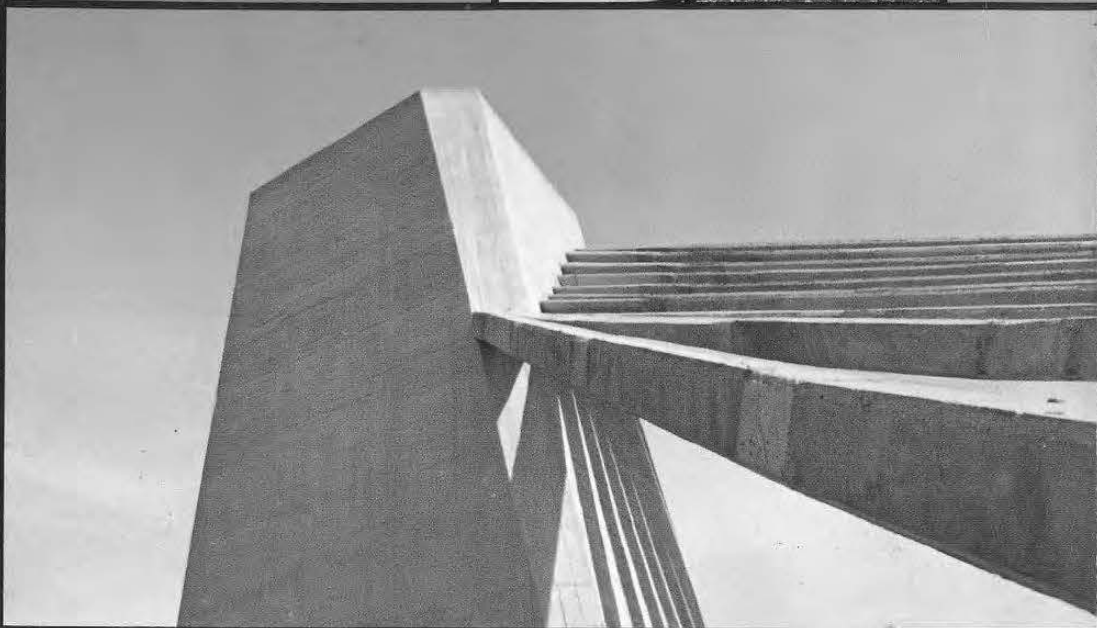




L'INDUSTRIA ITALIANA DEL CEMENTO

50 ANNI



fascicolo speciale dedicato al
PROGRESSO
DEL CEMENTO ARMATO
IN ITALIA"

Special issue devoted to
THE PROGRESS OF
CONCRETE IN ITALY"

CEMENTO - AMIANTO CEMENTO - CALCE E GESSO
ANNO L - OTTOBRE 1980

L'INDUSTRIA ITALIANA DEL
CEMENTO

10

PROF. ING.
RICCARDO MORANDI

ogni caso gli spetta: quello relativo alla sua qualità di grande Costruttore.

L'uso della maiuscola è d'obbligo, dal momento che la cronaca giornalistica ha inflazionato la qualifica di costruttore usandola sempre più spesso a sproposito, per personaggi che sarebbero piuttosto da chiamare appaltatori o forse uomini di « affari ».

A Nervi importava molto la differenza tra costruttore e appaltatore. Chi poi lo ha conosciuto lungamente sa bene che egli non era solo un grande costruttore, ma più semplicemente un grande uomo.

in any case, was due to him; that of his quality as a Great Constructor.

The use of capital letters is necessary, since newspaper reports have inflated the qualification of constructor using it more and more often for such persons who should more rightly be called contractors or, perhaps, « business men ».

For Nervi, the difference between constructor and contractor was a matter of great importance. But then, whoever knew Nervi for a long period knows well that he was not only a great constructor, but more simply a great man.

Fotografie/Photographs: Gherardi (5, 23, 26, 37); Savio (31, 35).

RIASSUNTO - Attraverso alcune delle più significative opere di P.L. Nervi, l'articolo esamina lo sviluppo della tecnologia del cemento armato negli ultimi 50 anni. Dallo Stadio Comunale di Firenze e dalle Aviorimesse per l'Aeronautica Militare, con struttura in calcestruzzo a faccia a vista, alle superfici rigate, agli elementi prefabbricati di copertura, romboidali, triangolari o a profilo sinusoidale, al ferrocemento impiegato nelle costruzioni navali ed all'uso del cemento armato precompresso fino alla perfetta tecnologia dei conglomerati di cemento bianco impiegati per le strutture dell'aula del Vaticano, numerose fotografie ed alcuni disegni sottolineano ed evidenziano come l'evolversi di tutta l'opera di Nervi è parallelo all'evolversi della tecnologia del calcestruzzo.

CONTENTS - Through some of the most significant works of P.L. Nervi, the article examines the expansion in the technology of reinforced concrete during the last fifty years. From the Municipal Sports Stadium in Florence and the exposed concrete structures of the Air Force hangars, to the fluted surfaces and the rhomboid, triangular or sinusoid profiles of the precast roof units, or the use of ferrocement in naval constructions, the prestressed concrete structures and the perfect use of cement technology in the white cement loadbearing structures of the great hall at the Vatican City, a number of photographs and drawings underline and point out how the evolution in Nervi's works runs parallel to the general technological evolution in concrete.

SOMMAIRE - L'article illustre par quelques-uns des ouvrages les plus remarquables de P.L. Nervi, l'évolution de la technologie du béton armé au long des dernières 50 années. Du Stade de Florence et des hangars pour l'Aéronautique Militaire avec structure en béton brut de décoffrage, aux surfaces rigées, aux éléments de couverture préfabriqués à plan rhomboïdale, triangulaire ou bien sinusoidal, au fer-ciment employé dans la construction des bateaux et à l'emploi du béton précontraint jusqu'à la parfaite technologie du béton de ciment blanc employé pour les structures de la salle des audiences au Vatican, une large documentation photographique et quelques dessins soulignent le parallèle entre l'évolution de la technologie du béton et l'évolution des projets de P.L. Nervi.

NHALT - Der Artikel untersucht den technischen Fortschritt des Stahlbetons in den letzten 50 Jahren, an Hand der bedeutendsten Werke von P.L. Nervi. Angefangen vom städtischen Stadium in Florenz und der Flugzeughalle für die militärische Luftschiffahrt, die eine Struktur aus Sichtbeton mit einer linierten Oberfläche haben, bis zu den hombischen, dreieckigen und sinusförmigen Profilen der Fertigteilelemente der Bedeckung, bis zum Ferrocement angewendet für Schiffkonstruktionen und vom Gebrauch von vorspanntem Beton bis zur perfekten Technologie der Konglomerate aus weissem Zement, die für das Tragwerk der Aula des Vatikans angewendet worden sind. Zahlreiche Fotos und einige Zeichnungen unterstreichen und heben die Evolution des ganzen Werkes von Nervi hervor, die gleichlaufend mit der Entfaltung der Technologie des Betons ist.

Ventitre anni fa, nella primavera del 1957, sotto l'assillo di dover inventare una inusitata applicazione del calcestruzzo, cioè un ponte con grandissime luci (almeno per allora), per cui non era conveniente ricorrere a strutture spingenti e non era conveniente nemmeno usare strutture metalliche data l'eccezionale aggressività dell'atmosfera, è nata la prima idea della struttura strallata omogeneizzata in calcestruzzo. Poiché da allora e per ventitre anni ho perseverato nell'intento di perfezionare sempre di più un'applicazione, che si è subito rivelata particolarmente adatta per contribuire alla conquista di luci sempre maggiori per opere in calcestruzzo armato, ritengo che sia interessante ripercorrere questo ormai lungo cammino, rileggendo criticamente le soluzioni adottate per i vari temi, spesso così diversi specialmente dal punto di vista ambientale.

Nel prosieguo, quindi, mostrerò e commenterò brevemente i più importanti ponti strallati in cemento armato da me progettati, dopo ovviamente qualche chiarimento sulle loro comuni caratteristiche tipologiche e dopo qualche definizione.

Concluderò infine col mostrare tre tipiche applicazioni dello stesso pensiero progettuale, ma per temi completamente diversi.

Il ponte strallato omogeneo in cemento armato

Si è convenuto di chiamare « ponte strallato » un sistema resistente a trave rettilinea vincolata su appoggi, in parte concettualmente rigidi (le spalle e le pile) ed in parte a comportamento notevolmente diverso dai precedenti e cioè caratterizzati dal valore della loro costante elastica comparabilmente molto minore, perché costituiti dai terminali di tiranti obliqui (gli stralli) passanti sulle estremità superiori di an-

Twenty-three years ago, in Spring 1957, under the compelling need to invent an unusual application of concrete, i.e. a bridge with extremely large spans (at least for the time), for which reason it was not convenient to adopt thrusting structures, nor even to use steel structures in view of the exceptionally aggressive nature of the atmosphere, the idea was first born of a homogenized concrete cable-stayed structure. As since then and for twenty-three years I have persevered in the intent of constantly perfecting an application which immediately proved especially suitable as a contribution towards achieving larger and larger spans for reinforced concrete works, I believe it is of interest to retrace this now lengthy path, critically rereading the solutions adopted for the various problems, often so very diverse especially from the environmental point of view.

Below, therefore, I will set out and briefly comment upon the main reinforced concrete cable-stayed bridges designed by me, naturally after some clarification of their common typological characteristics and a few definitions.

Lastly, I will conclude by describing three typical applications of the same design concept, but for completely different themes.

The reinforced concrete homogeneous cable-stayed bridge

It has been agreed to apply the term « cable-stayed » bridge to a resisting straight girder system on supports which are in part rigid in concept (the abutments and the piers) and in part considerably different in behaviour from the foregoing, i.e. characterized by the value of their comparatively far smaller elastic constant, being constituted by the ends of the oblique cables (stays) passing over the tops of vertical

tenne verticali poste in corrispondenza degli appoggi rigidi di cui sopra.

Un siffatto sistema resistente offre una serie di interessanti particolarità che lo rendono adatto alla realizzazione di ponti di grandi luci in cemento armato, essenzialmente per il fatto che la componente della reazione dei tiranti obliqui, passante per la superficie bari-centrale orizzontale della travata, equilibra per ogni disposizione di carico simmetrico rispetto al piano trasversale passante per l'asse della pila generica, determina uno sforzo di autopre-compressione (variabile al variare dei carichi aleatori sulla travata stessa) che produce una forte riduzione delle tensioni di trazione di essa, con conseguente risparmio di armatura metallica.

Non occorre quindi spendere molte altre parole per dimostrare il grande vantaggio di un sistema strallato, in cui anche la dissimmetria dei carichi aleatori trova trattamento certamente ben più agevole che non per il caso, ad esempio, del ponte sospeso.

Esaminando ora la figura 1, in cui è rappresentato un ponte strallato tipico, nasce spontanea la considerazione che, per il caso di luci notevoli, è da porre somma attenzione a che l'elasticità dei vincoli costituiti dai terminali dei tiranti sia al più possibile contenuta, allo scopo di indurre alla travata distorsioni, in corrispondenza dei vincoli rigidi, di entità compatibile con le caratteristiche elastiche di una travata in cemento armato. Questo, (nel caso più comune della continuità della travata stessa nel tratto compreso tra i terminali opposti del sistema dei tiranti), determina una fondamentale correlazione, da porre a base del progetto, tra le elasticità dei tiranti, il comportamento della travata e quello dell'antenna.

A questo proposito è ovvia la considerazione che l'ottenimento del massimo valore possibile della costante elastica del punto A della figura è uno dei principali scopi per una buona progettazione dell'opera e pertanto, ponendo in evidenza nella figura 2 la membratura «1» della detta figura 1, potrà considerarsi che, per K_1 riferentesi ai carichi permanenti e K_2 a quelli aleatori, è sempre possibile presumere $K_1 = \infty$, preinducendo nei tiranti di acciaio tensioni di trazione pari a quelle determinate dai pesi propri e dai carichi permanenti, a mezzo di una o più operazioni successive a seconda del metodo prescelto per la costruzione della travata.

Questo significa che il punto A non subirà traslazioni verticali e quindi, per i carichi permanenti, i terminali dei

towers positioned at the abovementioned rigid supports.

Such a resisting system offers a series of interesting features making it suitable for the construction of large-span reinforced concrete bridges, mainly due to the fact that the oblique stay reaction component, passing via the centroidal horizontal surface of the girder, balanced for every symmetrical load layout with respect to the transversal plane passing along the axis of the generic pier, determines a self-prestressing stress (variable with the variation in live loads on the girder) which produces a great reduction in the tensile stresses therein, with a consequent saving on steel reinforcement.

Hence it is not necessary to waste many more words to demonstrate the great advantage of a cable-stayed system, in which even the dissymmetry of the live loads can certainly be treated far more simply than is the case, for example, with the suspension bridge.

Examining now Figure 1, which shows a typical cable-stayed bridge, the thought immediately springs to mind that, in the case of considerable spans, the greatest care must be taken to see that the elasticity of the supports formed by the ends of the cable-stays is limited as far as possible, in order to induce distortions in the girder, at the rigid supports, compatible in entirety with the elastic characteristics of a reinforced concrete girder. This (in the commonest case of the continuation of the girder in the stretch between the opposite ends of the cable stayed system), determines a basic correlation — forming the basis of the design — between the elasticity of the cable stays, the behaviour of the girder and that of the tower.

In this connection it is obvious that obtaining the maximum possible value of the elastic constant of point A in the figure is one of the chief aims for the good design of the structure and therefore, evidencing in Figure 2 the member layout «1» in Figure 1, it can be considered that, for K_1 referring to the dead loads and K_2 to the live loads, it is always possible to presume K_1 equal to ∞ , preinducing tensile stresses in the steel cable stays equal to those produced by the permanent loads, by means of one or more successive operations according to the method chosen for construction of the deck girder.

This means that point A will not undergo vertical movements and therefore, for the permanent loads, the

tiranti si comporteranno come se fossero appoggi fissi. Restano ora i carichi aleatori.

Come è ben noto, può scriversi la seguente espressione:

$$K_2 = \frac{1}{f \left(\delta \sigma, l_1, l_2, \frac{l}{E I_1}, \frac{h}{E I_2} \right)}$$

da cui appare che, ferme restando tutte le caratteristiche progettuali ottimizzate, il massimo valore di K_2 dipende dal minimo valore di $\delta \sigma$ (incremento di tensione dell'acciaio dei tiranti per il passaggio dei carichi aleatori).

Sia ora:

$$\delta \sigma' = \delta \sigma \cdot \frac{\Omega}{A + m \Omega}$$

in cui intorno al tirante di sezione di acciaio Ω (sufficiente per sopportare i carichi permanenti in regime di sicurezza) si è posta una guaina di calcestruzzo di sezione A, posta in precompressione indotta di valore tale per cui non raggiungerà mai il valore zero per effetto dell'allungamento del tirante prodotto dal passaggio dei carichi aleatori.

In tal caso risulta che $\delta \sigma'$ è notevolmente minore di $\delta \sigma$, essendo « m » il ben noto coefficiente di omogeneizzazione.

Si consideri infine che la riduzione di $\delta \sigma$, e cioè la riduzione della tensione ondulante dell'acciaio, determina aumento del coefficiente di sicurezza a fatica, mentre l'eliminazione concettuale delle fessurazioni nel calcestruzzo delle guaine (esso non raggiunge mai, nei limiti di esercizio, tensioni di trazione) garantisce una efficace protezione dell'acciaio dagli agenti atmosferici.

I tiranti quindi, almeno nelle condizioni di esercizio, si comportano come delle lunghe e sottili travi di calcestruzzo, precomprese e sollecitate essenzialmente a decompressione al passaggio dei carichi; pertanto il sistema, con tutte le sue membrature, avrà un comportamento comparabile e potrà considerarsi omogeneo.

Questa è la ragione per cui si è ritenuto definire tali strutture « ponti strallati omogeneizzati ».

Ci si rende ben conto che l'omogeneizzazione dei tiranti rappresenta una operazione piuttosto delicata per la quale è risultato conveniente risolvere, come in effetti sono stati risolti, i problemi della prefabbricazione delle guaine di calcestruzzo, l'assecondamento della modifica della catenaria dei tiranti stessi sotto il peso delle dette guaine senza la produzione di loro distorsioni (a mezzo del montaggio ad elementi relativamente corti e in un pri-

ends of the cable stays will behave as though they were fixed supports.

We now come to the live loads. As is well known, the following expression may be written:

$$K_2 = \frac{1}{f \left(\delta \sigma, l_1, l_2, \frac{l}{E I_1}, \frac{h}{E I_2} \right)}$$

from which it appears that, without changing any of the optimized design characteristics, the maximum value of K_2 depends on the minimum value of $\delta \sigma$ (increase in stress in the steel of the stays through the passage of the live loads).

Now with:

$$\delta \sigma' = \delta \sigma \cdot \frac{\Omega}{A + m \Omega}$$

in which around the cable stay of steel section Ω (sufficient to support the dead loads safely) a concrete sheath of section A was placed, prestressed to such an extent that it will never reach a zero value through the effect of cable stay elongation produced by the passage of the live loads.

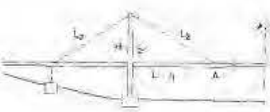
In this case it appears that $\delta \sigma'$ is considerably less than $\delta \sigma$, « m » being the well-known coefficient of homogenization.

Finally, it is considered that the reduction in $\delta \sigma$ — i.e. the reduction of the undulating stress in the steel — increases the coefficient of safety against fatigue, while the conceptual elimination of cracking in the concrete of the sheaths (under working conditions, the concrete never attains tensile stresses) guarantees effective protection of the steel against atmospheric agents.

Thus the cable stays, at least under working conditions, behave as long, slender beams, prestressed and stressed essentially for decompression at the passage of loads; hence the system, with all its parts, will have a comparable behaviour and may be considered homogeneous.

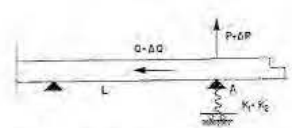
This is the reason why it was considered apt to define such structures as homogenized cable-stayed bridges.

We are well aware that homogenizing girders is a fairly delicate operation by means of which it is convenient to resolve — as in fact they have been resolved — the following problems: the precasting of the concrete sheaths; the seconding of the modification of the cable-stay catenary under the weight of said sheaths without the production of distortions in them (by means of the assembly of relatively short and initially independent ele-



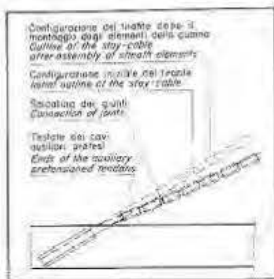
1 - Schema di un ponte strallato.

1 - Outline of a cable-stayed bridge.



2 - Vincoli ed azioni sulla membratura «1».

2 - Connections and action on member layout «1».



mo tempo indipendenti) ed infine la loro precompressione facendole slittare dal basso lungo i tiranti senza indurre distorsioni alla travata: il tutto secondo lo schema di figura 3.

L'operazione però è ben remunerata quando si consideri, si ripete, che l'acciaio dei tiranti risulta indefinitamente protetto entro una congrua sezione di calcestruzzo, che il campo di variazione della sua tensione per il passaggio dei carichi aleatori raggiunge solo qualche per cento e quindi non ha luogo alcuna preoccupazione per il suo comportamento a fatica e che infine l'intero sistema fruisce dei ben noti vantaggi dell'omogeneità in tutte le sue parti.

Ovviamente l'omogeneizzazione dei tiranti porta altresì a ridurre il numero, per evidenti ragioni di semplificazione dell'opera.

Ci si riferisce alla nota tendenza, invalsa in questi ultimi anni, di trattare il ponte strallato di calcestruzzo alla stregua di analoghe strutture di acciaio, in cui cioè la travata risulta sorretta da un notevole numero di stralli, che finiscono per determinare delle fitte arpe, ovviamente di ben difficile omogeneizzazione e di aspetto e comportamento piuttosto diversi rispetto a quelle applicazioni in cui il numero degli stralli è modesto ed omogeneizzato.

A questo punto si ritiene utile proporre il confronto tra due ponti, delle medesime caratteristiche generali ma risolti nelle due differenti maniere e cioè uno con pochi tiranti omogeneizzati e l'altro con molti tiranti semplicemente protetti senza precompressione.

Si prendono in considerazione due ponti, ambedue di luci 150,00 - 300,00 - 150,00 metri, della larghezza di 18,00 m, per sovraccarichi italiani di prima categoria, degli schemi statici indicati nella figura 4 e precisamente: uno, il tipo A, con sette stralli di acciaio armonico protetti da guaine di plastica e

ments); and the prestressing thereof, making them slide from below along the stays without causing distortions to the girder; the whole according to the scheme in Figure 3.

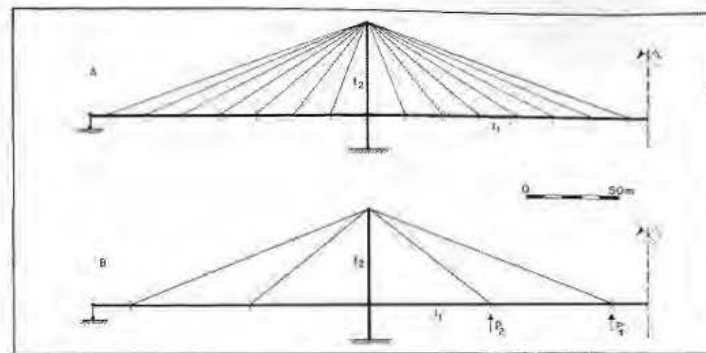
However the operation is well worthwhile when it is considered, to state it once again, that the steel of the cable stays is completely protected inside an adequate concrete section; that the range of variation of its tensile stress due to the passage of live loads only reaches a few percent and therefore there is no worry about its behaviour under fatigue, and finally that the whole system benefits from the well-known advantages of homogeneity in every part.

Naturally, homogenizing the cable stays means also reducing their number, for obvious reasons of simplification of the structure.

Reference is made to the trend occurring over the last few years towards treating the cable-stayed bridge in the same way as analogous steel structures, i.e. in which the girder is supported by a considerable number of stays, which end up causing tight «harps», obviously very hard to homogenize and having a rather different aspect and behaviour from those in which the number of stays is modest and homogenized.

At this point it is thought useful to propose a comparison between two bridges, possessing the same general characteristics but resolved in two different ways, i.e. one with just a few homogenized stays and the other with many simply protected stays with no prestressing.

Two bridges are considered, both with spans of 150,00 - 300,00 - 150,00 metres, width of 18,00 metres, for first category Italian live loads, and static schemes as shown in Figure 4, viz.: the one, type A, with seven stays of high tensile steel protected by plastic and bituminous material sheaths, and



3 - Operazione di omogeneizzazione dei tiranti; 4 - Due tipi di ponte strallato.

3 - Homogenization operation on the cables; 4 - Two types of cable-stayed bridges.

di materiale bituminoso, e l'altro, il tipo B, con due stralli di acciaio armonico protetti da guaine di calcestruzzo precompresso e quindi omogeneizzati.

Si fanno seguire ora gli elementi fondamentali, ricavati dalle opportune calcoli che in questa sede non si riportano, che permetteranno di operare un confronto efficace tra le due soluzioni:

1) Quantità di acciaio «armonico» per i tiranti:

Avendo considerato che per il tipo A l'ampiezza del campo di variazione della tensione minima, per effetto dei carichi aleatori, raggiunge il 25%, mentre per il tipo B raggiunge il 6%, allo scopo di ottenere un congruo margine di sicurezza alla sollecitazione di fatica per i tiranti del ponte di tipo A, si è disposto che questi ultimi fossero sollecitati ad una tensione minima inferiore del 23% rispetto a quella adottata per i tiranti del ponte di tipo B. Pertanto si ha (per la campata centrale):

Tipo A: acciaio per tiranti 310 tonn.

Tipo B: acciaio per tiranti 330 tonn.

2) Quantità di calcestruzzo per l'impalcato.

Tipo A: 3400 m³.

Tipo B: 4000 m³.

3) Quantità di acciaio armonico per i cavi longitudinali dell'impalcato e dei traversi.

Tipo A: 70 tonn.

Tipo B: 60 tonn.

4) Aumento percentuale del carico sulle fondazioni del ponte di tipo B rispetto a quello di tipo A: 5%.

Dall'esame dei risultati di cui sopra può rilevarsi quanto segue:

Il ponte di tipo B, rispetto a quello di tipo A, comporta essenzialmente una maggiore quantità di calcestruzzo che, rapportata a quella globale necessaria

the other, type B, with two stays of high tensile steel protected by prestressed and therefore homogenized concrete sheaths.

The basic elements are the following, obtained by calculations carried out but not reported here, enabling an effective comparison to be made between the two structural solutions.

1) Quantity of high tensile steel for stays.

Having considered that for type A the amplitude of the range of variation of the minimum stress, through the effect of the live loads, reaches 25%, whereas for type B it reaches 6%, in order to obtain a reasonable margin of safety against fatigue stress for the stays of the type A bridge, it was decided to stress the latter to a minimum tension 23% less than that adopted for the type B bridge stays. Therefore for the central span we have:

Tipo A: 310 tonnes of steel for cable-stays.

Tipo B: 330 tonnes of steel for cable-stays.

2) Quantity of concrete for decks:

Tipo A: 3400 m³.

Tipo B: 4000 m³.

3) Quantity of high tensile steel for longitudinal cables of deck and of cross members:

Tipo A: 70 tonnes.

Tipo B: 60 tonnes.

4) Percentage increase in load on foundations of type B bridge compared with that of type A: 5%.

An examination of the above results shows that:

As compared with the type A bridge, the type B structure involves essentially a greater quantity of concrete which, compared with the overall quantity necessary

5-6 - Il ponte sulla laguna di Maracaibo di 3678 m di lunghezza totale, con cinque campate centrali di 235 m di luce ognuna; 7-8 - Il progetto del ponte di Göteborg in Svezia, con una campata centrale di 400 m di luce.

5-6 - The bridge over the Maracaibo lagoon, 3678 m long with five central spans each 235 m long; 7-8 - The project of the Göteborg Bridge, Sweden, with a 400 m long central span.

per la costruzione dell'intera opera, rappresenta un aumento del 7% circa. Tale maggiore onere per il ponte omogeneizzato va posto a confronto con i seguenti vantaggi:

— nei limiti dei sovraccarichi massimi di esercizio è da escludere per i tiranti il prodursi di fessurazioni nelle guaine di protezione di calcestruzzo con conseguente, come già detto, protezione assoluta nel tempo dell'acciaio; tanto più che i tiranti nel loro insieme presentano una superficie esposta agli agenti atmosferici pari ad 1/4 circa di quella dell'altra soluzione.

— La maggiore rigidità del complesso finisce per determinare un migliore comportamento alle azioni verticali ritmiche ripetute ed in genere una migliore stabilità agli impulsi dinamici.

— Una espressività architettonica più omogenea e quindi più equilibrata.

Tutto con un aumento di costo di un due o tre per cento.

Esempi di ponti strallati diversamente elaborati in rapporto all'ambiente

Come ho già accennato, il tema del ponte strallato ha rappresentato l'impegno di una buona aliquota della mia attività per questi ultimi ventitre anni, nei quali ho avuto occasione di elaborare in diverse maniere la stessa materia, alla ricerca di un rigore formale sempre maggiore e sempre sotto l'influenza dell'ambiente entro cui le varie opere dovevano risultare inserite. Scelgo, quale esemplificazione di questa così lunga ricerca, undici ponti che rappresentano altrettante elaborazioni obbligate da differenze ambientali.

necessary for the construction of the whole work, is tantamount to an increase of approximately 7%. This greater burden for the homogenized bridge must be weighed against the following advantages:

— within the limits of the maximum working live loads, the occurrence of cracks in the concrete protective sheaths of the stays is to be excluded, with — as already stated — the consequent absolute protection over time of the steel; all the more so as the stays as a whole have an area exposed to weathering agents equal to about one-quarter of that in the other solution.

— The greater rigidity of the system determines a better behaviour vis-à-vis the repeated rhythmical vertical actions and in general greater stability in the face of dynamic impulses.

— A more homogeneous and therefore more balanced architectural expressiveness.

The whole with a cost increase of 2 or 3 percent.

Examples of cable-stayed bridges approached differently with respect to the environment

As I have already mentioned, the subject of cable-stayed bridges has accounted for a good part of my activity over the last twenty-three years, during which I have worked out the same material in a different manner, seeking greater and greater formal rigour under the influence of the environment in which the various works have had to be inserted. To exemplify this lengthy research, I have chosen eleven bridges representing a like number of approaches made necessary by environmental differences.



PONTE SULLA LAGUNA DI MARACAIBO (VENEZUELA)

BRIDGE OVER THE MARACAIBO LAGOON (VENEZUELA)

Si tratta di un lunghissimo ponte (circa nove chilometri) con al centro cinque luci, ciascuna dell'ampiezza di 235 m, che collega la città di Maracaibo al resto della Repubblica Venezuelana.

This is an extremely long bridge (about nine kilometres) with five spans in the centre, each one measuring 235 m, linking the city of Maracaibo with the rest of the Republic of Venezuela.

Il ponte è su una immensa laguna, in pieno paesaggio tropicale, e gli alberi di una nuova soluzione tecnica ed il concomitante periodo di ricerche formali piuttosto elaborate hanno creato un prodotto certamente interessante, ma forse un po' troppo complicato, a cui sono stati dedicati molti anni successivi per giungere, come verrà mostrato, ad una semplificazione, sia tecnica che formale, per la risoluzione dello stesso tema.

The bridge runs across an immense lagoon, in the middle of the tropics, and the beginnings of a new technical solution and the concomitant period of fairly elaborate formal research created a product that is assuredly interesting, but perhaps a little too complicated; and to this many consecutive years were devoted, reaching, as will be shown, a technical and formal simplification for the resolution of the same theme.

L'opera è talmente nota che non mette conto di scendere in maggiori dettagli descrittivi.

The work is so well known that it is not worth here going into greater descriptive detail.

PONTE DI GOTEBORG (SVEZIA)

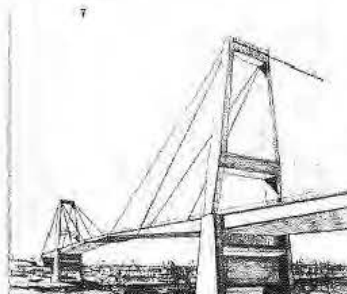
BRIDGE IN GOTTEMBERG (SWEDEN)

Si tratta di un progetto, peraltro elaborato fino ad una fase avanzata, redatto nel 1963, con una luce centrale di 400 m e con una impostazione decisamente molto più lineare, evidentemente influenzata dall'ambiente circostante così nordico, ed in cui si trova espressa l'organizzazione statica propria di due soli sistemi, ciascuno con una pila ed una spalla.

This is a design, taken moreover to an advanced phase, drawn up in 1963, with a central span of 400 m and with a decidedly far more linear approach, clearly influenced by the very Nordic surroundings, and in which the static organization of just two systems, each one with a pier and an abutment, is expressed.

Alla pila restano affidate le azioni orizzontali squilibrate ed alla spalla quelle verticali equilibranti le azioni dei sovraccarichi dissimmetrici rispetto al piano trasversale passante per la pila.

The pier caters for the unbalanced horizontal actions, and the abutment for the vertical actions balancing the actions of the overloads, dissymmetrical with respect to the transversal plane passing via the pier.





PONTE SULLA SCHELDA AD ANVERSA

Questo progetto, vincitore nel 1963 del concorso internazionale bandito dalla Municipalità, con una luce centrale di 320 m, non è stato eseguito per una divergenza di vedute tra la detta Municipalità e l'Ente del ponte che ha preteso la costruzione, molto più costosa, di un tunnel sotto la Schelda.

Il progetto, che evidentemente ormai tiene conto dei risultati ottenuti dall'esperienza precedente, trae una forte caratterizzazione dalla soluzione delle scale mobili che, dimensionate per pedoni, cicli e motocicli, permettono lo smaltimento dell'importante traffico pedonale tra i quartieri della città che si affacciano sulle due sponde del fiume.

Le due scale mobili rappresentano un prolungamento fino a terra delle fughe dei tiranti che sorreggono il ponte, con un risultato globale compositivo che fu giudicato molto interessante.

VIADOTTO SUL POLCEVERA A GENOVA

Il viadotto sul Polcevera determina il legame, in una zona fittamente edificata e popolata, tra due delle più importanti autostrade italiane: la Genova-Frontiera francese e la Genova-Valle del Po.

Attraversa strade, parchi ferroviari, costruzioni, nonché un fiume, senza soluzioni di continuità, per una lunghezza di circa 1300 metri ed un'altezza, sul fondo valle, mediamente di 60,00 m.

Alla sua estremità verso Sud si sfiora con una serie di raccordi a più livelli e determina nel suo insieme uno dei sistemi viarii italiani più complessi.

Attraversa due parchi ferroviari ed il fiume con tre luci libere di ampiezza variabile, la massima delle quali è di

BRIDGE OVER THE SCHELDT IN ANTWERP

This design, winning the 1963 international competition put up by the Municipality, with a central span of 320 m, was not executed because of a difference of views between said Municipality and the Bridge Agency, which opted for the far more costly construction of a tunnel under the Scheldt.

The design, naturally allowing for the results obtained by previous experience, is strongly characterized by its moving staircases solution. These staircases are dimensioned for pedestrians, cycles and motorcycles, and enable the considerable foot traffic between the city areas facing the two river banks to be accommodated.

The two moving staircases represent an extension, up to the land, of the series of cable stays that support the bridge, producing an overall composition adjudged to be a very interesting result.

VIADUCT OVER THE POLCEVERA, GENOA (ITALY)

The Polcevera viaduct provides the link, in a densely built-up and populated area, between two of the major Italian motorways: the Genoa-French Frontier link and the Genoa-Po Valley Motorway.

The viaduct crosses roads, railway yards, buildings and a river, without any discontinuity, for a length of about 1300 metres and an average height over the valley bottom of 60,00 m.

At its southern end it splits into a series of multilevel links which taken together form one of the most complex Italian systems.

It crosses two railway yards and the river with three clear spans varying in length from a maximum of 210,00 m;



11-12-13 - Il viadotto sul Polcevera, con una lunghezza di circa 1300 m ed una altezza di 60 m dal fondo valle, attraversa senza soluzione di continuità, strade, ferrovie, edifici ed il fiume omonimo.

11-12-13 - The Polcevera viaduct, nearly 1300 m long and rising 60 m from the valley bottom, crosses over roads, railways, buildings and the Polcevera River.

14 - Il viadotto dell'ansa della Magliana, con una travata di 147 m di luce, sorregge il superamento di una vasta zona franosa: 15 - Dettaglio del terminale dei tiranti omogeneizzati.

14 - The viaduct over the Magliana loop of the Tiber, crosses over an area liable to landslide, with a 147 m span; 15 - Detail of the end of one of the homogenized stay-cables.

210,00 m, con una larghezza totale della sede stradale di 24,00 m.

Questa opera, le cui particolarità tecniche possono considerarsi ancora oggi insuperate, ha presentato difficoltà di esecuzione molto forti, dipendenti soprattutto dalla necessità di essere inserita entro un contesto così fitto di insediamenti preesistenti.

L'ambiente urbanizzato non è molto qualificato: si tratta di una edificazione di periferia modesta per di più intercalata da insediamenti industriali ormai obsoleti e di modeste dimensioni, il tutto a perdita d'occhio.

Oggi su tutto questo domina, con

the total width of the road is 24,00 metres.

This structure, whose technical features may still today be considered unsurpassed, presented very great difficulties of execution, due above all to the need to be inserted in a very dense context of preexisting buildings and so forth.

The urbanized environment is not very highly qualified: it consists of modest outskirts housing with pockets of now obsolete industrial areas of modest size, stretching away as far as the eye can reach.

Today all this is dominated, with a

PONTE SULLA ROMA-FIUMICINO ALL'ANSA DEL TEVERE DELLA MAGLIANA

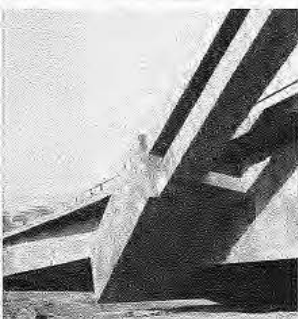
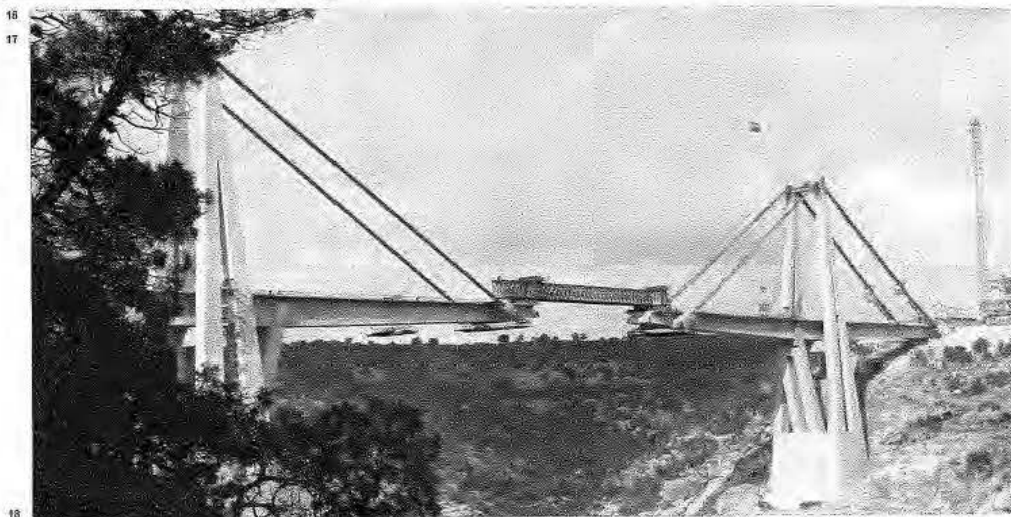
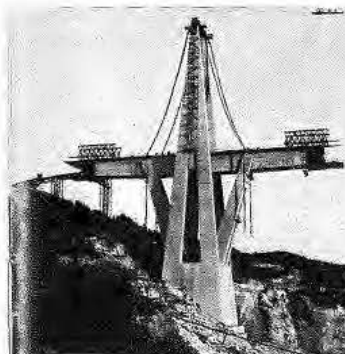
ROME-FIUMICINO HIGHWAY BRIDGE OVER THE MAGLIANA LOOP

L'opera, che comprende una travata della luce di 147 m, è stata costruita per superare una zona franosa costituita da un conoide di ghiaia in movimento verso l'adiacente fiume Tevere.

La particolarità dell'applicazione è quella che la travata di attraversamento presenta la sua superficie inferiore quasi a livello della campagna circostante che pertanto nasconde ogni struttura di appoggio verticale; essa quindi deve essere necessariamente so-

This structure, with a deck girder measuring 147 m, was made to span an area liable to landslide formed by a gravel fan moving towards the adjacent River Tiber.

The particular feature of this application is that the crossing girder practically has its underside almost at the level of the surrounding countryside which therefore conceals every vertical support structure. It therefore has to be supported from above by the cable-



un potente effetto di contrasto, il viadotto che opera una singolare e potente riqualificazione del paesaggio, il quale, in fondo, a parte l'umiliazione che ha sofferto con le tante casette e tanti serbatoi, presenta sempre una suggestione con la potente morfologia delle sue rocce.

A giudicare l'opera oggi, dopo parecchi anni, nella sua espressività, ci si accorge che essa risente alquanto dell'influenza di Maracaibo: ciò si giustifica per il fatto che mentre gli esempi più sopra riportati sono stati concepiti qualche anno più tardi, il progetto per il primo concorso del Polcevera è stato redatto nel 1960, cioè in piena fase di sviluppo del più grande prototipo, già in avanzata fase di esecuzione.

Ciò nonostante è da notarsi, fin d'allora, l'aspirazione alla semplificazione e la ricerca alla essenzialità delle linee.

L'opera è stata felicemente ultimata, pur in mezzo a mille difficoltà, nel 1966,

powerful contrast effect, by the viaduct which has singularly and greatly upgraded the landscape which, basically, apart from the humiliation it has suffered with all the little houses and all the reservoirs, still retains its attraction with the powerful relief of its rocks.

Judging the work now, after many years, in its expressiveness, we realize that it considerably reflects the experience of Maracaibo. This is justified by the fact that while the examples set forth above were conceived some years later, the design for the first Polcevera competition was drawn up in 1960, that is, in the first phase of drafting the larger prototype, already then at an advanced stage of execution.

Despite this, even then one could note the striving for simplification and the search for essential lines. The structure was successfully completed in 1966, in spite of the thousands of difficulties.

stenuta dall'alto a mezzo dei suoi tiranti, a loro volta sostenuti da un portale che costituisce l'antenna.

Un'altra caratteristica dell'opera è che la strada in corrispondenza di essa è in curva, con un raggio di 600 m, per cui la posizione dei terminali dei tiranti a terra rappresenta un'altra singolarità espressiva.

Altrettanti spunti espressivi sono determinati dalle articolazioni al piede delle cerniere ed alle radici della travata sulle pile, tutte adottate per la particolare natura su cui poggiano le fondazioni.

Anche in questo caso la larghezza totale della sede stradale è di 24,00 m.

L'opera è stata inaugurata nel 1967.

stays, which in their turn are held by a portal constituting the tower.

Another characteristic of the work is that the road corresponding thereto is curved, with a radius of 600 m, so that the position of the landslide stay ends represents another singular expressive feature.

Other expressive features are provided by the articulations at the foot of the hinges and at the roots of the girder on the piers, all adopted due to the particular nature of the land on which the foundations are located.

In this case, too, the total width of the roadway is 24,00 m.

This work was inaugurated in 1967.



IL PONTE DI WADI KLEFF IN CIRENAICA (LIBIA)

BRIDGE OVER THE WADI KLEFF, CYRENAICA (LIBYA)

Questo ponte, che scavalca una profonda incisione dell'altopiano Cirenaico e che fa parte della grande strada

This bridge, which crosses a deep incision of the Cyrenaic plateau and which forms part of the great highway

15 - Il ponte di Wadi Kuff in Libia: la costruzione di uno dei sistemi; 17-18 - Il ponte di Wadi Kuff in Libia, con una campata centrale di 262 m di luce.

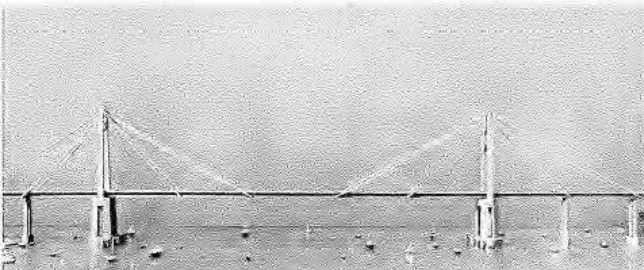
15 - The Wadi Kuff bridge in Libya: the construction of one of the systems; 17-18 - The Wadi Kuff bridge in Libya with a central span 262 m long.

che percorre, lungo il Mediterraneo, tutta la Libia, è fra le più grandi opere in calcestruzzo eseguite fino ad ora, soprattutto per la sua luce (282 metri). Quando fu eseguito (1968-1971) risultava l'unica opera dell'uomo in un panorama senza fine, bellissimo, fatto di rocce colorate e profondamente incise, ricoperte dalla vegetazione mediterranea. Esso ha rappresentato quindi, per chi l'ha costruito, l'esperienza indimenticabile di inserire una propria opera entro un contesto naturale assolutamente vergine e di una tale bellezza incontaminata.

In questo caso in particolare si ritiene fermamente che una ricerca così

which traverses the whole of Libya along the Mediterranean, is among the great concrete works so far constructed, especially due to its span (282 metres). When it was executed (1968-1971) it was the sole manmade structure in a beautiful, endless panorama, made up of coloured rocks and deep incisions, clothed by Mediterranean type vegetation, and the bridge therefore provided its constructor the unforgettable experience of inserting his work in an absolutely virgin natural context of supreme uncontaminated beauty.

In this case in particular it is firmly considered that such a thorough search



19

attenta di composizioni essenziali, fatte soltanto di ricerche di mutue interazioni di proporzioni, sia stata determinata dalla profonda suggestione operata dal paesaggio.

L'opera che, ovviamente, data l'eccezionalità delle sue dimensioni ed alcune particolari condizioni ambientali (quali ad esempio quelle riferentisi alle fondazioni), ha presentato molte difficoltà di esecuzione, è stata ultimata nel 1970.

PONTE SULLA BAIJA DI VIGO (SPAGNA)

Il progetto di questa opera, redatto nel 1974, è stato presentato in occasione di un appalto concorso internazionale e non eseguito soprattutto perché l'Amministrazione Appaltante non si è sentita di eseguire una simile luce (375 m) in calcestruzzo e quindi ha preferito una soluzione in acciaio.

Il ponte avrebbe dovuto scavalcare un fiordo della Baia di Vigo e faceva parte di un'opera della lunghezza di circa un chilometro e mezzo, inserita in un ambiente costituito da uno specchio di mare tranquillo, molto trasparente e di colore azzurro chiaro con due ripide rive di granito grigio scuro ed una vegetazione verde cupo di grandi alberi, con poche case sparse fortemente colorate.

Anche in questo caso il progetto dell'attraversamento è stato condotto con



20

for essential compositions, formed solely of mutual interactions of proportions, was determined by the enchantment and appeal of the landscape.

This bridge which, obviously, in view of the exceptional nature of its dimensions and certain special environmental conditions (e.g. those concerning the foundations), gave rise to many difficulties of execution, was completed in 1970.

BRIDGE OVER THE VIGO BAY (SPAIN)

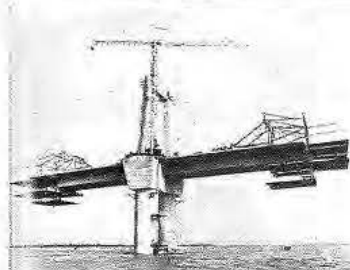
The design of this work, drawn up in 1974, was submitted for an international tender and not executed above all because the Client did not feel it could commission such a long concrete span (375 m) and therefore preferred a steel solution.

The bridge was to have crossed a fiord of Vigo Bay and formed part of a work approximately one and a half kilometres in length, inserted in a stretch of transparent, clear blue water with two steep banks of dark grey granite and a deep green covering of tall trees, with only a few brightly coloured houses scattered here and there.

In this case, again, the design of the crossing was drawn up with the cu-



21



22

i consueti criteri, però con un particolare studio sulla forma delle pile in acqua e delle antenne porta-tiranti.

La delusione della mancata esecuzione dell'opera è stata mitigata dalla certezza della non inutilità dei risultati delle ricerche condotte con tanto approfondimento.

PONTE SUL RIO MAGDALENA A BARRANQUILLA (COLOMBIA)

Questo ponte della lunghezza complessiva di circa 1300 metri attraversa, verso la sua foce, il grande Rio Magdalena, fiume capace di forti improvvise piene e di conseguenti variazioni della morfologia del suo letto.

Questo ha consigliato di impostare tutti gli appoggi entro l'acqua in maniera che presentassero la minore possibile superficie di ingombro alla corrente, la quale inoltre poteva cambiare di direzione dopo ogni piena, appunto per le modifiche del fondo del fiume. Tali particolari condizioni hanno imposto la scelta della posizione delle varie luci lungo l'asse dell'attraversamento nonché la riduzione al minimo della sezione delle pile e la sua medesima resistenza, qualunque fosse la direzione della corrente. Tutte le pile cioè hanno

stomary criteria, but with a special study of the shape of the piers in water and of the cable-bearing towers.

Disappointment at the failure to execute this work was mitigated by the certainty that the results of the research performed so very thoroughly were not without use.

BRIDGE OVER RIO MAGDALENA AT BARRANQUILLA (COLOMBIA)

This bridge with an overall length of approximately 1300 metres crosses the Rio Magdalena towards its mouth. This river is capable of sudden large floods with consequent variations in the morphology of its bed.

This fact indicated locating all the supports in the water in such a way that they should present the smallest possible area facing the stream, which moreover was liable to change direction after each event, precisely because of the modifications in the river bed. These particular conditions imposed the choice of position of the various spans along the axis of the crossing, and caused the pier section and the resistance thereof to be reduced to a minimum, whatever the direction of the current,

21-22-23 - Il ponte sul Rio Magdalena a Barranquilla in Colombia, di 1300 m di lunghezza complessiva e con la campata maggiore di 140 m di luce, è stato costruito in una zona fortemente sismica.

21-22-23 - The bridge over the Rio Magdalena at Barranquilla in Colombia with a total length of 1300 m and a major span of 140 m. The bridge was built in a strongly seismic area.

23





25

sezione circolare ed il loro plinto è stato costruito al disotto del fondo stabile dell'alveo.

Tale esigenza, in questo caso funzionale, ha prodotto una espressività particolare per la luce maggiore, dell'ampiezza di 140,00 m, essa pure trattata con la solita disposizione del sistema degli stralli.

Da aggiungere inoltre che l'opera è stata costruita in una zona di alta sismicità per cui sono stati risolti problemi tecnici e tecnologici piuttosto interessanti per contemperare le esigenze delle forti sollecitazioni determinate dalle azioni sismiche con quelle delle minime dimensioni delle pile.

In particolare tutta la travata (per le tre luci maggiori, quella centrale strallata e le due laterali), della lunghezza totale di 280,00 m, è un tutto unico e continuo, collegato alle due pile maggiori a mezzo di « shock absorbers » opportunamente studiati per trasmettere alle due pile contemporaneamente impulsi istantanei dalla travata e permettere un certo grado di libertà reciproca, sempre tra pile e travata, per le deformazioni lente della travata stessa.

L'opera è stata inaugurata nel 1974.

IL VIADOTTO CARPINETO DELLA SUPERSTRADA BASENTANA IN PROVINCIA DI POTENZA

E' stato testé ultimato il Viadotto Carpineto I lungo la strada di grande comunicazione Basentana (provincia di Potenza) per il quale, al Km 35,200, una situazione particolare ha obbligato alla realizzazione di un'opera di caratteristiche speciali per scavalcare una zona franosa che si è estesa rapidamente per una striscia larga 150 metri e lunga circa 500 metri.

Le risultanze del complesso delle indagini hanno evidenziato nella zona una situazione geologica ed idrogeolo-

i.e. all the piers have a round section and their footings were constructed below the permanent river bed level.

This necessity — a functional one, in this case — produced a particular expressivity for the longest span of 140,00 m, this also approached with the usual cable-stayed system arrangement.

It should also be added that the bridge was built in a highly seismic area so that quite interesting technical and technological problems had to be resolved in order to match the needs entailed by the strong stresses caused by the seismic actions with the requirements of having the minimum possible dimensions for the piers.

In particular, the whole girder (for the three major spans, the central one, cable-stay supported, and the adjoining ones), with a total length of 280,00 m, is a single continuous whole connected to the two main piers by means of shock absorbers appropriately designed to transmit the instantaneous impulses from the deck girder simultaneously to the two piers and to permit a certain degree of reciprocal freedom, always between piers and girder, through the slow deformations of the girder.

This bridge was inaugurated in 1974.

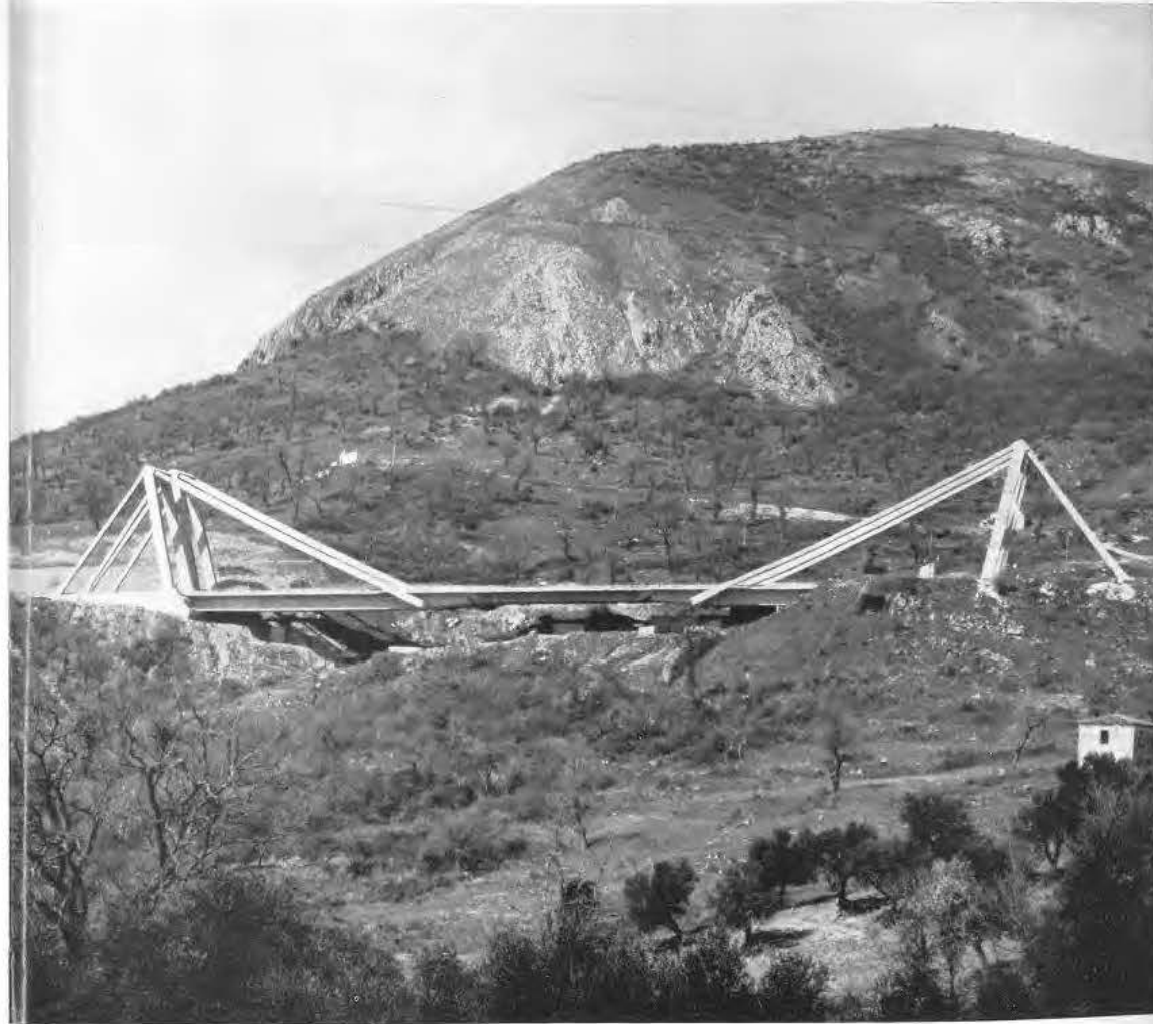
CARPINETO VIADUCT ON BASENTANA FREEWAY IN THE PROVINCE OF POTENZA (ITALY)

The Carpineto I viaduct has recently been completed on the Basentana freeway along which, at Km 35,200, a particular situation necessitated the construction of a work having special characteristics to bridge an area liable to landslide which has rapidly extended over a belt 150 metres wide and about 500 metres long.

The investigations brought to light an extremely complex geological and hydrogeological situation in the area,



24



26

24-25-26 - Il viadotto Carpineto I lungo la strada di grande comunicazione Basentana scavalca con una luce di 181 m un vallone il cui fondo risulta in frana.

24-25-26 - The Carpineto I viaduct on the heavy traffic Basentana route, crosses a landslide prone valley with a 181 m long span.

gica estremamente complessa, alla base del fenomeno franoso registratosi, nonché delle condizioni geotecniche estremamente delicate di tutta la pendice interessata dal tracciato.

Si ravvisò quindi la convenienza di scavalcare la zona franosa con un'unica luce, soluzione questa che apparve l'unica che potesse offrire una garanzia totale per la stabilità nel tempo del viadotto.

Si è quindi trattato di progettare un attraversamento della luce di 181,00 m con membrature il cui ingombro, al disotto del piano stradale, fosse il minore possibile in maniera che esse non potessero essere investite dagli strati su-

at the basis of the landslide occurrence, as well as extremely delicate geotechnical conditions throughout the slope concerned by the alignment.

It was therefore considered best to bridge the landslide zone with a single span, this appearing the only solution able to offer a total guarantee for the stability of the viaduct in the course of time.

This therefore meant designing a crossing having a span of 181,00 m with members whose size, below the road foundation level, should be the smallest possible in such a way that they could not be affected by the surface



27

perficinali del terreno in movimento per la frana che « scorre » in direzione pressoché ortogonale all'asse longitudinale del viadotto.

Anche in questo caso, quindi, la condizione dei luoghi, in relazione alle necessità altimetriche della rete stradale, ha obbligato alla scelta di una soluzione statica tale per cui l'ingombro della struttura portante al disotto della livelletta stradale fosse il minore possibile. Non solo, ma la lunghezza totale a disposizione per l'inserimento dell'opera (tra i due tronconi della Basentana già costruiti) risultava obbligata e questo ha rappresentato un ulteriore elemento limitativo per la scelta della soluzione.

L'opera è stata ultimata nel 1977.

IL VIADOTTO DELLA CORNICE DI JEDDAH (ARABIA SAUDITA)

L'opera presenta alcune particolarità che vale la pena di illustrare.

Si tratta di un importante elemento di caratterizzazione della fascia sul mare della città di Jeddah e quindi è naturale che il Committente, il Municipio della città, abbia preteso una rigida ambientazione con il paesaggio circostante, con abbondanti richiami,

layers of the terrain in motion due to the landslide which « flows » in a direction more or less at right angles to the longitudinal axis of the viaduct.

Again in this case, therefore, the local conditions, in relation to the vertical requirements of the road system, imposed the choice of a static solution in which the size of the bearing structure below the road level should be as small as possible. Furthermore, the total length available for the insertion of the structure (between the two stretches of the Basentana already constructed) could not be varied, and this was a further limitation for the choice of the solution.

The viaduct was completed in 1977.

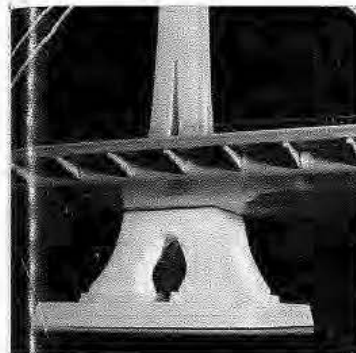
THE JEDDAH CORNICHE VIADUCT (SAUDI ARABIA)

This viaduct has a number of particular features which it is worth while illustrating.

This is an important element characterizing the seaside belt of the city of Jeddah and it was therefore quite natural for the Client, namely the Municipal Authorities of the city, to insist upon strict blending with the surrounding landscape, with abundant remin-

27 - Il progetto del viadotto della cornice di Jeddah in Arabia Saudita, di circa 2 Km di lunghezza totale; la campata principale di 220 m di luce; 23-25 - Il viadotto della cornice di Jeddah, particolare della pila e sezioni trasversali dell'impalcato: a) sezione tipo; b) sezione in corrispondenza delle pile principali.

27 - The project for the viaduct on the cornices of Jeddah, Saudi Arabia, nearly 2 Km long with a main span 220 m long; 23-25 - The Jeddah viaduct, detail of the pier and cross sections of the deck: a) typical cross section; b) in proximity to the main piers.



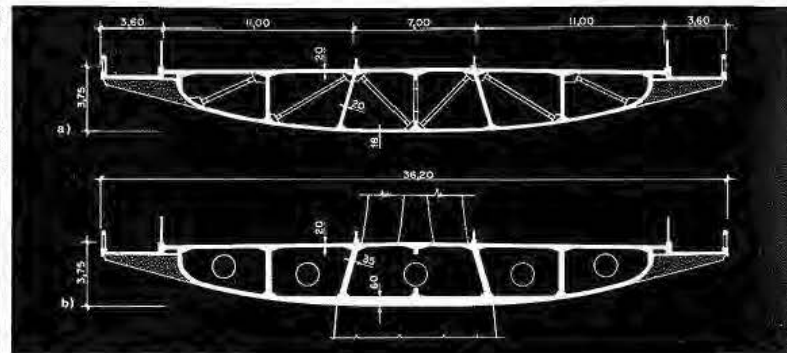
28

specialmente formali, alle tradizioni arabe. Il Committente ha voluto cioè un'opera della più sofisticata modernità ma esteriormente di « stile arabo ». Ecco la ragione quindi dei tanti tiranti nudi (come le tende beduine, hanno desiderato), delle molte curve e di ogni altra ricerca formale.

Il progetto, come oggi si mostra, è stato scelto dal Sindaco di Jeddah tra altre sei varianti in cui si è passati gradatamente dall'espressività abituale di altre applicazioni a quella qui illustrata, in cui però l'unica deroga alle nostre consuete opinioni è stata quella

ders — especially formal ones — of Arab traditions. That is to say, the Client wanted a structure that should be ultramodern and sophisticated but which should be externally of « Arab style ». This is the reason for all the bare stays (like Bedouin tents, they stated), the many curves and all the other formal researches.

The design, as it is today, was chosen by the Mayor of Jeddah among seven alternatives in which there was a gradual passage from the habitual expressivity of other applications to the one illustrated here, in which however the sole divergence from our customary views was that of waiving the homo-



29

della rinuncia alla omogeneizzazione dei tiranti della luce maggiore.

In compenso però le forme inusitate hanno condotto a ricerche statiche spaziali piuttosto interessanti.

L'opera consiste in un viadotto della lunghezza di circa 2 Km che si snoda in parte su aree attrezzate per il tempo libero e in parte sul mare.

Il complesso è articolato su una serie di luci variabili da 40,00 m a 60,00 m. Lungo lo sviluppo del viadotto un braccio di mare è attraversato da un ponte strallato scandito da tre luci: 97,95 m, 220,00 m e 97,95 m.

Lo schema dell'attraversamento è caratterizzato dalla continuità dell'impalcato sulla pila centrale e dai vincoli a solo spostamento orizzontale consentito sulle estremità di ciascuno dei due sistemi uguali in cui è diviso il detto attraversamento.

Dai tre punti singolari di ciascuna mezza travata si dipartono altrettanti tiranti obliqui che, dopo aver superato l'estremità superiore dell'antenna, raggiungono la travata laterale in punti simmetrici rispetto al piano verticale trasversale passante per l'antenna.

Caratteristica saliente di questo progetto è l'inusitata forma della sezione trasversale della travata, consigliata in

genizing of the cable stays for the longest span.

On the other hand, the unusual shapes involved led to quite interesting spatial static investigations.

The structure consists of a viaduct approximately 2 km in length which winds its way partly over areas equipped with recreation facilities and partly over the sea.

The whole complex consists of a series of variable spans of 40,00 m to 60,00 m. In part of the viaduct an arm of the sea is crossed by a cable-stayed bridge having three spans, of 97,95 m, 220,00 m and 97,95 m, respectively.

The crossing scheme is characterized by the continuity of the deck girder on the central pier and by the supports which permit only horizontal movement provided at the ends of each of the two equal systems into which the crossing is subdivided.

Three stays run obliquely from the three specific points of each half girder and, after passing over the top of the tower, reach the lateral girder at symmetrical points with respect to the transversal vertical plane passing via the tower.

The outstanding feature of this design is the unusual shape of the girder

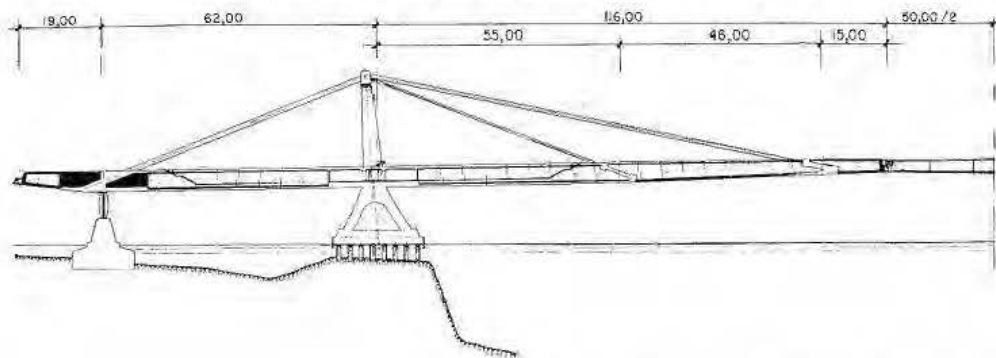
particolare dalla sua altrettanto inusitata larghezza (40,00 m). Questo ha altresì consigliato la disposizione degli stralli in corrispondenza della zona centrale dell'impalcato.

Una particolare disposizione di elementi precompressi nell'interno della sezione determina un sistema spaziale reticolare atto a resistere alle azioni di compressione, flessione, taglio e torsione che si producono nel suo interno.

Il progetto è stato redatto nel 1978.

IL PONTE DI OHBUR PER LA COASTAL ROAD JEDDAH-MEDINA (ARABIA SAUDITA)

30 Questo ponte, l'ultimo progetto uti-



mato nel 1979, interessa un braccio di mare che attraversa una nuova importante autostrada che collega Jeddah con Medina.

Le caratteristiche salienti sono tre: a) La notevole larghezza dell'opera: due carreggiate stradali separate, ciascuna della larghezza di 20 metri, attrezzate in maniera da permettere un vero e proprio luogo di sosta, uno per ogni pila e per ogni lato del ponte, della larghezza di 7,00 m, per pedoni e per auto. Il tutto con una particolare sagomatura planimetrica e con un collegamento pedonale, al disotto del piano viario, tra i due marciapiedi opposti.

Lungo il detto collegamento, nell'interno della struttura del ponte si aprono saloni per esposizioni e vendite per complessivi 1000 m².

b) La notevole ampiezza della luce centrale: 286,00 m, obbligata dalla conformazione del fondo del braccio di mare.

c) La modestissima altezza delle antenne: tale altezza di appena 22 metri al disopra del piano stradale, è stata obbligata dalla vicinanza del nuovo grande aeroporto di Jeddah, per ovvie ragioni di sicurezza del volo.

Una antenna così bassa, rispetto alla luce libera maggiore, ha evidentemen-

te spostato tutti i rapporti delle componenti degli sforzi nell'impalcato, nei tiranti e nelle antenne stesse, con due fondamentali conseguenze:

— Una modifica di rapporti dimensionali con una conseguente espressioni singolare che può considerarsi interessante perché in essa si leggono sforzi particolarmente potenti.

— Una riduzione percentuale dell'incidenza degli effetti prodotti dai sovraccarichi accidentali, rispetto ai carichi permanenti, tale da rendere molto poco utile la omogeneizzazione dei tiranti. Essi verranno coinvolti entro guaine di calcestruzzo non precompresso, poiché sottoposto a sollecitazioni di

This design was drawn up in 1978.

OHBUR BRIDGE FOR THE JEDDAH-MEDINA COASTAL ROAD (SAUDI ARABIA)

31 This bridge, the last design comple-

ted in 1979, spans an arm of the sea crossing an important new motorway linking Jeddah with Medina.

There are three outstanding characteristics of this bridge:

a) Its particular width: two separate road carriageways, each 20 m wide, equipped so as to permit regular halts, one per pier and on each side of the bridge. These stopping places are 7,00 m in width and accommodate both pedestrians and cars.

The whole with a special horizontal contour and with a pedestrian connection below the road level, between the two opposite pavements.

Along said connection, inside the bridge structure there are display and sales rooms for a total of 1000 m².

b) The particular length of the central span, 286,00 m, made necessary by the conformation of the inlet seabed.

c) The very modest elevation of the suspension towers, i.e. barely 22 m above the roadway level. This was made necessary by the vicinity of the large new Jeddah Airport, for obvious reasons of flight safety.

Such a low tower, with respect to the longest clear span, clearly altered

all the relations of the stress components in the deck, in the cables and in the suspension towers themselves, with two basic consequences:

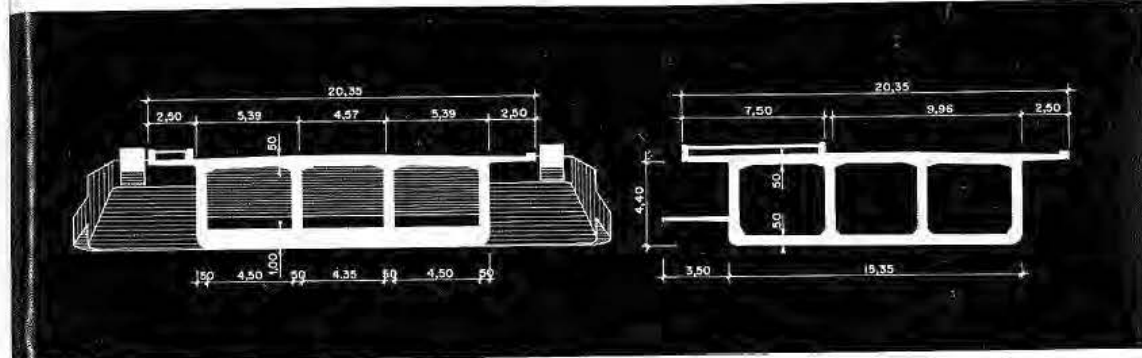
— A modification of dimensional relations with a consequent singular expressive effect which can be looked upon as interesting as particularly powerful stresses are contained therein.

— A percentage reduction in the incidence of the effects produced by the live loads, with respect to the dead loads, such as to make homogenizing the cable stays of very little use. These stays will be enveloped in concrete sheaths, not prestressed because they

are subjected to tensile stresses (with the passing of the live loads), produced by the increased tensile stress in the steel, likewise so modest as to be supported thereby, duly strengthened with untensed reinforcements.

Hence the steel of the stays will remain equally protected as in the case of homogenization.

Finally, both of these have attracted the interest of architectural criticism, especially abroad, on account of their expressive capacities.



30 - Sezione longitudinale del ponte di Ohbur per l'autostrada che collega Jeddah a Medina con campata centrale di 286 m di luce ed antenne di 22 m di altezza dal piano stradale; 31 - Sezioni trasversali dell'impalcato; 32 - Schizzo del progetto del ponte di Ohbur: vista di una delle pile.

33 - The Ohbur Bridge on the Jeddah-Medina motorway, with a central span 286 m long and cable towers rising 22 m above road level; 31 - Cross sections of the bridge deck; 32 - The project of the Ohbur bridge: one of the piers.

trazione (al passaggio dei carichi accidentali), prodotte dall'incremento di sollecitazione di trazione dell'acciaio, così modeste da poter essere sopportate da esso, opportunamente munite di armature lente.

Quindi l'acciaio dei tiranti rimarrà altrettanto protetto come per il caso dell'omogeneizzazione.

Esempi di strutture stralate per costruzioni civili

In alcuni casi particolari ho constatato che le strutture stralate omogeneizzate potevano essere convenientemente adottate anche per coperture di ambienti di grandi luci, soprattutto per il fatto che esse si prestavano per ottenere «rendimento» elevato e costi di esecuzione contenuti. Scelgo, quale esemplificazione di quanto sopra, due applicazioni ormai realizzate da parecchi anni, ambedue passate al vaglio di severi controlli sia dal punto della convenienza tecnica che da quella economica.

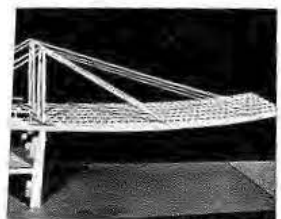
Di ambedue infine si è interessata la critica architettonica, specialmente all'estero, per le loro capacità espressive.

Examples of cable-stayed structures for civil constructions

In a number of special cases I have found that homogenized cable-stayed structures could be advantageously adopted also for roofing large areas, especially due to the fact that they lent themselves to achieving high «yields» and limited costs of execution. By way of example thereof, I have chosen two applications which were executed several years ago, both of which have passed the test of severe controls from the standpoint of both technical convenience and economy.

Finally, both of these have attracted the interest of architectural criticism, especially abroad, on account of their expressive capacities.



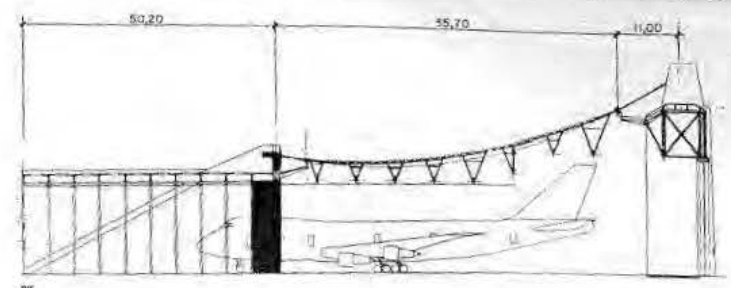
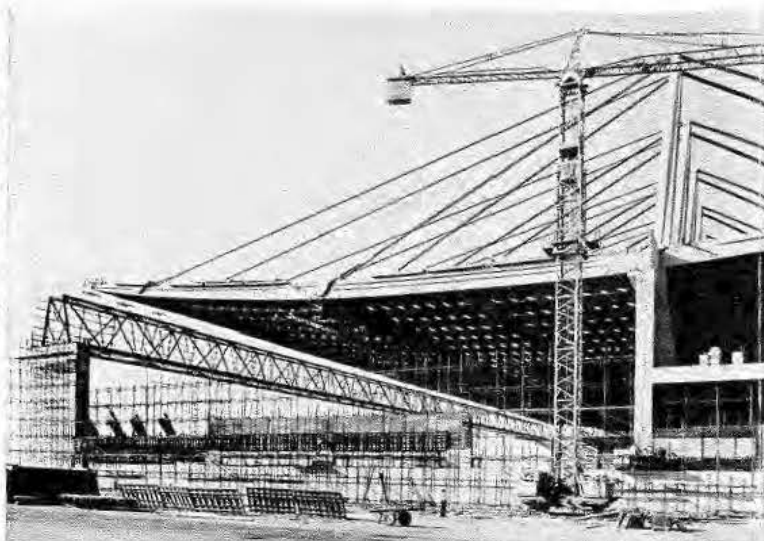


33

34

35

36



37

33 - Il modello delle aviorimesse Alitalia per l'aeroporto di Fiumicino; 34-35 - Particolare della scabole della copertura e dei relativi tiranti; 36 - Vista laterale di una delle due aviorimesse; 37 - Aviorimesse Alitalia per Boeing 747 per l'aeroporto di Fiumicino: sezione longitudinale.

33 - The model of the Alitalia hangars at the Fiumicino Airport; 34-35 - Detail of the covering and the stay-cables; 36 - Side view of one of the two aircraft hangars; 37 - Alitalia hangars for the Boeing 747 aircraft at Fiumicino Airport: longitudinal section.

AVIORIMESSE ALITALIA PER L'AEROPORTO DI FIUMICINO

La copertura delle aule di ciascuna delle due aviorimesse è costituita essenzialmente da una mensola dell'aggetto di 60 metri, composta da una serie parallela di travi in cemento armato, collegate da un manto di lastre nervate ancorate in cemento armato e sostenute da due ordini di tiranti omogeneizzati di piccola sezione. Il peso proprio della copertura completa è di circa 250 Kg/m² essendo lo spessore di calcestruzzo medio per metro quadrato di 10 cm.

La costruzione, ultimata nel 1962, è stata testé accuratamente revisionata ed i tiranti più piccoli (della sezione cioè di 15 cm per 30 cm) sono stati trovati, dopo 16 anni, perfettamente integri. Ciò nonostante si è ritenuto opportuno un loro rivestimento protettivo con un elastomero, data la forte azione smerigliatrice operata dalla sabbia della vicina spiaggia sul calcestruzzo.

AVIORIMESSE ALITALIA PER BOEING 747 PER L'AEROPORTO DI FIUMICINO

L'edificio per le due aviorimesse Boeing 747 dell'Alitalia per l'Aeroporto di Fiumicino è munito di due coperture a tenda, ciascuna delle quali consta di un ordito di elementi resistenti paralleli, per una luce di circa settanta metri, profilati secondo il poligono funicolare del proprio peso (per una freccia prestabilita) ed a loro volta appesi agli elementi verticali di supporto (rappresentati dalle pareti di ciascuna aula) a tiranti obliqui.

Gli elementi resistenti dell'ordito della copertura ed i tiranti obliqui sono tutti omogeneizzati in maniera che la variazione di configurazione di ciascuna copertura per il passaggio dei carichi appesi (i carriponte) e per i carichi accidentali è influenzata solo in minima parte dall'allungamento della struttura portante delle coperture stesse e dei relativi tiranti di supporto.

ALITALIA HANGARS IN FIUMICINO AIRPORT

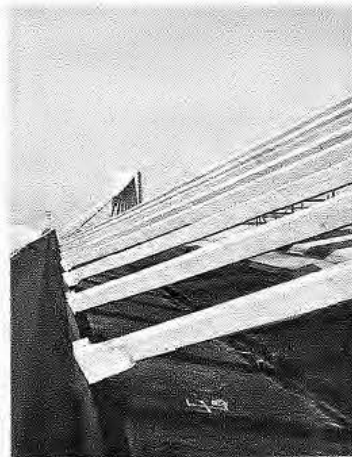
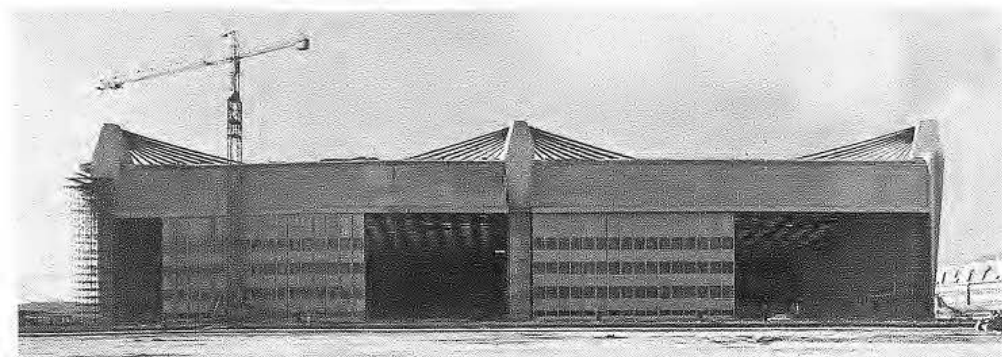
The roofing of the main bodies of both hangars consists essentially of a cantilever having an overhang of 60 metres, formed of a parallel series of reinforced concrete beams, connected by a covering of ribbed reinforced concrete slabs and supported by two rows of small-section homogenized stays. The dead load of the complete roof is some 250 kg/m², the average thickness of the concrete per square metre being 10 cm.

Construction was completed in 1962 and has recently been thoroughly revised, and the smaller cables (i.e. with a section of 15 cm by 30 cm) were found, after 16 years, to be in perfect condition. In spite of this it was considered advisable to give them a protective coating of elastomer in view of the strong erosive action caused on the concrete by the sand from the nearby sea beach.

ALITALIA HANGARS FOR BOEING 747 AIRCRAFT IN FIUMICINO AIRPORT

The building for Alitalia's two Boeing 747 hangars in Fiumicino Airport is provided with two awning roofs, each consisting of a series of parallel resisting elements, for a span of around seventy metres, profiled in accordance with the funicular polygon of its weight (for a preestablished deflection) and in their turn suspended from the vertical support elements (represented by the walls of each hangar) and oblique cables.

The resisting elements of the roofing web and the oblique cables are all homogenized so that the variation in configuration of each roof through the passage of the suspended loads (overhead travelling cranes) and for the live loads is influenced only to a minimum extent by the elongation of the bearing structure of the roofs and of the relevant support cables.

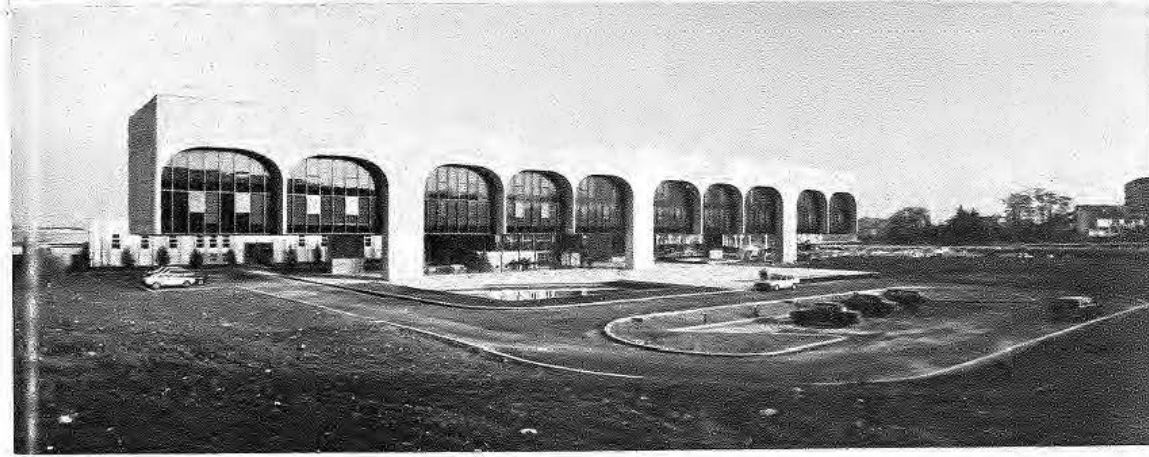
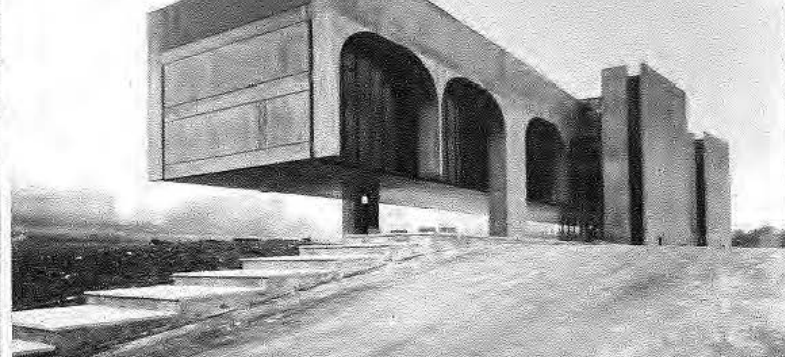
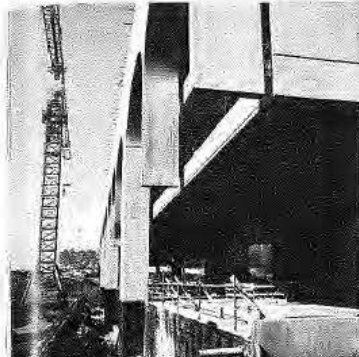


Ciò ovviamente in forza della drastica riduzione della deformazione assiale della membratura generica soggetta a variazione di trazione, come è stato dimostrato per ogni tirante omogeneizzato, in cui cioè la guaina di calcestruzzo che coinvolge l'acciaio portante è stata preventivamente sottoposta ad una operazione di precompressione. Anche in questo caso il manto di copertura è stato eseguito con piastre prefabbricate di calcestruzzo armato di minimo spessore per cui lo spessore medio del calcestruzzo della copertura è stato contenuto nella misura di 7 cm per metro quadrato con un conseguente peso proprio di 175 Kg/m² e con un peso totale (sovraccarico compreso) di 300 Kg/m²; questo oltre al sistema dei carriponte mobili, appesi ai tralicci metallici, che sopportano le relative vie di corsa, i quali operano una funzione di ripartizione trasversale dei carichi concentrati sui vari elementi resistenti paralleli della tenda.

Le aviorimesse, in esercizio dal 1971,

This obviously due to the drastic reduction in axial deformation of the generic members subject to tensile variation, as demonstrated for each homogenized cable stay, that is, in which the concrete sheath round the bearing steel has been previously subjected to a prestressing operation. In this case, too, the covering was made of precast reinforced concrete slabs having a minimum thickness so that the average thickness of the roofing concrete was kept down to 7 cm per square metre with a resultant dead load of 175 kg/m² and with a total weight (including live load) of 300 kg/m²; this apart from the system of overhead travelling cranes for which the steel trestles which support the relevant runways carry out a function of transversal distribution of the loads concentrated on the various parallel resisting elements of the awning.

The hangars, in service since 1971,



hanno risposto in pieno alle ipotesi con cui sono state progettate.

UFFICI DELLA F.A.T.A. S.p.A. A TORINO

Ritengo infine di concludere con un ultimo esempio in cui l'uso di tiranti omogeneizzati ha servito quale potente ausilio per la realizzazione dell'idea di un ben noto architetto.

Ci si riferisce all'edificio Uffici della F.A.T.A. S.p.A. in Torino per il quale ho progettato lo sviluppo strutturale di una impostazione architettonica di Oscar Niemeyer. Anche in questo caso i solai inferiori dell'edificio risultano appesi ad un certo numero di tiranti verticali precompressi e quindi omogeneizzati, che riportano i carichi su un sistema di due grandi travi, poste all'altezza della copertura del fabbricato, con i segmenti terminali a sbalzo. Da notare infine gli attacchi tra i detti tiranti verticali ed i due solai inferiori, realizzati con elementi snodati di acciaio, che determinano altrettanti riferimenti puntuali per una piena aderen-

have fully vindicated the assumptions on which they were designed.

THE F.A.T.A. S.p.A. OFFICES, TORIN

I will therefore end with a last example of a construction in which the use of homogenized stay cables was adopted as a powerful aid in putting into practice the idea of a well known architect.

I am referring to the F.A.T.A. S.p.A. office block in Turin, for which I designed the structural development of an architectural project by Oscar Niemeyer. In this case too, the lower floors of the building were suspended from a certain number of prestressed and successively homogenized vertical stay cables, which carry the load onto a two beam system, positioned at roof level and ending in a cantilever. Lastly, the anchorages between the vertical stay cables and the two lower floors are worth noticing, as they consist of jointed steel elements which determine precise reference points for complete adherence between the archi-

41-42-43 - L'edificio per uffici della F.A.T.A. S.p.A. a Torino: i solai inferiori risultano appesi ad un certo numero di tiranti verticali precompressi e quindi omogeneizzati.

41-42-43 - The F.A.T.A. S.p.A. office building in Turin: the lower floors are suspended by a number of homogenized vertical prestressing cables.

38 - Aviorimesse Alitalia per Boeing 747 per l'aeroporto di Fiumicino: il fronte principale: 39-40 - Le reggere dei tiranti di sostegno.

38 - Alitalia hangars for the Boeing 747 aircraft at Fiumicino Airport: the main front: 39-40 - The crowns of the supporting stay-cables.

za tra idea architettonica e reale funzionamento della struttura. L'opera è stata ultimata nel 1978.

BIBLIOGRAFIA

Per maggiori notizie sulle opere citate vedi «L'Industria Italiana del Cemento»:

- Ponte sulla Laguna di Maracaibo - n. 5, Maggio 1962, pagg. 229-250.
- Viadotto sul Polcevera a Genova - n. 12, Dicembre 1967, pagg. 849-872.
- Ponte sulla Roma-Fiumicino all'Ansa della Magliana - n. 3, Marzo 1968, pagg. 147-174.
- Ponte sul Wadi Kuff in Cirenaica - n. 9, Settembre 1971, pagg. 613-632.
- Ponte sul Rio Magdalena a Barranquilla - n. 7/8, Luglio-Agosto 1974, pagg. 383-406.
- Viadotto Carpinero sulla Superstrada Baseniana - n. 10, Ottobre 1977, pagg. 817-830.
- Aviorimesse Alitalia per l'Aeroporto di Fiumicino - n. 7, Luglio 1964, pagg. 695-710.
- Aviorimesse Alitalia per Boeing 747 per l'Aeroporto di Fiumicino - n. 6, Giugno 1970, pagg. 453-480.

Fotografie/Photographs: *Pubblietas* (12); *Aldo* (15, 38, 39, 40); *Portillo* (19, 20).

RIASSUNTO - Dopo aver brevemente chiarito il concetto strutturale di «ponte strallato», l'autore ripercorre rapidamente le soluzioni prescelte per alcuni ponti strallati in c.a., diversamente elaborati in rapporto all'ambiente circostante. La stessa idea progettuale è stata inoltre convenientemente adottata per coperture di ambienti di grandi luci. Numerose fotografie e disegni illustrano le caratteristiche tipologiche delle più importanti strutture strallate progettate dal Prof. Morandi, dal ponte sulla laguna di Maracaibo costruito più di venti anni fa, al recente edificio per uffici della F.A.T.A. a Torino.

CONTENTS - After discussing briefly the concept of cable-stayed bridge, the author describes the chosen solutions of various reinforced concrete cable-stayed bridges, elaborated according to the surrounding environment. The same design principle has conveniently been adopted for the covering of great spans. Many photographs and drawings illustrate the typical characteristics of the most important constructions designed by Prof. Morandi, from the bridge over the Maracaibo lagoon to the recent F.A.T.A. office building in Turin.

SOMMAIRE - Après quelques mots sur l'idée à la base du principe de «pont étayé», l'auteur résume les solutions adoptées pour quelques ponts étayés en béton armé, dont la différente élaboration est due au rapport avec le milieu environnant. La même conception structurale a été aussi adoptée pour la réalisation de couvertures de grande portée. Photos et dessins soulignent les caractéristiques des différentes typologies de quelques-uns des plus intéressants ouvrages dont le projet est du Prof. Morandi: du pont sur le lac de Maracaibo réalisé il y a 23 ans, au récent bâtiment pour les bureaux de la F.A.T.A. à Turin.

INHALT - Nachdem kurz das strukturelle Konzept der «Schrägkabelbrücke» erläutert wurde, beschreibt der Autor schnell die ausgewählten Möglichkeiten für einige Schrägkabelbrücken aus Beton, die verschiedentlich im Zusammenhang mit ihrer umkreisenden Umgebung ausgeführt wurden. Der gleiche Planungsgedanke wurde ausserdem für die Bedeckung von grossen Spannfeldern angewendet. Zahlreiche Fotos und Zeichnungen zeigen die typologischen Eigenschaften der wichtigsten Werke, die von Herrn Prof. Morandi entworfen wurden, von der Brücke über den See von Maracaibo, bis zu dem kürzlich fertiggestellten Bürogebäude der F.A.T.A. in Turin.

tecural project and the practical function of the structure. The construction was finished in 1978.

BIBLIOGRAPHY

For fuller details of the works cited, see «L'Industria Italiana del Cemento» (only in Italian):

- Bridge over the Maracaibo lagoon - n. 5, May 1962, pages 229-250.
- Viaduct over the Polcevera, Genoa - n. 12, December 1967, pages 849-872.
- Bridge for the Roma-Fiumicino motorway at the Magliana loop - n. 3, March 1968, pages 147-174.
- Bridge over the Wadi Kuff, Cyrenaica - n. 9, September 1971, pages 613-632.
- Bridge over Magdalena River, Barranquilla - n. 7/8, July-August 1974, pages 383-406.
- Carpineto viaduct over the Basentana Highway - n. 10, October 1977, pages 817-830.
- Alitalia Hangars for the Fiumicino Airport - n. 7, July 1964, pages 695-710.
- Alitalia Hangars for Boeing 747 at the Fiumicino Airport - n. 6, June 1970, pages 453-480.

Il cemento armato ed il lavoro italiano all'estero

Concrete and the Italian work abroad