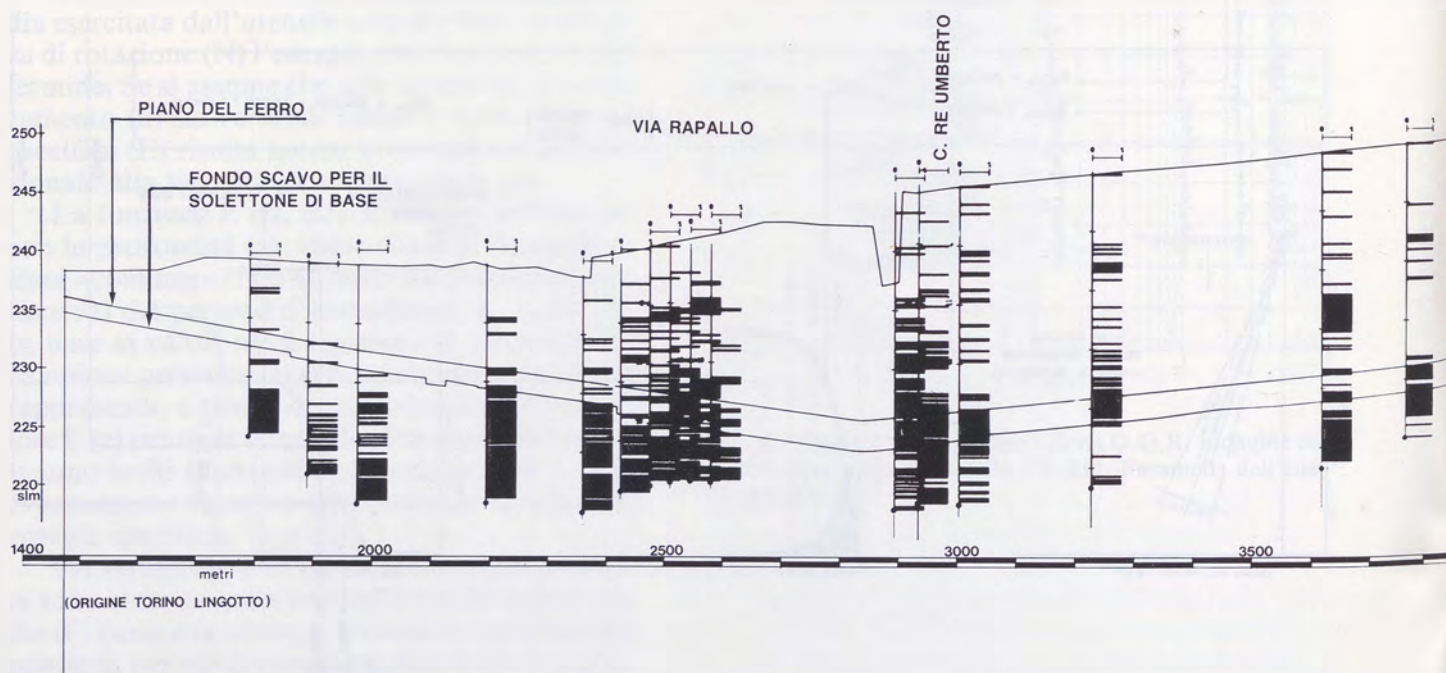


Fig. 15 - Perforazioni strumentate PA.PE.RO. tra progr. km 1+400 e 6+300. I tratti in nero indicano valori di energia specifica maggiori di 10^6 kJ/m^3 limite di scavabilità con benna.

È infine da rilevare che dal punto di vista statico la cementazione ha effettiva rilevanza solo se ha una certa continuità nello spazio.

Con queste considerazioni si sono analizzati tutti i dati delle perforazioni strumentate PA.PE.RO. Riportando tali risultati lungo il tracciato si è potuto concludere che:

- la cementazione è un fenomeno localizzato, con disomogenea distribuzione verticale e scarsa continuità orizzontale; ciò è infatti il risultato della genesi dello stesso fenomeno naturale;
- nella progettazione delle strutture, la presenza della cementazione risulta poco rilevante a causa della scarsa incidenza degli strati con persistenza significativa, in relazione alla possibilità di considerare non nullo il parametro coesivo.

— Scavabilità del terreno

Per determinare un criterio teorico di scavabilità del terreno si è svolto un pratico raffronto tra i dati di uno scavo eseguito con attrezzature tradizionali (benna a fune per paratie) e il parametro $E(z)$ di un'adiacente perforazione (fig. 14) constatando che:

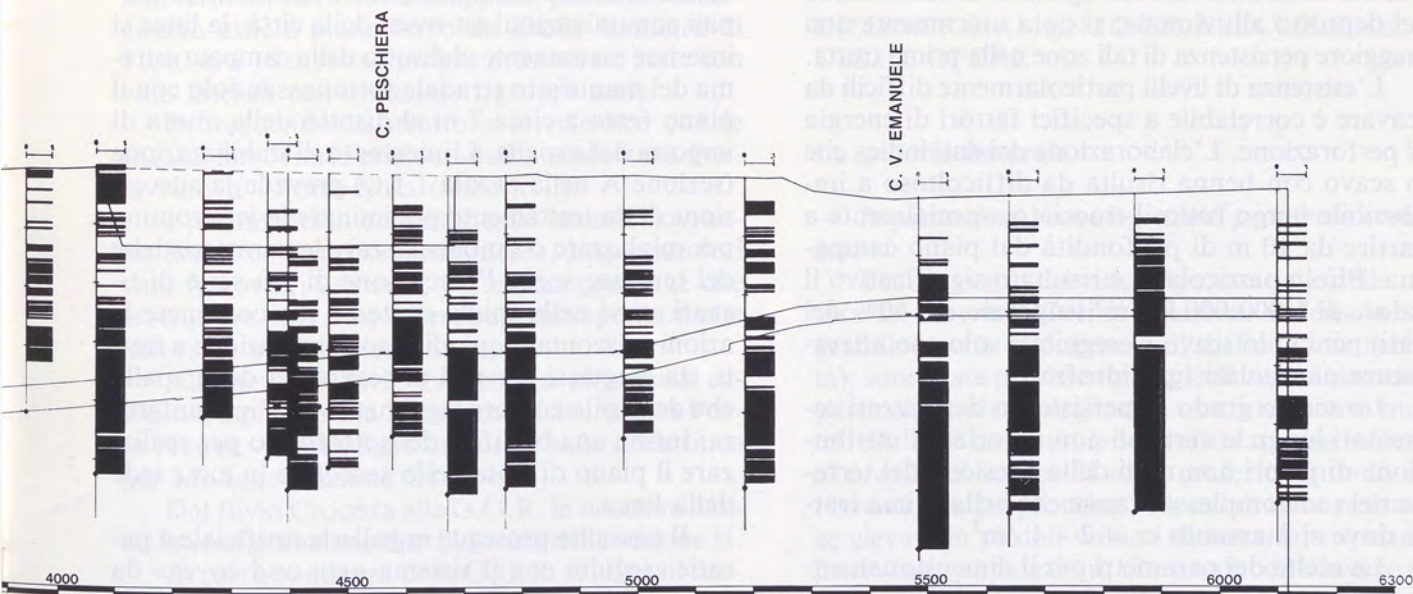
- esiste una buona correlazione tra la velocità di avanzamento, il volume scavato, ed i valori $E(z)$ misurati alle differenti profondità;

- per valori dell'energia specifica inferiori a $500.000-600.000 \text{ kJ/m}^3$ lo scavo con benna mordente non presenta problemi;
- per valori compresi tra 600.000 e $1.200.000 \text{ kJ/m}^3$ lo scavo con benna incontra difficoltà crescenti sino a condizioni limite dove non sono accettabili gli avanzamenti realizzati;
- per valori di E superiori a $1.200.000 \text{ kJ/m}^3$ lo scavo diviene impossibile con i mezzi tradizionali.

Queste osservazioni hanno indotto a definire due differenti campi:

- il campo del terreno «scavabile» con benna, dove E è inferiore a $1.000.000 \text{ kJ/m}^3$;
- il campo del terreno «non scavabile» con benna, dove i valori di E sono superiori a $1.000.000 \text{ kJ/m}^3$.

Il criterio di scavabilità è stato fondato quindi su questa suddivisione in due campi e sulla effettiva continuità di presenza (persistenza), con la profondità, dei valori di energia specifica; valori elevati, ma isolati, di energia non comportano sempre la presenza di problemi nell'avanzamento dello scavo: sono infatti con ogni probabilità attribuibili a singoli ciottoli, o a strati cementati di modesto spessore. In ogni caso, se sono isolati non costituiscono un problema tecnico, per cui dove si verifichi l'esistenza di un unico valore (per 10 cm di altezza dello «strato») superiore a $1.000.000 \text{ kJ/m}^3$ compreso tra valori inferiori, il terreno può essere comunque considerato «scavabile».



I criteri adottati per giudicare la scavabilità consistono quindi in:

- *valutazione dell'energia specifica*, dove $E \geq 1.000.000 \text{ kJ/m}^3$;
- *valutazione della persistenza* dei livelli con tali valori di energia per uno spessore di almeno 10 cm.

I risultati relativi ai criteri di scavabilità con i valori di energia e di persistenza considerati sono stati riportati su un profilo (fig. 15) dove i tratti in nero indicano i valori di E superiori a $1.000.000 \text{ kJ/m}^3$.

In definitiva si è osservato che:

- dal Lingotto a Porta Susa la densità dei tratti non scavabili è progressivamente più elevata;
- in «tutti» i fori, anche nella fascia compresa tra il p.c. e 10 m di profondità, è presente almeno un insieme di strati «non scavabili»; ciò determina il fatto che per quasi tutte le verticali indagate la soluzione tecnica di scavo con benna non è realizzabile, come si è potuto osservare durante lo scavo dei primi 1000 m^2 circa di diaframmi scavati con benna, in tre mesi, tra Corso Bramante e Corso Re Umberto.

Conclusione dello studio

Nonostante il grande numero di prove eseguite, non è risultato possibile individuare una regolare distribuzione della cementazione nello spazio, a causa della notevole eterogeneità di formazione del deposito alluvionale; si nota unicamente una maggiore persistenza di tali zone nella prima tratta.

L'esistenza di livelli particolarmente difficili da scavare è correlabile a specifici fattori di energia di perforazione. L'elaborazione dei dati indica che lo scavo con benna risulta da difficoltoso a impossibile lungo tutto il tracciato, specialmente a partire da 10 m di profondità dal piano campagna. Più in particolare, è risultato significativo il valore di $1.000.000 \text{ kJ/m}^3$ (superato dal 40% dei dati) per cui lo scavo è eseguibile solo con attrezzature particolari tipo idrofresa.

Lo scarso grado di persistenza degli strati cementati lungo le verticali non autorizza l'attribuzione di valori non nulli della coesione del terreno nel suo complesso tranne che nella prima tratta dove si è assunto $c = 2 - 4 \text{ t/m}^2$.

La scelta dei parametri per il dimensionamento deve tenere conto della aleatorietà della coesione dovuta alla cementazione; si è ritenuto quindi che solo il parametro ϕ possa differenziarsi, in funzione della profondità, dove le condizioni di vincolo delle strutture lo consentono: in particolare si è riconosciuto opportuno distinguere il caso dei

diaframmi a mensola (senza vincoli al di sopra del piano finale di scavo) per i quali la stabilità è assicurata unicamente dall'immorsamento nel terreno, e per i quali si è adottato $\phi = 35^\circ$, da quelli con uno o due ordini di puntelli, per i quali la stabilità è assicurata anche da elementi strutturali; per questi diaframmi si è adottato $\phi = 35^\circ$ da piano campagna a -10 m , e $\phi = 38^\circ$ per profondità maggiori.

SEZIONI CARATTERISTICHE DELLE STRUTTURE

La tavola n. 1 allegata fuori testo illustra la planimetria e le sezioni più rappresentative delle opere previste per il Nodo di Torino tra Lingotto e Corso Vittorio Emanuele. Si tratta essenzialmente di due schemi strutturali principali:

- galleria naturale
- galleria artificiale

Va notato che tutte le opere sono fortemente influenzate dalla presenza di manufatti stradali e ferroviari in esercizio, per cui è possibile l'interferenza geometrica di vecchie e nuove strutture con necessità di interventi molto complessi.

Per dare continuità di lettura agli schemi, si descrivono i percorsi ferroviari nuovi e vecchi a partire dall'origine del passante andando verso Porta Susa. Da Lingotto per circa 1850 m il passante corre in trincea a lato dell'esistente linea Torino-Genova poi, approfondendosi, si inoltra in sotterraneo in galleria artificiale. In corrispondenza di Corso Bramante, che è una delle principali comunicazioni est-ovest della città, la linea si inserisce esattamente al disotto della campata estrema del manufatto stradale sottopassandolo con il piano ferro a circa 7 m al disotto della quota di imposta della spalla. L'intervento di stabilizzazione (sezione A nella tavola 1 f.t.) prevede la successione di un trattamento preliminare in jet-grouting per migliorare o omogeneizzare le caratteristiche del terreno; segue l'esecuzione di più serie di tiranti attivi nella spalla esistente per contenere le azioni orizzontali; quindi la sottomurazione a tratti, da eseguirsi per fasi di scavo, sia della spalla che della pila con proseguimento dell'itirantatura; infine una bonifica del sottofondo per realizzare il piano di posa dello scatolare in c.a., sede della linea.

Il passante prosegue in galleria artificiale a paratie eseguita con il sistema «cut and cover» da costruirsi in più fasi per mantenere l'esercizio della sovrastante linea Lingotto-Zappata e successive destinazioni, che si è dovuta deviare provvisoriamente.

La quota del piano del ferro, continuando ad abbassarsi, incontra dapprima Corso Turati e

quindi la zona di confluenza, verso il quadrivio Zappata, delle linee ferroviarie in esercizio. In questa situazione, così difficile nei confronti delle esigenze, il passante corre in galleria naturale per 352 m. A seconda delle situazioni geologiche-geotecniche e di sovraccarico dell'ammasso interessato, con particolare riguardo ai condizionamenti di superficie, sono state previste tre diverse metodologie di avanzamento. Nella tavola f.t. sono riportate le sezioni tipo (sezioni B, C, D), mentre l'opera, per la sua rilevanza, sarà illustrata in apposito paragrafo.

Allo sbocco della nuova galleria il passante riceve al di sopra la linea veloce proveniente da Milano mentre a lato vi sono le opere esistenti del quadrivio Zappata. La struttura diventa un camerone (sezione E), con piedritti a paratie, complicato dalla presenza di una zona di servizio e di deposito, di un gruppo scale di sicurezza e di un collettore fognario principale della città. Le paratie raggiungono la profondità dal piano campagna di circa 27 m. Superiormente la copertura è realizzata con travi prefabbricate, il solettone orizzontale intermedio e quello inferiore sono gettati contro terra e quindi le paratie lavorano a mensola tra il piano di campagna e il primo orizzontamento.

Da questa progressiva e fino in prossimità di Bivio Crocetta la struttura prosegue a due livelli ed è realizzata lateralmente da setti di paratie mentre gli orizzontamenti sono costituiti da solettoni che chiudono la struttura a telaio.

All'inizio di questa tratta e per una lunghezza di circa 300 m è allo studio la variante per inserire una fermata ferroviaria (Zappata) portando la larghezza utile a piano ferro da quella standard di 11,40 m a 16 m; sono inoltre presenti tre zone con vani laterali per contenere i gruppi scale.

Proseguendo la struttura interferisce con le trincee ferroviarie esistenti dell'attuale linea Porta Nuova - Porta Susa (sezione F).

I paramenti di contenimento laterali dovranno essere costruiti separatamente, interessando i vani ferroviari esistenti, per cui ne consegue che le strutture dovranno essere coperte superiormente con travi prefabbricate in c.a.p.

All'altezza di Bivio Crocetta, si affianca al castello a 2 piani e alla linea lenta ristrutturata Porta Nuova - Porta Susa la nuova sede della linea per Modane (sezione G).

Dal Bivio Crocetta alle O.G.R. le strutture hanno la configurazione tipo illustrata nella sezione H.

In corrispondenza delle O.G.R., al fine di consentire al passante di intradarsi a Porta Susa dalla parte opposta a quella da cui proviene, inizia una complessa struttura (sezione I) tale da consentire al passante stesso di sottopassare con un flesso planaltimetrico la linea veloce Porta Nuova - Porta Susa e quella per Modane. La struttura è caratte-

rizzata da un solettone intermedio a travi metalliche incorporate che sarà realizzato in due campi ai fini di mantenere, per fasi, l'esercizio: il primo campo poggerà su una paratia provvisoria e verrà di seguito unito al secondo quando i treni verranno spostati.

A questo punto del percorso i tre vani principali ferroviari raggiungono la stessa quota ed inizia la radice lato Lingotto della stazione di Porta Susa (sezione L).

Il complesso delle fasi di esercizio provvisorio e la necessità di mantenere le comunicazioni tra le varie linee per le successive attivazioni, complicate dal contemporaneo abbassamento di Porta Susa, richiedono che in quest'ultima tratta le strutture laterali lavorino a mensola. Esse sono costituite da paratie poste «di coltello», necessitando uno spessore strutturale di m 2,40, e sono coperte da travate di cui un campo viene a trovarsi sopra due linee con luci fino a 33 m circa e l'altro sopra una sola linea con luci fino a 20 m circa.

Va tenuto presente che la tratta oggetto di esecuzione termina a Corso Vittorio Emanuele ed è stato pertanto necessario studiare un tracciato planaltimetrico delle linee per mantenere in esercizio la stazione di Porta Susa, alla quota alta attuale, con alimentazione dalle linee già abbassate.

Il complesso dell'intervento è volutamente solo accennato per motivi di snellezza di esposizione, ma lo «schizzo» fatto è forse sufficiente per dare l'idea della complessità della realizzazione.

DIMENSIONAMENTO ED ESECUZIONE DELLE OPERE

La galleria naturale

— Impostazione tecnologica del problema realizzativo

Tenuto conto dei vincoli geometrici e della natura del terreno di Torino (alluvione addensata con granulometria eterogenea, di difficile iniettabilità), sono state previste tipologie di consolidamento particolari tali da realizzare un trattamento molto resistente entro un arco molto raccolto intorno al profilo di scavo. Si sono preferiti, quindi, interventi con jet-grouting, capaci di dare resistenze elevate in piccoli volumi di terreno, rispetto a interventi con iniezioni, che producono invece resistenze al confronto mediocri, su volumi estesi; si è cercato di evitare in tal modo il pericolo di sollevamento per claquage (e ciò in particolare per la presenza di linee ferroviarie limitrofe in esercizio) nonché i pericoli di sineresi e di inquinamento propri di detti sistemi.

Le sezioni caratteristiche per i 352 m dell'opera sono tre, come già accennato al paragrafo precedente.

Nella situazione tipica valida per una lunghezza di 279 m (sezione B nella tavola f.t.n. 1), si è adottato un trattamento comprendente una doppia corona di colonne consolidate con la tecnica del jet-grouting, secondo una superficie tronco-conica di piccola divergenza, che circonda la calotta; è stato previsto un rinforzo in una zona più ristretta, intorno alla chiave, con preinfilaggi metallici al limite del profilo di scavo.

Lo scavo è previsto a mezza sezione con ausilio di calcestruzzo proiettato e centine. Nei casi in cui la stabilità del fronte non sia certa, sono previste colonne consolidate, in direzione dell'asse della galleria, in modo da suddividere il fronte di scavo con un setto centrale e limitare l'altezza di materiale libero.

Gli scavi dello strozzo, dei piedritti e dell'arco rovescio, saranno preceduti da un consolidamento del terreno all'esterno dei piedritti mediante colonne consolidate inclinate che avranno la funzione di dare reazione all'anello di rivestimento definitivo della calotta. Il completamento delle

sezioni con scavi e getti è previsto a campioni.

Una situazione particolarmente delicata si incontra nella prosecuzione dell'avanzamento per una lunghezza di 73 m e ciò per la presenza della linea ferroviaria in esercizio Torino Porta Nuova-Torino Porta Susa, che corre a soli 2,70 m dall'estradosso della galleria, nonché di un rilevato di circa 5,5 m di altezza, marcatamente dissimetrico sopra la galleria stessa; a lato inoltre convergono le linee del quadrivio Zappata.

Con la ridotta copertura in chiave, le colonne consolidate esterne sarebbero giunte, a causa della loro inclinazione, fino a soli 85 cm dal piano di campagna e ciò sarebbe stato incompatibile con le pressioni in gioco per l'esecuzione del trattamento di consolidamento.

Per il necessario contenimento dei cedimenti e la sicurezza più completa contro eventi imprevisti, anche locali, si sono studiate modalità speciali di intervento in due sotto-tratte rispettivamente di 43 m e di 30 m di lunghezza.

Nella prima sottotratta (sezione C) si è previsto innanzitutto di infilare, con l'uso di attrezzature per micropali, una serie di tubi orizzontali affiancati sotto la linea ferroviaria per costituire

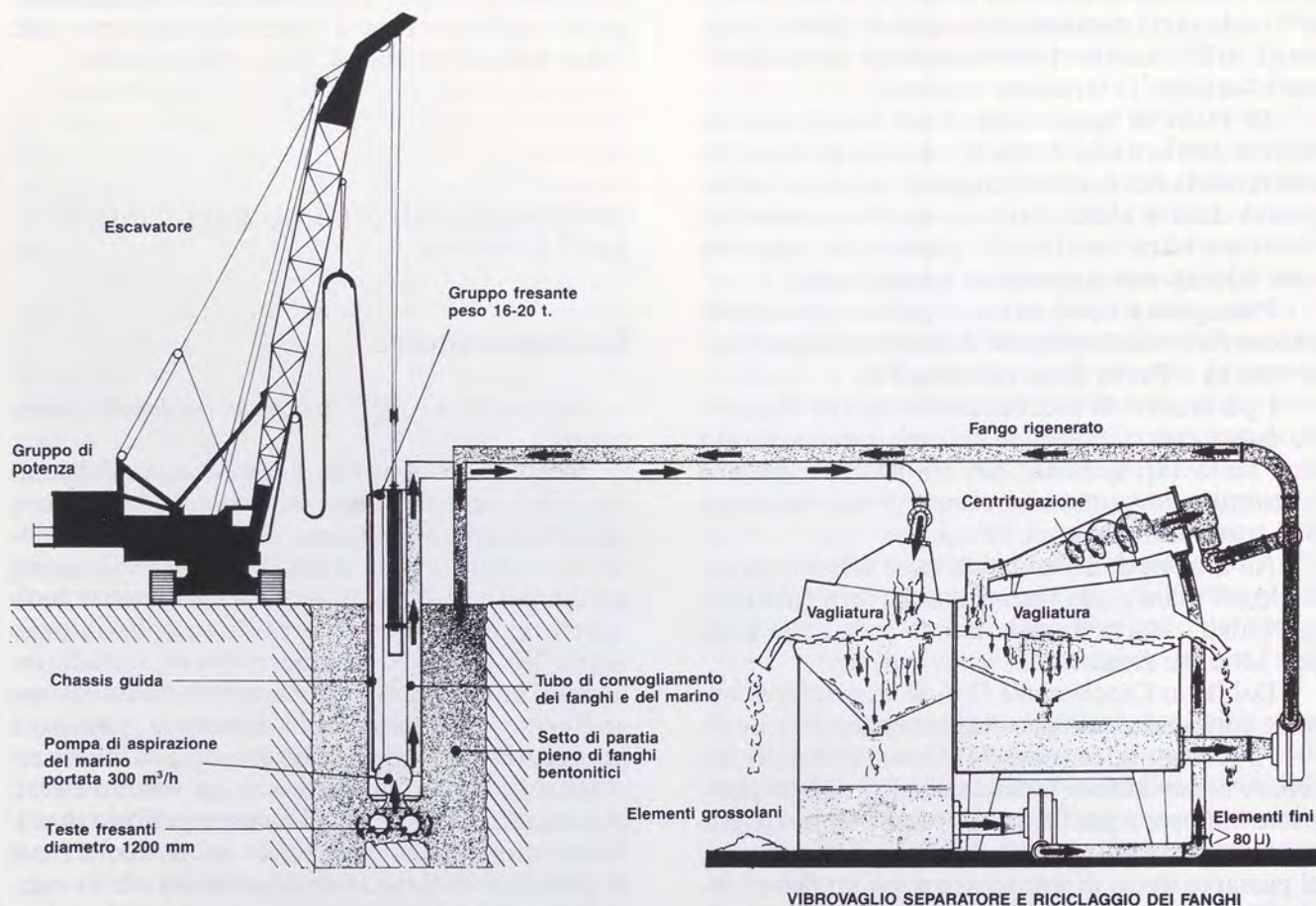


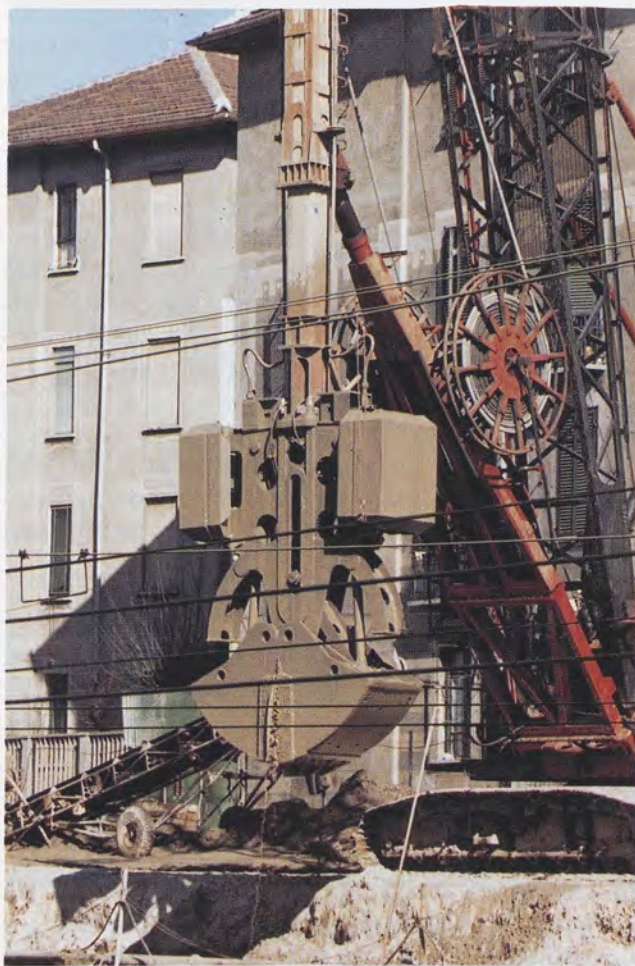
Fig. 16 - Il gruppo idrofresa.



Fig. 17 - Aspetto tipico del conglomerato presente nella formazione da scavare. Sono evidenti le concrezioni di calcite attorno ai ciottoli in parte cementati e in parte avvolti come in uno stampo.

Fig. 18 - Idrofresa. In primo piano il gruppo fresante. Zona Corso Re Umberto.

Fig. 19 - Scavo di paratie con l'uso di benna idraulica. Zona di Corso Turati. (Si noti la vicinanza dei fili di contatto della linea Lingotto-Modane).



un piano di appoggio omogeneo. Per l'esecuzione vera e propria della calotta della galleria sono stati previsti:

- un cunicolo di avanzamento in asse di piccola sezione, previo consolidamento mediante colonne di jet-grouting circoscritte alla sua calotta;
- un trattamento di iniezioni cementizie e di silice non inquinante, ad alta penetrabilità, a costituzione di una zona consolidata compresa tra il piano campagna ed il piano dei centri;
- una corona di colonne consolidate e una serie di preinfilaggi metallici, nella zona già trattata con iniezioni a protezione dell'arco di calotta.

Lo scavo del cunicolo di avanzamento consente il riconoscimento dettagliato del terreno nel tratto più problematico e quindi riduce drasticamente l'eventualità di incontrare situazioni anomale non accertate preventivamente.

Il trattamento di iniezioni consente il totale recupero delle deformazioni conseguenti allo scavo del cunicolo ed il conferimento di una «monta» contenuta e controllata ($3 \div 5$ mm) al piano del ferro, in modo da scontare preventivamente la massima parte dei cedimenti inevitabili nella fase di scavo della galleria.

La presenza del cunicolo e dei relativi consolidamenti presidia efficacemente la stabilità del fronte di scavo nella fase di esecuzione della sezione parziale della galleria.

Nella seconda sotto-tratta (sezione D) la sovrapposizione della linea esistente sulla costruenda galleria è solo parziale e consente un trattamento di consolidamento (jet-grouting) a partire dal piano di campagna in sostituzione di quello praticato con iniezioni dal cunicolo. Ciò svincola le lavorazioni di prima fase di questa sotto-tratta dall'avanzamento delle altre tratte della galleria, accelerando i tempi di esecuzione globali.

— Calcoli e verifiche

I calcoli e le verifiche sono stati condotti mediante analisi numeriche con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.) e con riguardo alle seguenti fasi:

- Fase 1: Rivestimento con solo jet-grouting + preinfilaggi metallici.
- Fase 2: Rivestimento con centine + jet-grouting.
- Fase 3: Rivestimento definitivo (solo calotta) con la struttura soggetta al 70% dei carichi.
- Fase 4: Rivestimento definitivo (calotta + piedritti + arco rovescio) con struttura soggetta al 100% dei carichi.

Nell'applicazione corrente del metodo si è schematizzata la galleria con un modello costituito da elementi finiti monodimensionali. Gli elementi sono collegati tra di loro nei nodi, connessi a loro

volta a elementi elastici che simulano il comportamento del terreno reagente solo a compressione.

Le strutture della galleria vengono così definite mediante l'inerzia della sezione e il modulo elastico dei materiali. Per le sezioni più critiche sono state condotte analisi F.E.M. con modelli piani (bidimensionali) più sofisticati. In questo caso si è tenuto conto di tutti i carichi e della deformabilità del terreno al contorno della galleria e delle leggi costitutive, anche non lineari, dei vari materiali interessati (terreno, terreno consolidato, calcestruzzo).

Il tipo di schematizzazione del terreno e delle strutture ha consentito di rappresentare tutte le fasi di scavo e di costruzione previste. In altri termini l'analisi ha permesso di tenere in debito conto il fattore «tempo», ovvero di valutare «come», «quando» e «di quanto» ogni componente della struttura è chiamato a reagire.

I calcoli sono stati reiterati, causa la non linearità del problema, fino al raggiungimento delle condizioni di congruenza in tutti i circa 3000 nodi che compongono la mesh. L'importanza di adottare particolari procedimenti di calcolo è risultata evidente dall'analisi della struttura considerata invece nella sua configurazione finale indipendentemente dal fattore tempo. Infatti non tenendo conto delle pregresse deformazioni e sollecitazioni intervenute, si otterrebbero sollecitazioni di trazione nell'arco rovescio con necessità di armare il rivestimento, cosa che invece è stata evitata.

In definitiva sono state ottimizzate le funzioni di tutte le opere di consolidamento che, oltre ad assolvere alle specifiche funzioni nelle diverse fasi di avanzamento dello scavo, concorrono mutuamente a far fronte all'impegno statico finale di esercizio dell'opera.

— Misure e controlli in corso d'opera

È stato elaborato il seguente programma di controlli e di misure:

- misure estensimetriche dalla superficie, con estensimetri multibase verticali, per rilevare l'eventuale rilascio del terreno;
- misure inclinometriche, con fori inclinometrici verticali spinti fino a 10 m sotto l'arco rovescio, per controllare il comportamento deformativo ai lati della galleria;
- misure di convergenza tramite stazioni attrezzate per controllare la deformazione del contorno della sezione di scavo;
- misure estensimetriche, con estensimetri orizzontali a punti multipli, per accertare le deformazioni nel terreno e nell'interno del cavo;
- misure di tensione sui rivestimenti di prima fase e nel rivestimento finale, con celle di carico, per ragguaglio sui carichi effettivi agenti sulle strutture.

Le gallerie artificiali con diaframmi

— Verifiche statiche

È stata eseguita la verifica delle sollecitazioni trasversali e quella della capacità portante verticale. Per i diaframmi cui non siano imposti limiti agli spostamenti orizzontali (diaframmi a sbalzo), si è ipotizzato il raggiungimento degli stati limite attivo e passivo e la mobilitazione delle spinte corrispondenti con grado di sicurezza non inferiore a 1,5 per la spinta passiva. Nel caso di diaframmi con due o più livelli di puntelli e di diaframmi comunque vincolati (strutture a telaio a uno o due piani) per i quali occorra una limitazione delle deformazioni, si è ricorso ad uno schema parte plastica e parte elastico del terreno.

Nei casi esaminati si è considerata la profondità di passaggio dal comportamento plastico a quello elastico coincidente con il punto in cui le spinte limite attiva e passiva sono uguali.

Il metodo indicato si presta anche alla risoluzione con calcolo automatico dei telai, di cui i diaframmi sono parte, sostituendo il terreno in regime elastico con bielle fittizie equivalenti ad una discretizzazione del sottofondo continuo alla Winkler.

Nel caso in cui vi siano due diaframmi affacciati ad una distanza tale per cui i due cunei di spinta passiva risultano compenetrati è stata considerata una spinta passiva limite minore.

La portata verticale complessiva ammissibile è stata determinata applicando un coefficiente di sicurezza differenziato alla portata laterale limite e alla portata di base di servizio, rispettivamente pari a 2,5 e 1,5.

— Lo scavo con il gruppo idrofresa

La presenza di alternanze di strati cementati e di alluvioni sciolte, ha condizionato la scelta della metodologia di scavo. È stata positivamente adottata per la prima volta in Italia una tecnica che prevede l'impiego congiunto, su ciascun elemento di setto verticale, di due attrezzature accoppiate, una a teste fresanti con circolazione rovescia di fango bentonitico ed una a benna idraulica tradizionale.

Le attrezzature con fresa, denominate «gruppo idrofresa», sono state messe a punto di recente e sono operanti all'estero dove hanno raggiunto produttività su scala industriale.

L'idrofresa è costituita da tre parti sostanziali: l'escavatore di sostegno, il gruppo fresante e il vibrovaglio (fig. 16).

Il gruppo fresante è costituito da uno chassis guida che ha alla base le due teste fresanti e nel suo corpo una pompa: il tutto è sospeso al bracc-

cio dell'escavatore. Nel caso di Torino lo chassis è alto 18 m con sezione di 2,40 per 1,00 m.

Le frese sono azionate da motori idraulici incorporati nei tamburi, mentre le corone sono munite di denti intercambiabili. Le due teste ruotano in senso opposto disgregando il terreno; la pompa di circolazione, immersa, aspira e porta in superficie i fanghi bentonitici e le parti solide del terreno scavato, convogliandoli sul vibrovaglio separatore. I fanghi bentonitici, dissabbiati, ritornano successivamente nel setto in fase di scavo mentre il marino viene allontanato.

I tre motori idraulici degli elementi sommersi (frese e pompa di circolazione) sono alimentati, tramite flessibili, dal gruppo idraulico montato sull'escavatore e sono controllati dalla cabina di comando fornita di pannello computerizzato. Tramite opportune sonde è consentita la visualizzazione ed il controllo della velocità di avanzamento del gruppo fresante e l'assetto (verticalità nei due sensi e quota) dell'elemento in corso di costruzione.

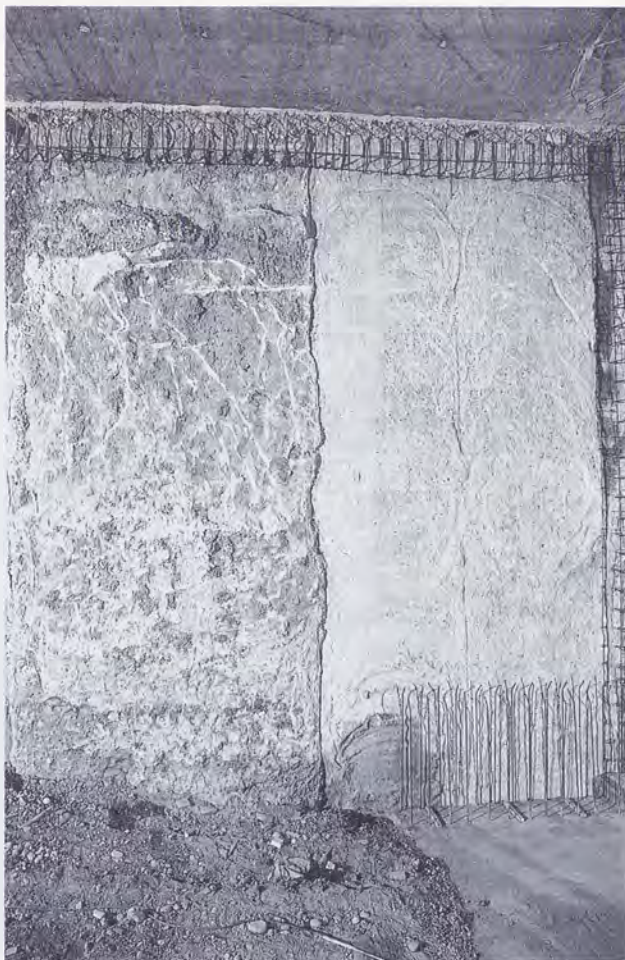


Fig. 20 - Paramento di galleria a paratie. Confronto tra gli elementi scavati con la benna mordente e l'idrofresa.



Fig. 21 - Vano superiore del camerone di confluenza delle linee passante e veloce Porta Nuova-Porta Susa, zona Corso Re Umberto. Riferimento alla sezione E della tavola fuori testo n. 1.



Fig. 22 - Ponte Stura - Vista dell'opera durante il collaudo statico. Si possono notare il ponte dismesso e parte delle protezioni spondali.



Fig. 23 - Ponte Stura. Varo delle travi.

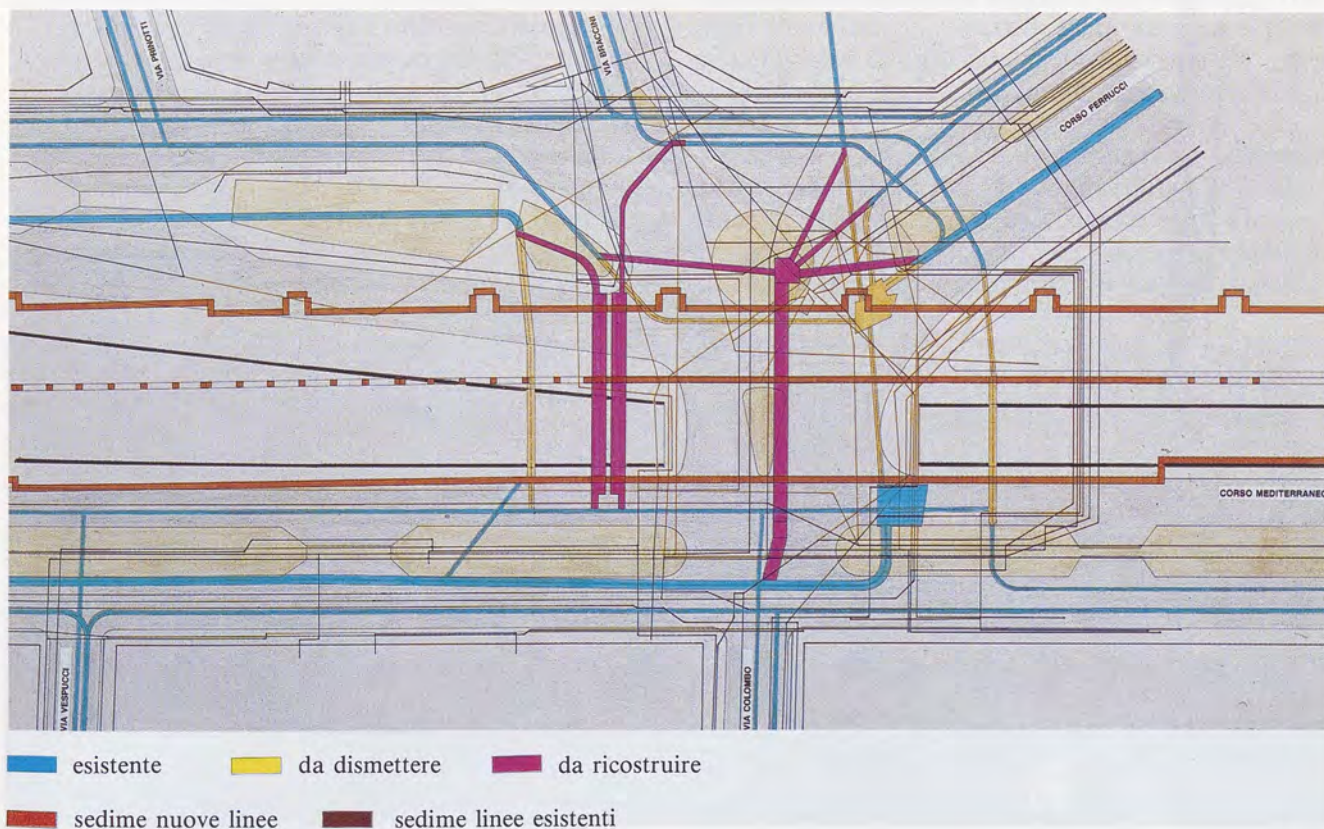


Fig. 24 - Sottoservizi nodo di Corso Ferrucci - Via Colombo.

L'idrofresa è in grado di superare le difficoltà di avanzamento dello scavo messe in luce dalle indagini e dalle prospezioni.

Sono stati eseguiti, a tutto il 1988, circa 20.000 m² di paratie; nelle figure 17-18-19 sono illustrati il materiale cementato rinvenuto nella formazione da scavare, il particolare del gruppo fresante e l'attrezzatura tradizionale a benna mordente.

La figura 20 illustra eloquentemente i risultati ottenuti con le due diverse tecniche di scavo.

Nella figura 21 è visibile una delle opere più complesse ad oggi realizzate con le tecnologie esposte; essa costituisce il vano superiore della struttura a due livelli raffigurata nella sezione E nella tavola fuori testo n. 1.

Nei vani illustrati in figura sarà ricavata una discenderia di attacco intermedia per accesso sia al livello più basso che a quello superiore.

Il ponte sul fiume Stura di Lanzo

— Il progetto

Nella tavola n. 2 fuori testo è illustrato il nuovo ponte sul fiume Stura di Lanzo. La realizzazione

di questa opera d'arte si è resa necessaria per consentire il quadruplicamento dei binari con velocità di 140 km/orari e per la inadeguatezza del ponte esistente a 2 binari.

Il ponte, a 8 campate ciascuna di 27,80 m, è formato da due impalcati contigui e indipendenti, poggianti su pile uniche, ognuno realizzato con 5 travi a cassone; le fondazioni sono costituite da plinti fondati su pali di grande diametro sostituiti parzialmente in corso d'opera con setti di paratie. Le fondazioni sono state attestate, per una profondità di 3-4 diametri, nella sabbia fine limosa di colore grigio, molto addensata, esistente a letto delle alluvioni a cavallo della quota 200 m s.l.m.

Il calcolo per la verifica idraulica delle quote di imposta del ponte è stato eseguito mediante la comparazione dei metodi del q_{100} (soluzioni Gherardelli-Marchetti-Mongiardini) e dei metodi statistico-probabilistici (soluzioni di Gibrat-Poisson-Frechet). Dall'analisi dei risultati ottenuti si è assunta come massima portata di piena prevedibile, nella sezione di esame, il valore di 3228 m³/sec che defluiscono al di sotto dell'opera d'arte con un franco di 1 m e con la velocità di 4,93 m/sec.

Il piano di imposta delle fondazioni delle pile è stato ubicato in posizione adeguatamente tutelata in rapporto ai possibili fenomeni erosivi.



Fig. 25 - Deviazione provvisoria della linea Lingotto-Modane, zona Corso Bramante. Sono evidenti le interferenze con gli impianti esistenti.

Tale quota è risultata di 3 m al di sotto del pelo liquido delle magre riscontrate.

La calcolazione statica è stata particolarmente impegnativa poiché il manufatto, in curva con raggio di 900 m circa, ha gli impalcati fortemente obliqui rispetto all'andamento delle pile, il cui tracciato era obbligato dal filone fluido principale dello Stura, con angoli di obliquità variabili tra 14 e 31 gradi centesimali. Ciò ha comportato una elevata dissimetria nelle sollecitazioni delle travi e dei traversi e nelle reazioni vincolari di ognuno dei 16 impalcati, tutti diversi tra loro, costituenti il ponte.

È stato quindi necessario eseguire calcolazioni con schematizzazione a grigliato, per più impalcati, al fine di determinare le sollecitazioni più gravose e l'effettivo comportamento strutturale del singolo campo. La scelta della tipologia a cassone trapezio per le travi principali è risultata la più idonea per sopportare le elevate sollecitazioni torsionali.

L'aspetto architettonico del ponte è stato particolarmente curato con sagome e linee semplici e continue (fig. 22). In particolare i setti costituenti le pile sono stati studiati a rostro semicircolare per favorire il deflusso delle acque mentre in sommità terminano con pulvini le cui dimensioni sono state vincolate dalle seguenti funzioni:

- avere una larghezza sufficiente per contenere gli apparecchi di appoggio delle travi e permettere la eventuale posa di martinetti per la loro sostituzione;
- consentire l'ispezione dell'interno delle travi a cassone, che per questo scopo hanno i traversi con fori di 70 cm di diametro;
- ubicare i terminali delle messe a terra delle parti metalliche ed i collegamenti per la protezione catodica;
- dare alloggio agli ancoraggi dei pali per la trazione elettrica.

Per tutti questi motivi è stato realizzato un cavedio centrale con accesso da botole sui marciapiedi. Per dare continuità alla pila e nascondere il cavedio è stato studiato lateralmente un capitello in prosecuzione del pulvino fino ad abbracciare le travi. Il ponte in definitiva appare composto da una piastra continua orizzontale, sostenuta da pile con capitelli semicircolari che salgono fino sotto al filo marciapiede.

— L'esecuzione

Per la realizzazione delle fondazioni sono state eseguite nell'alveo, in tempi diversi, quattro «isole» da cui sono state realizzate ture in palancole allo scopo di evitare sifonamenti al contorno durante lo scavo dei plinti e dei pali. Le ture sono state strutturalmente conformate, in relazione alla natura dei materiali ed alle pressioni idrostatiche, con un palancolato in acciaio, sbadacchiato

dall'interno, costituito da un paramento infisso per 10 m. L'infissione, causa la natura del terreno, ha creato non pochi problemi per i trovanti di dimensione superiore anche al m³ rinvenuti in profondità.

Le travi del ponte sono state prefabbricate in stabilimento con calcestruzzo classe 550. Il trasporto è stato eseguito con automezzi speciali ed il varo di ciascuna trave, pesante circa 80 tonnellate, è stato eseguito con l'uso di due gru da 100 tonnellate cadauna (fig. 23). Particolare cautela è stata necessaria nella scelta dei tempi per l'accesso nell'alveo: si sono dovuti realizzare guadi con batterie di tubi metallici per consentire l'accesso alle isole e garantire il regolare deflusso delle acque.

Hanno completato l'opera le protezioni spondali che sono state realizzate in massotti di pietra con uno sviluppo di circa 150 m per ogni sponda e comprendenti, in corrispondenza del ponte, uno schermo interno in paratie. L'altezza della protezione è notevole raggiungendo fino 8 m e ciò per salvaguardia delle zone esterne anche in previsione di un futuro parco fluviale.

Altri manufatti

Riguardano opere eseguite nella tratta a cavallo del ponte Stura. Di particolare impegno sono state numerose opere da eseguire nel corpo del rilevato ferroviario in esercizio che presentava al piede antichi massi di protezione nei confronti delle esondazioni dello Stura e del canale scaricatore Abbazia di Stura.

Per la realizzazione del manufatto scatolare principale del canale Abbazia di Stura si è adottata la tecnica a spinta; per il cavalcavia di Via Germagnano è stato necessario un poderoso palancolato intirantato di contenimento del corpo del rilevato ferroviario.

Altre opere hanno richiesto demolizioni e ampliamenti sotto esercizio; si cita il cavalcavia ferroviario di Strada Cuornè per il quale è stato eseguito lo svaro del vecchio impalcato in più fasi ed in ore notturne, prendendo accurate precauzioni nell'esecuzione dei lavori per il transito dei treni tra cui quelli della linea Torino-Milano ad alta densità di traffico.

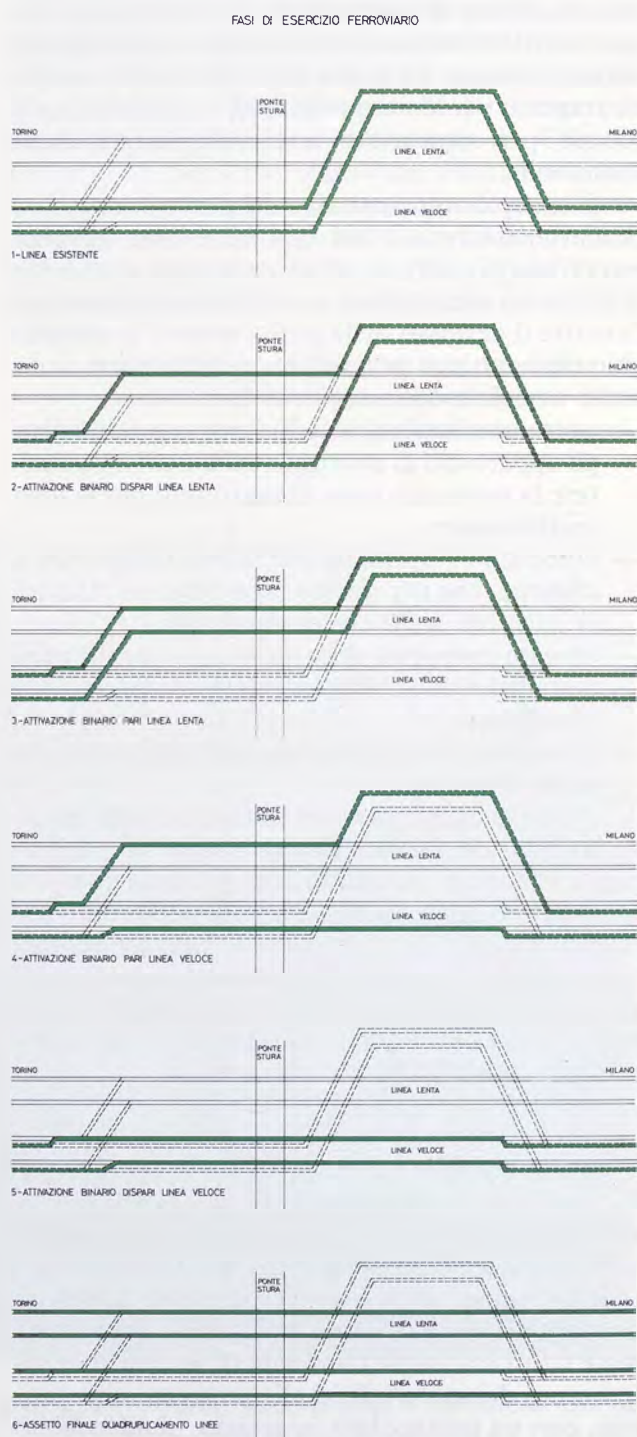
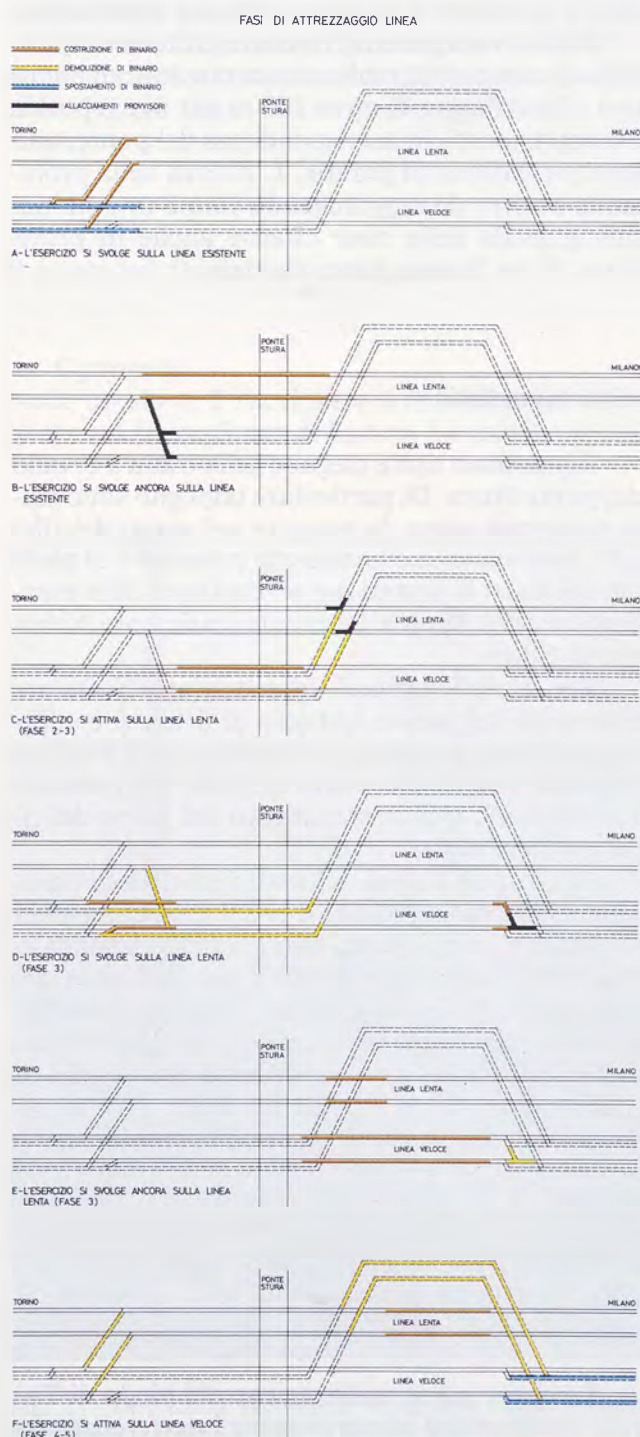
INTERFERENZE CON I SERVIZI DELLA CITTÀ

Le opere per la realizzazione del Nodo di Torino comportano numerosissime interferenze con



Fig. 26 - Fase n. 3 di attivazione del quadruplicamento in zona Stura. Si possono notare i vecchi binari dismessi ed i nuovi appena attivati a quote diverse: tutte le operazioni di attivazione sono state eseguite in 5 ore.

Fig. 27 - Quadruplicamento della tratta Stura: fasi di attrezzaggio linea e di esercizio ferroviario.



i servizi esistenti nel sottosuolo cittadino. Nel solo tratto tra Lingotto e Corso Vittorio Emanuele II sono presenti circa 160 sottoservizi, di primaria importanza, di proprietà di 12 Enti pubblici e privati, mentre nel percorso totale ve ne sono oltre 350. Nella fig. 24 è illustrata una delle complesse situazioni, tipica di numerosi incroci viari.

Lo spostamento di un gruppo così imponente di impianti interferenti, in zona urbana, ha obbligato ad un attento studio delle fasi di dismissione e di ricostruzione per limitare il disagio alla cittadinanza e alla viabilità per i lavori e le eventuali interruzioni delle utenze.

Ne è esempio la cura e la precisione posta nell'organizzare lo spostamento di un cavo a 220.000 Volt, dichiarato «inamovibile» e costituente una delle due dorsali di alimentazione energetica di Torino. Lo spostamento si è dovuto programmare e realizzare in tempi relativamente brevi ed in un preciso periodo di scarsa utenza e di ridotto traffico cittadino (mese di agosto).

Le interferenze hanno pesanti ripercussioni anche sulle strutture. Nelle zone di massima concentrazione di sottoservizi è stato necessario progettare delle opere particolari atte a ospitare, al loro interno, fino a circa 50 canalizzazioni di 15 cm di diametro ognuna.

Problematiche anche più gravi sono state risolte o sono in corso di studio per il prosieguo delle attività al fine di realizzare la deviazione o il sifonamento di collettori fognari bianchi e neri, con elevate portate (fino a circa 2 m³/ora) e senza possibilità di interruzione del loro funzionamento.

Infine va notato che la realizzazione delle opere comporta la deviazione provvisoria del traffico urbano pubblico e privato di interi quartieri con complicate sistemazioni della segnaletica stradale, degli impianti semaforici e di linee autofilo-tramviarie.

Corso Bramante, si sono dovuti spostare gli impianti di elettrificazione (linea di contatto ed alimentazione) nonché gli impianti telefonici e del blocco automatico.

Per ottenere i franchi minimi necessari alle macchine operatrici, è stato necessario eseguire il sollevamento degli alimentatori che dalla cabina Bramante, punto di origine, si diramano verso Lingotto, Porta Nuova e Quadrivio Zappata. Detta modifica eseguita in ristrette fasce d'orario notturno, ha comportato la posa di una nuova palificazione comprendente un traliccio di notevoli dimensioni ubicato in zona non interferente con il «passante».

Sulla linea Lingotto-Modane è stata realizzata una deviazione provvisoria, lunga circa 250 m, con spostamento degli impianti di elettrificazione, telefonici e di blocco automatico, con il varo e lo svaro di deviatori e con l'esecuzione di raccordi di linea; tali ultimi interventi sono stati eseguiti in interruzioni programmate d'esercizio ferroviario di breve durata e distinte per binario (fig. 25).

Nella tratta tra Corso Grosseto e Stura il nuovo tracciato presentava una doppia interferenza con la preesistente linea Torino-Milano. I lavori di attrezzaggio delle linee sono stati pertanto eseguiti per successive fasi mediante conseguenti attivazioni e disattivazioni parziali (fig. 26 e 27). Gli interventi sulla linea sono illustrati in figura e hanno comportato il varo e lo svaro di deviatori e l'esecuzione di raccordi con relative fasi d'esercizio provvisorio; tutti gli interventi sono stati realizzati in interruzioni concesse prevalentemente in giornate festive. Più del 50% di tutti i lavori civili sono stati eseguiti in stretta adiacenza alla linea Torino-Milano, assoggettata alle fasi sopra descritte, con le conseguenti complicanze e limitazioni dovute al transito di circa 250 treni al giorno.

FASI DI ESERCIZIO FERROVIARIO INTERCONNESSE CON I LAVORI

L'esecuzione dei lavori richiede rilevanti interventi impiantistici connessi all'esercizio ferroviario per garantire, durante lo svolgimento dei lavori stessi, il regolare traffico su linee di primaria importanza. Per dare un'idea delle difficoltà derivate da queste interferenze, a titolo esemplificativo, vengono illustrati alcuni interventi primari.

Sulla linea Torino-Genova, nella tratta iniziale (Lingotto) prossima al cavalcaferrovia di

STATO DELL'ARTE E PROGRAMMI

I progetti esecutivi sono iniziati nel 1984. L'esecuzione dei lavori è iniziata a metà del 1986 con l'apertura dei cantieri per una prima fase di opere nelle tratte:

- zona Lingotto: costruzione di due tratte di gallerie artificiali, con sviluppo di 500 m circa, per realizzare gli imbocchi della galleria naturale;
- zona Ponte Stura: quadruplicamento della linea per una lunghezza di 2400 m circa.

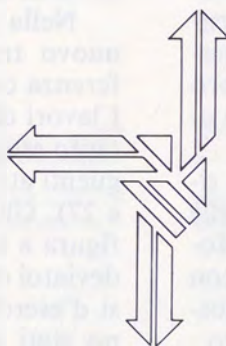
L'importo totale dei lavori eseguiti, nelle tratte

te citate, è di circa 60 miliardi. I lavori sono stati ultimati alla fine del 1988 con l'attivazione all'esercizio della tratta Stura.

La conclusione dei progetti e la prosecuzione dei lavori sono oggi in attesa di decisione da parte delle Ferrovie. Il complesso dell'intervento coinvolge un importo di oltre 1200 miliardi di cui 700 per completare la fase operativa già iniziata.

Il Nodo di Torino ha un ruolo strategico per

le potenzialità, specifiche e indotte, che l'opera può dare allo sviluppo della città e della regione: i lavori sono avviati e il Concessionario ha dimostrato, nelle tratte realizzate, che l'impegno operativo messo in atto consente di eseguire le opere in tempi anche brevi e ciò in linea con l'antica tradizione del Piemonte che, nel secolo scorso, ha dotato la Regione, in pochi anni, di infrastrutture a livello europeo.





Litografia esposta nell'ufficio progetti del Nodo di Torino
(Centre Georges Pompidou 1978 «Le Temps des Gares» - Opera di Dominique Appia)

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella « Rassegna Tecnica », in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci, invitati. La pubblicazione, implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

Direttore responsabile: **ROBERTO GABETTI**

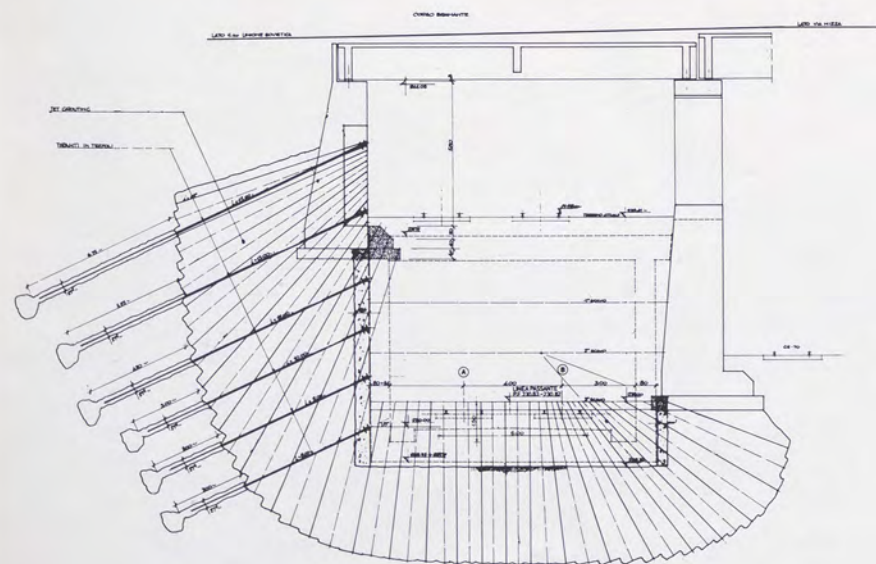
Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

Spedizione in abbonamento postale GR. III/70 - Mensile

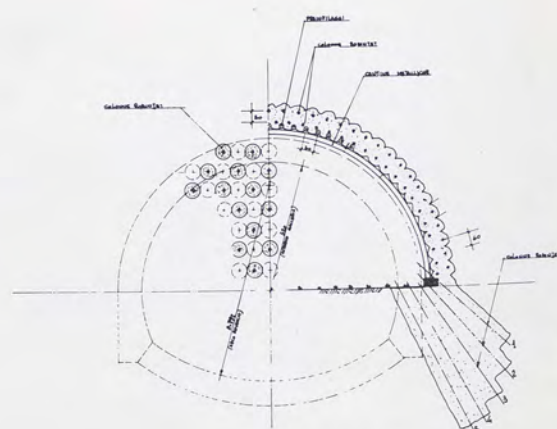
STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - CORSO SIRACUSA, 37 - TORINO



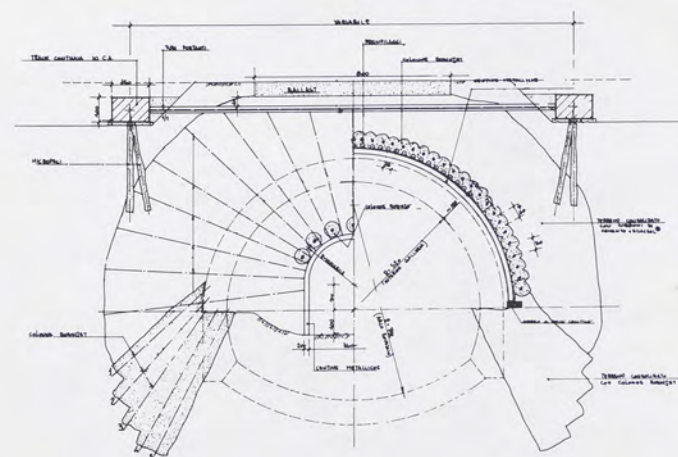
Tavola 1



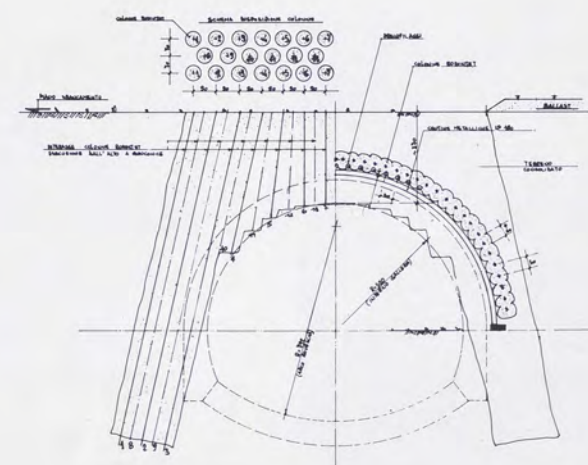
SEZIONE A



SEZIONE B

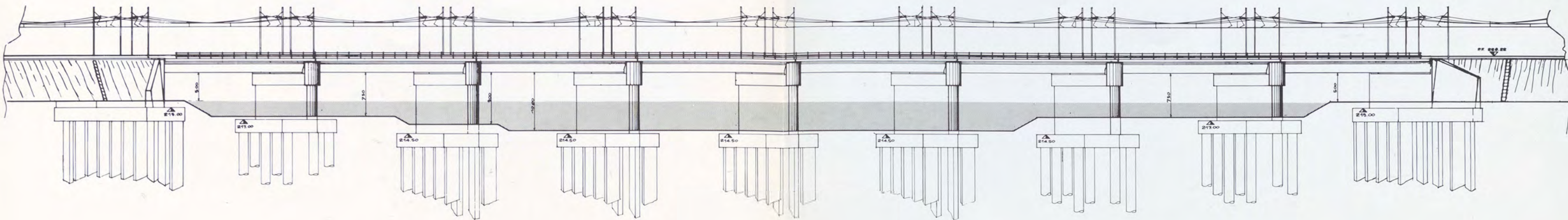


SEZIONE C

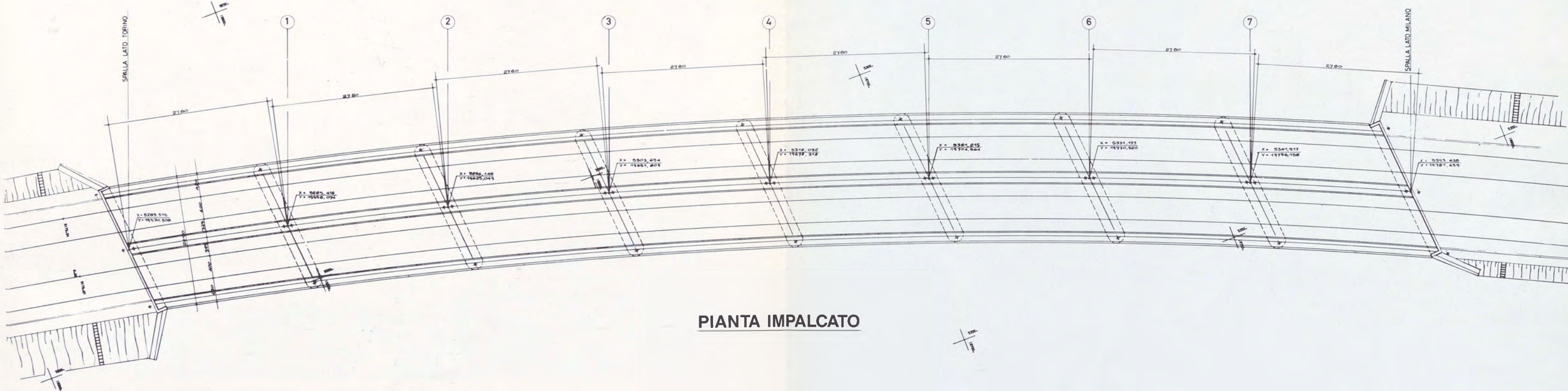


SEZIONE D

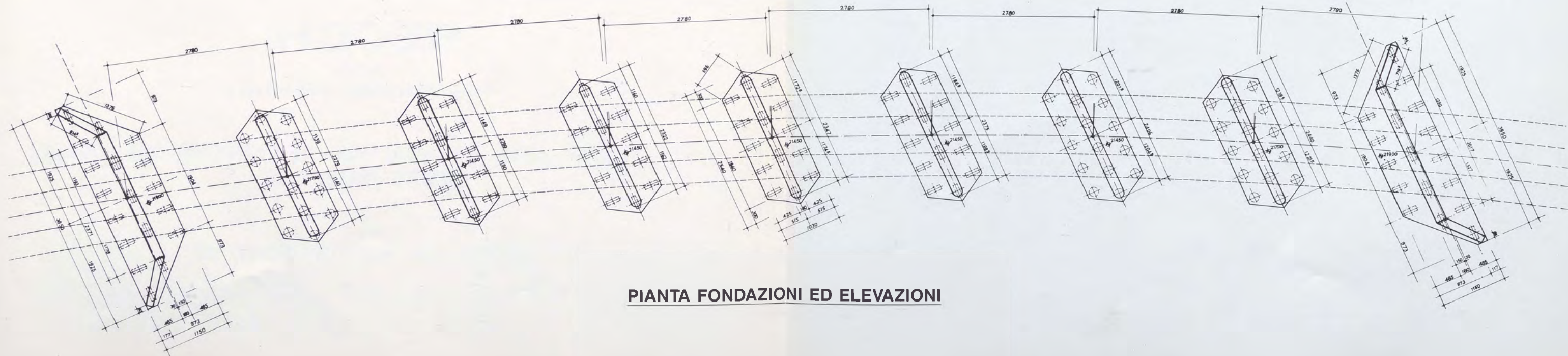
PONTE STURA



PROSPETTO



PIANTA IMPALCATO



PIANTA FONDAZIONI ED ELEVAZIONI

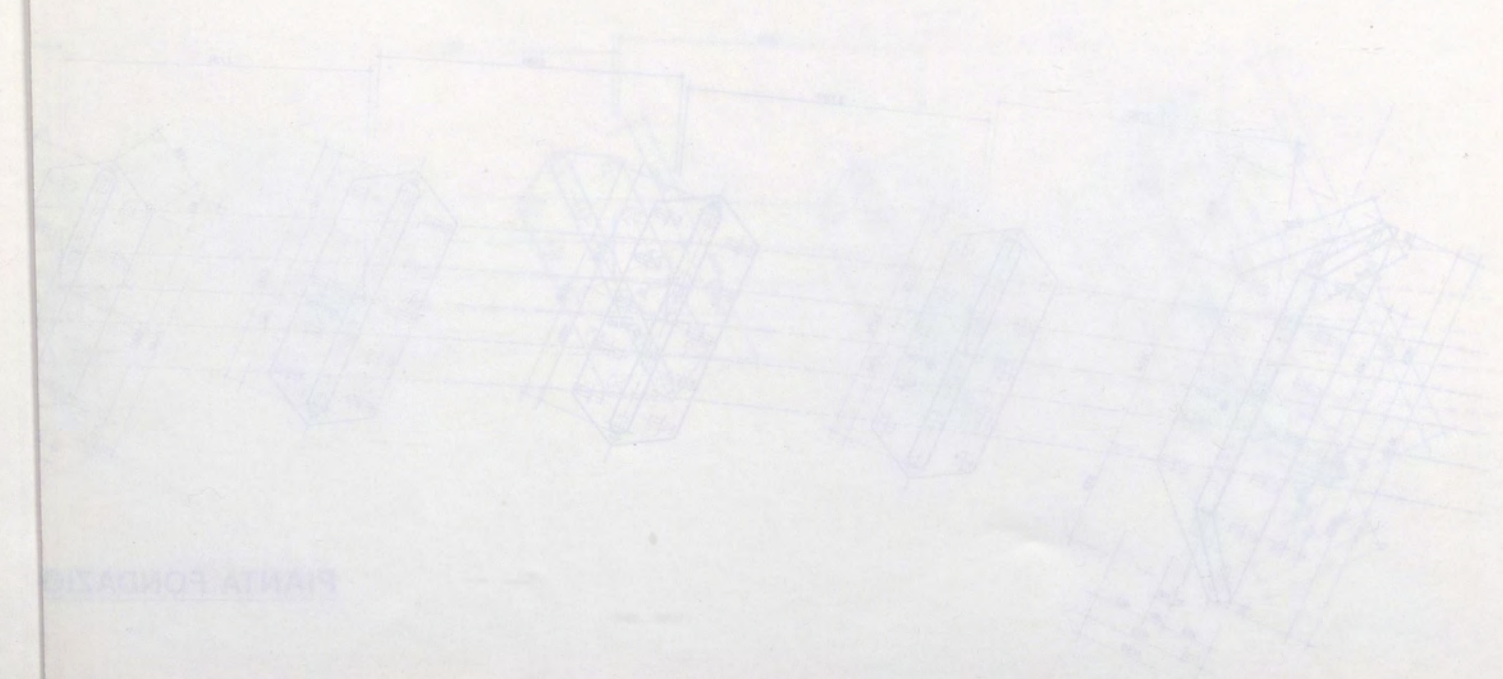
PONTE



PROG



PIANTA IN



PIANTA FONDAZIONE



TURCHIA - DIGA DI KARAKAYA - ITALSTRADE RECCHI

RECCHI
S.P.A.
COSTRUZIONI GENERALI

**COSTRUZIONI EDILI STRADALI IDROELETTRICHE FERROVIARIE
OPERE MARITTIME**

TORINO VIA MONTEVECCHIO 28

