



ITA/AITES  
International Tunnelling Association  
Association Internationale des Travaux en Souterrain



SIG  
Società Italiana Gallerie

Congresso Internazionale su «Grandi Opere Sotterranee»  
International Congress on «Large Underground Openings»  
Congrès International sur «Grands Ouvrages en Souterrain»

Firenze, Italy, 8-11 giugno 1986

**C. IANNIELLO - L. LEONARDI  
P. LUNARDI - S. PELIZZA - M. ZANALDA**

**Problemi tecnici di costruzione in sotterraneo  
del nuovo tratto di linea ferroviaria in Liguria  
fra San Lorenzo al Mare e Ospedaletti**

ESTRATTO / REPRINT / TIRE A PART



**VOLUME I**

**ATTI - PROCEEDINGS - COMPTES RENDUS**

## PROBLEMI TECNICI DI COSTRUZIONE IN SOTTERRANEO DEL NUOVO TRATTO DI LINEA FERROVIARIA IN LIGURIA FRA SAN LORENZO AL MARE E OSPEDALETTI

C. IANNIELLO - F.S.-1<sup>a</sup> Unità Speciale - Savona  
 L. LEONARDI - COGEFAR S.p.A. - Milano  
 P. LUNARDI - ROCKSOIL S.r.l. - Milano  
 S. PELIZZA - Politecnico di Torino  
 M. ZANALDA - COGEFAR S.p.A. - Milano

### 1. PREMESSA

I lavori cui si fa riferimento hanno avuto inizio nei primi mesi del 1980. Essi si inquadrano nell'ampio progetto delle Ferrovie dello Stato per il raddoppio, con caratteristiche di tracciato atte a consentire alte velocità dei convogli, dell'intera linea ferroviaria Genova - Ventimiglia che fu aperta tra il 1856 e il 1872.

Per il rifacimento della tratta San Lorenzo al Mare - Ospedaletti il tracciato, attualmente litoraneo, è stato spostato nell'entroterra; siccome la regione è caratterizzata da una morfologia a rilievi con dorsali parallele allungate dalle Prealpi verso il mare, intervallate da profonde incisioni con corsi d'acqua a regime torrentizio, il tracciato ferroviario interessa ortogonalmente tali rilievi con un susseguirsi di gallerie a bassa e media copertura.

Infatti, la nuova linea che è compresa tra le progressive km 113 + 140 e km 137 + 002 per una lunghezza quindi di 23.862 metri, è realizzata sostanzialmente in galleria; procedendo da Est verso Ovest si hanno (Fig. 1): galleria Terra Bianca (m 772), galleria dei Frantoi (m 80), galleria Santo Stefano (m 7.856), ponte sul Torrente Argentina e stazione di Taggia-Arma con opere esterne (m 863 all'aperto), galleria Capo Verde-Capo Nero (m 13.135, di cui fanno parte il camerone per la fermata in sotterraneo di Sanremo che ha una lunghezza di m 550 ed i due cameroni per il raccordo all'attuale linea ferroviaria presso San Lorenzo al Mare con lunghezza complessiva di m 75).

I lavori comprendono inoltre: galleria asta di manovra di Taggia (m 120), galleria di accesso alla fermata di Sanremo (m 396), galleria di sicurezza connessa alla medesima fermata (m 230) e tre finestre di attacco (Rio Pini 290 metri, Armea 281 metri e Terzorio 223 metri).

L'andamento altimetrico è caratterizzato dai tratti in orizzontale della fermata di Sanremo e della stazione di Taggia e, per il resto, da livelletta con pendenza massima di 0,3%.

La copertura delle gallerie varia da un massimo di 200 metri ad un minimo di 8 metri circa,

ovviamente con esclusione degli imbocchi. Le gallerie correnti, con forma policentrica a ferro di cavallo, hanno sezione di scavo teorica media di 95 m<sup>2</sup>; il camerone per la fermata di Sanremo ha sezione di scavo di 186 m<sup>2</sup>, con altezza massima di m 12,50 e larghezza di 18,40 m.

### 2. SITUAZIONE GEOLOGICO STRUTTURALE E STABILITÀ DEI CAVI

#### 2.1. Le formazioni rocciose

I terreni interessati dagli scavi in sotterraneo sono essenzialmente costituiti dalla formazione del Flysch ad Helmitoidi; solo brevi tratte di galleria in prossimità degli sbocchi nella Valle Argentina, hanno attraversato conglomerati ed argille sabbiose del Pliocene che, peraltro, non hanno presentato particolari problemi.

La formazione del Flysch ad Helmitoidi è caratterizzata da una ritmica ripetizione di marne, arenarie, calcari marnosi ed argilloscisti in genere divisi da superfici di strato nettissime, ma che talora possono sfumare progressivamente l'uno nell'altro; la potenza degli strati è compresa tra pochi centimetri ed alcuni decimetri. La giacitura ha un'immersione media verso il mare; essa però è estremamente variabile in modo improvviso per la costante presenza di pieghe, faglie e fratture che testimoniano l'intensa attività orogenetica della regione (Figg. 2 e 3).

Ne consegue che la formazione rocciosa predominante è caratterizzata da un'estrema eterogeneità dei componenti che hanno caratteristiche geomeccaniche sostanzialmente differenti gli uni dagli altri, da una giacitura in generale sfavorevole e da una marcata anisotropia di comportamento determinata dai ripiegamenti e dallo stato di disgiunzione; il tutto poi variabile anche solo di metro in metro senza una regola che possa condurre a qualche previsione della situazione strutturale e geomeccanica. In tale contesto si inseriscono inoltre venute d'acqua in genere localizzate, che però hanno una nega-

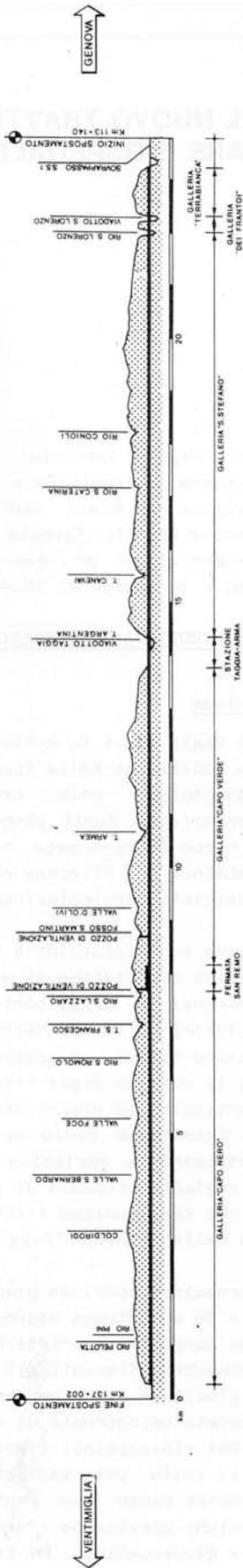


Fig. 1 - Profilo dei lavori di costruzione della nuova linea ferroviaria fra San Lorenzo al Mare (Genova) e Ospedaletti (Ventimiglia)

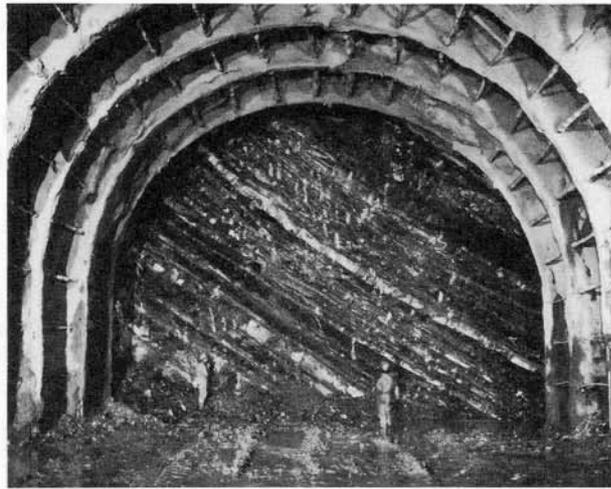


Fig. 2 - Flysch a giacitura regolare con immersione verso Sud

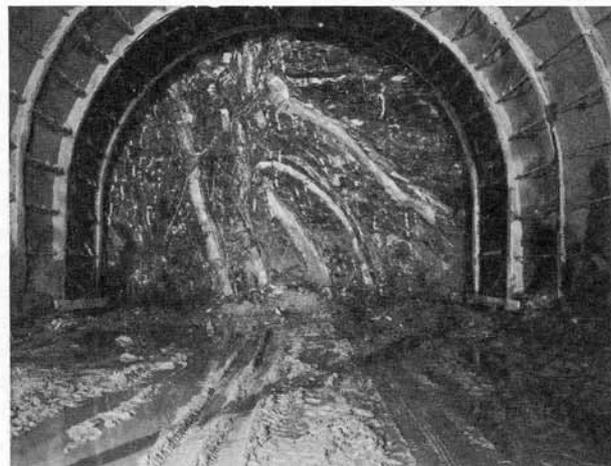


Fig. 3 - Flysch marcatamente tettonizzato

tiva influenza specie sulla componente argillo-sistosa della roccia.

## 2.2. Riflessi applicativi

La descritta situazione geologico-strutturale ha determinato e determina nelle fasi di progettazione e di costruzione svariati problemi applicativi:

sostegno continuo del cavo, non presentandosi mai condizioni di autoportanza permanente; adeguamento dei sistemi di abbattimento ciclo per ciclo (volate di mine totali o parziali, martello demolitore pesante, escavatore di elevata potenza) intervenendo ed adattando la lunghezza dello sfondo per ciclo in funzione delle condizioni della roccia, della copertura e dei vincoli di soprassuolo; adattamento dei mezzi di sostegno (centine e

calcestruzzo proiettato e rivestimento definiti vo) ancora ciclo per ciclo; chiusura della sezione sempre con arco rovescio.

### 3. PROBLEMATICHE AMBIENTALI

Gli scavi sotterranei sono soggetti per lunghe tratte a basse coperture; il soprassuolo è sottoposto a vincoli specifici sia perchè è destinato ad usi agricoli di pregio (floricoltura, con serre diffuse e regimazione idrica rigida e delicata), sia perchè è densamente edificato (per esempio, l'abitato di Sanremo).

Tale situazione ha comportato due necessità fondamentali di controllo e contenimento: delle vibrazioni generate dalla esplosione delle mine di abbattimento; dei cedimenti conseguenti alla apertura del cavo ed alla distensione della roccia.

#### 3.1. Vibrazioni

Data la delicatezza della situazione è stato organizzato ed è in corso un costante ed inusuale, per durata, lavoro di registrazione in superficie delle vibrazioni, di interpretazione dei dati e di coordinamento continuo tra il fronte di scavo e le situazioni sempre rinnovanti via via che si presentavano in superficie.

Ciò in quanto, data la variabilità geologico-strutturale e quella degli edifici, non si è mai potuta formulare una legge di propagazione delle vibrazioni che avesse validità costante. Si è pertanto proceduto in modo sistematico e continuo ad un rilevamento in superficie, in genere mediante più sismografi automatici (sino a sei) posti in punti differenti (o), delle vibrazioni generate da ogni volata, misurandone la velocità secondo tre componenti ortogonali. La registrazione continua dell'onda consente di rilevare l'effetto dei singoli gruppi di mine esplosive istantaneamente e quindi di adeguare lo schema di tiro alle esigenze di sicurezza.

Com'era prevedibile, è risultato che le mine che danno la maggior intensità di vibrazione, a parità di carica, sono quelle della rinora (di prima apertura), cosicché è stato individuato uno schema di tiro base (per la galleria e per il camerone sotto Sanremo) con mine della rinora microritardate (Fig. 4), con alcuni detonatori di numero alto, che ha dato risultati pienamente soddisfacenti.

#### 3.2. Cedimenti

I citati vincoli connessi con l'occupazione del soprassuolo determinano una sostanziale inammissibilità di cedimenti in superficie.

Pertanto, constatata la instabilità della massa rocciosa si è ipotizzato - e poi realizzato -

- (o) "Vibrazioni indotte dallo scavo della galleria Capo Verde a Sanremo", IANNIELLO e altri. Congr. Int. su "Grandi Opere Sotterranee", Firenze 8 - 11 giugno 1986.

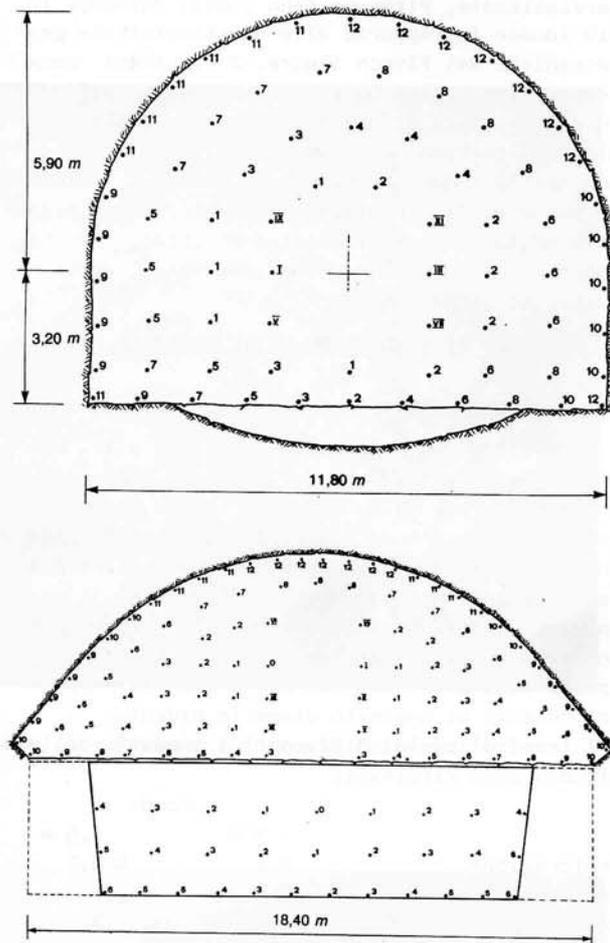


Fig. 4 - Schemi di tiro controllato con rinora microritardata per la galleria corrente (sopra) e il camerone della fermata di Sanremo (sotto).

Numeri romani 30 ms; numeri arabi 0,5 s.

di evitare lo scavo a sezione parzializzata, con successive aperture ciascuna apportatrice di nuovi cedimenti, e di procedere a piena sezione. Naturalmente il controllo dei cedimenti deriva da una limitazione della luce libera per ciclo e dalla realizzazione tempestiva di sostegni di prima fase rigidi.

Si è perciò adottata un'armatura costituita da centine (profilato singolo HEA 160 + 220) e calcestruzzo proiettato con interasse e di spessore variabili in funzione del comportamento della massa rocciosa.

Nelle zone più delicate si sono realizzate le murette gettate in opera immediatamente a seguire il fronte e talvolta si è subito gettato l'arco rovescio; il rivestimento completo segue, in genere, immediatamente.

La scelta del metodo di scavo a piena sezione, è stata adottata fin dall'inizio non senza qualche timore, poichè le esperienze precedenti, legate alla esecuzione delle numerose gallerie autostradali, suggerivano l'impiego di sezioni

parzializzate, ritenute fino a quel momento le più idonee in rapporto alle caratteristiche geomeccaniche del Flysch ligure. I risultati confermano invece che lo scavo a piena sezione, pur in presenza di una formazione geologica complessa e fortemente suddivisa, è il frutto di una scelta nuova, tecnicamente valida, poiché ha permesso di minimizzare le interferenze negative dello scavo sull'ammasso roccioso, con il raggiungimento rapido e complessivo del nuovo equilibrio geomeccanico.

#### 4. COSTRUZIONE E SOSTEGNO DELLE GALLERIE

##### 4.1. Galleria corrente nel Flysch

Come detto, la galleria è scavata a piena sezione. Per l'esecuzione della volata è adottata un'attrezzatura molto elastica (carro di perforazione a tre bracci con perforatrici idrauliche) per adattarsi alle continue variazioni sia dello sfondo che dello schema di volata. Il disaggio, data anche l'ampiezza della sezione, è accurato e molto energico ed è attuato con un grosso escavatore (da 150 HP) a braccio rovescio dotato di apposito utensile bidente.

I tempi di ciclo, differenti a seconda dello sfondo, sono risultati:

	sfondo	
	3 m	1,5 m
perforazione	h 1	h 0,7
caricamento e sfumo	1	1
smarino	2,5	2
disgaggio	0,5	0,5
pulizia	0,5	0,5
centina	0,5	0,5
calcestruzzo proiettato	2,5	2,0
totale	h 8,5	7,2

Il consumo specifico d'esplosivo nei due casi è rispettivamente di  $0,68 \text{ kg/m}^3$  e di  $0,25 \text{ kg/m}^3$ .

La produzione media di galleria scavata ed armata in prima fase è di  $5 \pm 6 \text{ m/d}$ .

##### 4.2. Imbocco Ovest della galleria Santo Stefano

La tratta di imbocco Ovest della galleria Santo Stefano è stata scavata nei conglomerati poligenici del Pliocene, che sono costituiti da un insieme di grossi ciottoli, ghiaie e sabbie di svariata natura, per lo più arenacea e calcarea, legati da materiale limo-argilloso; si notano a volte intercalazioni di sabbioni grossolani.

L'attacco della galleria si è dimostrato delicato a causa della natura del materiale, della limitata copertura e dell'occupazione del soprassuolo da parte di colture floreali assai pregiate con vasche d'acqua per l'irrigazione; inoltre il versante si presenta in condizioni critiche di stabilità.

Per evitare scavi di sbancamento importanti

si è proceduto con la realizzazione di un cunicolo entro sezione di  $38 \text{ m}^2$  armato con centine e prolungato per una lunghezza di 53 metri sino ad avere una copertura di 30 metri (Fig. 5); quindi, in ritirata verso l'imbocco, si è proceduto all'allargamento della sezione sino a  $95 \text{ m}^2$ , realizzando l'uscita con soddisfacente delicatezza e senza alcuna perturbazione del soprassuolo.

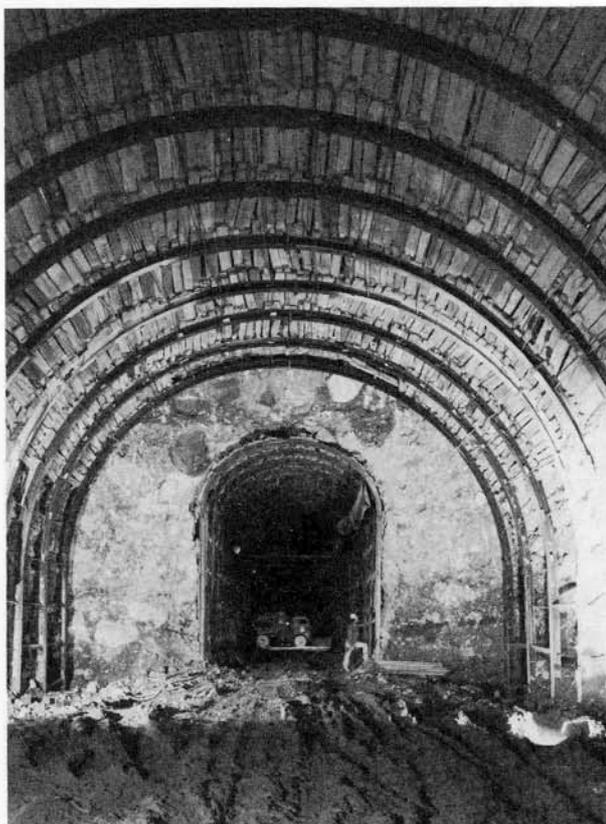


Fig. 5 - Cunicolo visto dall'interno in corso di allargamento per lo scavo dell'imbocco Ovest della galleria Santo Stefano

##### 4.3. Galleria Capo Nero

Siccome la galleria Capo Nero sottopassa una parte molto delicata, per densità e vetustà degli edifici, dell'abitato di Sanremo si è presentato particolarmente impegnativo il problema del controllo delle vibrazioni e dei cedimenti.

È stato allora previsto, e realizzato, lo scavo di una piccola galleria operativa in sezione, da eseguirsi con fresa a piena sezione; tale galleria esplica svariate, utili funzioni: esplorazione geologica e geomeccanica di dettaglio della massa rocciosa, con possibilità quindi di predeterminare le opere di sostegno che saranno necessarie nella successiva fase di allargamento (attualmente in corso);

realizzazione di eventuali interventi di preconsolidamento;

eliminazione della rinora, con possibilità quindi di scavare la galleria solo con mine di allargamento, più facilmente governabili ai fini del contenimento delle vibrazioni.

Lo scavo della galleria operativa è stato eseguito con fresa Jarva Mark 12 T da 800 HP di 3,50 m di diametro (Fig. 6); la galleria ha richiesto un continuo sostegno realizzato con bulloni e calcestruzzo proiettato: la produzione giornaliera media è stata di 25 + 30 metri con punte di 57 metri.

Notevoli difficoltà sono state incontrate per l'attraversamento di brevi tratte di terreni limo-sabbiosi pliocenici, che sono stati superati con un continuo impiego di calcestruzzo proiettato che ha permesso di creare sufficienti appoggi per i contrasti inferiori e laterali della fresa: la produzione è stata solo di 1 + 3 metri/d.

#### 4.4. Getto dell'arco rovescio

Per il getto dell'arco rovescio, di norma attuato per lunghe tratte di galleria già rivestite, è stata messa a punto una tecnologia di tipo continuo, procedendo in ritirata da fondo galleria verso l'imbocco.

Lo scavo viene eseguito con ripper o con escavatore a seconda della resistenza della roccia; il marino è caricato con pala od escavatore ed è allontanato con dumper. Quest'area di lavoro viene superata con un nastro trasportatore posizionato sulla muretta che adduce verso l'interno della galleria il calcestruzzo per il getto dell'arco rovescio nell'area già scavata (Fig.7).

La produzione media realizzata è stata di circa 40 metri per giorno.

#### 5. COSTRUZIONE IN SOTTERRANEO DELLA FERMATA DI SANREMO

Il progetto della fermata di Sanremo prevede la realizzazione di un camerone attrezzato in sotterraneo collegato mediante una galleria di accesso con il fabbricato viaggiatori ubicato all'esterno nel centro della città.

Il camerone ha lunghezza di 550 metri; nella tratta di 80 metri a cavallo della galleria di accesso (Fig. 8) sono ubicate le cinque sale di attesa e vani di servizio; due sottopassaggi collegano i due marciapiedi laterali.

Due pozzi (aventi diametro di 7,2 metri e lunghezza di 36 e 37 m) posti alle estremità del camerone provvedono alla ventilazione ed allentano le sovrappressioni; ai fini dell'aerazione sono previsti altri due camini di aspirazione e per la sicurezza, una galleria che collega l'ultima sala di attesa con l'esterno.

Lo scavo del camerone, eseguito con esplosivo, è stato compiuto in tre fasi secondo il cosiddetto metodo belga: esecuzione della calotta

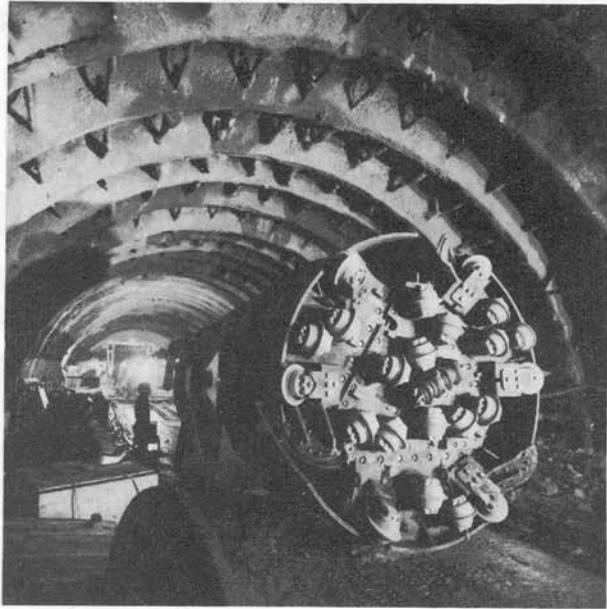


Fig. 6 - Fresa all'ingresso della galleria

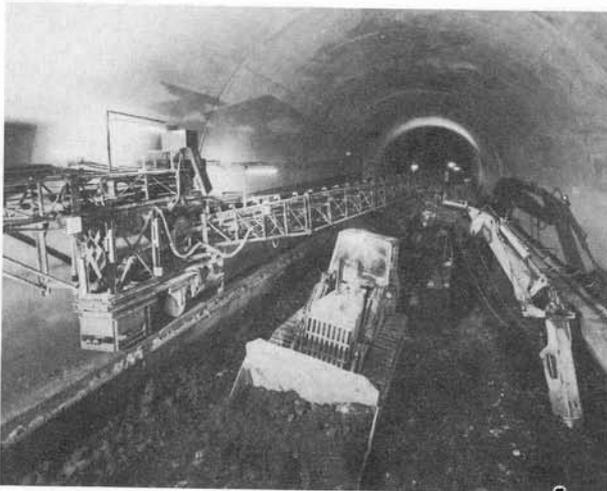


Fig. 7 - Cantiere di scavo per il getto dell'arco rovescio. A sinistra il nastro per il trasporto del calcestruzzo

(m<sup>2</sup> 92) con sfondi di 1,75 m (Fig. 4), armatura con centine HEB 220 a m 1,75 di interasse e calcestruzzo proiettato di 35 cm, getto del rivestimento (spessore m 1,45); scavo dello strozzo (50 m<sup>2</sup>); scavo e getto dei piedritti a campioni di m 4,5.

Complessivamente sono stati abbattuti circa 99.000 m<sup>3</sup> di calcestruzzo; l'intero lavoro è stato compiuto in 20 mesi.

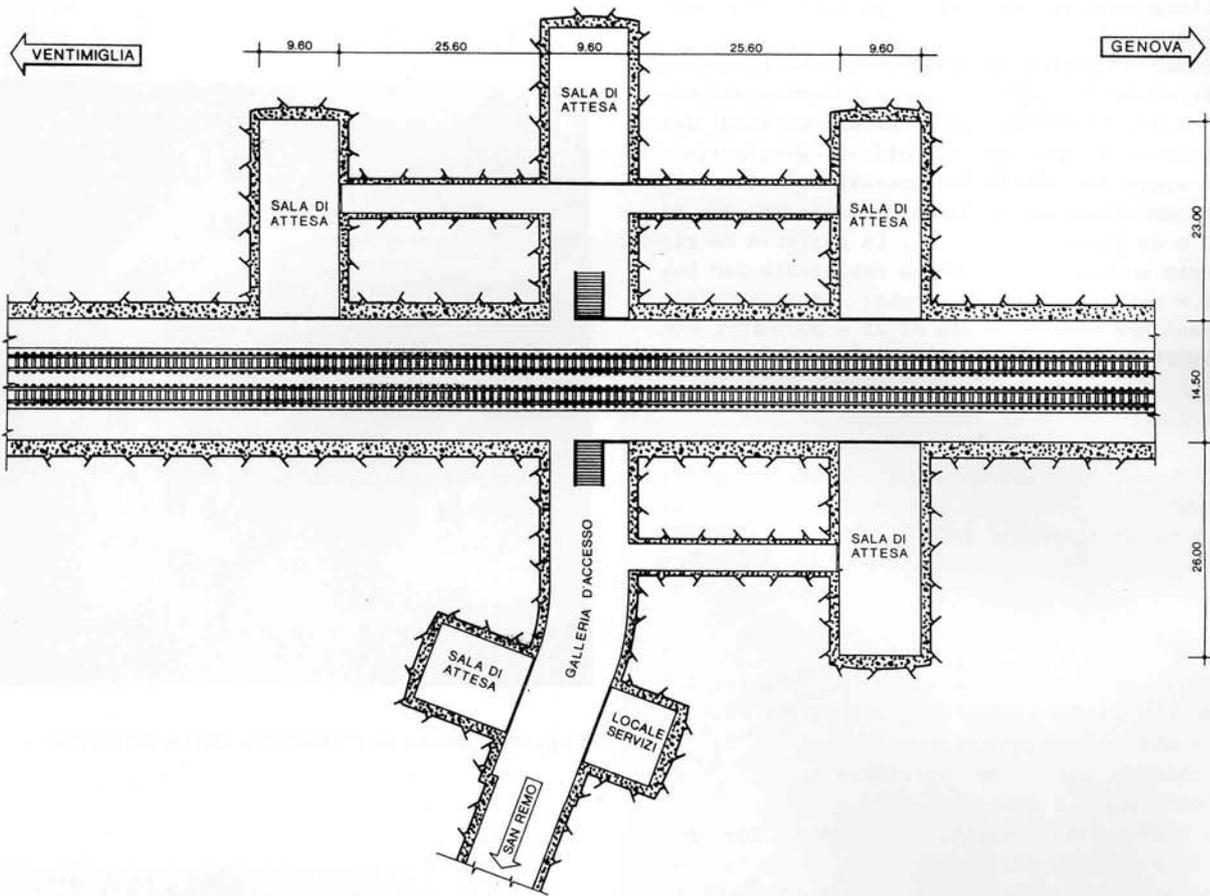


FIG. 8 - Planimetria della fermata in sotterraneo di San Remo