

# Il viadotto sul Polcevera per l'autostrada Genova-Savona

Prof. Ing. Riccardo Morandi



Il tratto terminale verso Sud dell'Autostrada Savona-Genova, prima di innestarsi all'Autostrada Genova-Valle del Po, dopo aver sottopassato con una galleria la collina della Coronata, sovrappassa la valle del Polcevera ed indi si ripartisce nel sistema di innesto tra le due autostrade.

L'attraversamento della Valle del Polcevera ed il sistema di innesto sono contemporaneamente risolti a mezzo di una grande opera d'arte, di concezione unitaria e di notevoli dimensioni ed interesse tecnico, che qui di seguito si illustra.

L'attraversamento della valle ed il sistema delle rampe di raccordo sorpassano una zona intensamente fabbricata, con edifici civili ed industriali e, soprattutto, interessata oltre che dal fiume Polcevera, anche da una serie di impianti ferroviari di grande importanza che, per le loro inderogabili esigenze, hanno condizionato l'impostazione del progetto, la scansione delle luci ed i metodi di esecuzione.

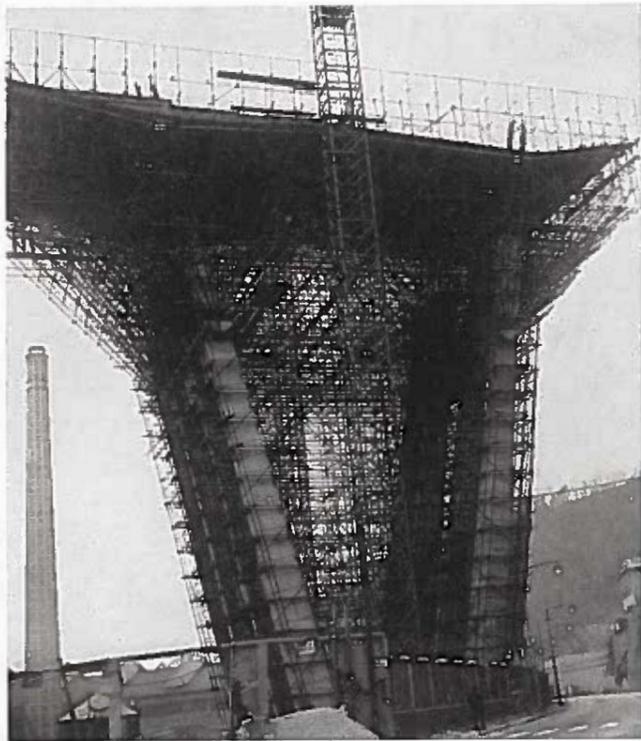
L'opera quindi nel suo complesso può considerarsi un interessante esempio di inserimento di una grande infrastruttura entro un fitto tessuto urbano ed industriale e di intendimento di creare una corretta composizione anche dal punto di vista formale e paesaggistico.

## Parte prima

### DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera nel suo complesso può suddividersi nelle seguenti parti:

- a) Il viadotto principale.
- b) Pista di raccordo da Serravalle a Savona.
- c) Pista di raccordo da Savona a Serravalle.
- d) Pista di raccordo da Savona a Genova.
- e) Pista di raccordo da Genova a Savona.



1 - La costruzione di una pila per le luci minori: il sistema a cavalletto, adottato per la costruzione di tali luci, è costituito da due stilate oblique in cemento armato, collegate da una travata a doppio cantilever di lunghezza variabile, anch'essa in cemento armato; 2 - Una delle pile delle piccole luci già completata; 3 - La costruzione di una delle pile di sostegno delle grandi luci: il sistema bilanciato adottato per la realizzazione di tali luci è costituito da una travata continua a tre luci su 4 appoggi con due sbalzi terminali; 4 - Le strutture provvisorie per la costruzione dell'impalcato tra i ritzi obliqui delle pile di sostegno delle grandi luci.

#### a) Il viadotto principale

Il viadotto consta delle seguenti luci teoriche (a partire dalla spalla terminale lato Savona):

- una luce da 43,00 m
- cinque luci da 73,20 m
- una luce da 75,313 m
- una luce da 142,655 m
- una luce da 207,884 m
- una luce da 202,50 m
- una luce da 65,10 m

Le luci, di così disparata ampiezza, trovano il loro legame di concezione in una serie di travate tutte uguali di calcestruzzo precompresso della luce di 36,00 m, vincolate a semplice appoggio su una serie di sistemi speciali, tra cui potremo distinguere due diversi tipi fondamentali:

— Il sistema a cavalletto per le luci minori costituito da due stilate oblique collegate in testa da una travata a doppio cantilever di lunghezza variabile. Il tutto di calcestruzzo armato, vincolato al piede da una zattera a sua volta poggiata su una palificata fondale di pali trivellati del diametro di 110 cm e di lunghezza variabile fino a 48,00 m.

— Il sistema bilanciato per le luci maggiori. Detto sistema è costituito da una travata continua a



tre luci su quattro appoggi, con due sbalzi terminali alle cui estremità sono appoggiate le travi da 36,00 m di cui sopra.

I due appoggi più esterni dei quattro vincoli della travata sono costituiti dai terminali di due tiranti in acciaio pretesi che passano al disopra di un'antenna, disposta in corrispondenza dell'asse del sistema, dell'altezza di 90,00 m da terra e di circa 45,00 m sul piano viabile del ponte.

Ciascun sistema bilanciato è costituito da:

1) Una zattera di fondazione nervata in calcestruzzo armato poggiante su una palificata fondale di pali trivellati  $\varnothing$  150 cm.

2) Uno speciale cavalletto in calcestruzzo armato costituito da quattro elementi ad H affiancati, collegati tra loro da trasversi. Gli estremi superiori del cavalletto costituiscono appoggi elastici per la travata di impalcato.

3) Una « antenna » a quattro elementi obliqui con opportuni collegamenti in entrambi i sensi (longitudinale e trasversale, dove costituisce un vero e proprio telaio), ma tali da mantenere indipendente l'antenna dal sistema cavalletto-travata.

4) Una travata continua, in calcestruzzo precompresso, del tipo cellulare con una soletta estradosale, una intradosale e 6 nervature, poggiante sul cavalletto di cui al punto 2).

In corrispondenza del nodo di attacco dei tiranti di sospensione la travata presenta un robusto traverso anch'esso in calcestruzzo armato precompresso agli estremi del quale, da ambo i lati del ponte, risultano assicurati due fasci di cavi che costituiscono i tiranti e scavalcano l'antenna a quota 90,00 m da terra.

Intorno ai cavi sono state successivamente gettate le guaine di calcestruzzo, la cui funzione sarà in seguito illustrata.

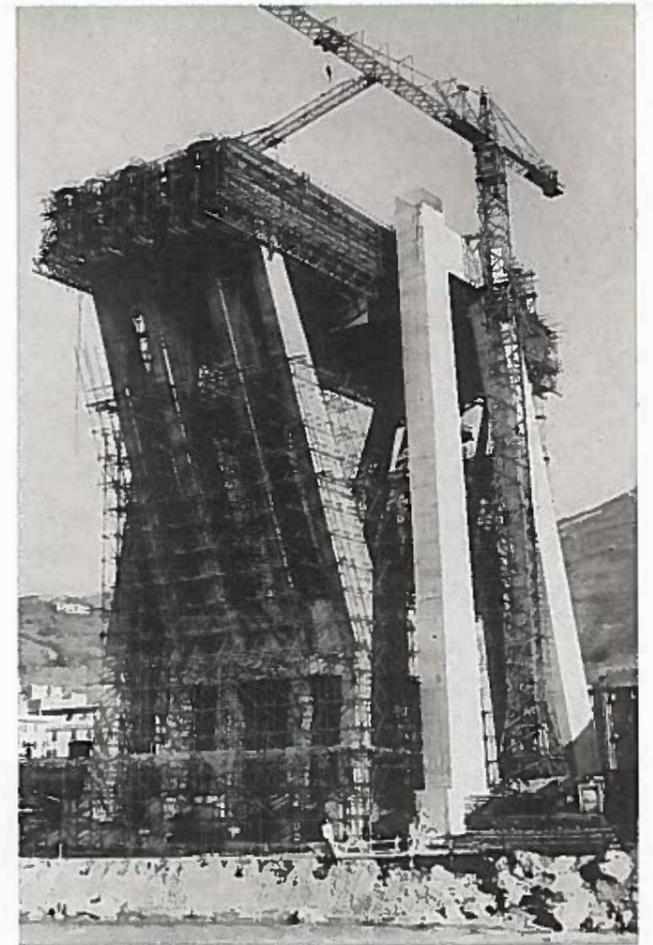
#### b) Pista di raccordo da Serravalle a Savona

Tale pista consta di:

- un tratto in rilevato della lunghezza di circa 100 m
- n. 4 luci da 25,00 m
- n. 1 cantilever di 16,60 m di sbalzo

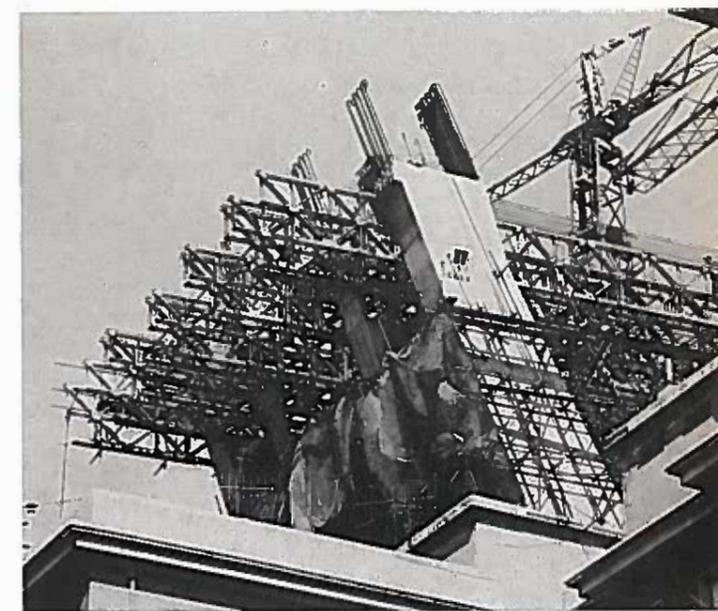
L'impalcato è costituito da una travata continua in cemento armato con sezione trasversale composta da due travi a cassone affiancate e collegate da un sistema di trasversi rigidi e da una soletta estradosale dello spessore costante di 13 cm.

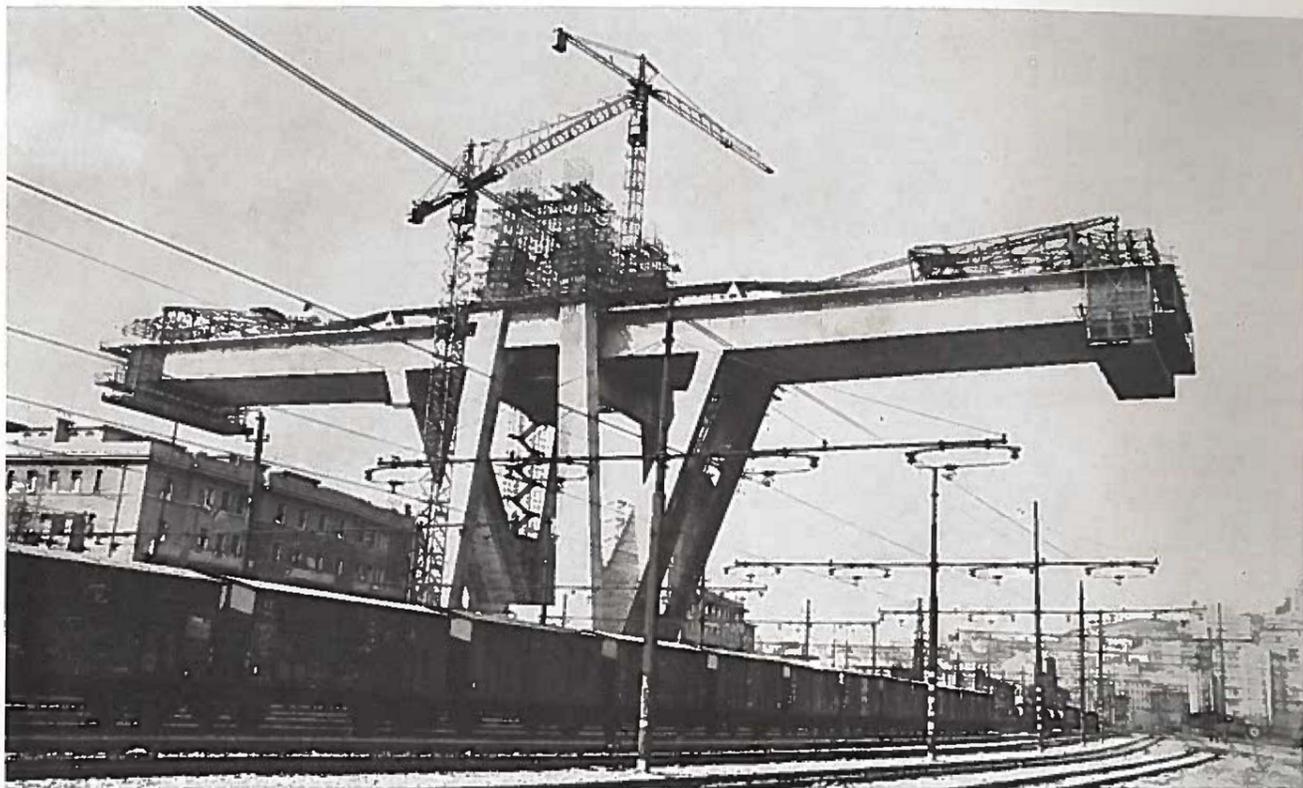
L'impalcato poggia su pile composte da due ritzi affiancati delle dimensioni di 0,80 x 1,40 m.



3

4





5

c) *Pista di raccordo da Savona a Serravalle*

Tale pista consta di:

- un tratto in rilevato della lunghezza di circa 200 m
- n. 9 luci da 25,00 m
- n. 1 luce da 17,00 m
- n. 1 luce da 32,50 m
- n. 1 luce da 28,00 m
- n. 1 sbalzo da 5,75 m

Il tratto di viadotto compreso tra la spalla 18 e la pila 25 è disposto ininterrottamente secondo una curva circolare di 45 m di raggio. Tale curva, ad andamento elicoidale, consente alla pista il sovrappasso della Savona-Genova e Genova-Savona nonché della Milano-Genova e Genova-Milano. Tali sovrappassi avvengono in corrispondenza delle luci da 17 m e 32,50 m, tra le pile 27, 28 e 29.

L'impalcato è costituito da travata continua in cemento armato con sezione trasversale composta da 2 travi a cassone affiancate e collegate tra loro da trasversi e da una soletta estradossale dello spessore di 13 cm.

L'impalcato poggia su pile composte da due ritti affiancati delle dimensioni di 0,80 x 1,40 m.

d) *Pista di raccordo da Savona a Genova.*

Tale pista consta di:

- un rilevato della lunghezza di circa 200 m;
- n. 17 luci da 6,00 m.

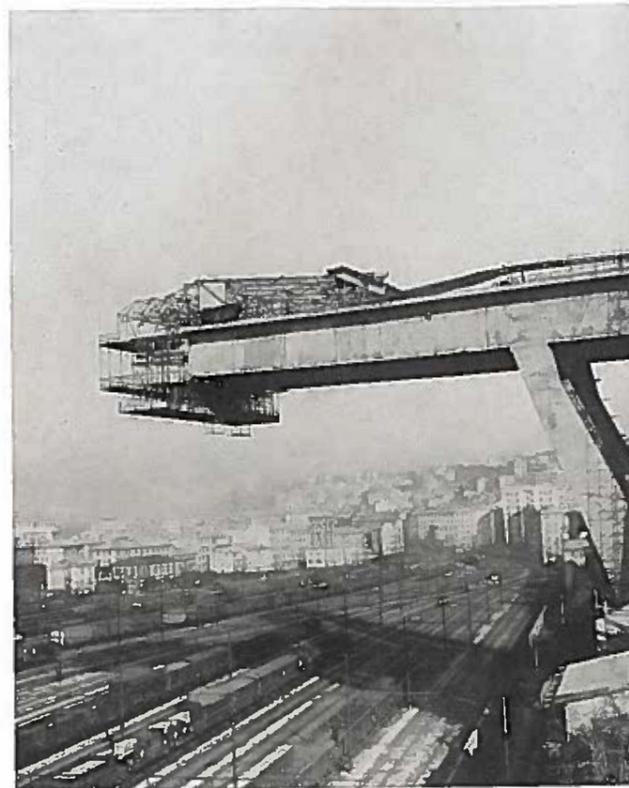
L'impalcato è costituito da una soletta nervata continua in cemento armato tessuta tra telai trasversali portanti.

- Un rilevato della lunghezza di circa 180 m.

e) *Pista di raccordo da Genova a Savona*

Tale pista, tutta giacente sul terreno, si diparte sulla destra dell'attuale Autostrada Genova-Valle del Po, la fiancheggia per un tratto perdendo quota ed infine la sottopassa per imboccare il grande viadotto, direttamente.

In conclusione quindi il sistema di innesto tra le due autostrade è caratterizzato da attraversamenti su tre livelli differenti e, per effetto della spe-



6

7

ciale morfologia dei luoghi, si snoda quasi interamente su strutture pensili, progettate con intendimento stilisticamente unitario con il viadotto propriamente detto.

Sistema di innesto e viadotto formano quindi un tutto unico di forte ed originale espressività.

Dal punto di vista funzionale si riassumono qui di seguito le caratteristiche dell'organismo di comunicazione:

Il nastro stradale, lungo tutto il viadotto, scorre orizzontalmente ad un'altezza media di 44 m al di sopra del sistema viario cittadino e di 40 m al di sopra del sistema ferroviario, mentre le piste che debbono operare il raccordo plano-altimetrico tra le due autostrade presentano pendenze variabili.

Le larghezze stradali risultano le seguenti:

- 1) Per il viadotto principale:  
larghezza totale 18 m (1 - 7,50 - 1 - 7,50 - 1).
- 2) Per i raccordi unidirezionali:  
larghezza totale 9,50 m (1 - 7,50 - 1).

Tutto il complesso, viadotto e piste di raccordo, consta di una superficie totale di circa 24.850 m<sup>2</sup> di sede stradale.

5 - Il sistema 9 in avanzata fase di realizzazione. Ciascun sistema bilanciato è costituito da una zattera di fondazione nervata in calcestruzzo armato, da uno speciale cavalletto in calcestruzzo armato costituito da 4 elementi ad H affiancati e collegati tra loro da trasversi, da un'antenna a 4 elementi obliqui e da una travata continua in calcestruzzo precompresso; 6 - La costruzione dello sbalzo del sistema 11, con il sistema di costruzione - peu à peu -; 7 - Una fase della costruzione del sistema 10 di sostegno alle grandi luci, sugli edifici sottostanti.





8 - Il fascio dei tiranti provvisori per il sostegno dei corci gettati a sbalzi successivi.

**Parte seconda**

**CARATTERISTICHE DEL PROGETTO**

**a) Fondazioni**

La vallata del Polcevera, nel tratto interessato dall'opera di che trattasi, è caratterizzata da una geo-morfologia piuttosto tipica delle valli liguri e cioè una corrugazione di impalcato geologico di scisti, anfiboli e filladi, tutti fortemente degradati nei loro strati superficiali (questi quindi in precarie condizioni di equilibrio), con una forte incisione di fondo valle, di origine idromeccanica, riempita da un potente strato di alluvione formato da limi, sabbie e ghiaie, con inclusioni di argille plastiche e formazioni torbose.

Pertanto tutti gli elementi fondanti dell'opera hanno dovuto raggiungere una relativa profondità per reperire appoggio su strati rocciosi stabili, quando questi affiorano in corrispondenza delle sponde della vallata, oppure strati rigidi e consolidati dell'alluvione di fondo valle.

Segue in tabella la distinta delle caratteristiche principali delle fondazioni, quasi tutte realizzate mediante l'uso di palificate di calcestruzzo armato, del tipo convenzionale « trivellato » di diverso diametro.

Pila o spalla	Ø/mm	n. dei pali N.	Profondità media ml	Totale metri per pila ml
Spalla n. 1	600	30	22,00	660,00
Pila n. 2	1000	16	23,00	368,00
Pila » 3	1200	16	24,00	384,00
Pila » 4	1100	16	44,00	704,00
Pila » 5	1100	16	48,00	768,00
Pila » 6	1103	16	46,00	736,00
Pila » 7	1100	16	43,00	688,00
Pila » 8	1100	16	47,00	752,00
Pila » 9	1500	62	43,00	2666,00
Pila » 10	1500	60	30,00	1800,00
Pila » 11	1500	50	25,00	1250,00
Spalla n. 12	1100 (inclinati)	32	26,00	832,00

Le portanze unitarie massime di esercizio adottate sono le seguenti:

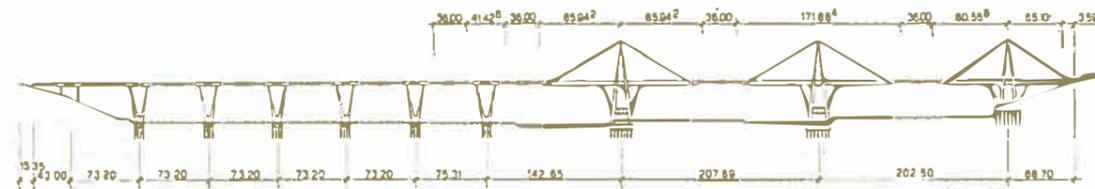
Pali Ø mm	Portanza (Tonn)
600	80
1000	170
1100	220
1500	550

**Planta e profilo generale del viadotto**

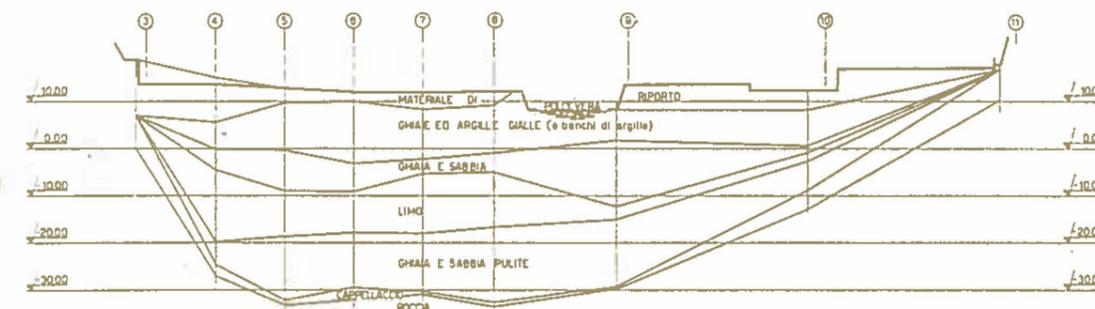
9 - Planimetria del viadotto principale e della piste di raccordo; 10 - Prospetto del viadotto principale; 11 - Profilo geognostico del terreno di sedime



9

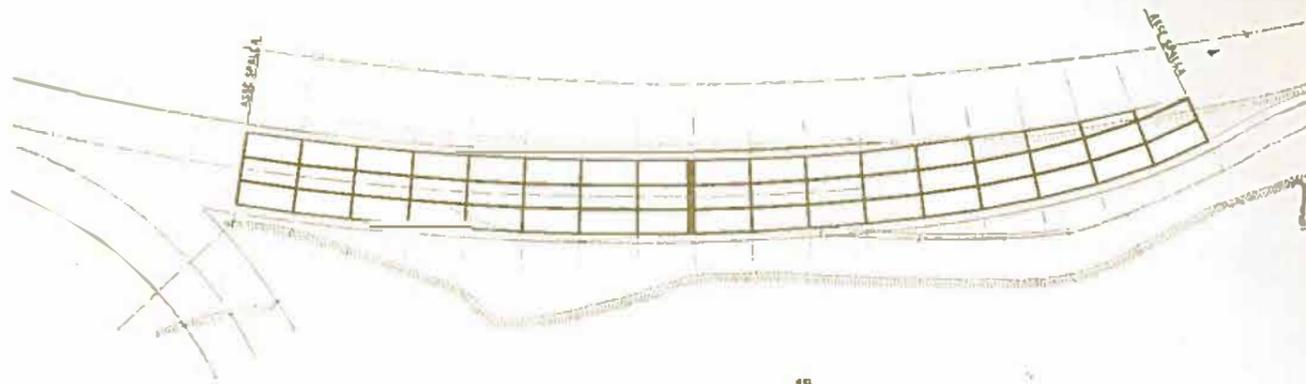


10

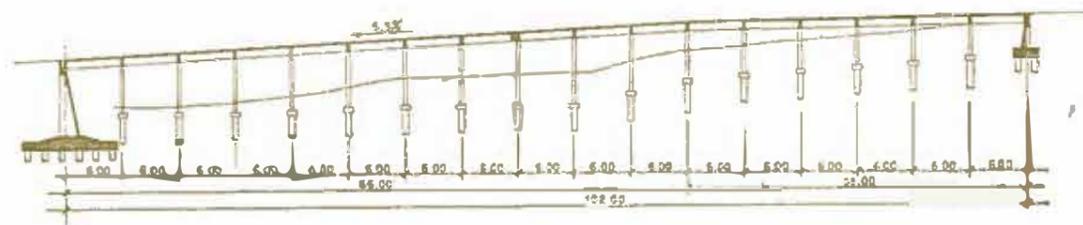


11





19

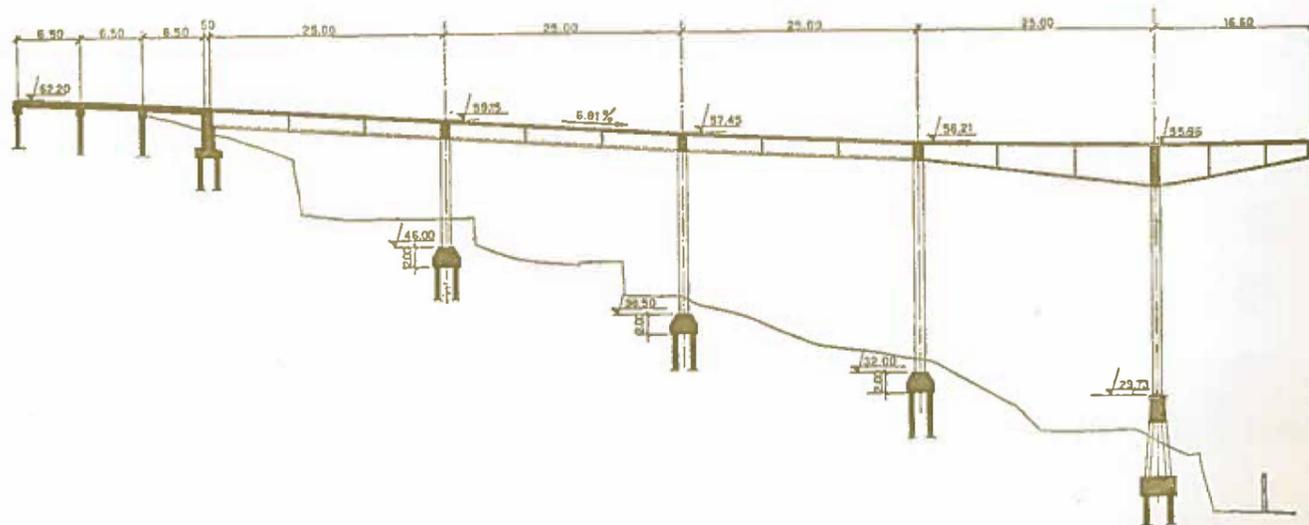


20

#### I viadotti di raccordo minori

19-20 - Pianta e sezione longitudinale del viadotto di raccordo Savona-Genova; 21 - Sezione longitudinale del viadotto di raccordo Savona-Serravalle.

21



Sulla testa di ciascuna palificata fondale è stata costruita una struttura di calcestruzzo armato la cui progettazione è discesa dal criterio di adottare alte rigidità per garantire un'ottima ripartizione dei carichi sui vari pali, praticamente non influenzata dalle deformazioni della struttura stessa.

#### b) Le strutture del raccordo Savona-Serravalle

Come già detto, il raccordo Savona-Serravalle è costituito da un lungo viadotto di calcestruzzo armato la cui particolarità è rappresentata essenzialmente dal tratto elicoidale tra le pile 19 e 25.

Questo tratto consta di una travata continua di 7 luci ad asse circolare di 45 m di raggio (al centro della carreggiata), supportata da elementi verticali di notevole altezza (fino a 39 m).

Il supporto verticale tipo, che consta di due ritri affiancati a sezione rettangolare delle dimensioni di 0,80 x 1,40 ml risulta sottoposto (in campo di sicurezza all'instabilità elastica) alle azioni pressoflettenti ad essa trasmesse dall'impalcato superiore e dal vento.

Dall'esigenza di cui sopra e cioè di doversi mantenere in campo di sicurezza all'instabilità elastica, è discesa la determinazione di un'altezza critica compatibile con le dimensioni della struttura (25 m).

Quando la morfologia del terreno ha obbligato ad adottare altezze maggiori (il raccordo è ubicato in zona fortemente acclive ed accidentata), queste si sono ottenute mediante un tratto basamentale composto da una speciale membratura di grande rigidità e di particolare elaborazione formale.

L'impalcato è composto da due travi a cassone affiancate e collegate da un sistema di trasversi, rigidi e posti a piccola distanza tra loro (8,75 m).

Le travi, della sezione costante di 2,467 m per 1,83-1,96 m, sono collegate tra loro dalla soletta estradossale dello spessore costante di 13 cm.

Ovviamente una tale disposizione progettuale è stata adottata allo scopo di ottenere una forte resistenza torsio-flessionale a mezzo della disposizione più razionale possibile del calcestruzzo impiegato, che non supera la quantità di 0,60 m<sup>3</sup> per ogni metro quadrato di impalcato stradale.

#### c) Le strutture dei raccordi Savona-Genova e Genova-Savona

La realizzazione di questi raccordi ha comportato l'uso di strutture normali di modesta importanza che non mette conto di descrivere.

#### d) Le strutture del raccordo Serravalle-Savona

Come già detto, il raccordo Serravalle-Savona consta di un viadotto a 4 luci, ciascuna di 25 m, e di un cantilever che si protende a sbalzo dalla pila 13 fino ad affiancarsi, per creare continuità di traffico, con il viadotto principale tra le pile 10 ed 11.

La disposizione delle varie parti strutturali di questo raccordo è molto simile a quella del Savona-Serravalle.

#### e) Le strutture del tratto del viadotto principale tra gli appoggi 1-8 (le luci minori)

Il tratto del viadotto principale compreso tra gli appoggi 1-8 è caratterizzato soprattutto dal fatto che la speciale disposizione a V degli elementi di appoggio dell'impalcato, ha reso possibile il loro inserimento entro il fitto contesto urbano, senza peraltro che le luci dell'impalcato divenissero troppo onerose, data l'impossibilità di moltiplicare il numero dei punti di appoggio sul terreno.

In altri termini ogni stilata inclinata delle varie pile rappresenta l'elemento di collegamento tra una posizione di appoggio conveniente per le strutture di impalcato ed una posizione di appoggio a terra di ubicazione possibile, data la situazione urbana esistente.

Il sistema statico generico risulta quindi costituito da due gambe inclinate convergenti a terra sull'elemento fondante ed in alto collegate da una trave che si protende a sbalzo per due tratte laterali da 7,125 m, adiacenti alla campata centrale da 22,95 m.

Come già detto, gli estremi di ciascuna parte a sbalzo costituiscono appoggio di travi semplicemente appoggiate della luce di 36 m.

Le gambe inclinate sono costituite a loro volta da quattro pilastri a sezione variabile, da un minimo in alto di 140 cm per 65 cm ad un massimo in basso di 300 cm per 65 cm, collegati tra loro oltre che all'estremità, anche in altri due punti intermedi. L'impalcato è costituito da sei nervature a sezione variabile, collegate dalla soletta superiore e dal sistema dei trasversi.

E' interessante notare che il dispositivo costituito dal complesso degli elementi inclinati ed orizzontali, è sottoposto a spostamenti orizzontali prodotti da stese parziali e dissimmetriche dei sovraccarichi mobili accidentali.

Tali spostamenti sono stati ridotti parzialmente, a mezzo di un'opportuna taratura delle aperture dei

giunti di dilatazione, senza peraltro poterne operare la completa eliminazione, data la necessità di mantenere un minimo dell'ampiezza dei gradi di libertà necessari per le variazioni termiche dell'impalcato.

Le azioni prodotte dalle limitazioni di spostamento di tutto il tratto in esame del viadotto, sono agevolmente sopportate sia dalla spalla 1, resa congruamente resistente, che dalla pila n. 9.

A differenza di tutte le altre strutture che, come già detto, sono state eseguite in calcestruzzo armato, le travate semplicemente appoggiate che collegano i vari sistemi para-triangulari sono di calcestruzzo precompresso, totalmente prefabbricate.

sé stante e collegata al resto dell'opera da elementi semplicemente appoggiati su di esso.

Come più sopra è già stato sommariamente descritto, il sistema bilanciato consta di una travata continua a tre luci con sbalzi terminali, della lunghezza totale di 171,884 m, a sezione cellulare cava a cinque scomparti, con soletta estradossale dello spessore di 16 cm, n. 6 nervature dello spessore variabile da 18 cm a 30 cm ed una soletta intradossale dello spessore di 16 cm.

L'altezza della travata è variabile da un massimo di 4,50 m ad un minimo di 1,82 m.

La struttura continua di cui sopra è vincolata al resto in quattro punti:



Si sono infatti prefabbricate ed indi varate (a mezzo di uno speciale carroponete, ideato per l'occasione dal Direttore del cantiere) tutte le varie nervature e parimenti si sono prefabbricate, in lastre delle dimensioni di 1,45 m per 2,90 m, le solette di impalcato. I dettagli di giunzione dei vari elementi appaiono nelle varie figure e sono stati oggetto di speciale studio.

f) *Le strutture del tratto del viadotto tra le pile 8-11 (tratto delle grandi luci)*

Il tratto del viadotto delle grandi luci, e precisamente quello tra la pila 8 e la spalla 12, è costituito da tre speciali sistemi bilanciati dei quali i sistemi 9 e 10 sono identici tra loro.

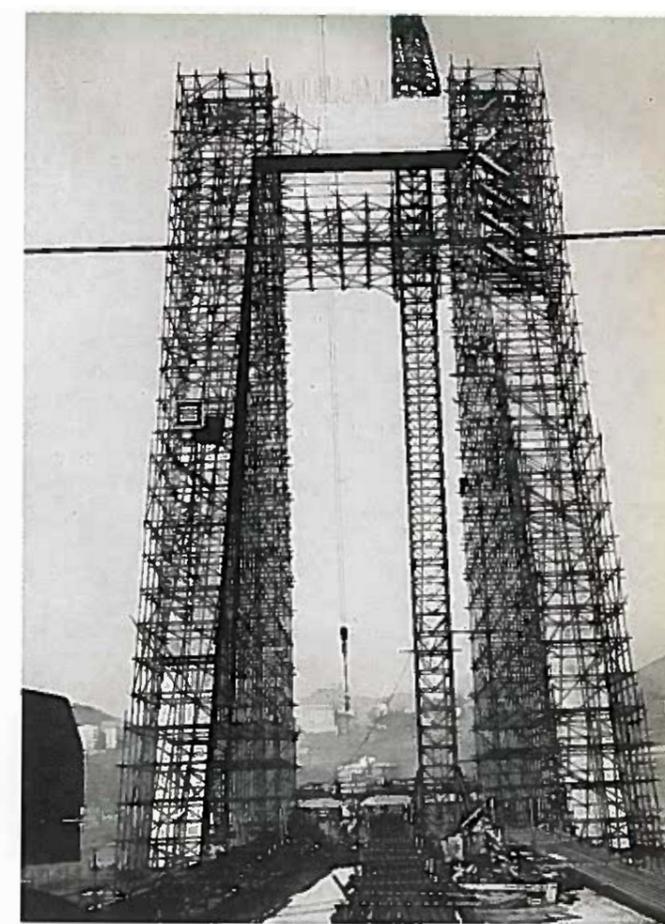
Si passa ad esaminare, ad esempio, il sistema n. 9 che costituisce un'entità strutturale continua a

— due, centrali, posti alla distanza tra loro di 41,64 m, su due stilate inclinate, ciascuna composta di quattro pilastri di sezione variabile tra un minimo di 200 cm per 120 cm ed un massimo di 450 cm per 120 cm, ed incastrata alla base sul blocco di fondazione;

— due, laterali, alla distanza tra loro di 151,872 metri, ad un doppio sistema di tiranti che passano al disopra di uno speciale cavalletto, denominato antenna, che, dipartendosi anche esso dal blocco di fondazione, risulta indipendente dalla travata salvo, beninteso, il legame operato dal sistema dei tiranti.

L'antenna è costituita da due strutture ad A collegate tra loro a metà altezza ed in sommità (nonché dal blocco di fondazione), dell'altezza di 90,20 m, con elementi strutturali di calcestruzzo armato di sezione variabile da 4,50 m per 0,90 m a 2 m per 2,956 m.

22 - Vista parziale dell'opera in avanzata fase di realizzazione; 23 - Particolare della costruzione dell'antenna di sostegno dei tiranti per le grandi luci; 24 - Il sistema 11 è già stato ultimato mentre l'antenna del sistema 10 è ancora in fase di costruzione, sopra il parco ferroviario.



23

22

24





26

25 - La passerella di servizio per il montaggio dei tiranti. 26 - 27 - L'antenna è costituita da due strutture ad « A », di 90,20 m di altezza, collegate tra loro a metà altezza ed in sommità, per mezzo di elementi strutturali di calcestruzzo armato a sezione variabile.

A questo punto, cioè ad opera praticamente ultimata, resta da effettuare un'operazione che potrebbe essere definita « l'omogeneizzazione del sistema ».

Si costruisce cioè intorno ai tiranti una opportuna guaina di calcestruzzo che si pone in coazione a mezzo di altri cavi (per un complesso di altri 112 trefoli  $\varnothing \frac{1}{2}$ " ) paralleli a quelli già in esercizio, i cui terminali inferiori provvisoriamente non interessano la travata orizzontale. Questo per evitare che la tensione dei cavi aggiunti operi una non voluta distorsione alla detta travata.

La guaina di calcestruzzo risulterà quindi compressa ad un tasso tale per cui il futuro passaggio dei sovraccarichi orizzontali determinerà nella guaina stessa una decompressione, senza però raggiungere il valore zero (compressioni positive).

Infine si opererà il prolungamento dei cavi sussidiari in maniera che essi interesseranno ora la travata e quindi collaboreranno per il prosieguo di tempo e ad una uguale tensione unitaria, con quelli

27



859

25

I tiranti, costituiti da fasci di trefoli di acciaio speciale  $R = 170 \text{ Kg/mm}^2$  e del diametro nominale di  $\frac{1}{2}$ " , sono collegati alla travata a mezzo di un apposito trasverso e passano sopra l'antenna gravando su una speciale sella costituita da lamiere e profilati annegati nel getto di calcestruzzo.

Ovviamente, per il caso dei carichi permanenti, simmetrici rispetto al piano verticale (trasversale all'asse del viadotto) passante per l'asse del sistema, essendo stata eseguita una manovra di tesatura dei tiranti (a mezzo di martinetti idraulici) tale per cui i punti di attacco dei detti tiranti alle travi non abbiano subito abbassamenti rispetto alla geometria di progetto, il sistema è in equilibrio e la travata si comporta come un sistema continuo su quattro appoggi rigidi entro cui si è prodotto lo sforzo di autoprecompressione determinato dalla componente orizzontale del tiro dei tiranti.

Per tale fase il tirante singolo è costituito da 352 trefoli  $\varnothing \frac{1}{2}$ " mentre la travata risulta praticamente priva di armatura longitudinale, ad eccezione delle estremità a sbalzo e delle zone prossime agli appoggi intermedi.



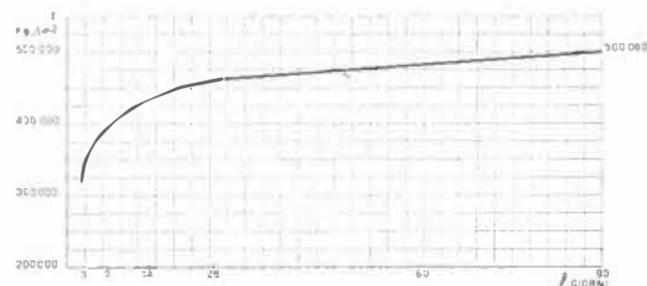








41 - Il getto delle guaine di calcestruzzo intorno ai tiranti; 42 - Diagramma dei moduli elastici medi del calcestruzzo; 43 - Le luci dell'intero viadotto, di ampiezza variabile da 43 m a 207.884 m, trovano il loro legame di progettazione, in una serie di travate tutte uguali, prefabbricate in calcestruzzo precompresso di 36.00 m di luce, vincolate a semplice appoggio tra i diversi sistemi speciali: è visibile il varo delle travi prefabbricate tra le pile 7-8.



42

di travate appoggiate con uno dei vincoli liberamente scorrevole) è praticamente insensibile alle variazioni termiche, almeno lungo la travata, ad eccezione beninteso del tratto di modesta lunghezza compreso tra i pilastri obliqui che determinano i due appoggi centrali.

Si può affermare infine che il sistema non presenta sensibili spostamenti orizzontali, per effetto delle stese dissimmetriche di carico accidentale, data la sua configurazione compensante.

Il sistema n. 11, cioè l'ultimo verso Genova, presenta qualche caratteristica singolare rispetto agli altri.

In particolare una delle due estremità, quella verso Genova, è incastrata ad un blocco di calcestruzzo pieno reso solidale al terreno, e quindi concettualmente privo di assestamenti verticali ed orizzontali e di rotazione, a mezzo di una palificata di calcestruzzo con pali ad assi inclinati.

Ovviamente il sistema presenta, anche per i carichi permanenti, una dissimmetria di cui si è dovuto tener conto sia nella fase di sistema disomogeneo che in quella di sistema omogeneo.

Tutte le calcolazioni, ed in particolare quelle per i sistemi n. 9 e 10, sono state controllate a mezzo di un modello predisposto e studiato dalla I.S.M.E.S. di Bergamo che ha confermato, entro limiti accettabili, le risultanze dei calcoli statici.

Vi è poco altro da aggiungere alla descrizione del progetto per quanto riguarda le opere complementari.

Le pavimentazioni, i parapetti e guard-rails, gli apparecchi fissi e mobili di appoggio ed infine i giunti, rappresentano quanto è ormai di adozione normale in tutte le Autostrade italiane.

### Parte terza

#### MATERIALI ADOTTATI, LORO QUALITÀ E QUANTITÀ E TENSIONI INTERNE MASSIME

##### a) Caratteristiche dei materiali adottati

Seguono in tabella le principali caratteristiche dei materiali adottati:

### Calcestruzzi

Classe	Dosatura di cemento	Resistenza cubica a 28 giorni		Modulo elastico a 28 giorni		Destinazione
		teorica di prescrizione	pratica media	teorico di prescrizione	medio di laboratorio	
I	200/600	150	160	—	—	Sottofondi Strutture di fondazione Strutture non precomprese Strutture precomprese
II	300/600	200	250	—	—	
III	300/730	350	380	300.000	350.000	
IV	350/730	480	520	350.000	400.000	

### Acciai

Tipo	Caratteristiche	Destinazione
A1	Regolamentare italiano Aq 42	Opere di fondazione
A2	Regolamentare italiano Aq 50	Pile e spalle
A3	Ad alta resistenza e ad aderenza migliorata $S = 44 \text{ Kg/mm}^2$	Pile e strutture precomprese
A4	Filo regolamentare italiano $R = 170$ , $\varnothing 7$ per strutture precomprese	Cavi di precompressione
A5	Trefolo regolamentare italiano $\varnothing \frac{1}{2}$ " $R = 170$ per strutture precomprese	Tiranti



43



45

b) *Tensioni massime di esercizio nelle varie parti dell'opera*

Blocchi di fondazione:

$$\sigma_c = 65 \text{ Kg/cm}^2 \quad \sigma_p = 1.400 \text{ Kg/cm}^2$$

Strutture di elevazione inclinate ed orizzontali dei sistemi para-triangolari 3-4-5-6-7-8 e delle pile e spalle dei vari raccordi:

$$\sigma_c = 100 \text{ Kg/cm}^2 \quad \sigma_t = 1.600 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau = 6 \text{ Kg/cm}^2$$

Travate dei raccordi:

$$\sigma_c = 100 \text{ Kg/cm}^2 \quad \sigma_t = 2.200 \text{ Kg/cm}^2$$

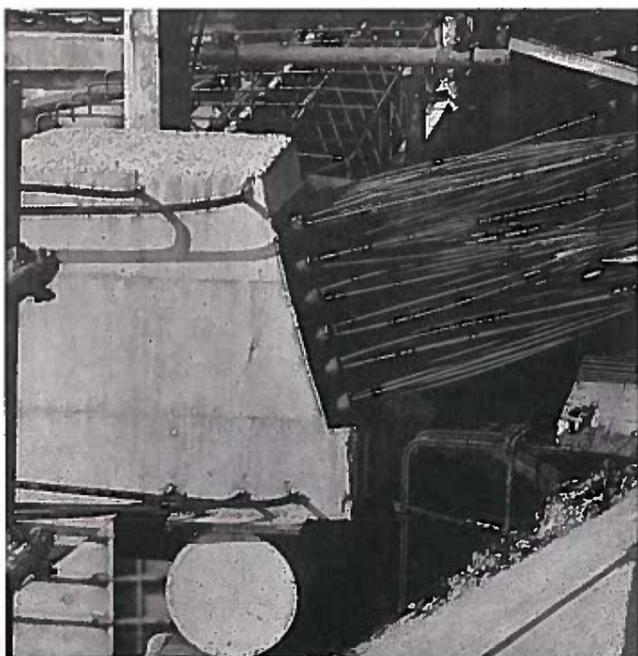
Elevazione dei sistemi bilanciati:

Calcestruzzo:

$$\sigma_c = 90 \text{ Kg/cm}^2$$

Parti dell'opera	Superficie di impalcato m <sup>2</sup>	Calcestruzzo m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Acciaio per c.a. kg/m <sup>2</sup>	Acciaio per cavi di precompressione e tiranti kg/m <sup>2</sup>
Raccordo Savona-Genova	969	0,52	60	—
Raccordi Savona-Serravalle e Serravalle-Savona	4.036	0,74	75	—
Sistemi 1./8	9.090	0,85	110	7
Sistemi 9-10-11	10.754	1,88	115	48

44



Cavi di precompressione:

$$\text{a tempo 0:} \quad \sigma_a = 12.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{a tempo infinito:} \quad \sigma_{\infty} = 9.000 \text{ Kg/cm}^2$$

Tiranti:

$$\sigma_a \text{ max} = 7.500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_a \text{ min} = 6.900 \text{ Kg/cm}^2$$

c) *Quantità dei materiali impiegati*

Nella tabella sopra riportata sono indicate le quantità dei materiali impiegati, computate per ogni metro quadrato di impalcato stradale, esclusi i pali ed i blocchi di fondazione.



46

Parte quarta

METODO DI ESECUZIONE DEI SISTEMI BILANCIATI

Mentre i metodi di esecuzione di tutte le strutture dei vari raccordi e dei sistemi para-triangolari per le luci minori non meritano speciali descrizioni, data l'adozione di sistemi essenzialmente tradizionali, non altrettanto può dirsi per quanto si riferisce ai sistemi bilanciati 9, 10 ed 11.

Occorre soprattutto non dimenticare che i detti sistemi bilanciati attraversano parchi ferroviari di intensissimo traffico, in cui non vi sarebbe stato spazio per alloggiare supporti provvisori a meno di disturbare, in maniera insopportabile, il movimento dei convogli.

Si è quindi dovuto adottare un metodo di esecuzione che accoppiasse le caratteristiche di estrema sicurezza a quelle di nessun ingombro né soggezione per l'esercizio ferroviario.

Ad opera ultimata si può affermare che i presupposti sono stati tutti realizzati senza che ne sia

865

364

derivata alcuna reciproca molestia, né alla costruzione del ponte né al detto esercizio ferroviario.

Tale brillante risultato è dovuto alla scrupolosa pianificazione di tutte le fasi di esecuzione, nonché alla continua attenzione di tutti gli addetti alle manovre ai quali, altresì, era stato messo a disposizione un efficace sistema di controlli geometrici e tensiometrici.

Ovviamente si è dovuto preventivamente redigere il progetto delle varie fasi di esecuzione e, per ciascuna di esse, determinare le successive deformazioni e tensioni interne di ciascuna membratura.

Il calcolo delle deformazioni ha altresì obbligato ad una determinazione della legge di variazione dei moduli elastici dei calcestruzzi, al termine dei periodi di esecuzione di ciascuna fase.

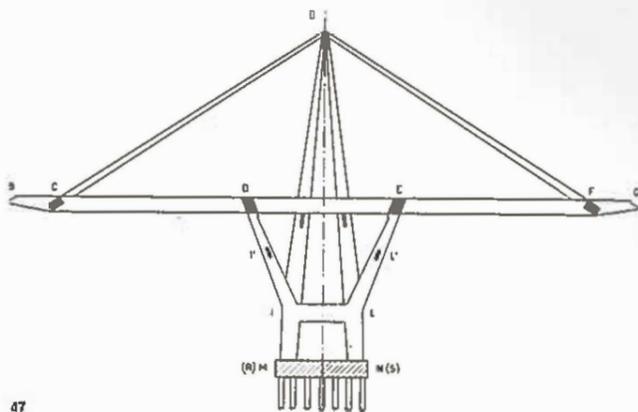
Compito principale degli operatori è stato quindi quello di controllare la rispondenza degli spostamenti e delle rotazioni reali con quelli di progetto.

Il piano di esecuzione è stato diviso in tre fasi successive, come qui sotto elencato:

*1ª fase* - Getto dell'antenna e del cavalletto.

In questa prima fase si è costruita l'antenna R-S-O ed il cavalletto M-I-D-E-N con normali metodi. Si è avuta cura, prima del getto del tratto D-E della travata (questa sopportata da una speciale centina

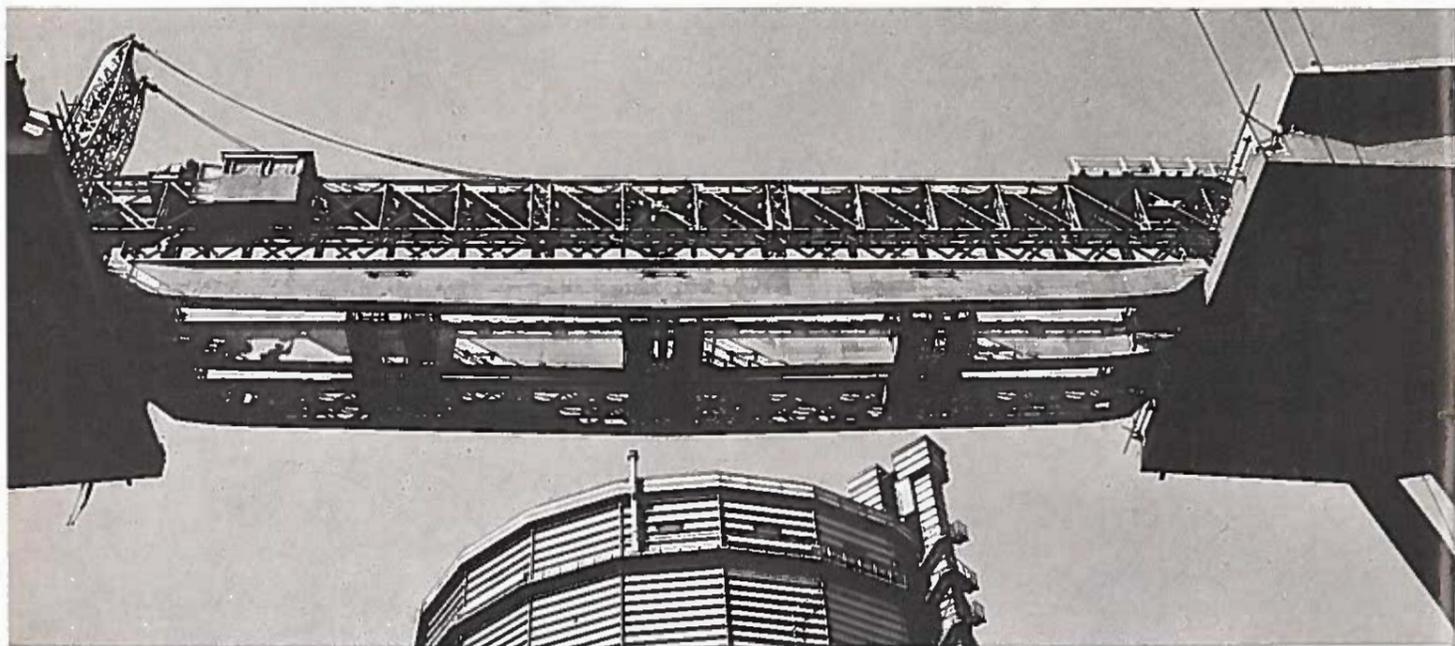
di tubi metallici) di operare, a mezzo di cavi pretesi tra i detti punti D-E, un'opportuna distorsione delle estremità delle due aste inclinate in maniera da eliminare le tensioni che in essa si erano accumulate



47

per effetto dell'inclinazione delle aste stesse, queste gettate a tratti a mezzo di casseforme montanti e gravando successivamente sulle pareti già gettate ed indurite.

48



47 - Schema dei sistemi bilanciati 9 e 10 per il sostegno delle grandi luci.  
48 - Ancora un particolare del varo delle travate prefabbricate tra le pile 3 e 4; 49 - Il raccordo Savona-Serravalle in fase di avanzata realizzazione: il tratto del viadotto compreso tra la spalla 18 e la pila 25 è disposto secondo una curva circolare ad andamento elicoidale di 45 m di raggio.



49

*2ª fase* - Getto simultaneo dei tratti C-D ed E-F della travata.

Il getto dei tratti C-D ed E-F della travata è avvenuto utilizzando il noto metodo « peu a peu ».

Si è trattato cioè di eseguire ogni tratto in 13 conci successivi della lunghezza di 5,13 m, ciascuno affidato al resto della struttura a mezzo di un sistema di cavi pretesi superiori, esterni e provvisori, che si sono tolti dopo aver ultimato la loro funzione, sostituita, come è noto, da un certo momento in poi, dall'azione longitudinale orizzontale dei tiranti definitivi.

Questi cavi, di andamento sub-orizzontale, hanno assunto la loro configurazione prestabilita a mezzo di due piccoli cavalletti provvisori costruiti in corrispondenza dei punti D ed E.

Un ulteriore sistema di tiranti provvisori, questi passanti sulla sommità dell'antenna, ha sorretto il notevole peso rappresentato dai trasversi in C ed in F, la cui funzione è quella di determinare legame statico tra l'impalcato ed i terminali dei tiranti C-O-F.

Ovviamente l'operazione di trasformazione del campo tensionale interno della travata, tra il comportamento a doppio cantilever e quello a trave continua a tre luci, consistente nel montaggio e graduale messa in tensione dei tiranti C-O-F e contemporaneamente nell'altrettanto graduale asportazione di tutti i tiranti provvisori, ha rappresentato ogni

volta il punto più delicato di tutta l'esecuzione dell'opera.

Tale operazione, controllata come già detto con opportuni sistemi geometrici e tensiometrici, è stata ogni volta eseguita senza alcun inconveniente e, al termine di essa, la travata B-G ha denunciato il comportamento di una struttura continua in cui i punti C-F erano ubicati più in alto della loro posizione definitiva (con conseguente distorsione elastica della travata) di un valore tale per cui, quando in B ed in G sono state poggiate le travate di seraglia tra due sistemi contigui, i detti punti C-F hanno occupato la posizione definitiva (con conseguente scomparsa di ogni distorsione elastica e quindi, sensibilmente, di ogni sopratensione).

*3ª fase* - Costruzione delle guaine di calcestruzzo e loro messa in coazione.

La costruzione delle guaine di calcestruzzo è avvenuta avendo affidato ai tiranti le casseforme che hanno poi contenuto i getti.

In un primo tempo tali getti sono stati suddivisi in conci della lunghezza di 3 m e questo perché la variazione di catenaria, che si andava producendo nei tiranti per effetto del peso della guaina, non inducesse in esso tensioni pericolose per distorsione.

Ultimato il getto ed avvenuto l'indurimento dei vari conci delle guaine, queste sono state rese continue a mezzo di riempimento con calcestruzzo dei



50

giunti tra di esse predisposti; quindi si è proceduto alla loro messa in coazione senza peraltro, come è stato più sopra spiegato, che i punti C ed F subissero alcun sensibile spostamento in alto.

In conclusione, quindi, può bene affermarsi che il metodo di esecuzione ha permesso di cancellare nelle varie membrature i « ricordi » di tensioni transuenti, dovute alle varie fasi di costruzione, a mezzo di un accurato studio peraltro attentamente controllato in sede esecutiva, di successive distorsioni.

#### Parte quinta

##### ONERI E TEMPI DI ESECUZIONE DEI SISTEMI BILANCIATI

Qui di seguito vengono riportati alcuni dati che si riferiscono sia all'incidenza della mano d'opera che ai tempi che sono occorsi mediamente per l'esecuzione dei tre sistemi bilanciati.

Circa l'incidenza di mano d'opera, seguendo le classificazioni di cui alla precedente parte quarta, si precisa quanto segue:

50 - In primo piano la pista di raccordo Savona-Serravalle. In secondo piano, uno dei sistemi bilanciati di sostegno alle grandi luci, ormai completato;  
51 - Vista dall'alto del viadotto terminato.

#### 1ª fase - Costruzione dei cavalletti e dell'antenna.

L'esecuzione di questa parte dell'opera presenta caratteristiche normali, legate soprattutto all'uso di casseforme scorrevoli e di puntellature provvisionali di tubi di acciaio.

Complessivamente la mano d'opera impiegata per ogni metro cubo di calcestruzzo per la costruzione delle centine, impalcature, casseforme, lavorazione e posa in opera delle armature metalliche, getto e disarmo, risulta essere la seguente:

— ore di operaio per metro cubo di calcestruzzo: 20,86.

#### 2ª fase - Costruzione dei tratti C-D ed E-F delle travate.

Anche per questa fase si fa seguire la quantità di mano d'opera impiegata e riferita al metro cubo di calcestruzzo costruito per:

montaggio e smontaggio carrelloni, montaggio e smontaggio casseforme, getto calcestruzzo, montaggio, tiro ed asportazione dei tiranti provvisori:

ore di operaio per metro cubo di calcestruzzo: 14,15.

#### 3ª fase - Costruzione delle guaine dei tiranti e loro precompressione.

Come è stato più sopra specificato, la quantità di mano d'opera di cui appresso si riferisce a: mon-

taggio e smontaggio delle casseforme, getto del calcestruzzo, saldatura dei giunti provvisori, pretesione dei tiranti appositi e loro prolungamento; ritatura di tutte le tensioni dei tiranti per l'operazione di equilibratura tra le varie quaterne di trefoli ed infine esecuzione di tutte le iniezioni dei tiranti con malta di cemento:

— ore di operaio per metro cubo di calcestruzzo: 49,13.

Mediamente, per la costruzione di tutta l'opera, fondazioni comprese ma pali esclusi, sono state impiegate ore 15,69 per ogni metro cubo di calcestruzzo gettato.

Per quanto si riferisce al tempo impiegato per la costruzione dell'opera, si preferisce riferire sui tempi impiegati per la costruzione di un sistema bilanciato, poiché il periodo di tempo impiegato per la costruzione dell'intera opera (1962-1967) è stato notevolmente influenzato dalle varie e notevoli difficoltà incontrate per individuare, chiarire e risolvere i problemi derivanti dalle necessità e dagli interessi dei vari enti pubblici e privati interessati nell'ambito dell'area di sedime dell'opera. Basta pensare, ad esempio, alla trasformazione che si è resa necessaria al sistema fittissimo delle linee di distribuzione elettrica ed al giustificato diritto da parte degli organi tecnici delle Ferrovie dello Stato di saggiare

51



869

(a mezzo dell'esame della notevole congerie degli elaborati di progetto) il grado di sicurezza globale per autorizzare un così impegnativo attraversamento, al disopra di così importanti linee ferroviarie.

Quindi, ad esempio, per la costruzione del sistema n. 9 sono stati necessari i seguenti periodi di giorni naturali e consecutivi:

Struttura	Giorni
Fondazioni	101
Elevazioni	472
Costruzione e varo impalcati appoggiati	30
Rivestimento e precompressione delle guaine dei tiranti	82
<b>Totale giorni</b>	<b>685</b>

Questo significa che, nell'ipotesi di costruire due sistemi bilanciati contemporaneamente, sarebbe stato possibile ultimare un viadotto della lunghezza:

$$l = 2 \times 208 = 416 \text{ m}$$

nel tempo tecnico di circa 23 mesi.

Se con il dato di cui sopra ci si pone a confronto con un ponte costruito testé in Germania

di luce analoga (il ponte di Benford presso Coblenza) si nota una equivalenza approssimativa dei tempi di costruzione delle due opere, per le quali le quantità dei materiali impiegati risultano comparabili, ad eccezione dell'acciaio ad altissima resistenza per cavi pretesi.

Infatti nel viadotto del Polcevera, tiranti compresi, è stato posto in opera un quantitativo (per metro quadrato di impalcato) di acciaio, come già detto a parità di luce, pari a circa 1/3 di quello impiegato nel ponte di Benford; ciò avendo avuto cura di tener conto delle differenti tensioni massime a cui il detto acciaio risulta sollecitato nelle due opere d'arte.

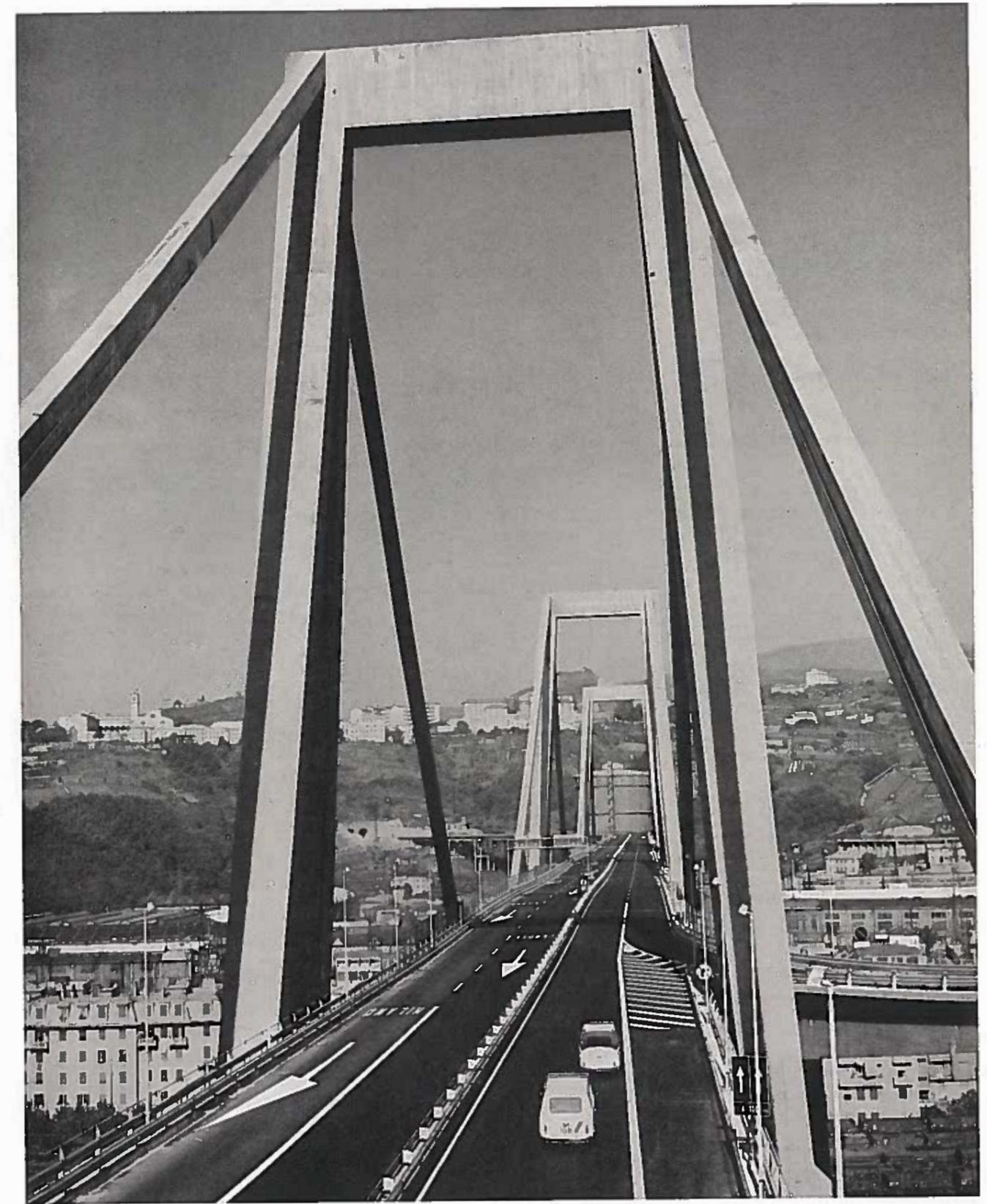
\* \* \*

Prima dell'apertura al traffico sono state eseguite tutte le prove di collaudo intese a controllare spostamenti e variazioni di tensioni in sezioni singolari al passaggio dei treni dei carichi mobili, delle caratteristiche più simili possibile a quelle adottate nei calcoli e nelle prove sui modelli.

52 - Il viadotto in fase di esercizio; 53 - Una singolare inquadratura del viadotto tra le antenne di sostegno dei tiranti per le grandi luci.

52

53



Le dette prove di carico hanno confermato le previsioni di calcolo, ed i valori dei moduli elastici apparenti ed istantanei, da esse prove determinati, risultano di regola superiori alle previsioni teoriche, mentre le deformazioni residue, a scarico avvenuto, sono risultate molto modeste, rispetto a quelle sotto carico.

L'opera, progettata da chi scrive, con la collaborazione dell'Ing. Claudio Cherubini, è stata da lui diretta ed eseguita dalla Società Italiana per Condotte d'Acqua di Roma.

Il cantiere è stato diretto dal Dott. Ing. Luigi De Sanctis Linotte il quale ha curato in particolare la predisposizione dei mezzi d'opera ed ha ideato il metodo di varo delle travate prefabbricate.

L'Ufficio Speciale Autostrade della Liguria dell'A.N.A.S. ha supervisionato l'opera per conto della Stazione Appaltante.

E' stato recentemente inaugurato il viadotto sul torrente Polcevera, la maestosa realizzazione in cemento armato che con un salto di oltre un chilometro collega l'autostrada Genova-Savona alla Genova-Milano.

L'opera nel suo complesso può suddividersi in piste di raccordo e viadotto principale: il tutto concepito e risolto in maniera tale che gli appoggi risultino nelle posizioni consentite dalla topografia locale. Il grande viadotto si sviluppa infatti su di un'area urbana di intensa edificazione interessata inoltre da ampi parchi ferroviari, da strade, dal corso del torrente Polcevera, da stabilimenti industriali, ecc.

Il viadotto è costituito da 11 campate di luce variabile da 43,00 m fino a 207,884 m; le luci di così disparata ampiezza trovano il loro legame di concezione in una serie di travate della lunghezza di 36,00 m interamente prefabbricate in calcestruzzo precompresso, vincolate a semplice appoggio su una serie di sistemi speciali, tra cui particolarmente interessante il sistema bilanciato adottato per le luci maggiori.

L'articolo dopo aver esaminato le caratteristiche tecniche e strutturali del progetto, si sofferma particolarmente sui procedimenti di costruzione dell'ardita opera.

A été récemment ouvert au trafic le viaduc sur le Polcevera, une réalisation en béton armé qui avec plus d'un kilomètre de bond, relie l'autoroute Genova-Savona à la Genova-Milano.

L'œuvre dans sa totalité, peut être partagée en routes d'accès et viaduc proprement dit: le tout conçu et résolu de façon à permettre les appuis selon la topographie de la zone, qui comprend de nombreux bâtiments, de grands parcs ferroviaires, des routes, des établissements industriels ainsi que le cours du Polcevera.

Le viaduc est constitué de 11 travées de portée variable de 43,00 m jusqu'à 207,884 m; les travées de 36,00 m de longueur, préfabriquées en béton précontraint, reposent sur les abus de deux port-à-faux d'extrémités entre les divers systèmes adoptés assurant la continuité du passage.

L'article après avoir examiné les caractéristiques techniques et structurales du projet, s'arrête particulièrement sur les procédés de construction de l'ouvrage qui contribue à démontrer les remarquables possibilités que la technique et la technologie du béton armé et précontraint nous offrent.

L'Università di Genova (Istituto di Scienza delle Costruzioni diretto dal Prof. Ing. Riccardo Baldacci) ha eseguito tutte le misurazioni di controllo durante la pretensione dei cavi e le prove di collaudo; queste sono state dirette dal Prof. Ing. Carlo Greco, nella sua qualità di esperto della Commissione di collaudo in corso d'opera, composta da: Dott. Ing. Pasquale Prezioso (Presidente); Dott. Ing. Mario Rubino; Dott. Ing. Quinto Zechini.

(<sup>1</sup>) Per una più completa trattazione sui sistemi bilanciati omogeneizzati vedi:

— Riccardo Morandi: Sulla condizione di sicurezza di esercizio dei tiranti sottoposti a carichi variabili. « Il Cemento » Dicembre 1964 - pagg. 31-34.

— Riccardo Morandi: Su alcuni tipi di ponti in calcestruzzo precompresso a tiranti - Atti del Politecnico di Milano. Corso di Specializzazione per le Costruzioni in Cemento Armato - 1964.

Fotografia: Publifoto - Roma

Has been recently open the viaduct on the Polcevera, a stately reinforced concrete realisation linking the Genova-Savona to the Genova-Milano motor-way with more than one kilometre bound.

This work subdivided in feeder-lines and principal viaduct, is an imposing one due to the need for large spans to cross an area which is covered with many buildings, extensive railway, yards roads, and which is influenced also by industry establishments and by Polcevera river.

The viaduct is constituted by 11 spans with 43,00 m to 207,884 m lengths, link together by a simply supported precast prestressed 36 m span, placed between the ends of each pair of cantilever peculiar systems.

The article after considering the technical and structural characteristic of the design points out the construction procedure of the imposing work.

The Polcevera viaduct helps in proving the enormous possibilities given by the reinforced prestressed concrete technique and technology.

Es wurde kürzlich über den Wildbach Polcevera ein aus Stahlbeton ausgeführter Viadukt eröffnet. Er verbindet die Autobahne Genova-Savona und Genova-Milano.

Das Werk enthält ins Gesamt Verbindungsbahne und einen Hauptviadukt, der aus 11 veränderlichen Spannweiten von 43,00 m bis zu 207,90 m besteht.

Vorfertigte Spannbetonbalken von 36,00 m verbinden die Spannweiten.

Der Artikel erläutert die technischen und strukturellen Eigenschaften des Entwurfs und geht auf die Bauverfahren des Werkes ein und zeigt schliesslich die zahlreichen Möglichkeiten, die Zement und Beton der Technik und Technologie bieten.