

I VIADOTTI DELLO SVINCOLO TRA LA
S.S. 463 E LA S.P. VIVARINA IN LOCALITÀ
DELIZIA, PORDENONE

• • •

THE VIADUCTS FOR THE INTERCHANGE
BETWEEN STATE ROAD 463 AND THE
VIVARINA PROVINCIAL ROAD, IN THE
DELIZIA LOCALITY, NEAR PORDENONE, ITALY

PROGETTO/DESIGN:
ALPE PROGETTI,
ING. FRANCESCO ALESSANDRINI,
ING. MASSIMO BLASONE,
ING. NICOLA DE BIAGGIO

PRESENTAZIONE/PRESENTATION:
ING. NICOLA DE BIAGGIO

I VIADOTTI DELLO SVINCOLO TRA LA S.S. 463 E LA S.P. VIVARINA IN LOCALITÀ DELIZIA, PORDENONE

PROGETTO/DESIGN:
ALPE PROGETTI,
ING. FRANCESCO ALESSANDRINI,
ING. MASSIMO BLASONE,
ING. NICOLA DE BIAGGIO

PRESENTAZIONE/PRESENTATION:
ING. NICOLA DE BIAGGIO

THE VIADUCTS FOR THE INTERCHANGE BETWEEN STATE ROAD 463 AND THE VIVARINA PROVINCIAL ROAD, IN THE DELIZIA LOCALITY, NEAR PORDENONE, ITALY

I due viadotti dello svincolo tra la S.S. 463 e la S.P. «Vivarina» in località Delizia, rappresentano le opere di maggior importanza nell'ambito dei «Lavori di costruzione di un nuovo ponte sul fiume Tagliamento con svincolo sulla S.S. 463 in località Delizia - 2° lotto - svincolo con la S.S. 463 e la S.P. Vivarina».

I due viadotti, studiati per favorire un gradevole impatto visivo, sono costituiti da una piastra continua per tutta la lunghezza dei manufatti, in cemento armato pre-compresso in opera.

L'andamento planimetrico è completamente curvo, con zone a curvatura costante e zone di raccordo in clotoide. Tale fatto ha imposto l'adozione di pendenze trasversali variabili, ottenute mediante la rotazione dell'intera sezione trasversale.

I viadotti sorgono in zona sismica di II categoria: questo aspetto, abbinato anche alla continuità, alle curvature dei manufatti e all'influenza delle dilatazioni termiche, ha richiesto puntuali studi dell'opera e dei dispositivi di vincolo.

INSERIMENTO AMBIENTALE

Lo svincolo si sviluppa a ridosso dell'argine destro del fiume Tagliamento, all'interno di una vasta zona pianeggiante, antica pianura alluvionale.

La zona prima della realizzazione si presentava ampiamente coltivata, con pochi alberi e comprendeva alcuni interventi antropici quali infrastrutture stradali e ferroviarie, edifici civili e militari.

Il posizionamento dello svincolo, con i due viadotti in oggetto, ha introdotto elementi di modifica ambientale che sarebbero potuti risultare negativi qualora le opere fuori terra, ed in particolare i viadotti, fossero risultate esteticamente sgradevoli.

Pertanto grande attenzione è stata posta nel limitare al massimo l'altezza delle opere e nel rendere i viadotti quanto più snel-

The two viaducts for the interchange between state road 463 and the Vivarina provincial road in the Delizia locality are the major structures in the "project for the construction of a new bridge over the Tagliamento river together with an interchange on state road 463 in the Delizia locality - 2nd job segment - interchange with state road 463 and the Vivarina provincial road".

The two viaducts, designed to exert a pleasing visual impact, are formed of a continuous plate the entire length of the structure, of in situ-poured prestressed concrete.

Their route in plan is a circular curve with clotoïd spiral fairings. This fact led to the adoption of variable superelevations, obtained by the rotation of the entire cross section.

The viaducts stand in a 2nd category seismic zone; this fact, together with the deck's continuity, with the curvature of the centre-lines and with the influence of thermal expansion, demanded careful studies of the interchange structures and outfitings.

THEIR FIT WITH THE ENVIRONMENT

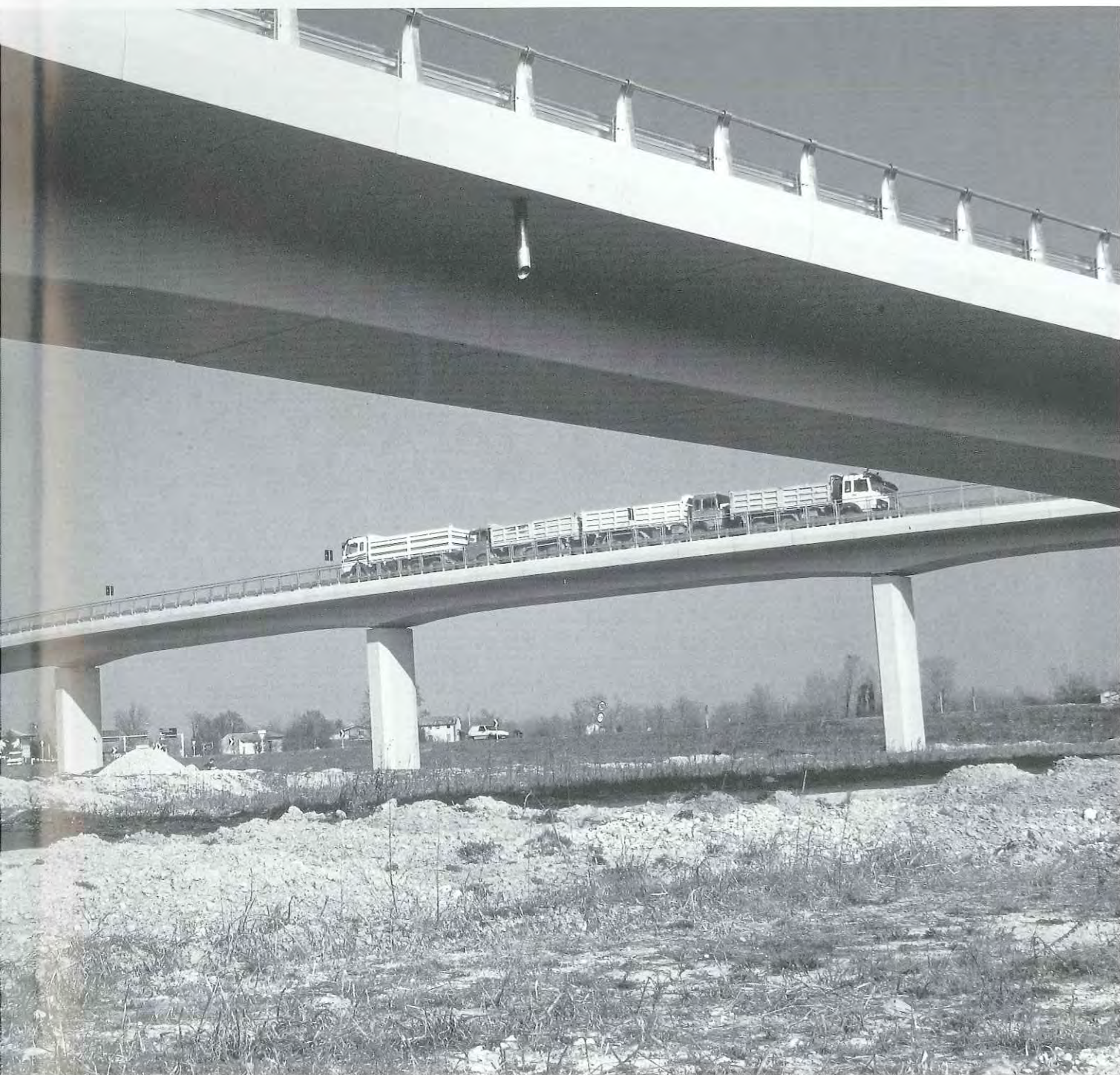
The interchange develops behind the right dike of the Tagliamento river, within an extensive level area, the river's ancient floodplain.

Before the operation, the area was extensively cultivated, with a scattering of trees and a few of man's works, such as roadway and railway infrastructures, and civil and military buildings.

The insertion of the interchange, with the two viaducts being described here, introduced modifications into the environment that could have been negative, had the works in view, and the viaducts in particular, been unesthetic.

Therefore, great attention was given to limiting the height of the structures as far as possible and to making the viaducts as slender as structurally allowable, while at the same time not forgetting to make the struc-



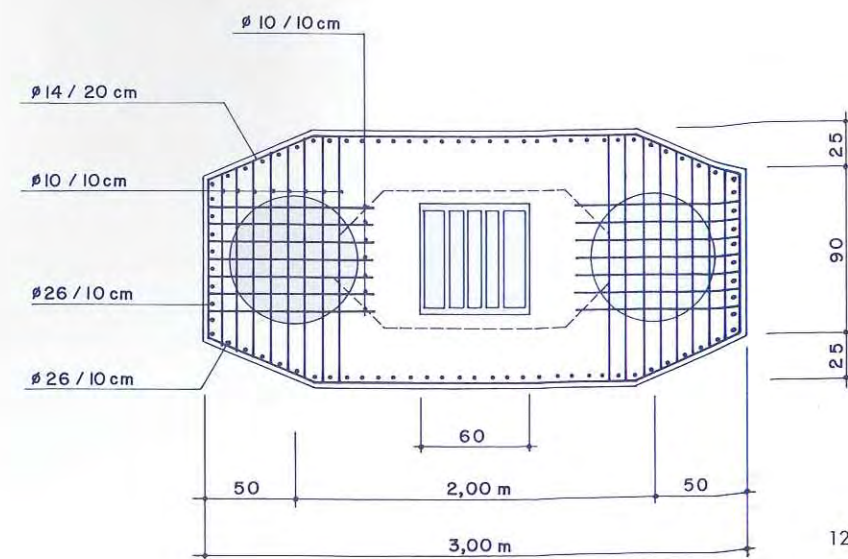
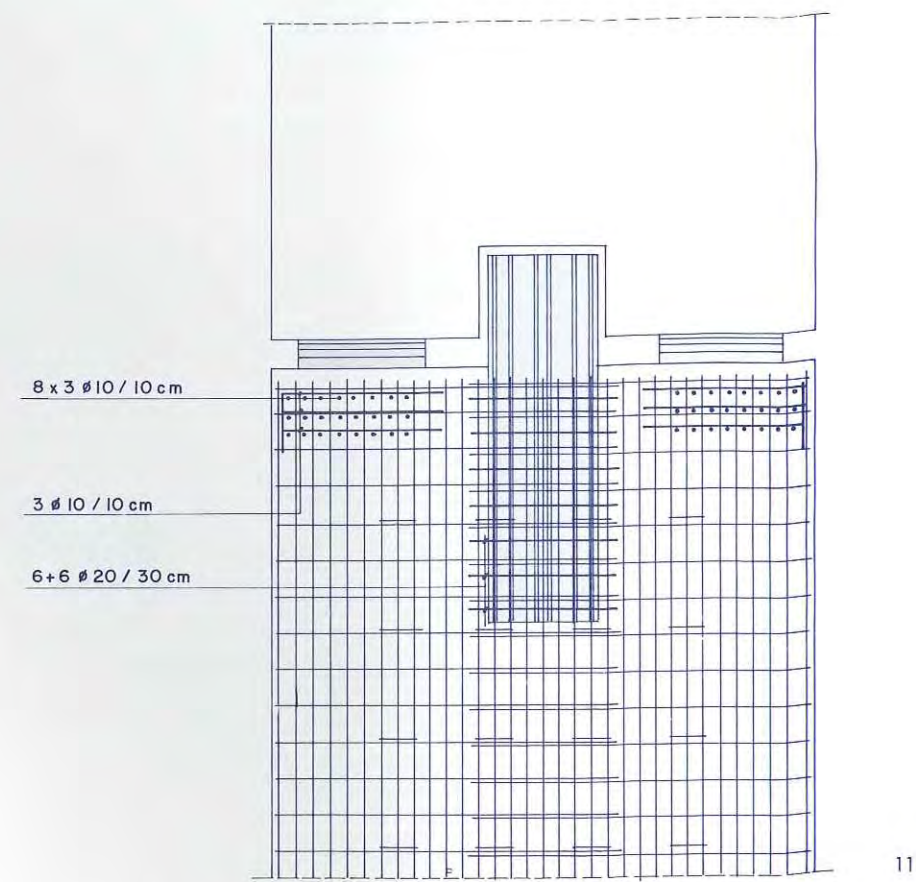
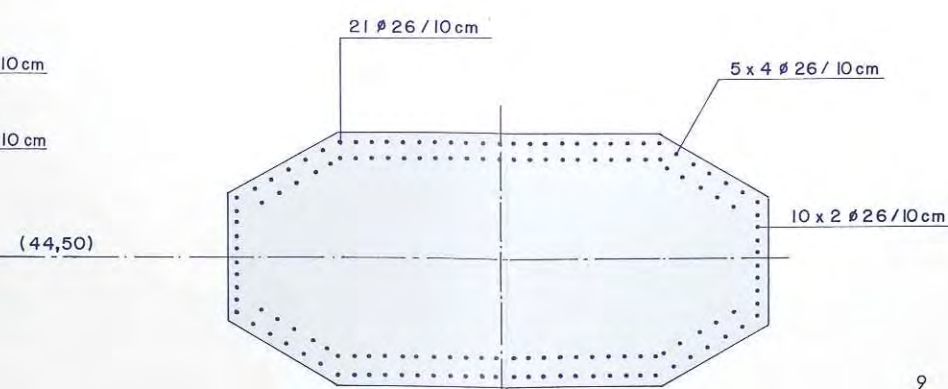
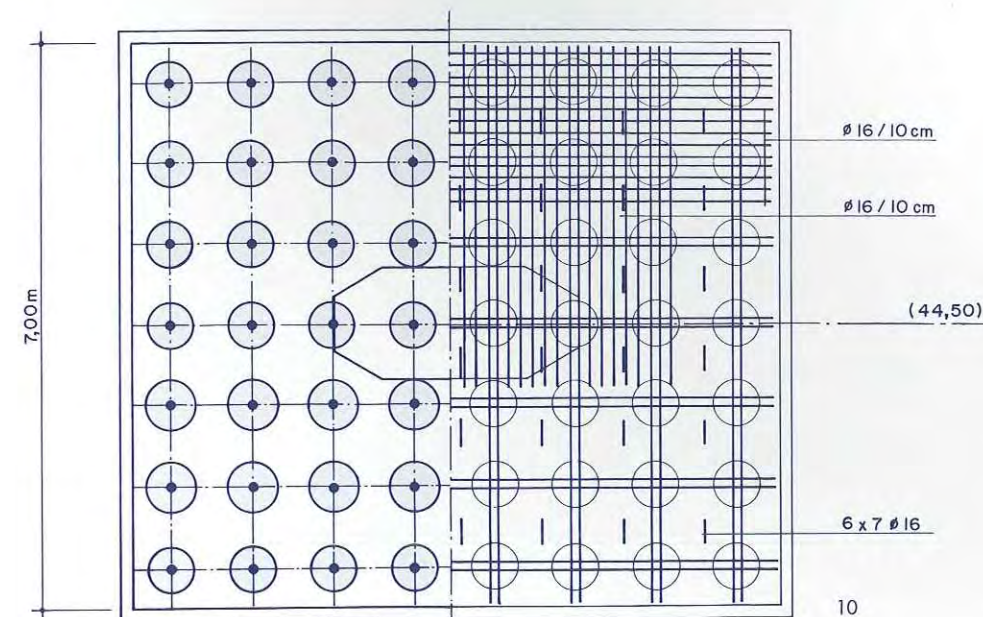
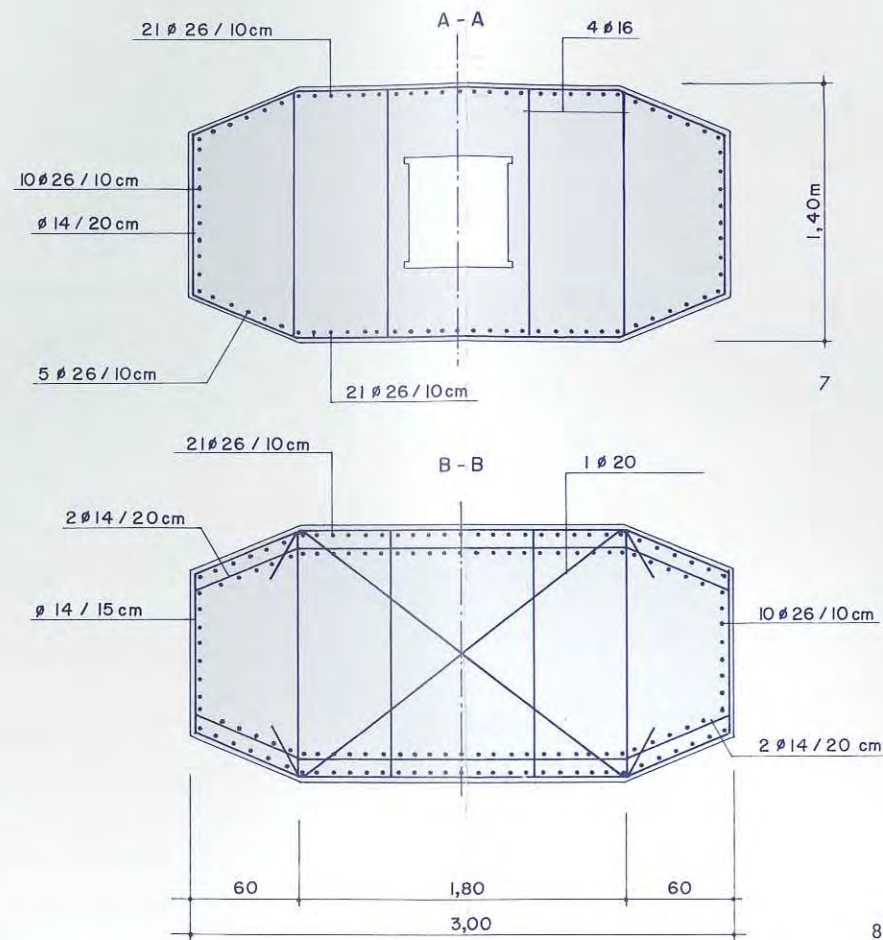
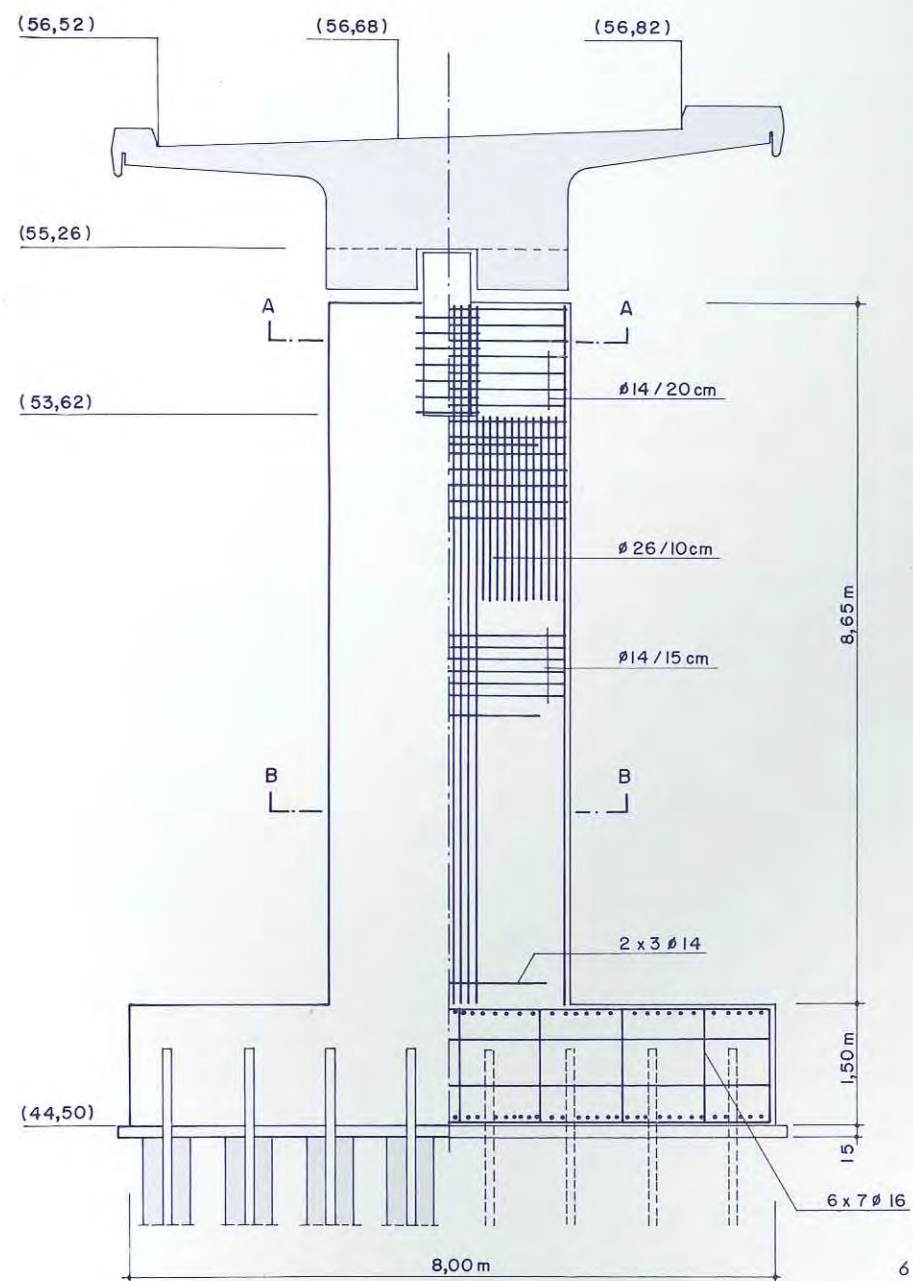


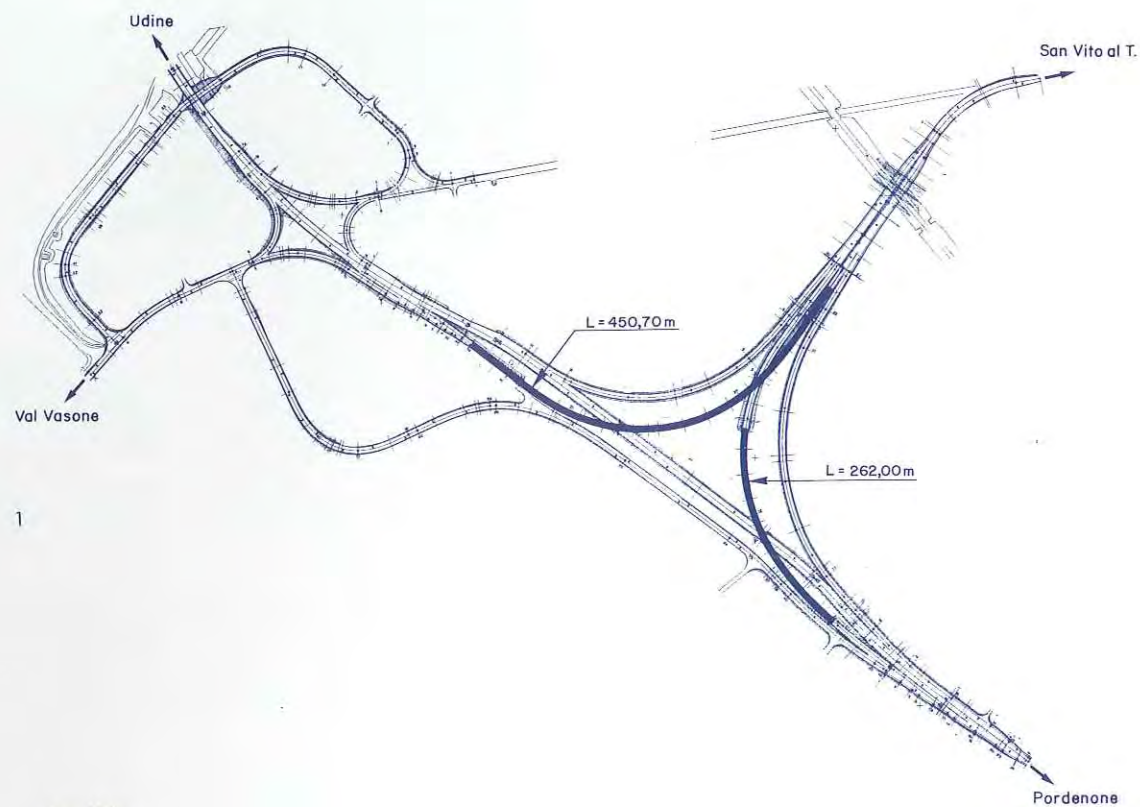
FONDAZIONI E PILE (VIADOTTO DA 451,70 M)

6-7-8-9. Sezioni verticale ed orizzontali della pila: carpenteria ed armatura; 10. Pianta della fondazione: colonne consolidate ed armatura; 11-12. Sezioni verticale ed orizzontale dell'appoggio: armatura.

FOUNDATIONS AND PIERS (451,70 M LONG VIADUCT)

6-7-8-9. Vertical and horizontal sections of the pier: dimensions and reinforcement; 10. Foundation plan: strengthened piles and reinforcement; 11-12. Vertical and horizontal sections of the bearing: reinforcement.



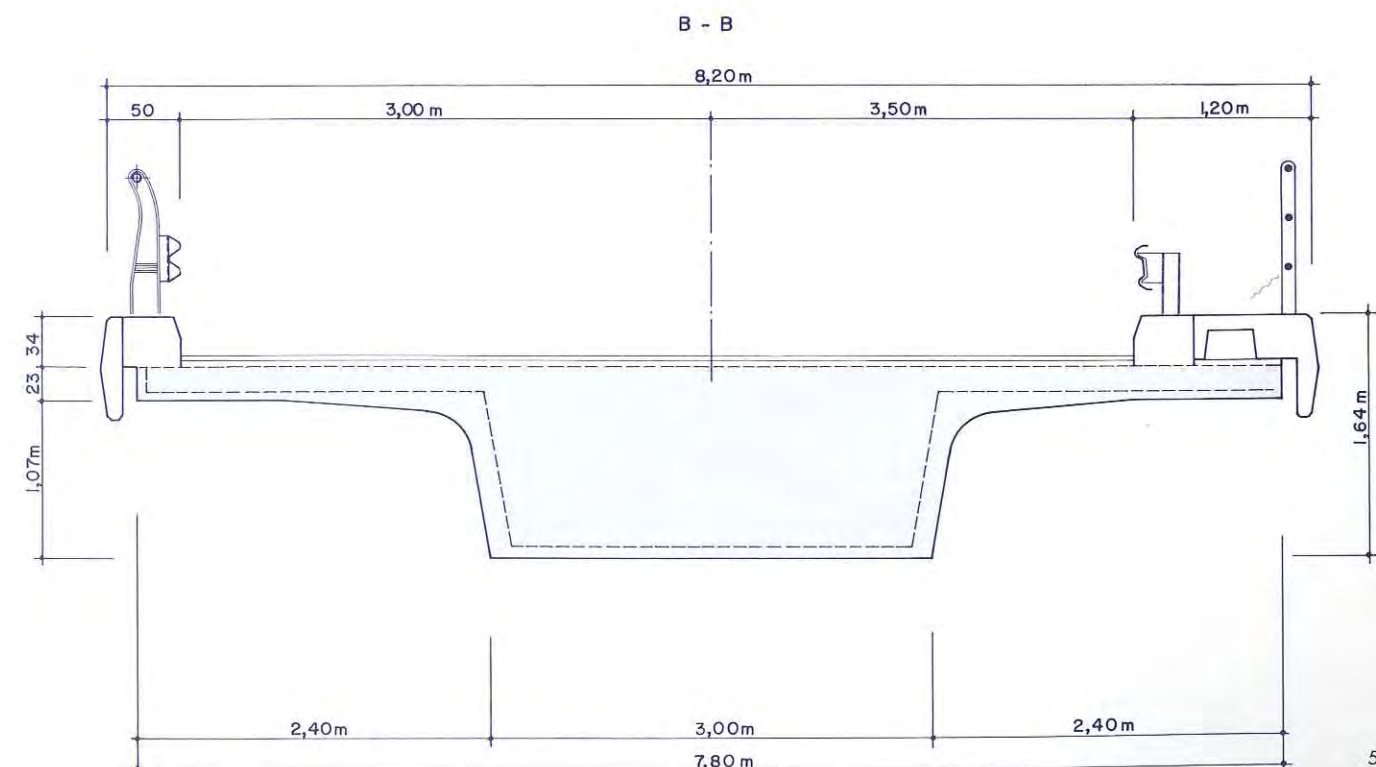
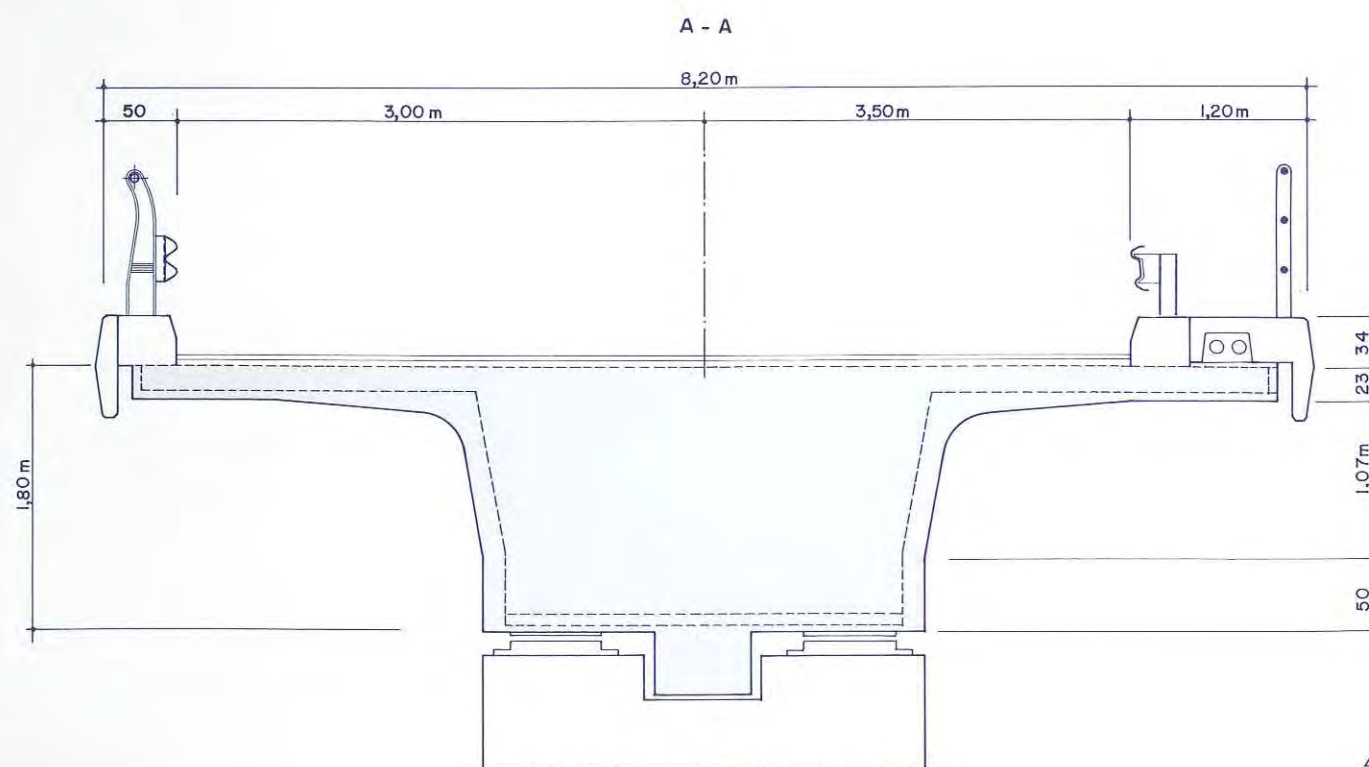
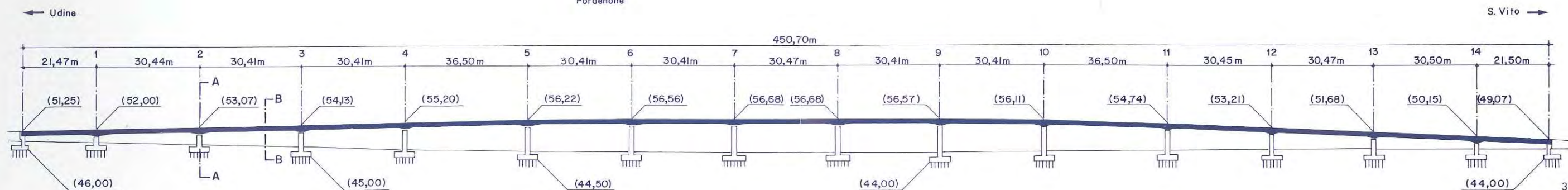
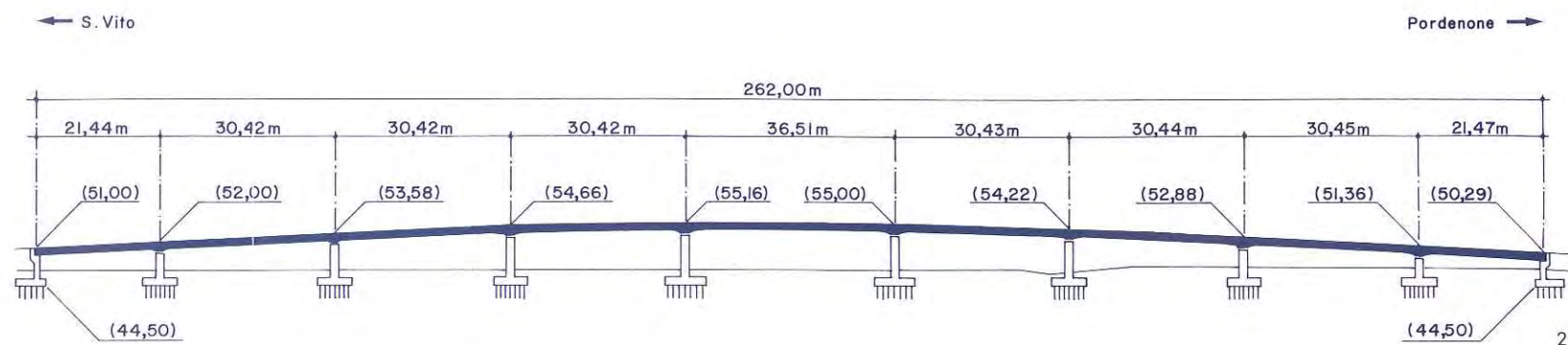


IMPALCATI

*** 1. Schema planimetrico dell'intero svincolo; 2. Profilo longitudinale in asse tracciato del viadotto da 262,60 m, rampa di svincolo San Vito-Pordenone; 3. Profilo longitudinale in asse tracciato del viadotto da 451,70 m, rampa di svincolo Udine-San Vito; 4-5. Sezioni trasversali di impalcato del viadotto da 451,70 m in asse pila e corrente.

DECKS

*** 1. Site plan scheme of the entire interchange; 2. Longitudinal profile in alignment axis of the 262,60 m long viaduct, San Vito-Pordenone interchange ramp; 3. Longitudinal profile in alignment axis of the 451,70 m long viaduct, Udine-San Vito interchange ramp; 4-5. Deck cross sections of the 451,70 m long viaduct in pile axis and typical one.



li possibile, non dimenticando nel contempo di rendere equilibrato l'insieme, vista la notevole esposizione.

La scelta è dunque caduta su una struttura in cemento armato precompresso che presenta campate variabili tra i 21.5 e i 36.6 m in funzione delle problematiche dei singoli attraversamenti; con tali luci è stato possibile prevedere per le sezioni dell'impalcato altezze variabili tra 1,3 m in mezzera e 1,76 m in appoggio. La sezione trasversale è costituita da un'anima centrale resistente e da due sbalzi laterali di altezza ridotta; questa conformazione, unita alla rotazione della sezione trasversale per l'ottenimento delle necessarie pendenze, conferisce all'insieme un aspetto di movimento e di leggerezza.

I calcestruzzi sono stati protetti con speciali vernici che hanno permesso di ottenere, oltre ad una maggior difesa dagli agenti esterni, un'alta uniformità cromatica, con colori che piacevolmente si accostano a quelli naturali dell'ambiente.

LA STRUTTURA

La soluzione strutturale realizzata è quella di un impalcato semplicemente appoggiato alle pile, costituito da una piastra continua in cemento armato precompresso di 15 campate per il viadotto più lungo e di 9 campate per quello più corto. Le campate intermedie presentano una luce di 30,5 m, salvo alcune da 36,6 m per problemi di scavalco di altre arterie, mentre le campate esterne hanno una luce di 21,5 m.

Gli impalcati presentano in entrambi i casi una larghezza complessiva di 8,2 m, di cui 6,5 m di sede viabile (corsie unidirezionali), 1,2 m di marciapiede sul lato destro e 0,5 m di cordolo sul lato sinistro.

Planimetricamente, la parte centrale di entrambi i viadotti ha una curvatura costante con raggio pari a circa 200 m, mentre le parti terminali vengono raccordate mediante rami di clotoide.

La piastra in c.a.p. presenta una sezione resistente centrale di larghezza costante e pari a 3 m e di altezza variabile tra la zona in campata e la zona d'appoggio tra 1,3 m e 1,76 m; da essa si dipartono trasversalmente due mensole snelle (spessore del calcestruzzo variabile da 0,31 a 0,23 m, con uno sbalzo di 2,6 m).

L'anima della piastra è stata precompressa mediante l'utilizzo di 38 barre di acciaio ad alta resistenza, rese continue mediante manicottatura su tutto il viadotto, incrementate da altre 19 barre in corrispondenza delle campate più lunghe; le barre hanno un andamento variabile alti-

metricamente, in modo tale da ottimizzare l'effetto della precompressione in funzione delle sollecitazioni presenti nelle varie zone dell'impalcato; planimetricamente, l'andamento delle barre è curvo, parallelo all'asse dell'impalcato.

Le pile, di altezza variabile tra i 2,5 e i 9 m, presentano una sezione rettangolare di 3 per 1,4 m, smussata sugli angoli per ottenere un effetto snellente. Sia le pile che le spalle, massicce in c.a., sono fondate su plinti in c.a. appoggiati su zone consolidate di terreno.

Gli appoggi sono tutti multidirezionali in acciaio-teflon (con una portata verticale di 600 t per le pile e 200 t per le spalle); per costringere il ponte a deformarsi solo assialmente e per assorbire le sollecitazioni sismiche sono stati predisposti dei particolari dispositivi di ritegno trasversale (su ogni pila e spalla) e longitudinale (solo sulle due pile «fisse» centrali).

I ritegni trasversali sono costituiti da elementi in c.a., solidali con l'impalcato, che scorrono longitudinalmente all'interno di una nicchia predisposta sulla sommità centrale della pila; il contatto tra gli elementi di ritegno e la nicchia è realizzato mediante cuscinetti costituiti da neoprene frettato, teflon e acciaio, in grado di trasferire il carico trasversale ma di lasciare libertà di movimento longitudinale.

I ritegni longitudinali, in corrispondenza delle due pile fisse centrali, sono invece costituiti da un «dente», che fuoriesce dalla pila, realizzato mediante due profili HEB 600 accoppiati e opportunamente irrigiditi che si inseriscono in una nicchia ricavata nell'impalcato tra i due appoggi; anche qui l'accoppiamento avviene mediante cuscinetti dello stesso tipo degli altri; l'insieme dei due dispositivi è in grado di assorbire tutti i carichi orizzontali longitudinali sismici e di trasferirli alle due pile, notevolmente più robuste delle altre e, tramite le stesse, al plinto e al terreno sottostante.

ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

Le opere insistono su un'antica pianura alluvionale caratterizzata da una potente coltre di depositi alluvionali che ricoprono le sottostanti profonde formazioni marine antiche (Cenozoiche e Mesozoiche). Gli strati superficiali che interessano le fondazioni dei viadotti sono distinguibili in due fasce sedimentarie: la prima, superficiale, coperta da circa 1 m di terreno vegetale, è caratterizzata da limi sabbiosi con livelli sabbiosi e raro ghiaietto poco addensati (densità relativa tra il 30 e il 40%). La seconda, più profonda (dai 7-8 m dal pia-

ture as a whole balanced, considering its great visibility.

Prestressed concrete was therefore chosen for the structures, each of which features spans running between 21.5 and 36.6 metres in length, depending on the problems raised by the individual crossings. With these spans deck depths could be designed running between 1.3 m in midspan and 1.76 m at the bearings. The cross section consists of a central resisting core and two side wings of reduced depth. This conformation, together with the rotation of the cross section to obtain the necessary superelevations, gives the whole an aspect of movement and lightness.

The concretes were protected with special paints that provided, besides greater protection against atmospheric agents, a high chromatic uniformity, with colours that pleasingly match with the natural colours of the environment.

THE STRUCTURE

The structural solution chosen was a deck simply supported on its piers, made up of a continuous prestressed-concrete plate of fifteen spans for the longer viaduct and of nine spans for the shorter. The intermediate spans display lengths of 30.5 m, with the exception of a few 36.6 m long, owing to their having to cross other trafficways, while the outer spans are 21.5 m long.

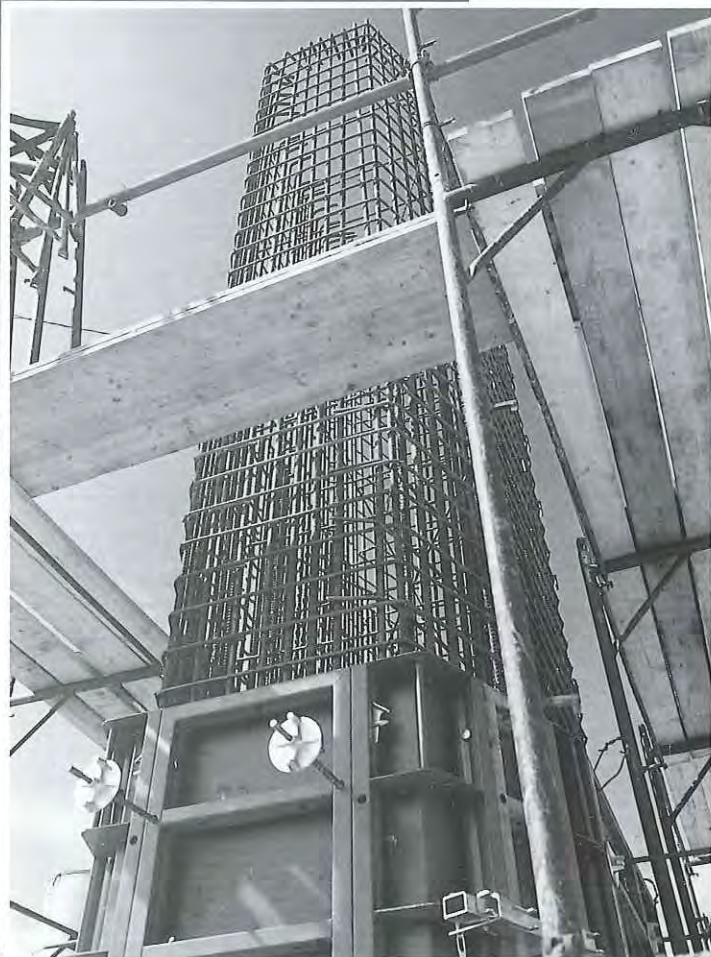
In both cases the decks have a total width of 8.2 m, of which 6.5 m is for traffic (one-way lanes), 1.2 m is for the sidewalk on the right side, and 0.5 m is for a curbing on the left side.

In plan, the centre part of both viaducts is a circular curve of radius 200 m, faired at BC and EC by clotoids.

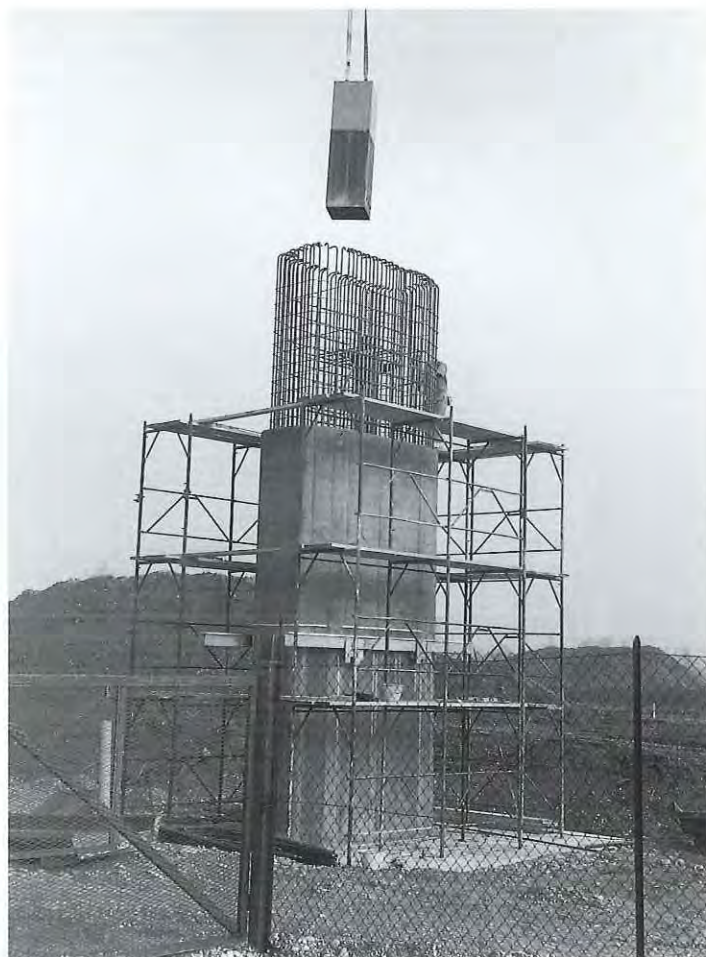
The prestressed-concrete plate displays a central resisting section of constant 3 m width, whose depth varies from 1.3 and 1.76 m between the in-span area and the bearing area. From it two slender overhangs depart crosswise (their concrete depth runs from 0.31 to 0.23 m, for a cantilever of 2.6 m).

The plate core was prestressed by 38 high-strength steel bars, made continuous by sleeving over the whole length of the viaduct, and increased by another nineteen bars in the longer spans. The bar trajectories vary in height, so as to optimize the effect of the prestressing to meet the stresses acting in the various deck zone. In plan, the bar trajectories are circular curves, running parallel to the deck centreline.

The piers, varying in height from 2.5 to 9 m, display a rectangular section of 3 m by 1.4 m, bevelled at the edges to increase the effect of slenderness. Both piers and abutments, of



5



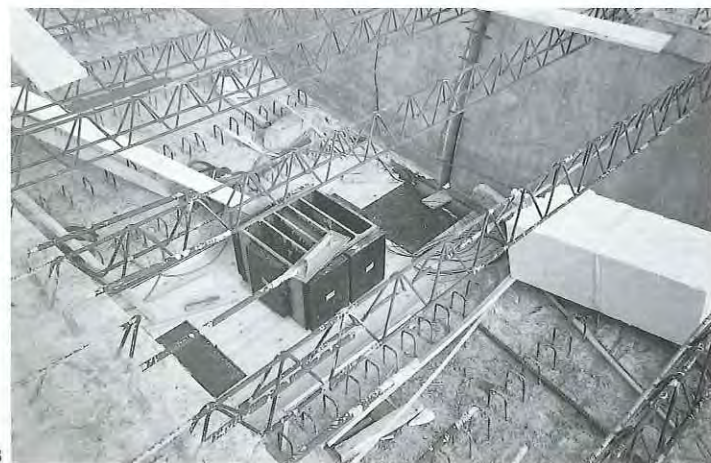
7



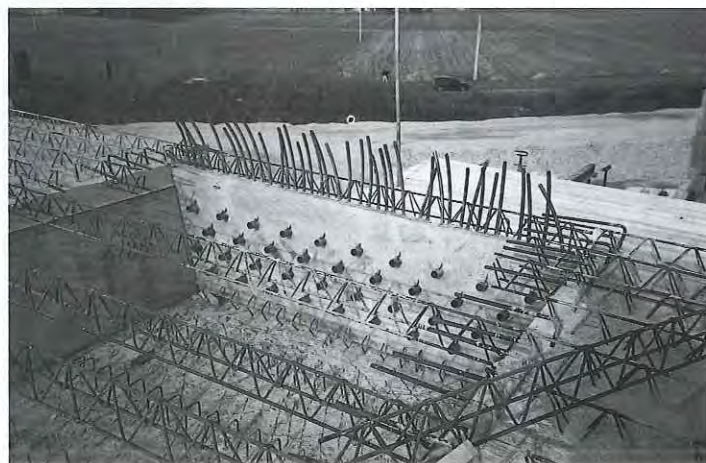
6

5. Posizionamento dei casseri di contenimento del getto in corrispondenza di una pila; 6. Costruzione delle pile: fase di posizionamento del blocco di ancoraggio antisismico sulla testa delle pile «fisse»; 7. Getto in opera del concio intermedio di una pila; 8. Zona di appoggio dell'impalcato in corrispondenza di una pila «fissa»; è ben visibile il blocco di ancoraggio centrale, non ancora riempito internamente di calcestruzzo, e l'estradosso degli appoggi; 9. Impalcato: testata di tiro prefabbricata posizionata all'interno dei conci prefabbricati.

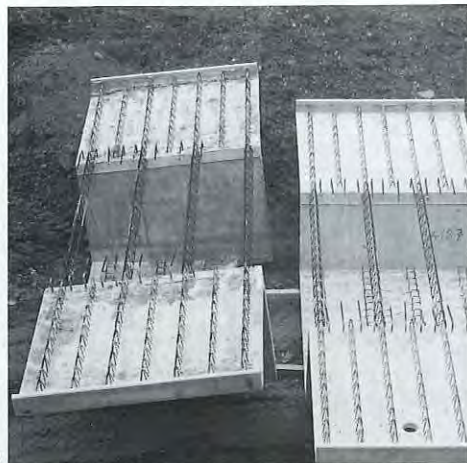
5. Positioning the forms for a pier; 6. Construction of the piers: shown is the positioning of the aseismic anchorage block on the head of one of the "fixed" piers; 7. In situ pour of a pier intermediate segment; 8. Bearing zone for the deck at a fixed pier, quite visible is the central anchorage block not as yet filled inside with concrete, and the extrados of the bearings; 9. Deck: precast tensioning head located on the inside of each precast segment.



8



9



10. Particolare dei gusci-cassero prefabbricati: si evidenziano i tralicci interni necessari per conferire adeguata resistenza al guscio durante le fasi di trasporto e posizionamento; 11. Particolare del guscio-cassero durante il sollevamento (elemento da posizionare in corrispondenza di una pila); 12. Fase di posizionamento dei conci prefabbricati in corrispondenza della prima campata eseguita; 13. Fase di posizionamento dei conci prefabbricati in prossimità di una spalla.

10. Detail of the precast shell-forms: visible is the internal trusswork needed to give the shell enough strength during transport and positioning phases; 11. Detail of the shell-form during hoisting (element to be positioned at a pier). 12. Positioning a precast segment at the first built span; 13. Positioning the precast segments nearby an abutment.

solid r.c., found on r.c. footings bearing on consolidated soil.

The bearings are all multidirectional steel-teflon (having a vertical capacity of 600 tons for the piers and of 200 tons for the abutments). To constrain the bridge to strain only along its centreline and to absorb seismic stresses, special crosswise keepers were made up (for each pier and the abutments), longitudinal keepers being made up only for the two central "fixed" piers.

The crosswise keepers are r.c. elements solidly joined to the deck, which slide longitudinally in a groove placed at the piertop centre. Contact between the keepers and the groove is made through bearings made of scrubbed neoprene, steel and teflon, which transfer the crosswise load but leave the longitudinal movement free.

The longitudinal keepers, at the two fixed centre piers, are instead made up of a "tooth" that issues from the pier, created by means of two HEB 600 steel sections coupled and suitably stiffened, which are inserted in a groove made in the deck between the two bearings. Here too the coupling comes about by means of bearings of the same kind as the others. The two devices together are able to absorb all horizontal longitudinal seismic loads and to transfer them to the two piers, which are considerably sturdier than the others and,





14. Posizionamento di una barra di armatura da precompressione: la barra, della lunghezza di una campata, è stata preventivamente assemblata a terra e in seguito posizionata grazie all'aiuto di un traliccio di sostegno; 15. Insieme delle barre di precompressione dell'impalcato nella loro disposizione definitiva, prima del ricoprimento con l'acciaio lento; 16. Posizionamento delle armature lente all'interno dei gusci-cassero; si noti anche la testata di tiro prefabbricata già in posizione finale; 17. Particolare della testata di tiro durante una delle fasi costruttive intermedie; 18. Particolare della testata prefabbricata di tiro con le barre di precompressione già posizionate e tesate.

14. Positioning a prestressing bar: the bar, one span in length, was first assembled on the ground and then positioned using a support trestle; 15. The set of deck prestressing bars in their final arrangement, before being covered with the slack steels; 16. Positioning the slack steels inside the shell-forms; note too the precast tensioning head already in final position; 17. Detail of the tensioning head during one of the intermediate construction phases; 18. Detail of the precast tensioning head with the prestressing bars already in place and tensioned.





17

no campagna in giù), è costituita da ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa, addensate e molto addensate.

Da un punto di vista idrogeologico si è riscontrata la presenza di una falda il cui livello varia notevolmente nel corso dell'anno da una profondità di 7-8 m fino a circa 1 m dal piano campagna.

La scelta geotecnica operata è stata quella di appoggiare direttamente i plinti massicci di fondazione delle pile e delle spalle su zone di terreno preventivamente consolidate; pertanto si è trattato il terreno al di sotto della quota di imposta dei plinti (circa 1,5 m dal piano campagna) mediante l'esecuzione di batterie di colonne consolidate (jet-grouting) in modo da ottenere buone condizioni di portanza dello strato superficiale, originariamente poco addensato. Il trattamento è stato eseguito, a partire dalla quota di base dei plinti, fino a una profondità di circa 8 m, mediante colonne consolidate del diametro reso di circa 60 cm, secondo una maglia di 100 per 85 cm. Tale consolidamento ha permesso di ottenere una base di appoggio dei plinti in grado di assorbire, in sicurezza e con deformazioni minime, le massime pressioni sul terreno stimate nell'ordine di 0.32 MPa sotto effetto sismico. Parte del consolidamento (la metà delle colonne) è stato

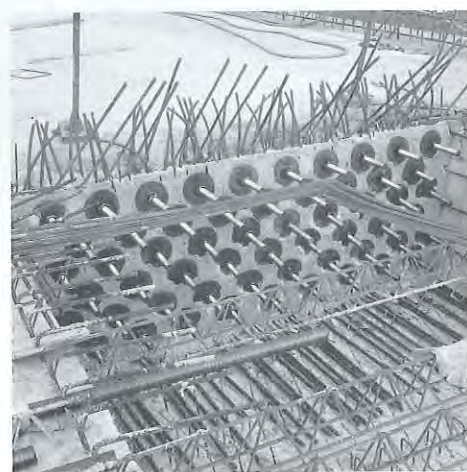
through them, to the footings and the underlying soil.

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL ASPECTS

The structures bear on an ancient flood-plain characterized by a thick layer of alluvial deposits that cover underlying deep ancient marine formations (Cenozoic and Mesozoic). The surface strata that the viaduct foundations bear on can be distinguished into two sedimentary bands: the first, surface, covered by about a metre of earth, is characterized by sandy silts with sandy benches and a little uncompacted gravel (having a relative density between 30 and 40%). The second, deeper-lying (from 7-8 m below site level on down) is made up of polygenic gravels in a compact or very compact sand matrix.

Hydrogeologically speaking the water table varies considerably during the year, from 7-8 m below site level up to one metre below.

The geotechnical choice made was to have the massive pier and abutment foundation footings bear directly on areas of soil that had first been consolidated. Therefore, the soil below the footing springers (around 1.5 m below site level) was treated by creating clus-



18





approfondito fino al raggiungimento degli strati molto addensati sottostanti a 16-18 m dal piano campagna.

Inoltre le colonne consolidate sono state armate nei 3-5 m superiori con profili tubolari in acciaio che, adeguatamente immorsati nel plinto di fondazione, sono in grado di trasferire al terreno consolidato anche i consistenti carichi orizzontali che il sisma è in grado di produrre.

IL CALCOLO DELLE STRUTTURE

Il calcolo dell'impalcato dei viadotti è stato condotto mediante due distinti livelli di schematizzazione agli elementi finiti per individuare, da un lato, le sollecitazioni puntuali indotte dalle normali azioni di progetto (peso proprio, precompressione, sovraccarichi) e, dall'altro lato, il comportamento globale dell'opera sotto sollecitazione sismica e termica.

Nel caso del primo livello si sono analizzate, con mesh di calcolo molto dettagliata (struttura continua monodimensionale), la zona iniziale dei viadotti ossia le prime 4 campate, e la zona centrale con 5 campate; questi schemi hanno permesso di ricavare le sollecitazioni di verifica nelle prime tre campate e in tre campate interne.

Nel caso del secondo livello è stata invece introdotta una schematizzazione tridimensionale generale dell'opera, pile comprese, in modo da riuscire a esaminare le influenze dell'andamento plano-altimetrico (variabile) delle opere rispetto alle sollecitazioni sismiche e termiche. In base ad un'analisi sismica dinamica ed un'analisi termica, con una variazione di temperatura di 30° su tutto l'impalcato, si sono determinate le sollecitazioni nel piano dell'impalcato, i carichi orizzontali trasmessi tra impalcato e pile/spalle (da cui il dimensionamento dei vincoli orizzontali) e le sollecitazioni flettenti indotte sulle pile.

La struttura tridimensionale descritta è stata sollecitata, nel calcolo sismico dinamico, lungo due direzioni orizzontali, una tangente all'impalcato nel suo punto mediano e l'altra perpendicolare; sono stati studiati i primi sette modi di vibrare della struttura, al fine di tenere in debita considerazione anche eventuali effetti dovuti ai modi di vibrare non principali.

Lo stesso calcolo ha permesso inoltre di valutare le deformazioni assiali dell'impalcato ed il conseguente dimensionamento dei giunti e delle corse degli appoggi e, in relazione anche alle fasi costruttive, della prerogolazione degli appoggi.

Nel calcolo, inoltre, si è tenuto conto del particolare metodo costruttivo delle ope-

re: infatti è stato seguito un procedimento costruttivo per fasi di 1 campata con l'utilizzo di barre di preflessione che si dipartono dagli sbalzi delle singole campate e si ancorano ai plinti delle pile. Grazie al carico verso il basso, che la preflessione permette di assegnare all'estremità dello sbalzo, si sono potute ottenere nella parte di impalcato già costruito, fase per fase, sollecitazioni simili a quelle che lo stesso raggiunge, per effetto del peso proprio, a costruzione completamente eseguita. Le barre di preflessione sono state posizionate in corrispondenza all'estremità degli sbalzi dell'impalcato a circa 6,5 m dall'asse della pila relativa all'ultima campata eseguita; dalla stessa sezione avviene la post-tensione dell'ultima campata gettata. La messa in tensione delle barre di preflessione provoca un abbassamento dello sbalzo della campata e conseguentemente un incremento del momento negativo in corrispondenza della pila contigua, simile a quello finale di esercizio dovuto al peso proprio della struttura.

ASPETTI COSTRUTTIVI

La tecnologia costruttiva adottata è stata individuata tenendo ben presenti due precisi obiettivi: rapidità esecutiva e risultato estetico.

Per raggiungere tali fini bisognava disporre di un rapido sistema di cassetatura che consentisse una veloce posa delle armature, e di calcestruzzi di ottima qualità a rapido indurimento per procedere alla precompressione in tempi brevi.

Il primo obiettivo è stato ottenuto con l'utilizzo di gusci prefabbricati aventi la funzione di cassero e collaboranti alla sezione finale di calcestruzzo, tramite la predisposizione di opportune armature di collegamento. Detti gusci, la cui sagoma ad «ali di gabbiano» definisce l'andamento dell'intradosso dell'impalcato, sono stati prefabbricati in stabilimento; la dimensione maggiore degli elementi è pari alla larghezza dell'impalcato (7,8 m cordoli esclusi), e la dimensione inferiore media è di 2,4 m per consentire un agevole trasporto su strada. Data la particolare geometria dei viadotti (inseriti planimetricamente su archi di cerchio con raccordi in clotoide e altimetricamente su livellette con pendenze longitudinali variabili tra 0% e 5%), si è dovuto procedere, in sede di progettazione, ad una precisa identificazione di ogni singolo elemento. Considerato inoltre che la sezione dell'impalcato aumentava in corrispondenza delle pile, si è fatto ricorso, in fase di prefabbricazione, ad una serie di

casseri metallici a geometria variabile in grado di garantire una rapida e puntuale produzione dei gusci così diversi tra loro.

La prefabbricazione, eseguita con estrema precisione, ha consentito di porre in opera i vari elementi con notevole velocità. Su una struttura di sostegno preventivamente predisposta e su un superiore assito di tavoloni, la posa degli elementi prefabbricati di un'intera campata ha richiesto, mediamente, meno di un giorno. Un'ulteriore velocizzazione è stata ottenuta nella posa delle barre di precompressione, grazie alla prefabbricazione delle testate di tiro: tali testate sono state realizzate con lastre di calcestruzzo armato dello spessore di 10 cm, con le piastre metalliche di contrasto annegate nel getto.

Ha contribuito a raggiungere le produzioni programmate di una campata per settimana, l'adozione di calcestruzzi a rapido indurimento; a causa della variabilità della temperatura nel periodo di produzione (periodo invernale e primaverile) si sono studiati due diversi mix-design del calcestruzzo: il primo adottabile a basse temperature (da +5° fino a punte di -2/-3°), il secondo per temperature superiori a +5°. Entrambi i calcestruzzi sono stati progettati per dare una Rm a 24 ore di 10 MPa, a 4 giorni di 40 MPa e a 5 giorni di 50 MPa, con una lavorabilità superfluida (S5) in fase di getto.

Il buon risultato estetico è stato ottenuto, oltre che con la prefabbricazione e la cura nella posa dei prefabbricati, grazie alla stuccatura dei giunti tra i vari elementi con una resina monocomponente e alla verniciatura di tutte le parti in c.a.; questi interventi hanno conferito uniformità alle superfici.

PROVE E CONTROLLI

Particolare cura è stata dedicata al controllo dei calcestruzzi dell'impalcato con numerose verifiche a breve termine in funzione della presollecitazione dell'impalcato stesso nelle varie fasi costruttive.

Si evidenzia inoltre il controllo sulla buona riuscita dei consolidamenti al di sotto dei plinti di fondazione. Le colonne consolidate, durante la campagna di prova effettuata prima di iniziare i lavori, hanno presentato, mediamente, un diametro di circa 75-80 cm. L'efficacia del consolidamento è stato poi verificata a posteriori mediante una serie di prove microsismiche cross-hole che hanno dimostrato la presenza di un ottimo consolidamento del terreno sotto i plinti, idoneo a trasferire al terreno circostante anche quelle sollecitazioni

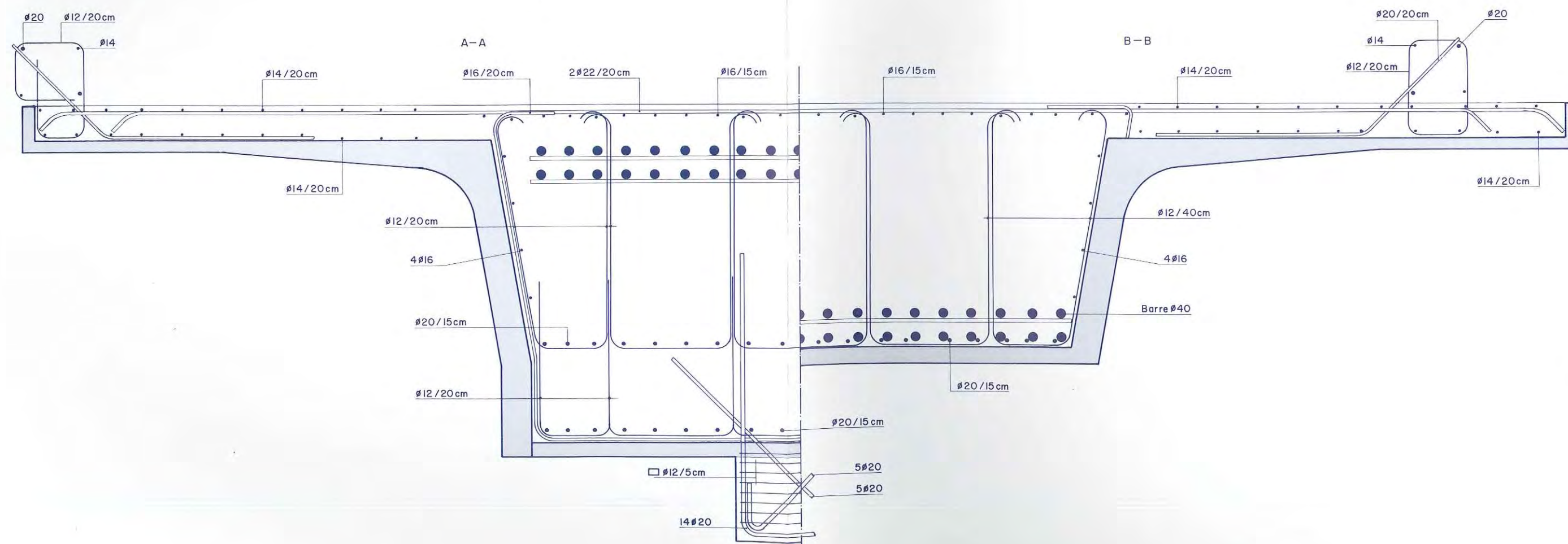
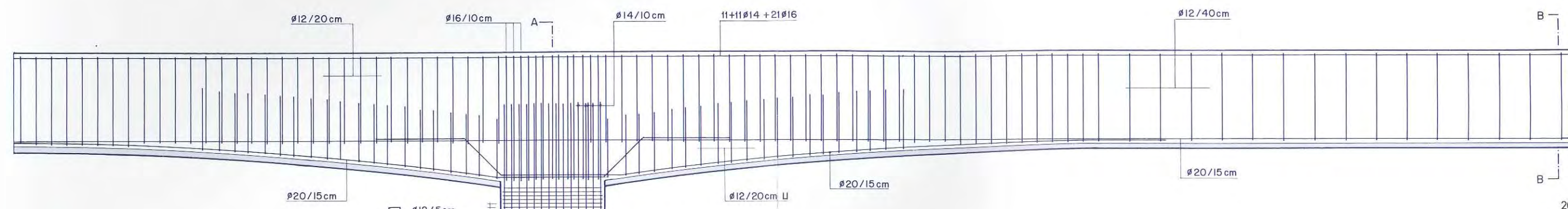


PRECOMPRESSIONE (VIADOTTO DA 451,70 M)

*** 19. Sezione longitudinale di impalcato: andamento delle barre di precompressione; 20. Sezione longitudinale di impalcato: armatura lenta; 21. Sezione trasversale: armatura lenta e barre di precompressione.

PRESTRESSING STEEL (451,70 M LONG VIADUCT)

*** 19. Deck longitudinal section: prestressing bars layout; 20. Deck longitudinal section: slack reinforcement; 21. Cross section: slack reinforcement and prestressing bars.

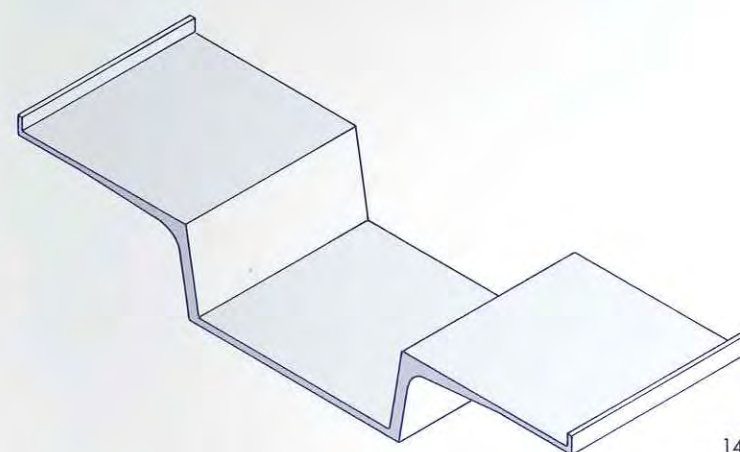
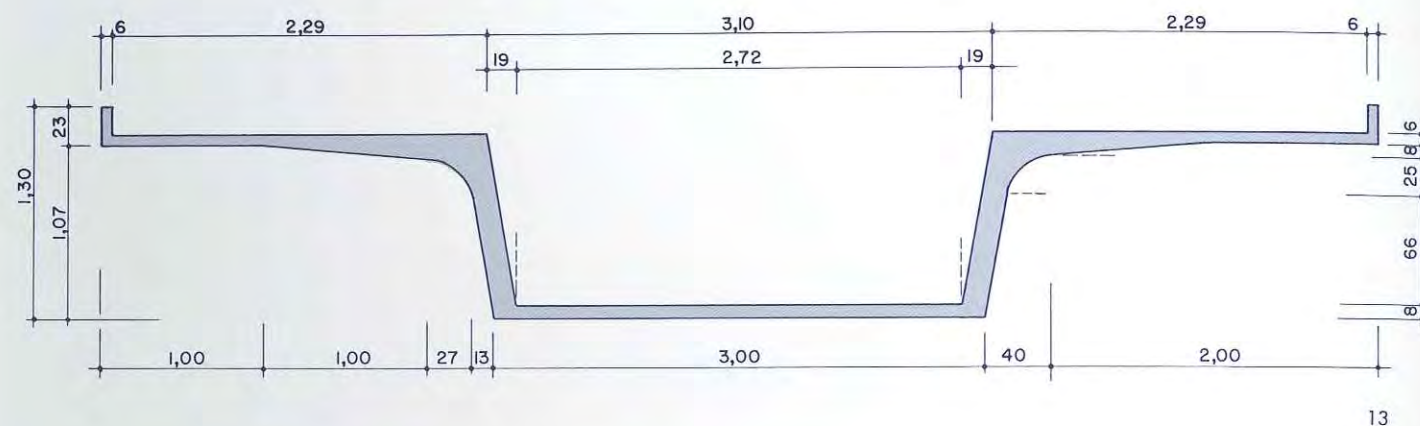


IMPALCATO (VIADOTTO DA 451,70 M)

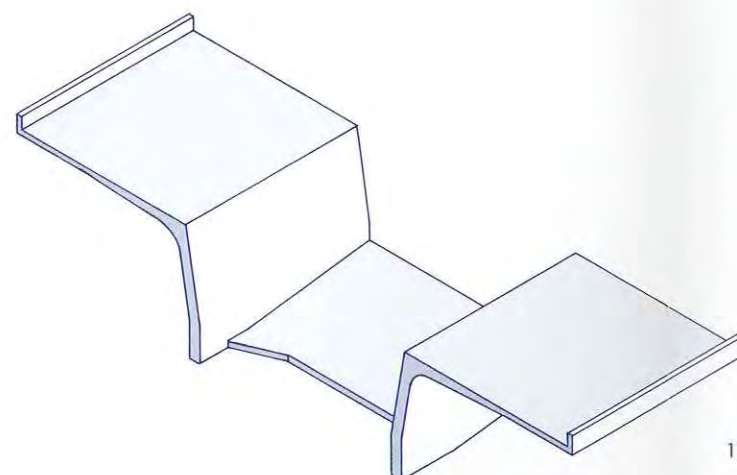
*** 13.-14. Sezione trasversale ed assonometria di un cassero prefabbricato tipo; 15-16. Sezione trasversale ed assonometria del cassero in corrispondenza delle pile; 17. Pianta del cassero: disposizione dei tralicci; 18. Sezione trasversale del cassero: armatura.

DECK (451,70 M LONG VIADUCT)

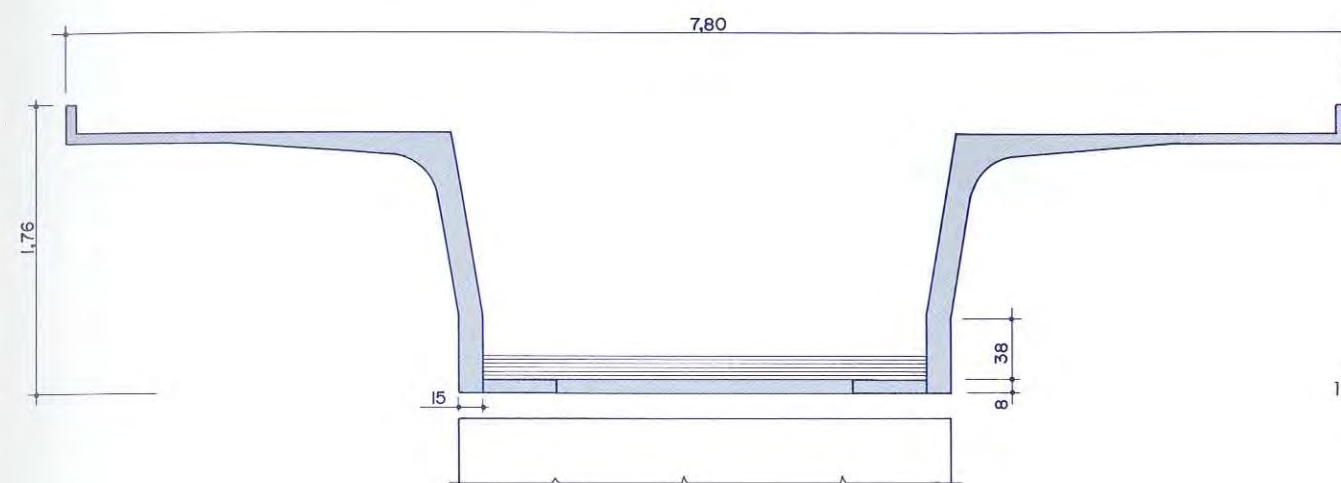
*** 13-14. Cross section and axonometric view of the typical precast box segment; 15-16. Cross section and axonometric view of the precast box segment at the piers; 17. Box segment plan: layout of the trussworks; 18. Cross section of the precast box segment: reinforcement.



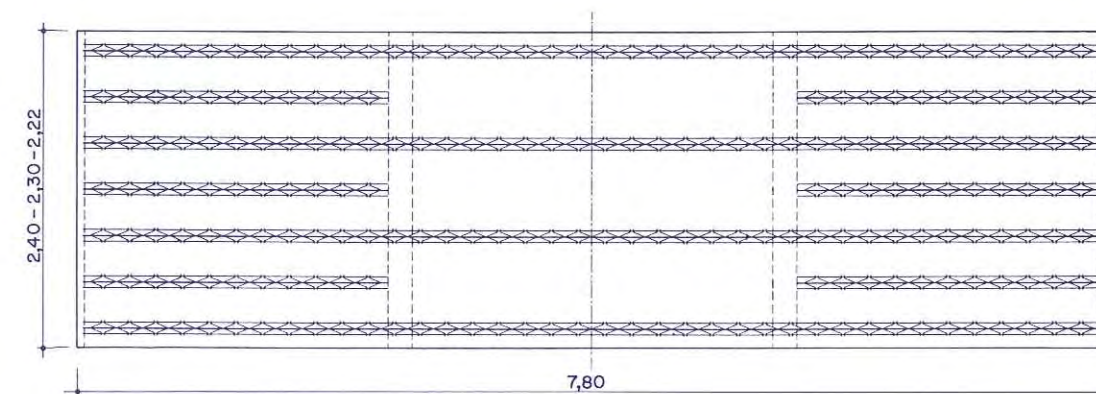
14



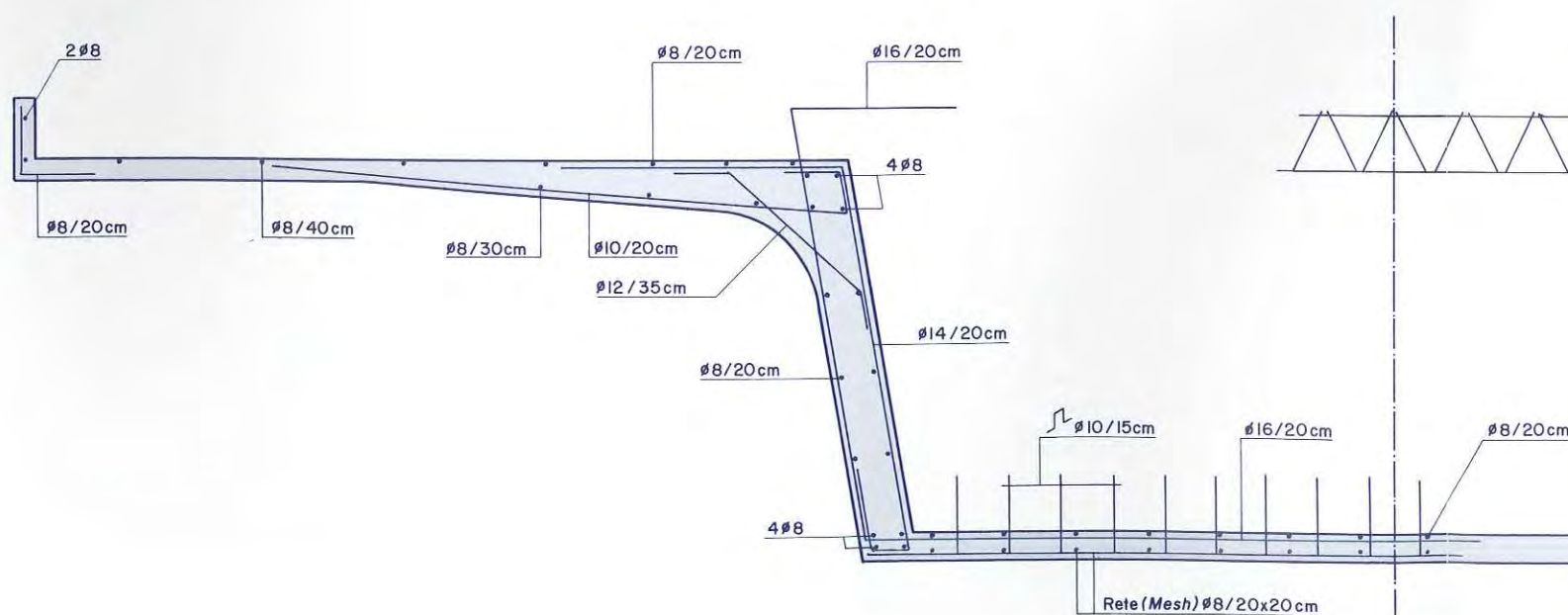
16



15



17



Tralicci (Trestlework) 1#12 2#12 2#8

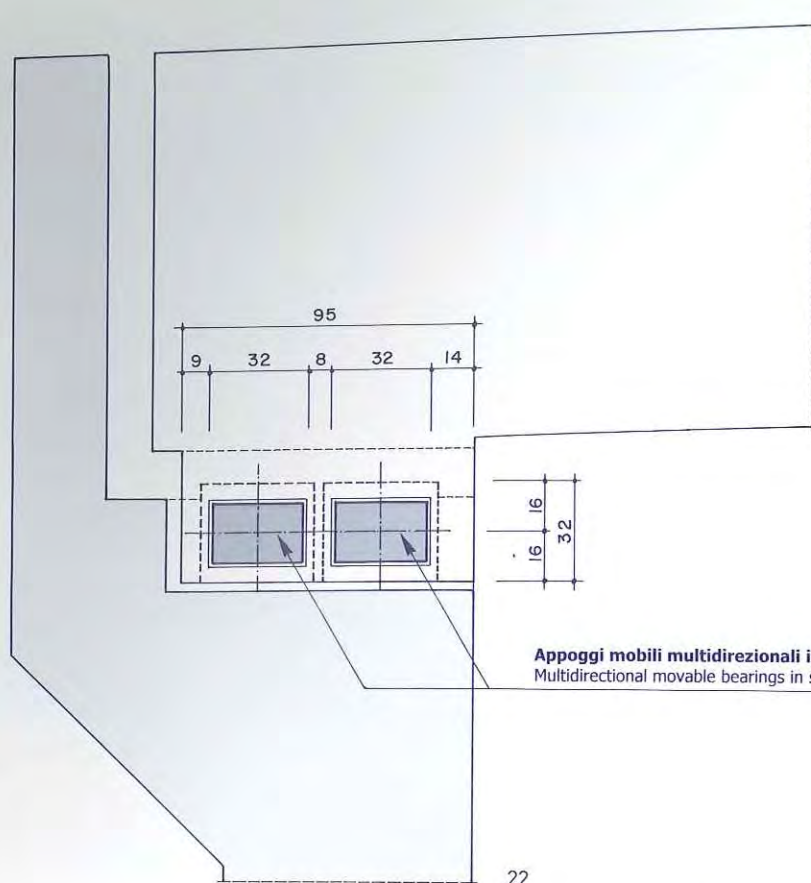
18

RITEGNI ANTISMISICI (VIADOTTO DA 451,70 M)

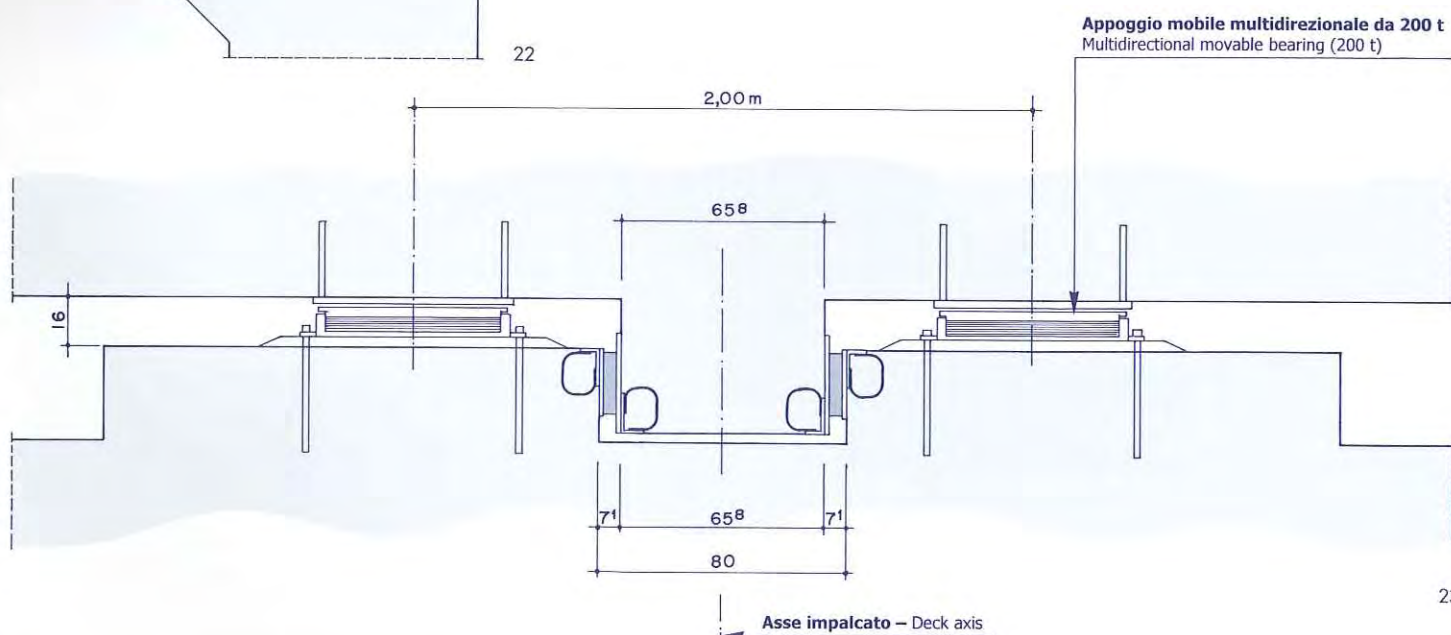
*** 22-23-24. Sezioni e pianta del ritegno in corrispondenza della spalla.

ASEISMIC RESTRAINTS (451,70 M LONG VIADUCT)

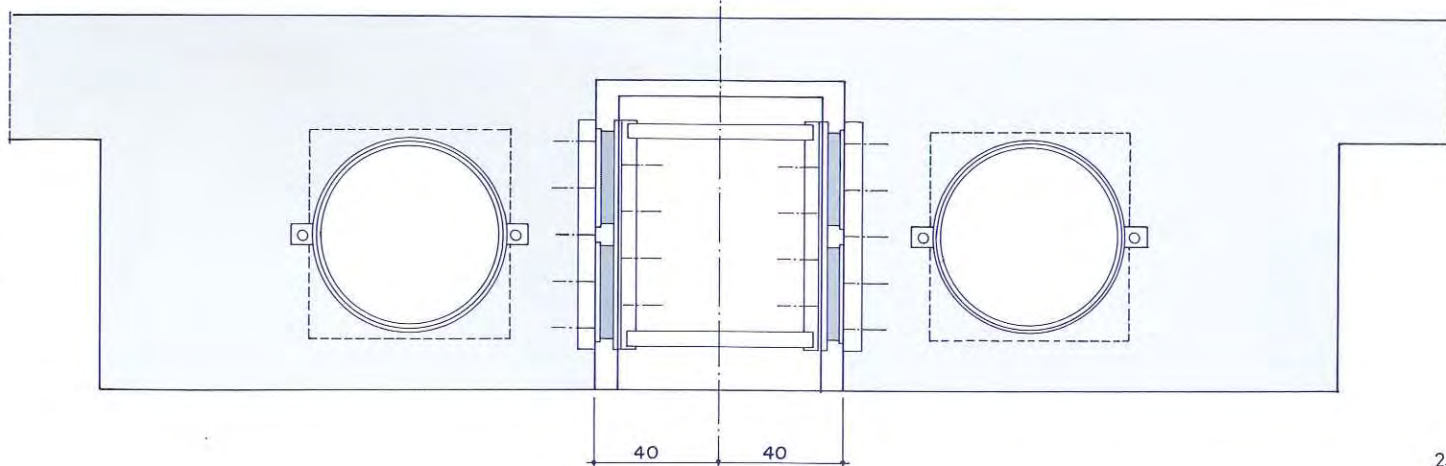
*** 22-23-24. Sections and plan of the restraint at the abutment.

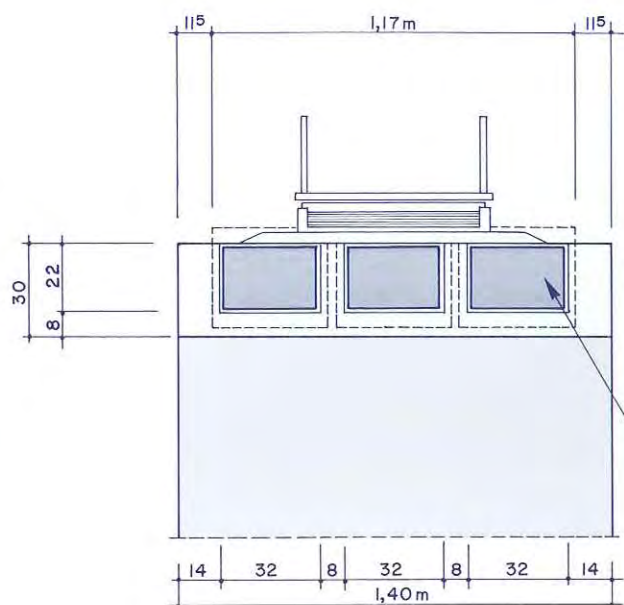


Appoggi mobili multidirezionali in gomma sintetica e PTFE – portata 500 kN
Multidirectional movable bearings in synthetic rubber and PTFE – capacity 500 kN



Asse impalcato – Deck axis





RITEGNI ANTISISMICI (VIADOTTO DA 451,70 M)

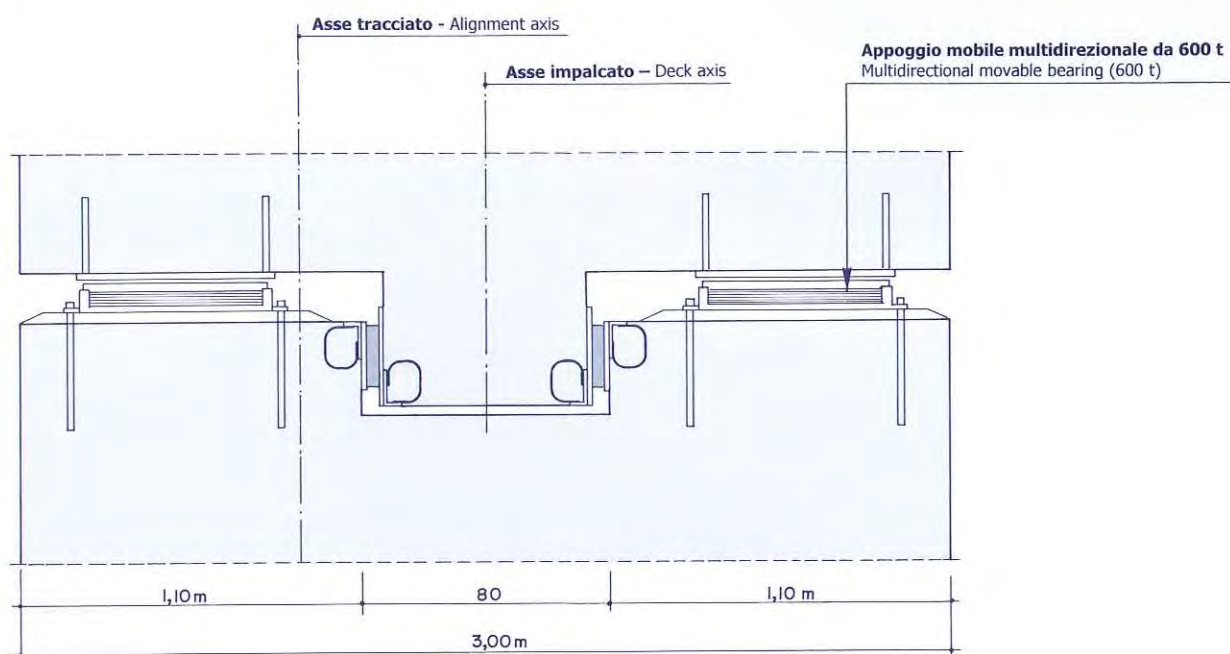
25-26-27. Sezioni e pianta del ritegno in corrispondenza delle pile.

ASEISMIC RESTRAINTS (451,70 M LONG VIADUCT)

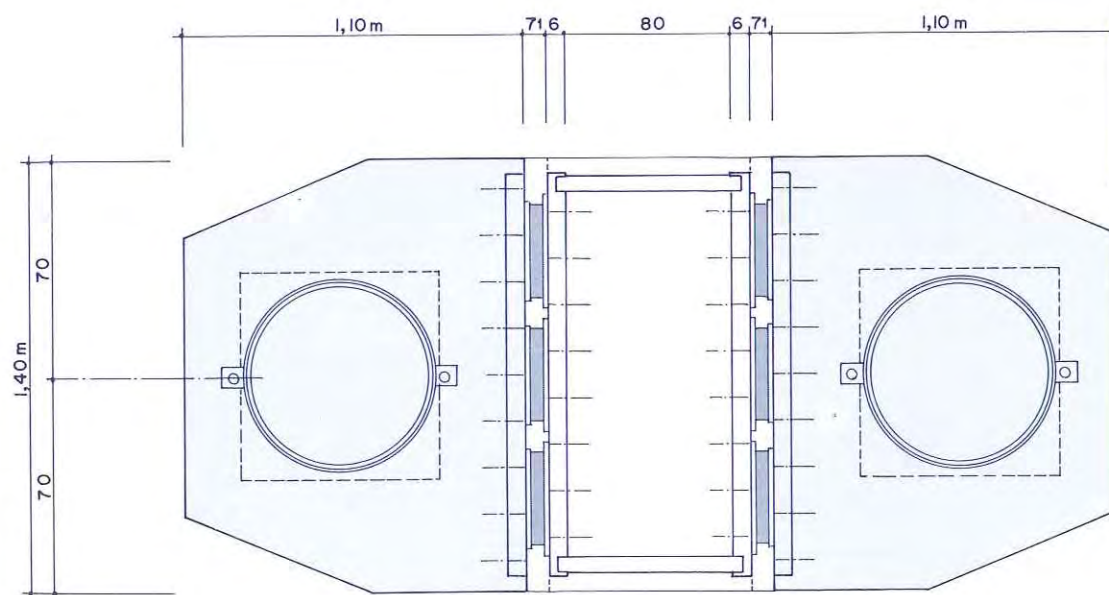
25-26-27. Sections and plan of the restraint at the piers.

Appoggi mobili multidirezionali in gomma sintetica e PTFE – portata 500 kN
Multidirectional movable bearings in synthetic rubber and PTFE – capacity 500 kN

25



26



27

ters of consolidated (jet-grouted) columns, so as to obtain good bearing conditions for the surface stratum, which was originally not very compact. This treatment was carried out starting from the footing base elevation down to a depth of around 8 m, jet-grouted columns being created having an effective diameter of 60 cm, lying on a grid of 100 cm by 85 cm. This consolidation provided a footing support base able to take, securely and with minimum strain, the maximum pressure on the soil, estimated at around 0.32 MPa under seismic forces. A part of the consolidation (half of the columns) was deepened down to reach the very compact strata lying 16-18 m below site level.

Furthermore, the consolidated columns were reinforced in their topmost 3-5 m with steel pipe sections that, properly jointed to the foundation footing, are also able to transfer to the consolidated soil the considerable horizontal loads that an earthquake would generate.

THE DESIGN OF THE STRUCTURES

The design of the viaducts was carried out at two different levels of finite-elements schematization in order to identify, on the one hand, the point stresses induced by the ordinary design forces (own weight, prestressing, borne loads) and, on the other, the structures' overall behaviour under seismic and thermal stresses.

In the case of the first level the viaduct starting zones (i.e., the first four spans) were analyzed, using a very fine calculation mesh (continuous single-dimensional structure) together with the five-span central zone. These schemes enabled design to find the stresses in the first three spans and in three interior spans.

In the case of the second level, a general three-dimensional scheme for the structure, piers included, was instead introduced, in such fashion as to succeed in examining the variable behaviour of the structure in plan and elevation under seismic and thermal stresses. On the basis of a dynamic seismic analysis and of a thermal analysis, assuming a temperature difference of 30°C along the entire length of the deck, the stresses in the deck plane were found, along with the horizontal loads transmitted between the deck and the piers and abutments (hence the sizing of the horizontal constraints) and the bending stresses induced in the piers.

In the dynamic seismic calculation the three-dimensional structure described was stressed along two horizontal directions, one tangent to the deck at its mid point, and the other perpendicular to it. The structure's first

seven modes of vibration were studied, in order to take due account of any effects owing to non-principal modes of vibration.

That same calculation made it possible furthermore to evaluate the deck centreline strains and therefore to size the joints and the bearing strokes, and, in relation as well to the construction phases, to preadjust the bearings.

Account was also taken in the calculation of the particular construction procedure used for the structure: in fact, a construction procedure was followed that went ahead in one-span phases, with the use of pre-bent bars that start from the cantilevers of the individual spans and are anchored in the pier footings. Owing to the load acting downward, which the prebending makes it possible to assign to the end of the cantilever, stresses similar to those that the deck reaches owing to its own weight, after the construction was completely finished, could be obtained in the part of the deck already built, phase by phase. The pre-bent bars were positioned at the ends of the deck cantilevers at about 6.5 metres from the pier centreline for the last span completed; the post-tensioning of the last span poured was effected from the same section. The tensioning of the prebent bars gave rise to a lowering of the span cantilever and consequently to an increase in the negative moment at the contiguous pier, like the final moment during service owing to structure own weight.

CONSTRUCTION ASPECTS

The construction technology adopted was identified by keeping two definite objectives well in mind: speed of construction and esthetics.

To achieve these two objectives a fast form system had to be available, one that would permit the rapid placement of the reinforcements, and concretes of excellent quality and fast hardening were needed, in order to go ahead quickly with prestressing.

The first objective was met by the use of precast shells acting as throwaway forms that would work together with the final concrete section, by the preparation of appropriate restart reinforcing. These shells, whose "seagull-wing" shape defined the contour of the deck soffit, were plant precast. Their major dimension is the same as the deck width (7.8 m, curbing not included), and their smaller dimension is an average 2.4 m to facilitate their highway transport. Because of the viaducts' particular geometry (in plan: circular curves with clove-toed fairings, in elevation: grade profiles in

tangent having slopes of from 0% to 5%), design had to precisely identify each individual element. Considering furthermore that the deck section increased nearby the piers, during precasting resort was had to a series of metal forms of variable geometries that could assure a fast and punctual production of the shells, which were quite different the one from the other.

The precasting, carried out with extreme precision, enabled mounting of the various elements with great speed. Using a support structure prepared beforehand with a topmost planking, the mounting of the precastings for an entire span demanded, on the average, less than a day. A further speed-up was obtained in the laying of the prestressing bars, owing to the precasting of their tensioning heads. These heads were built of plates of reinforced concrete 10 cm thick, with metal thrust plates buried in the pour.

Another contribution to achieving the scheduled production of one span per week was the use of fast-hardening concrete. Owing to the varying temperatures during the production period (winter and spring), two different mix designs were worked up: one was useable at low temperatures (from 5°C down to -2° or -3°C), and the other at temperatures above 5°. Both concretes were designed to give an R_m at 24 hours of 10 MPa, at 4 days of 40 MPa, and at 5 days of 50 MPa, with superfluid workability (S5) during pour.

Contributing to the good esthetic result achieved was of course the precision precasting and the care taken in mounting the precastings, but also the filling of the joints between the several members with a single-component resin, and the painting of all r.c. parts. These operations gave the surfaces uniformity.

TESTS AND INSPECTIONS

Special care was devoted to the inspection of the deck concretes, with numerous short-term checks depending on the prestressing of the deck itself during the various construction phases.

To be brought out too is the monitoring of the goodness of the soil consolidations effected beneath the foundation footings. The jet-grouted columns, during the test campaign carried out before starting up the job, displayed, on the average, diameters of around 75 or 80 cm. The effectiveness of the consolidation was then checked afterward by a series of cross-hole microseismic tests ("shots"), which demonstrated the presence of an excellent consolidation of the soil beneath the footings, one suited as well to transferring to the surrounding soil the hor-





ni orizzontali sismiche provenienti dal plinto, di cui prima si è detto.

La prova di carico dell'impalcato, eseguita mediante autocarri, secondo la prassi classica, ha evidenziato un'alta omogeneità di comportamento delle varie parti della struttura con una deformabilità corrispondente a quella prevista per via teorica, evidenziando un'ottima rigidità dei calcestruzzi.

CONCLUSIONI

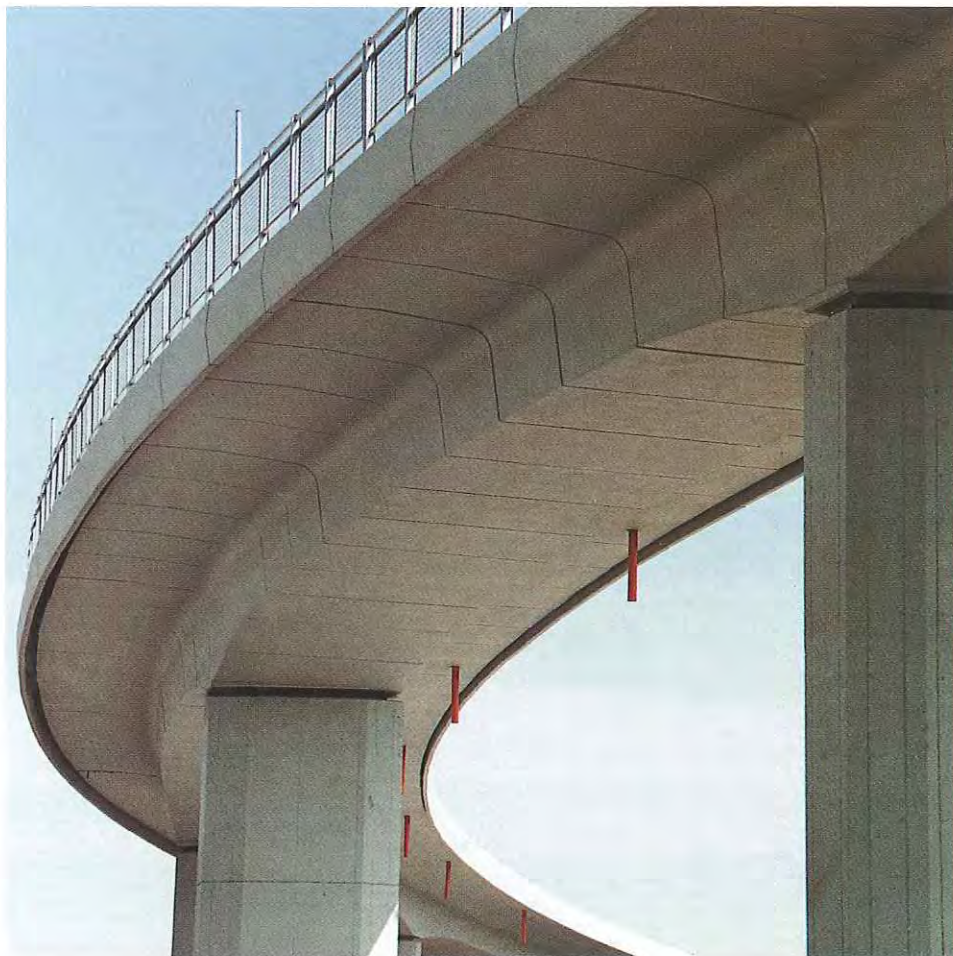
Nel guardare un'opera a posteriori, al

izzional seismic stresses conveyed by the footing, which were mentioned earlier.

The load test on the deck, carried out using trucks following the classical practice, brought out a high uniformity of behaviour of the various parts of the structure with a strain corresponding to that predicted theoretically, the concretes displaying an excellent stiffness.

CONCLUSIONS

In looking at a structure over afterward, at the end of the job, when the engineering, design



termine della sua esecuzione, quando gli aspetti tecnici progettuali e costruttivi passano in secondo piano, risaltano quelli relativi alla fruibilità e all'estetica. A questo «esame» finale i due viadotti presentati rispondono, a giudizio generale.

L'opera è stata realizzata in 12 mesi.

* * *

Stazione appaltante: ANAS, Pordenone, che ha curato altresì la Direzione Lavori.

Progetto costruttivo: Studio Alpe Progetti, Udine.

Impresa: I.CO.P. S.p.A., Udine.

and construction aspects fade into the background, the aspects in relief become the structure's useability and esthetics. It is the general view that the two viaducts "passed" this examination. They were built in twelve months.

* * *

Customer: ANAS (state highways authority) of Pordenone, (Italy), which also saw to supervision of construction.

Construction design: Alpe Progetti Offices, Udine, Italy.

General contractor: I.CO.P SpA Company, Udine.