

IL PONTE SUL FIUME CHIARSÒ
A DIERICO (PAULARO, UDINE)

PROGETTO/DESIGN
ALPE PROGETTI

PRESENTAZIONE/PRESENTATION
ING. FRANCESCO ALESSANDRINI

*THE BRIDGE OVER THE CHIARSÒ
RIVER AT DIERICO (PAULARO, UDINE)*

IL PONTE SUL FIUME CHIARSÒ
A DIERICO (PAULARO, UDINE)

PROGETTO/DESIGN:
ALPE PROGETTI

PRESENTAZIONE/PRESENTATION:
ING. FRANCESCO ALESSANDRINI

*THE BRIDGE OVER THE CHIARSÒ
RIVER AT DIERICO (PAULARO, UDINE)*

IL PONTE SUL FIUME CHIARSÒ A DIERICO (PAULARO, UDINE)

THE BRIDGE OVER THE CHIARSÒ RIVER AT DIERICO (PAULARO, UDINE)

PROGETTO/DESIGN:
ALPE PROGETTI

PRESENTAZIONE/PRESENTATION:
ING. FRANCESCO ALESSANDRINI

INTRODUZIONE

Nell'appalto concorso indetto nel 1987 dalla Regione Friuli-Venezia Giulia (Direzione Regionale della viabilità, dei trasporti e traffici, dei porti ed attività emporiali) per la «Progettazione generale esecutiva e realizzazione in concessione del collegamento stradale Dioor-Dierico, ponte sul Chiarsò Foos (comune di Paularo)», è stata inserita la costruzione di un ponte per l'attraversamento del torrente Chiarsò in una zona di particolare bellezza paesistica, in corrispondenza di una gola profonda, delimitata da pareti rocciose di notevole altezza.

Nell'affrontare il progetto, sono apparse subito chiare alcune esigenze prioritarie: inserimento di un manufatto di debole impatto visivo per non deturpare l'ingresso alla suggestiva conca di Paularo; concezione di una struttura esteticamente piacevole; esigenza di alta sicurezza strutturale ed esecutiva, vista l'alta sismicità e l'orografia particolarmente impervia della zona in cui si andava a lavorare.

Tenendo ben presenti tutti questi aspetti, si è elaborato il progetto, risultato poi vincente e successivamente eseguito.

LA STRUTTURA

La particolare situazione orografica imponeva il superamento della gola con una campata di luce pari almeno a 50-55 m, mentre il collegamento con la Strada Provinciale n. 40 soprastante, per evitare il posizionamento di rilevati di enormi dimensioni, suggeriva di affiancare una campata laterale di circa 35 m. Considerazioni estetiche hanno infine portato alla concezione di una struttura a tre luci, tutte diverse, di 36, 48 e 26 m, per una lunghezza complessiva di 110 m. Si è potuto ridurre la luce centrale grazie al posiziona-

INTRODUCTION

In the call for bids published in 1987 by the Friuli-Venezia Giulia region (Department of roadways, transport and traffic, ports and trade activities) involving the "general final design and construction under concession of the Dioor-Dierico highway connector, bridge over the Chiarsò at Foos (locality of Paularo)", the construction of a bridge to cross the Chiarsò creek was inserted. The area it would stand in is one of especial scenic beauty, the creek running at that point in a deep chasm between rock walls of considerable height.

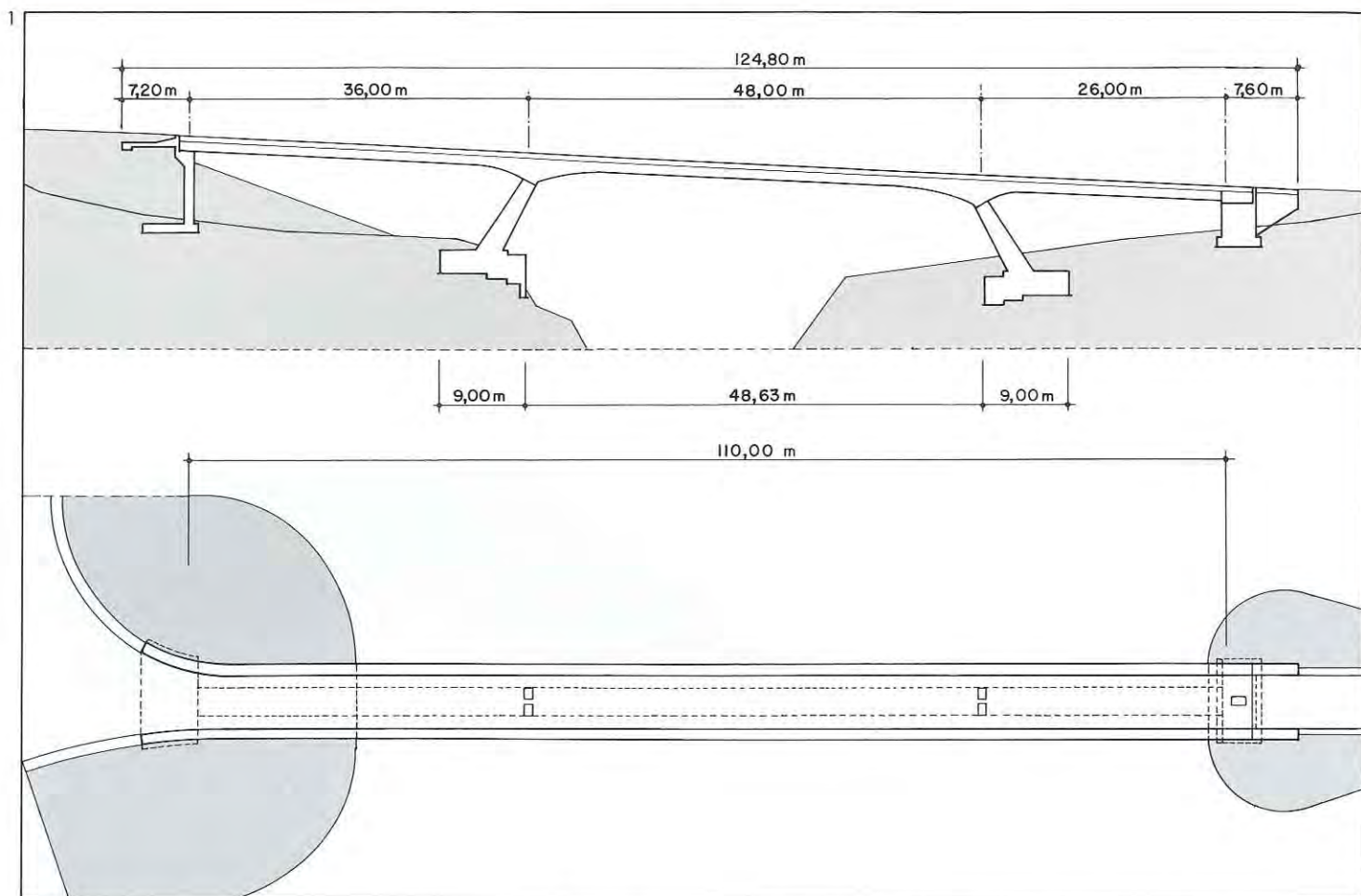
In tackling the design a number of top-priority requirements became at once clear: the structure had to be of low visual impact in order not to spoil the entrance into the evocative Paularo hollow; it had to be esthetically pleasing; and it had to be of great structural and construction safety, considering the high seismicity and the particularly rugged geography of the area in which its construction would go on.

With all these aspects kept well in mind, the design that we are going to describe was worked up, it being the design that won, and was afterward executed.

THE STRUCTURE

The special nature of the terrain demanded that the chasm be crossed on a single span at least 50 meters long, while to connect it with provincial road no. SP-40 above an approach span of around 35 m was best set beside it, in order to avoid laying embankment fill of enormous size. Esthetic considerations then led to the conception of a three-span structure, the spans of lengths 36 m, 48 m and 26 m, for a total length of 110 m. The center span was thus shortened, owing to the placement of two inclined piers, hinged both at their bases and at their tops. Owing to the special hinges they are outfit-





mento di due pile inclinate, incernierate sia alla base sia in sommità; esse, per i particolari snodi di cui sono dotate, rappresentano una delle maggiori particolarità del ponte.

La tipologia strutturale dell'impalcato è quella della piastra continua gettata in opera e precompressa a posteriori, tipologia che è stata sfruttata ai suoi limiti (oltre i 50 m, questo tipo di struttura diventa antieconomica e comporta tassi di sollecitazione eccessivi nei materiali). La particolare conformazione dell'impalcato in corrispondenza delle pile e l'inclinazione delle pile stesse hanno permesso di so-

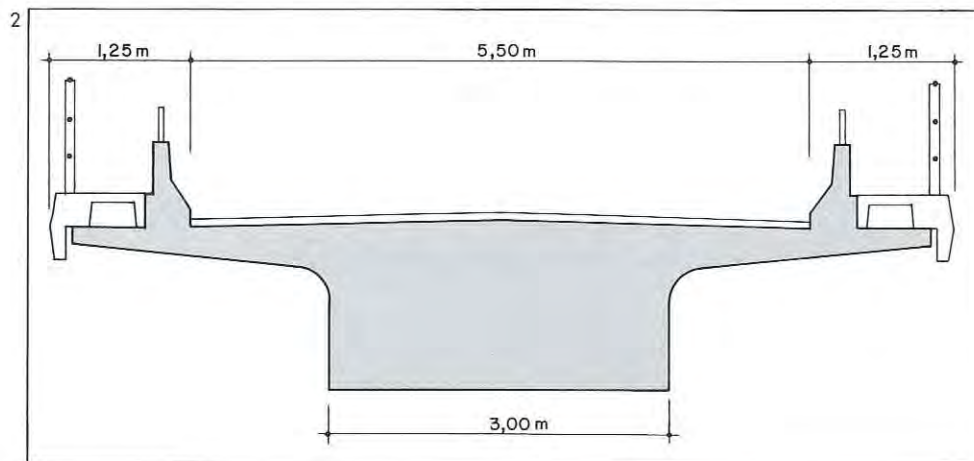
ted with, they form one of the bridge's major features.

The deck's structural typology is the continuous-plate, cast in situ and post-prestressed. This typology has been used to its limits here (beyond fifty meters this kind of structure becomes uneconomic and involves excessive stresses in the materials). The special conformation of the deck nearby the piers and the inclination of the piers themselves made it possible to superpose, on a three-span continuous plate calculation scheme, a partial archwise functioning of the center span, thus contributing, by a «form prestressing», to an improved bending-compression state of the center span.

The bridge cross section is 8.00 m wide, of which 5.5 m is roadway. The deck resisting section, 3.00 m wide, has a depth running from 1.50 m in midspan to 3.00 m at the piers.

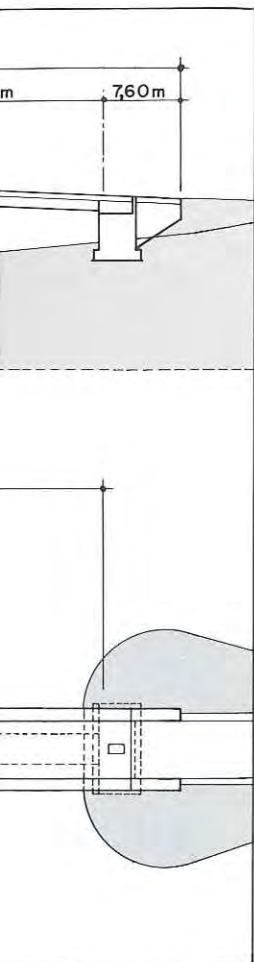
The piers are of rectangular section at their heads: 3.00 m x 1.50 m, and of I section at their bases, the core being 5.00 m x 3.00 m. They incline at about 30° and found on footings (9.00 m x 8.00 m, 2.50-3.00 m deep), with a subfoundation of 72 micropiles each, which are also inclined.

The abutments, of different height (4.5 m on the Dierico side and 8.00 m on the SP-40 side), display different dimensional and sta-



*** 1. Andamento planimetrico e profilo longitudinale del ponte. Per il superamento della profonda gola è stato necessario realizzare una campata centrale di 48 m. La struttura ha una lunghezza totale di 110 m; 2. Sezione trasversale dell'impalcato la cui armatura prevede anche un sistema di precompressione longitudinale.

*** 1. Bridge plan and grade profile. To cross the deep gorge a center span 48 meters long was needed. The structure is a total 110 m long; 2. Deck cross section whose reinforcing also calls for longitudinal prestressing.



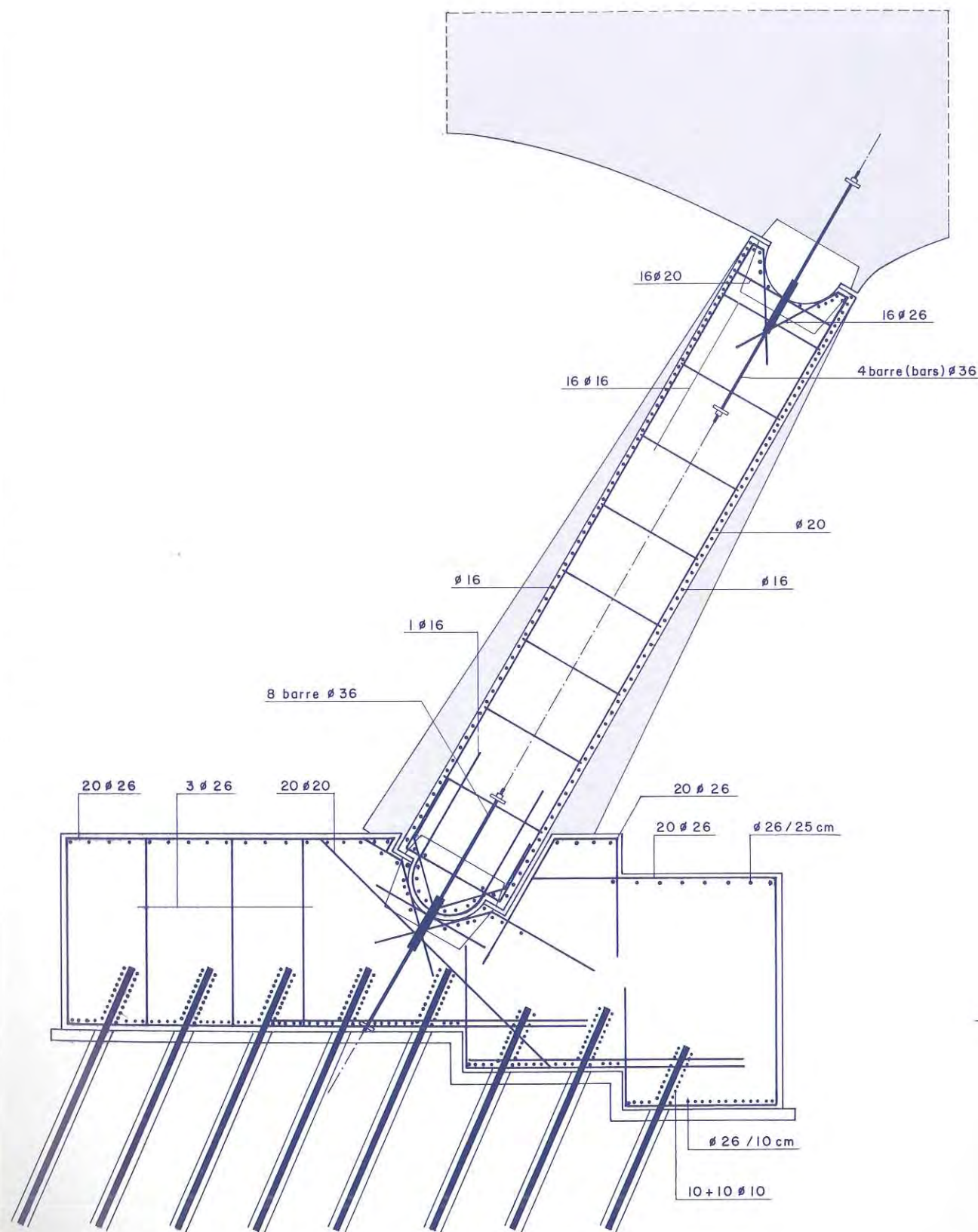
section is 8.00 m wide, of
away. The deck resisting
de, has a depth running
dspan to 3.00 m at the

f rectangular section at
x 1.50 m, and of I section
core being 5.00 m x 3.00
about 30° and found on
00 m, 2.50-3.00 m deep),
on of 72 micropiles each,
ned.

of different height (4.5 m
and 8.00 m on the SP-40
ent dimensional and sta-

metrico e profilo longitudinale del
della profonda gola è stato neces-
ata centrale di 48 m. La struttura
110 m; 2. Sezione trasversale di
prevede anche un sistema di pre-
e.

ade profile. To cross the deep gor-
is long was needed. The structure
eck cross section whose reinforc-
al prestressing.

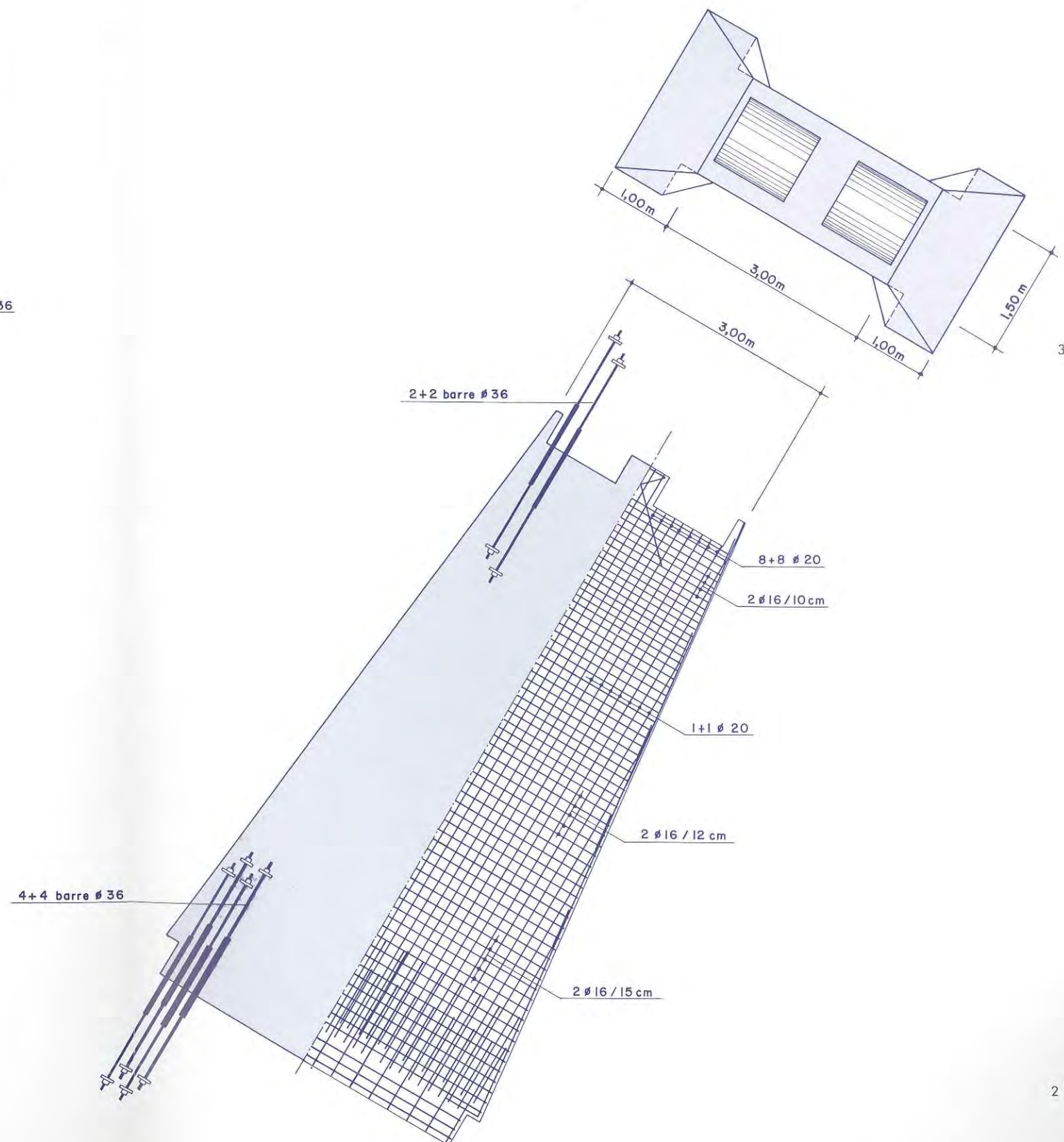


PILE

1. Sezione verticale del plinto di fondazione e della pila incerniera-
ta ai due estremi: armatura; 2. Prospetto frontale della pila: barre Dywi-
dag delle cerniere e armatura; 3. Sommità delle pila nella struttura di im-
palcato.

PIER

1. Vertical section of the footing and the pier hinged at the two ends:
reinforcing steel; 2. Pier front elevation: Dywidag hing bars and reinfor-
cing steel; 3. Pier head in the deck structure.

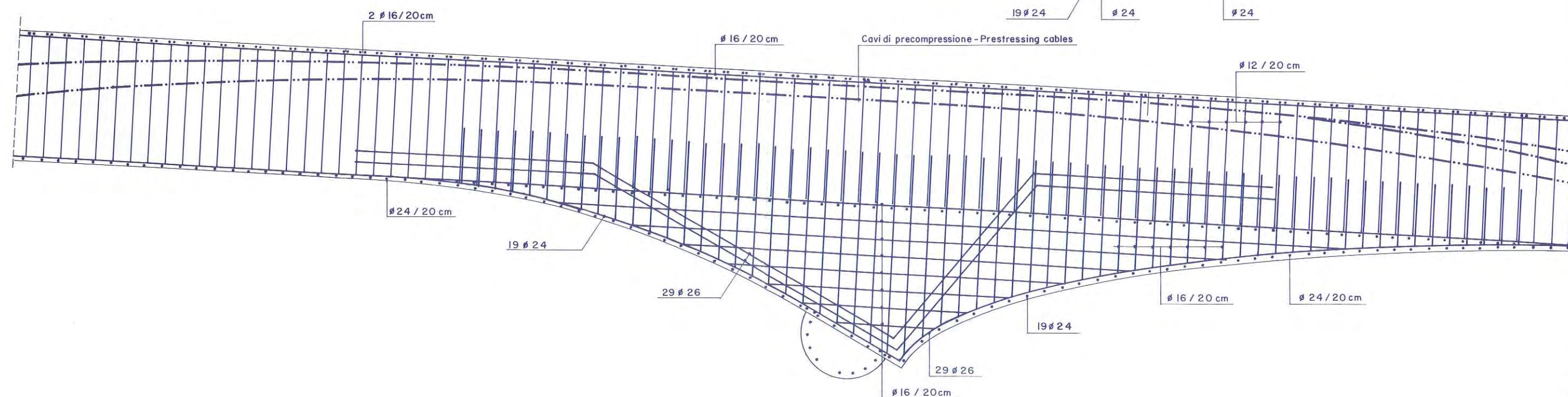
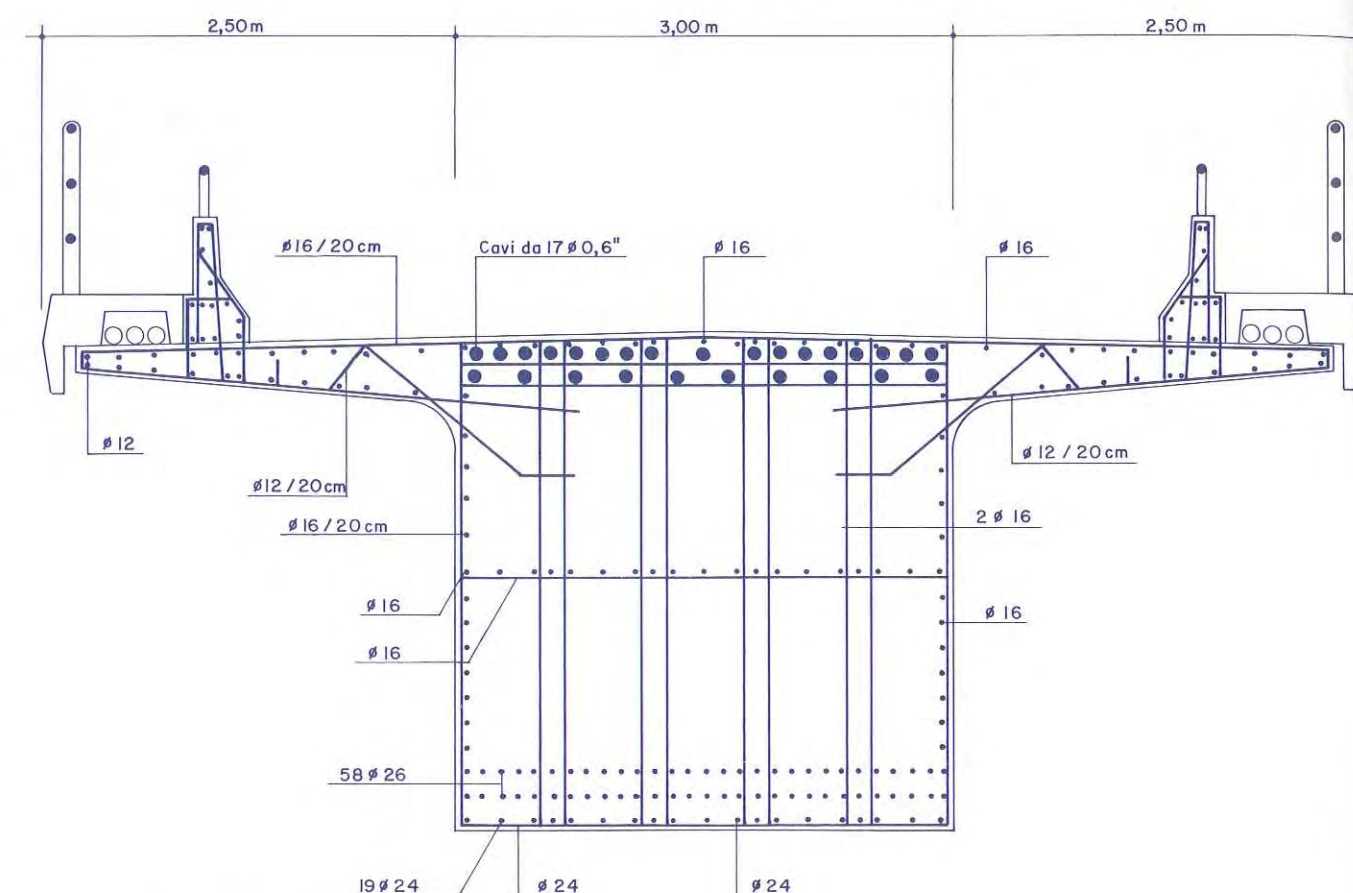
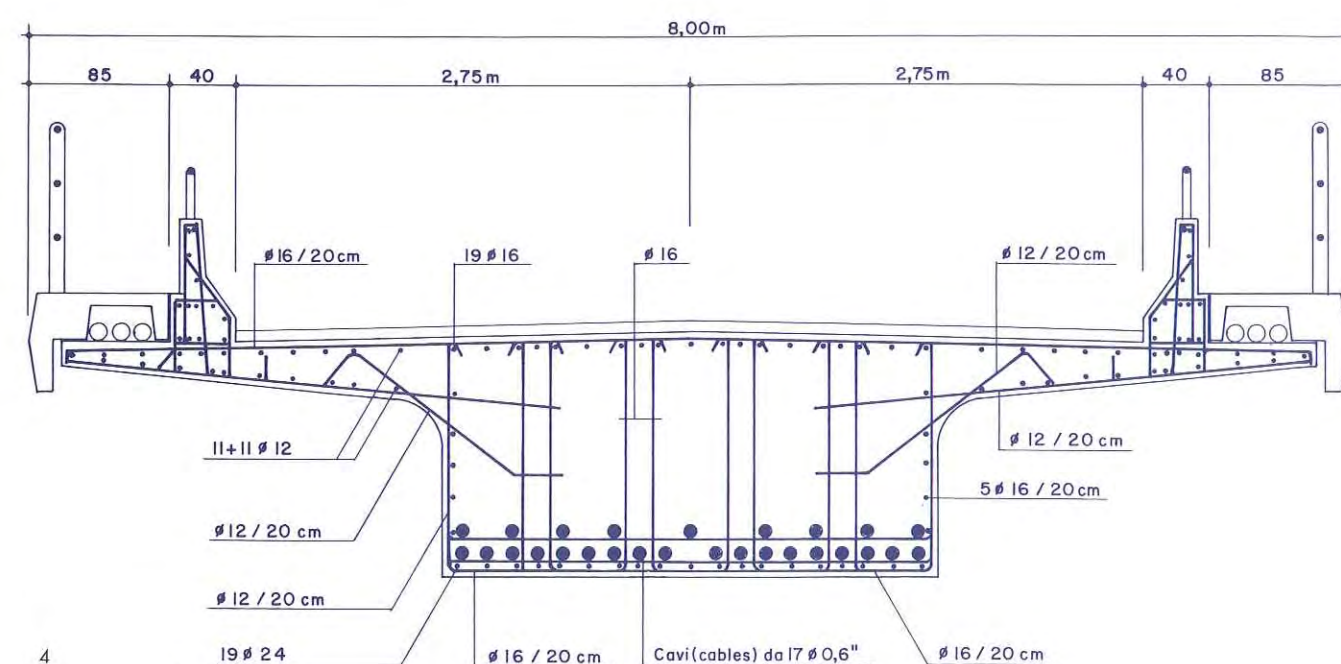


IMPALCATO

4. Sezione trasversale di impalcato in mezzera: armatura lenta e di precompressione; 5. Sezione trasversale di impalcato in asse alle pile: armatura; 6. Sezione longitudinale di impalcato in corrispondenza dell'appoggio sulla pila: armatura.

DECK

4. Deck cross section at midspan: slack reinforcement and prestressing steel; 5. Deck cross section at piers axis: reinforcing steel; 6. Deck longitudinal section at the pier support: reinforcing steel.



vrapporre, ad uno schema di calcolo a piastra continua su tre campate, un parziale funzionamento ad arco della campata centrale, contribuendo così, con una «precompressione di forma», ad un migliore stato pressoflessionale della campata centrale.

La sezione trasversale del ponte presenta una larghezza pari a 8,00 m, di cui 5,5 di sede viabile; la sezione resistente dell'impalcato, larga 3,00 m, presenta un'altezza variabile da 1,50 m in mezzzeria alle campate, a 3,00 m in corrispondenza delle pile.

Le pile presentano una sezione rettangolare in testa di 3,00 x 1,50 m e alla base una sezione a doppio T con nucleo di 5,00 x 3,00 m, hanno un'inclinazione di circa 30° e sono fondate su un plinto (9,00 x 8,00 m, alto 2,50-3,00 m) sottofondato da 72 micropali di cucitura inclinati.

Le spalle, di diversa altezza (4,5 m lato Dierico e 8,00 m lato S.P. 40) presentano caratteristiche dimensionali e statiche differenti. Alla spalla lato Dierico, massiccia e fondata su 60 micropali inclinati, viene affidato tutto il carico sismico longitudinale trasmesso dall'impalcato tramite un dente in c.a. che fuoriesce dall'impalcato stesso; la spalla lato S.P. 40 ha notevole altezza e spessori più modesti.

GLI ASPETTI ESTETICI E PAESAGGISTICI

Un primo aspetto riguarda l'inserimento altimetrico dell'opera (l'inserimento planimetrico era già stato deciso dall'ente appaltante). Si è cercato, al riguardo, di rendere la struttura poco visibile per limitare l'impatto col bellissimo contesto della valle del Chiarsò: per ottenere ciò si è abbassata la livelletta della strada quanto più possibile, nel rispetto dei vincoli «al contorno» quali, principalmente, il raccordo con la S.P. 40, alto rispetto alla quota dei piani che fiancheggiano la gola del Chiarsò.

Il risultato, che ha permesso di nascondere parzialmente la struttura tra le fronde degli abeti che la circondano e di non innalzare alti rilevati lato Dierico, si è concretato in un andamento longitudinale molto inclinato del ponte (5%).

Un secondo punto tocca l'aspetto estetico del ponte: si è scelta una struttura, la piastra precompressa, di spessore molto ridotto (1,50 m sulla luce di 48 m), dotata di sbalzi laterali di spessore variabile tra 0,40 e 0,15 m, che contribuiscono efficacemente all'alleggerimento visivo. La dimensione delle campate laterali è stata

scelta, oltre che per la situazione orografica contingente, anche per ottenere vuoti relativamente proporzionati tra le campate laterali e il terreno sottostante.

Particolare attenzione è stata poi dedicata alla forma della pila e al suo attacco con l'impalcato. La pila, che staticamente avrebbe potuto essere costituita, in vista laterale, da un rettangolo, è stata allargata alla base in modo da offrire una migliore proporzione formale e un'impressione di maggior solidità di appoggio. L'appoggio dell'impalcato sulle pile è stato invece disegnato, oltre che per i motivi statici che si esporranno in seguito, anche per interrompere la «monotonia» di una struttura di impalcato a spessore costante e per ricordare l'impalcato alle pile notevolmente inclinate con continuità visiva.

ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

La gola del Chiarsò, frutto di erosione millenaria, si insinua tra sponde rocciose costituite da alternanze di calcari e calcari marnoso-arenacei, più fratturati nella zona superficiale, integri e compatti nella zona profonda. Un terreno che, a prima vista, costituiva un'ottima base di appoggio per le spalle e le pile del ponte, ha rivelato invece, in fase di approfondimento delle indagini geognostiche, alti rischi potenziali. Si è infatti identificata, sulla sponda lato Dierico, una profonda frattura che separa un consistente nucleo di roccia spondale dall'ammasso roccioso più interno. Pur valutando «stabile» il nucleo, si è preferito spostare la fondazione della pila lato Dierico, inizialmente posizionata sopra di esso, arretrandola in un punto più sicuro, oltre la linea di frattura. Per il resto non si sono intravisti altri problemi geologico-geotecnici relativi al posizionamento del ponte; le fondazioni delle pile, spingenti, quasi come in un ponte ad arco, verso la roccia, garantivano già una loro intrinseca sicurezza, incrementata poi da interventi di cucitura mediante micropali della zona di scarico, superiormente fratturata.

Anche le spalle sono state fondate direttamente in roccia e, in particolare, la spalla lato Dierico, sottoposta a carichi sismici particolarmente elevati, è stata ancorata alla roccia sottostante mediante micropali in grado di resistere a elevate sollecitazioni di trazione e compressione.

ASPETTI STRUTTURALI

Come accennato, l'impalcato è costitui-

tics characteristics as well. The Dierico-side abutment, massive and founded on 60 inclined micropiles, is assigned all the longitudinal seismic loading transferred to it by the deck through an r.c. «tooth» that issues from the deck itself. The abutment on the SP-40 side is of considerable height and of more moderate thickness.

ESTHETIC AND SCENIC ASPECTS

A first aspect concerns the route in grade of the structure (its route in plan was already decided upon by customer).

It was sought, in this regard, to make the structure not very visible, to limit its impact on the beautiful context of the Chiarsò valley. To do this, the road grade profile was lowered as far as possible, in compliance with the boundary constraints, mainly the connection with SP-40, high relative to the elevation of the plain through which the Chiarsò chasm cuts.

The resulting grade profile, which made it possible to partly hide the structure between the foliage of the surrounding firs and to avoid rearing up high embankments on the Dierico side, took concrete form in a heavy longitudinal slope of the deck (5%).

A second item concerns the bridge's esthetics. A structure was chosen: the prestressed-concrete plate, of very low depth (1.50 m for a 48 m span) provided with side overhangs between 0.40 and 0.15 m deep, which effectively contribute to visually lightening it. And not just geography dictated the lengths of the approach spans, for they were also chosen to obtain relatively proportional voids between the approach spans and the underlying terrain.

Special attention too was devoted to the form of the pier and to its attachment to the deck. Statics-wise the side view of the pier could have been a rectangle, but it was enlarged at its base so as to give a better formal proportion and an impression of greater solidity of support. The support of the deck on the piers was instead designed, besides for the statics reasons that will be set forth below, also to interrupt the monotony of a constant-depth deck structure and to connect the deck to the considerably inclined piers with visual continuity.

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL ASPECTS

The Chiarsò chasm, the result of thousands of years of erosion, is insinuated between rock walls formed of alternating limestone and marly-arenaceous limestone



3. Preparazione dei piani di posa e delle fondazioni sui due lati della gola; 4. Particolare dell'armatura e del posizionamento della parte inferiore delle cerniere di base delle pile centrali; 5. Particolare dell'armatura del plinto e del rivestimento metallico delle cerniere di base delle pile centrali: la parte superiore del rivestimento sarà inglobata nel getto della pila; 6. Costruzione dell'appoggio centrale della centinatura di sostegno del getto della campata principale, il cui basamento è stato costruito sulla parete della gola; 7. Costruzione della centinatura principale per l'esecuzione del getto di impalcato; 8. Assemblaggio delle armature all'interno della cassera di una delle due pile inclinate; 9-10. Posizionamento degli alloggiamenti delle cerniere superiori delle pile contestuale al completamento della centinatura per l'impalcato.

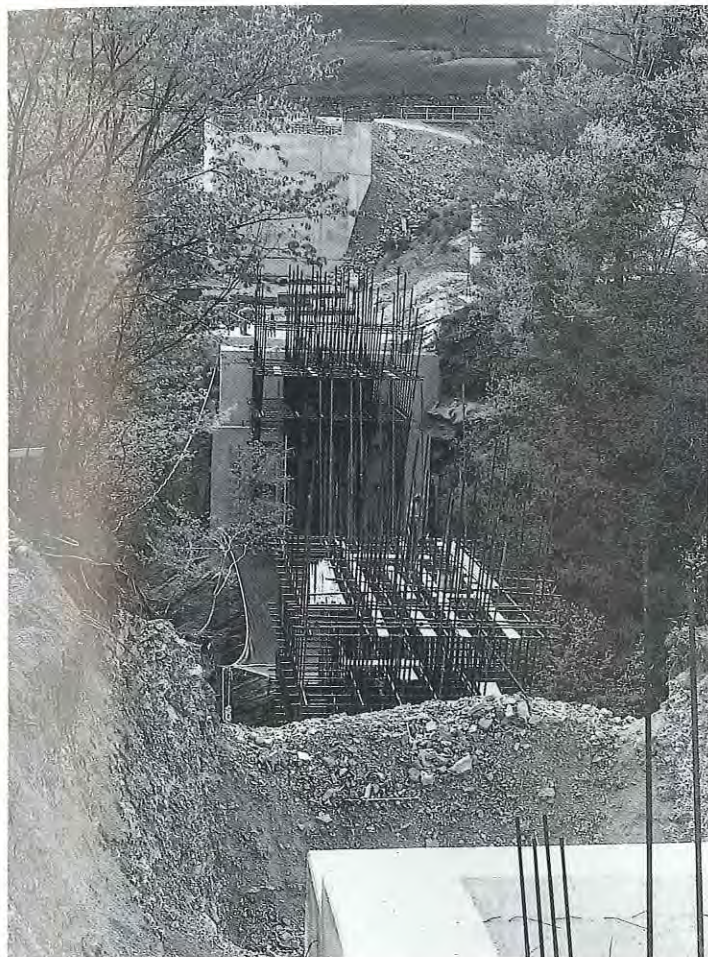


3. Preparing the substructures and the foundations on the two sides of the gorge; 4. Detail of the reinforcements of the positioning of the lower part of the center piers' base hinges; 5. Detail of the footing reinforcements and of the metal lining of the center piers' base hinges: the upper part of the lining would be incorporated in the pour of the pier; 6. Construction of the central support of the centering sustaining the pour of the main span, whose base was built on the gorge wall; 7. Construction of the main centering for the pour of the deck; 8. Assembly of the reinforcements inside the formwork of one of the two inclined piers; 9-10. Positioning the housings of the upper pier hinges at the same time as the completion of the centering for the deck pour.

to da una piastra continua su tre campate in cemento armato gettato in opera (quasi 700 m³ gettati in un'unica fase) e pre-compresso a posteriori.

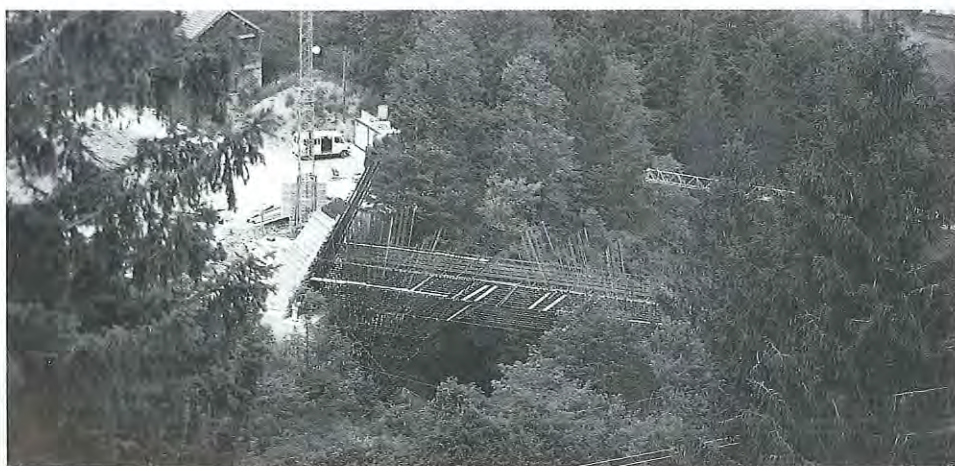
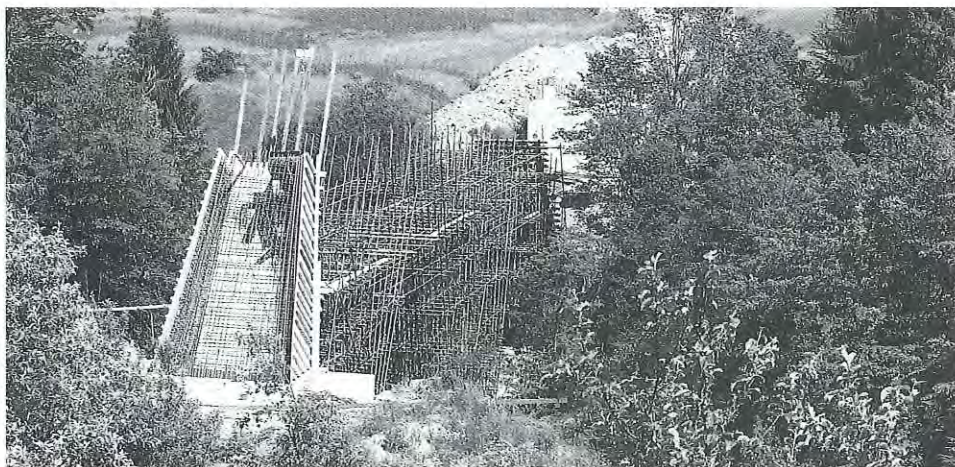
La sezione resistente, in calcestruzzo Rck 450 kg/cm² (circa 3,00 x 1,50 m, per la sezione corrente, portata a 3,00 x 3,00 in corrispondenza delle pile) è stata pre-compressa mediante 27 cavi da 12 trefoli da 0,6" di acciaio armonico ad alta resistenza e basso rilassamento; l'andamento dei cavi si presenta rettilineo in senso planimetrico e variabile altimetricamente in modo da potere, grazie alla precompressione operata da entrambe le spalle, raggiungere uno stato di coazione all'impalcato; essa genera, come risulta da verifiche di pressoflessione, taglio e torsione, tensioni ammissibili per i materiali utilizzati in tutte le sezioni dell'impalcato e per tutti i casi di carico.

Lo schema statico in base al quale si sono valutate le sollecitazioni è di tipo piano per i carichi di tipo statico e per quelli di tipo dinamico (sisma). Lo schema considera l'impalcato come una piastra continua appoggiata su un carrello (spalla lato S.P. 40), due bielle centrali (pile) e un appoggio fisso sull'altra spalla. Il calcolo, elaborato mediante programma ad elementi finiti, ha analizzato contemporaneamente



strata, which are more fractured on the surface, but sound and compact deeper down. A soil then that, at first glance, should form an excellent base for the bridge abutments and piers but that, on further geognostic investigation, revealed a great potential danger. In fact a deep fracture was identified on the Dierico-side bank that separates a sizeable core of rock on the bank from the innermost rock mass. Although this core was evaluated as "stable", design preferred to shift the Dierico-side pier foundations, at first positioned on this core, but now moved back to a safer point, beyond the fracture line. For the rest, no other geological or geotechnical problems regarding the bridge positioning were seen. The pier foundations, thrusting, almost as in an arch bridge, toward the rock, guaranteed by this their intrinsic safety, which was further augmented by consolidation operations: the placement of micropiles in the area where the loads are borne, which was fractured on the surface.

The abutments too are founded directly in the rock and the Dierico-side abutment in particular, subjected to especially high seismic loads, was anchored to the underlying rock by micropiles able to stand up to high tractional and compression stresses.



11



12





tutta la struttura (impalcato e pile), vista l'inscindibilità statica delle singole componenti e gli effetti indotti da una parte della struttura sull'altra: effetto arco dovuto alle pile inclinate nella parte centrale dell'impalcato, spostamento delle pile dovuto alla precompressione dell'impalcato, effetti combinati dovuti alla forte inclinazione del ponte, ecc.

Il calcolo dinamico è stato effettuato con le tecniche dell'analisi modale, facendo riferimento ad un modello agli elementi finiti, e studiando su di esso gli effetti dell'accelerazione del suolo. L'input sismico nel sistema è stato caratterizzato tramite lo spettro di risposta in termini di accelerazione (spettro della Normativa Sismica Italiana, zona ad elevato rischio sismico, S=12, coeff. di protezione sismica pari ad 1,4).

La struttura, a schematizzazione piana, è stata comunque analizzata spazialmente in modo da poter considerare contemporaneamente i modi naturali di vibrazione paralleli (sisma verticale e orizzontale) e ortogonali al piano del modello (sisma trasversale); per le masse strutturali si è tenuto conto, oltre a quelle relative ai pesi permanenti, anche di un'aliquota dei carichi accidentali sull'impalcato. Più simulazioni condotte con un numero variabile di

STRUCTURAL ASPECTS

As mentioned, the deck comprises a continuous in situ-cast prestressed (post-tensioning) concrete plate on three spans (almost 700 m³ cast in a single pour).

The resisting section, of Rck 450 kg/cm² concrete (3.00 m x 1.50 m for the typical section, brought up to 3.00 m x 3.00 m at the piers), was prestressed by 27 twelve 0.6" strand high-strength steel cables, using steel of low relaxation. The cable trajectories are straight-line planimetrically and vary in elevation in such fashion as to be able, owing to the prestressing carried out from both abutments, to provide the right force-pattern throughout the deck. It generates, as was found from compression-bending, torsion and shear-stress checks, allowable stresses for the materials used in all deck sections under all loading cases.

The statics scheme on the basis of which the stresses were evaluated is of the plane type for both the static loads and the dynamic loads (read "earthquake"). The scheme considers the deck as a continuous plate bearing on a truck (SP-40 side), two central connecting rods (the piers), and a fixed bearing on the other abutment. The calculation, carried out using a finite-elements program, analyzed the whole structure (deck and piers)

*** 11-12. Operazioni di getto dell'impalcato realizzato a piastra continua per una lunghezza totale di 110 m ed una larghezza di 8,00 m; 13. Collaudo della struttura con una prova di carico sulla campata centrale.

*** 11-12. Deck pour operations. The deck is a continuous plate having a total length of 110 m and width of 8.00 m.; 13. Proof testing the structure with a test load on the center span.

autovettori, hanno evidenziato che la risposta dinamica spaziale del sistema è descritta con buona approssimazione limitando lo studio ai primi 9 autovettori, comprendendo così 3 modi di vibrazione nel piano della struttura (verticali), 3 modi trasversali e 3 modi accoppiati di vibrazione longitudinale-verticale; così facendo si sono introdotti nel modello tutti gli effetti dell'azione sismica sulla struttura spaziale.

Gli appoggi delle spalle sono scorrevoli, unidirezionali, in acciaio-teflon sul lato S.P. 40 e multidirezionali sul lato opposto, con l'aggiunta di un «dente» di trasmissione del carico sismico longitudinale complessivo e trasversale parziale; per quanto riguarda invece le pile, la struttura di appoggio-connessione ad esse relativa viene descritta in modo più dettagliato come segue.

La schematizzazione a biella delle pile ha richiesto l'adozione di due «cerniere» in testa e base pila; non soddisfatti delle classiche «cerniere» reperibili nella comune prassi progettuale, si è studiato un dispositivo che, accanto al funzionamento a cerniera in senso longitudinale, garantisse anche, a causa dell'elevata sismicità, una sufficiente sicurezza contro innalzamenti verticali e un assorbimento dei carichi sismici trasversali (sia taglio sia momento). Si sono allora realizzate delle sporgenze semicilindriche di calcestruzzo nella zona di appoggio dell'impalcato sulla pila e della pila sul plinto, sporgenze accolte da alloggiamenti complementari, rispettivamente, in testa pila e plinto. I semicilindri, del diametro di 1,00 m, sono lunghi 1,10 m (2 elementi separati) nella zona di appoggio dell'impalcato, e 4,60 m (elemento unico) alla base della pila. Sia il semicilindro che il relativo alloggiamento sono stati rivestiti con lamierino metallico, ad alta resistenza all'usura, in modo da rendere più resistente la superficie in scorrimento relativo, superficie opportunamente ingrassata e perimetralmente protetta dall'ingresso di agenti esterni. Ai lati della cerniera, per garantire una sufficiente resistenza ai momenti trasversali o per eventuali sollevamenti in fase sismica, sono state posizionate delle barre di acciaio ad alta resistenza in grado di assumersi eventuali carichi di trazione: le barre, in senso longitudinale, possono assorbire, senza snervarsi, le rotazioni di progetto della cerniera mediante flessione della loro parte centrale, parte opportunamente protetta dalla corrosione e inserita in un bagno di malta plastica deformabile.

L'assorbimento del taglio trasversale av-

viene infine mediante contatto diretto tra le pareti laterali delle cerniere e le pareti (testa pila e plinto) laterali degli alloggiamenti dei semicilindri.

ASPETTI COSTRUTTIVI

L'aspetto costruttivo di maggiore importanza è stato, senza dubbio, quello riguardante la predisposizione della centinatura di sostegno della campata centrale e relative pile. Scartati, per motivi economici e di difficoltà di posizionamento, sostegni dei getti mediante carroponti o strutture sospese, si è optato per una modalità costruttiva «classica», quale la predisposizione, al di sotto della campata principale, di una centinatura a doppio arco costituita da tubi «Innocenti» e giunti. La struttura di sostegno ha richiesto la creazione di un appoggio temporaneo centrale, appoggio realizzato con un basamento in calcestruzzo sorretto da micropali e tiranti, edificato «in parete» da un gruppo di operai-alpinisti sul nucleo di roccia staccato dall'ammasso roccioso retrostante, di cui abbiamo già detto.

La centinatura, costituita da tubi e giunti (ben 24.000), ha permesso di sostenere, in una prima fase, il getto delle pile inclinate e, in seconda fase, le armature ed il getto dell'impalcato senza dar luogo ad apprezzabili assestamenti e/o cedimenti, per l'analisi dei quali si era predisposta una strumentazione di controllo in corrispondenza all'appoggio centrale della centina.

CONCLUSIONI

Ogni opera costruita dall'uomo, per quanto piccola o poco significativa, comporta un insieme di storie umane, non fosse altro per i problemi incontrati dai costruttori in fase di realizzazione; in questo caso si sono avute numerose interazioni con gli abitanti della zona, meravigliati o, talvolta, disturbati dalla nuova costruzione.

Merita ricordare i giudizi allarmistici di un ingegnere della zona, secondo il quale una struttura così esile non avrebbe potuto stare in piedi, o addirittura il sogno ricorrente di una contadina del luogo che presagiva grandi distruzioni, descrivendo con minuzia di particolari i tubi della centinatura e gli uomini che precipitavano nella gola sottostante o, ancora, il tono minaccioso («dirò tutto ai giornali!») di altra persona che, nei lavori di completamento presso le fondazioni dell'opera, vedeva chissà quali interventi «di soccorso» su un'opera che stava crollando.

at the same time, considering the inseparability staticwise of the individual components and the effect induced by one part of the structure on the other: the arch effect owing to the inclined piers in the central part of the deck, the shift of the piers due to the deck prestressing, and the combined effects due to the strong slope of the bridge, etc.

The dynamic calculations were made using the modal analysis technique, reference being made to a finite elements model, the effects of the soil acceleration on it being studied. The seismic input into the system was characterized by the response acceleration spectrum (spectrum of the Italian Seismic Code, high seismic risk zone with $S=12$, and with a seismic protection coefficient of 1.4).

Even though a plane scheme was used, the structure was anyway analyzed spatially so as to be able to consider at the same time the parallel natural modes of vibration (vertical and horizontal earthquake) and those orthogonal to the plane of the model (transverse earthquake). For the structural masses account was taken, besides of the permanent loads, also of a portion of the live loads on the deck. Several simulations carried out with a variable number of motor vehicles brought out that the system's dynamic spatial response system is described to good approximation by limiting the study of the first nine vehicles, thus including three modes of vibration in the plane of the structure (vertical), three transverse modes and three coupled modes of longitudinal-vertical vibration. Done this way all the effects of seismic action on the 3D structure were introduced into the model.

The bearings on the abutments are, on the SP-40 side, one-way sliding, of steel-teflon and multidirectional on the opposite side, with the addition of a "tooth" for transmitting the total longitudinal seismic load and part of the transverse load. Regarding the piers, the support-connection structure used with them will now be described in detail.

The pier schematization as a connecting rod demanded the adoption of two "hinges" at the pier head and foot. Dissatisfied by the classical hinges found in ordinary design practice, design worked out an expedient that, besides functioning as a hinge longitudinally, also guarantees, to handle the high seismicity, an adequate margin of safety against vertical shifts and the absorption of the transverse seismic loads (both shear and torque). Semicylindrical concrete protuberances were then created in the bridge-on-pier and pier-on-footing support areas, which protuberances are received by complementary lodgings in the pierhead and footing.

These semicylinders, 1.00 m in diameter, are 1.10 m long (two separate elements) in the deck bearing area, and 4.60 m long (sin-

gle element) at the pier base. Both the semicylinder and its lodging are clad with sheet metal, for high wear resistance, so as to make the surface more resistant under relative sliding. This surface is lubricated and protected on its perimeter against the entrance of foreign bodies. At the sides of the hinge, to guarantee adequate strength against crosswise moments or against any rising during seismic action, high-strength steel bars able to take any tractions were placed. These bars can absorb, longitudinally, without yielding, the design rotations of the hinge by bending in their center, which part is protected against corrosion and inserted in a bath of deformable plastic mortar.

The transverse shearing forces are absorbed by direct contact between the side walls of the hinges and the side walls (pierhead and footing) of the semicylinders' lodgings.

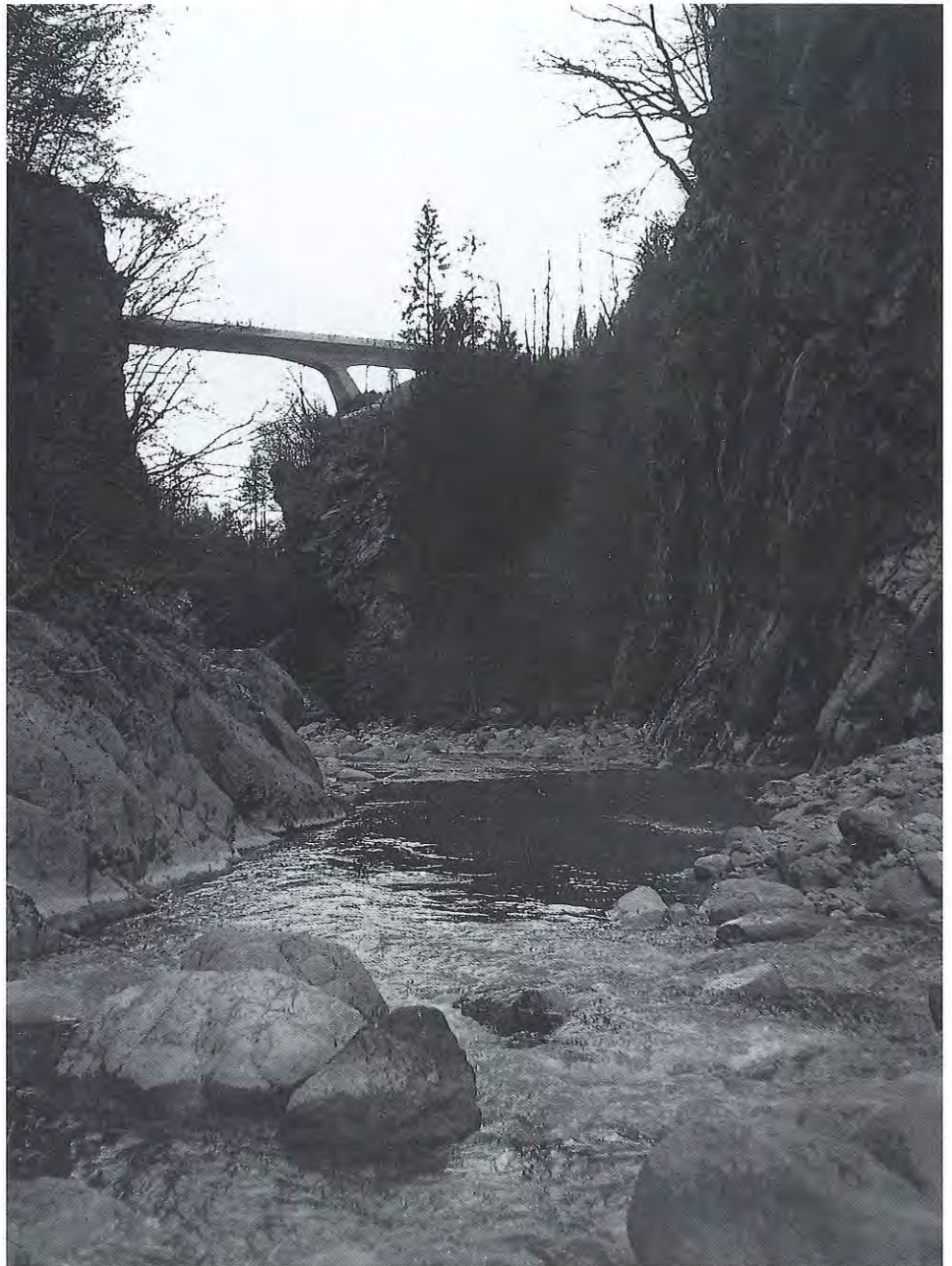
CONSTRUCTION ASPECTS

The construction aspect of greatest importance was certainly the preparation of the support centerings for the center span and its piers. Having discarded, for economic reasons and because of difficulty of placement, pour supports by means of bridge cranes or suspended structures, design opted for the classical construction procedure, i.e. the placement below the main span of a double-arch centering formed of Innocenti pipes and joints. This support structure demanded the construction of a temporary center support, created with a concrete base sustained by micropiles and tendons, built «on the wall» by a group of workmen-rockclimbers on the core of rock detached from the rock mass behind, already mentioned.

The centering, comprising pipes and joints (a good 24,000 of them) made it possible to support, during the first phase, the pour of the inclined piers and, in the second phase, the reinforcements and the pour of the deck without giving rise to any appreciable settlements or strains. To analyze them a monitoring instrumentation was set up at the centering's central bearing.

CONCLUSIONS

Every structure built by man, however small or insignificant it may be, involves a set of human "stories", if for no other reason than because of the problems encountered by the builders during its construction. In this case there were numerous interactions with the inhabitants of the area, wonderstruck – or at times, annoyed – by the new construction.







Le strutture ardite, da sempre, hanno sollecitato fantasie e paure popolari; in questo caso le abbiamo «esorcizzate» richiamandole qui e dimostrando come e perché la struttura sta in piedi.

* * *

Il progetto è stato redatto dallo studio Alpe Progetti (Ing. Francesco Alessandrini) di Udine; l'impresa costruttrice è la I.CO.P. S.p.A. di Udine; la stazione appaltante è la Regione Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale della viabilità e dei trasporti.

Worthwhile noting is the alarmist judgement expressed by an engineer of the area, who thought so slender a structure could not stay on its feet, or also the recurring dream of a farm wife of the place that presaged a disaster, she describing with minuteness of detail the collapse of the centering and the men falling into the chasm below, or again, the threatening tone ("I'll tell everything to the newspapers!") of another person who, during the completion work on the structure foundations, saw who-knows-what "emergency operations" being performed on a structure on the verge of collapse.

Daring structures have always excited folk fantasies and fears. In this case we have "exorcised" them by mentioning them here and by demonstrating how and why the structure remains standing.

* * *

The bridge design was by the Alpe Progetti engineering offices (Francesco Alessandrini, CE) of Udine. The contractor was I.CO.P. SpA of Udine; the customer was the Friuli-Venezia Giulia region, Regional Department of Roadways and Transport.