

Su alcune recenti realizzazioni di strutture in calcestruzzo armato e in calcestruzzo precompresso

RICCARDO MORANDI, alla luce dell'enorme progresso dell'arte del costruire dei nostri tempi, sostiene che l'ingegnere deve affrontare la progettazione con la coscienza di esprimere il suo sentimento, superando l'arido calcolo e piegandolo a un suo stile personale e differenziato. L'A. in seguito illustra alcune opere da lui stesso realizzate.

È di questi nostri tempi la revisione dei confini tra architettura ed ingegneria.

Il recente passato è pieno della separazione netta tra ingegnere ed architetto e l'arte del costruire ne ha grandemente sofferto. Solo pochi, tra i quali per esempio Henebique, Maillard e più recentemente Nervi, tutti ingegneri, hanno cercato di rompere il conformismo accademico e le pastoie della regolamentazione prudenziale, per assumere le loro responsabilità e lasciar correre la fantasia.

Ne sono derivate mirabili opere che la mia generazione ha attentamente studiate per ricavarne il convincimento che il cosiddetto « calcolatore » correva il pericolo di essere relegato in un mondo di mediocri applicatori di formulari, a meno che non imparasse ad usarli quale mezzo per una sua espressione stilistica.

Solo a tal prezzo il « calcolatore » è divenuto un progettista ed i confini tra architettura ed ingegneria risultarono talmente imprecisi da domandarsi se essi esistevano realmente.

Il mondo moderno chiede al tecnico la realizzazione di grandi edifici industriali, di grandi dighe e di grandi ponti. Se vogliamo considerare questi i monumenti del nostro tempo, e di questo sono convinto, l'ingegnere, a cui è generalmente affidata la risoluzione di questi temi, ne affronta la progettazione con la coscienza di esprimere il suo sentimento, superando l'arido calcolo e piegandolo ad un suo stile personale e differenziato.

L'enorme progresso dell'arte del costruire di questi ultimi anni è il frutto di questa coscienza. Si pensi ad esempio alle timide applicazioni dei primi tempi ed alle strutture ancora ieri ingoiate entro inutili masse murarie ed alle realizzazioni di oggi, i grandi telai, le volte autoportanti, le strutture precomprese.

L'ingegnere, quindi, anche in tema strettamente tecnico, può operare in un campo di espressione formale tanto vasta, per merito specialmente delle libertà offerte dalle nuove tecniche, da poter partecipare anch'egli alle caratteristiche dell'artista creatore.

E in nome di questo suo intendimento tralasciamo la distinzione tra ingegneria ed architettura e parliamo di arte del costruire.

Appare quindi necessario per il progettista la coesistenza di una solida cultura, sia tecnica che artistica, in maniera da possedere la preparazione e la possibilità di concludere il ciclo completo di pensiero che determina la progettazione e la realizzazione di un'opera, e cioè abbia in se medesimo l'intuizione statica, il senso della struttura ed infine la possibilità di trovare conferma dal calcolo alla propria invenzione.

Faccio una profonda distinzione fra colui che esercita l'arte del progettare ed il ricercatore teorico che ha la funzione di approfondire i problemi e fornire al progettista mezzi sempre più affinati di indagine sulle leggi fisiche che regolano il comportamento dei materiali. Deve essere però il progettista a tenersi sempre al corrente di queste nuove acquisizioni e ad usarle in funzione del proprio pensiero e della propria fantasia.

Non sono d'accordo con la po-



Fig. 1 - Centrale termoelettrica di Civitavecchia: complesso di trasformazione e trasporto del carbone.

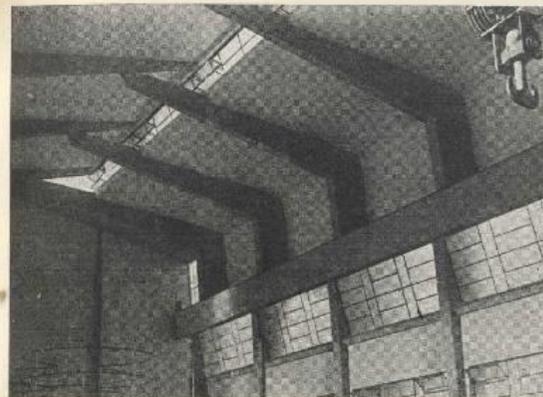


Fig. 2 - Centrale termoelettrica di Fiumicino: particolare della volta.

sizione polemica di alcuni che negano a priori l'importanza del calcolo per fare affidamento esclusivamente sulla propria esperienza, quasi che il meraviglioso sviluppo di questi ultimi cento anni nel campo dell'ingegneria scientifica sia di modesto valore pratico.

Il calcolo, quindi, è un indispensabile mezzo di controllo per un'opera che, se nasce da una intuizione statica corretta aderente al carattere del tema, fatalmente

porta ad una espressione tipica e spesso felicemente estetica.

Ci si sente chiedere da più parti in quale misura una struttura corretta ed esteticamente espressiva risulti influenzata dall'invenzione, da precedenti esperienze e dal calcolo. Per rispondere a questa difficile domanda occorre considerare in primo luogo che l'apporto individuale di invenzione e di intuizione è più modesto di quello che il singolo progettista ritiene.

Infatti, salvo poche eccezioni,

è noto che la formazione di compiute espressioni architettoniche discende sia da una evoluzione dell'individuo operante attraverso la sua esperienza, sia da una evoluzione collettiva.

L'individuale apporto, però, è frutto di un faticosissimo lavoro di pensiero anche se limitato a scovare, tra le numerose strade percorse da altri, quella più confacente al proprio gusto, e quindi alle sue possibilità di inserimento nel cammino evolutivo per un ulteriore passo verso la ricerca di una forma compiuta.

L'invenzione, l'esperienza ed il calcolo possono intervenire in misura assai variabile da caso a caso, anche perché questa dipende dalle differenti inclinazioni dell'individuo. Resta quindi da augurarsi che le due scuole, che attualmente



Fig. 3 - Centrale termoelettrica di Fiumicino.

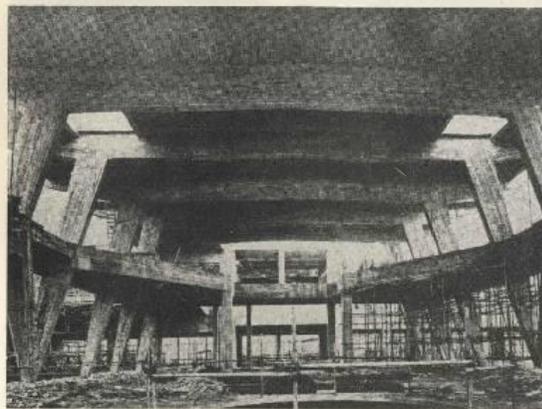


Fig. 4 - Centrale termoelettrica di Santa Eufemia (in costruzione).

formano i giovani progettisti, non trascurino di indicare loro la necessità sempre maggiore che un moderno progettista sia ben preparato sia dal punto di vista estetico che da quello tecnico-scientifico. E questo soprattutto perché imparino a ben conoscere il proprio temperamento, in funzione di una giusta scelta del loro compito professionale futuro.

Concludo queste mie parole di carattere generale con l'esprimere una mia viva preoccupazione. Ho già detto che le moderne acquisizioni hanno enormemente aumentato le possibilità di libere espressioni formali. Pensiamo soltanto alle coperture sottili autoportanti ed alle ultimissime applicazioni di esse.

Il pensiero architettonico deve



Fig. 5 - Centrale termoelettrica di Santa Barbara (in costruzione).

difendersi ormai dal pericolo di cadere in un espressionismo che lo allontani troppo dalle inderogabili necessità economiche e funzionali a cui una razionale struttura deve essere costantemente legata.

È di tutti i giorni la constatazione che spesso la ricerca di nuovi effetti e di nuove originalità crea gravi preoccupazioni a chi deve dare sostanza costruttiva alla membratura immaginata da altri. E quanta licenza è contenuta in

tutte quelle stranissime coperture, che obbligano a vere acrobazie di calcolo, costosissime, e spesso piene di compromessi e di trucchetti.

Temo quindi che l'eccessiva libertà formale conduca ad un barocchismo strutturale, naturalmente deterioro e tanto più tale se usato da elementi scarsamente preparati al rigore della tecnica.

Ormai da più di venticinque anni mi sono dedicato particolarmente alla risoluzione di due temi

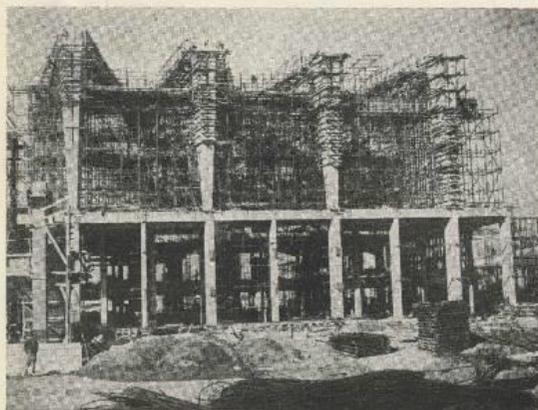


Fig. 6 - Centrale termoelettrica di Santa Barbara (in costruzione).

e cioè: la costruzione industriale e il ponte.

Ho l'onore di presentare alcune mie opere realizzate in questo ultimo periodo e scelte fra le tante per definire il mio pensiero meglio di ogni prolissa esposizione programmatica.

Inizierò con qualche edificio di speciale carattere:

1) *Complesso di frantumazione e trasporto del carbone per la Centrale Termoelettrica di Civitavecchia* (fig. 1).

Il complesso è caratterizzato dalla fuga di un nastro trasportatore della lunghezza di più di cento metri, a metà del quale si trova una torre di frantumazione ed al termine una pensilina per il ricovero degli automozzi sotto scarico.

La forma della torre e della pensilina è determinata dall'elemento inclinato del nastro trasportatore, ne determina l'elemento di fermata intermedia e di conclusione terminale, e tenta di esprimere una articolazione compositiva studiata ed espressiva. Il tutto nei limiti di una rigorosa funzionalità.

2) *Centrale Termoelettrica di Fiumicino* (figg. 2 e 3).

L'edificio, costruito per contenere una modernissima centrale a turbina a gas, è stato progettato in maniera da ridurre al minimo le perdite di spazio e di volume.

La forma delle strutture portanti determina il partito architettonico con assoluta schiettezza, sia all'interno che all'esterno.

Da notare l'estrema economia con cui l'intero edificio è stato realizzato.

3) *Centrale Termoelettrica di Santa Barbara nei pressi di San Giovanni Valdarno* (figg. 4, 5 e 6).

Il complesso della centrale, uno dei maggiori d'Europa, rappresenta un tema di grande impegno.

L'edificio della centrale propriamente detta è di notevoli dimensioni. La sala macchine è una navata della larghezza di 24 metri e della lunghezza di 120 metri. È intelaiato con portali iperstatici di calcestruzzo precompresso a cui sono altresì affidati due

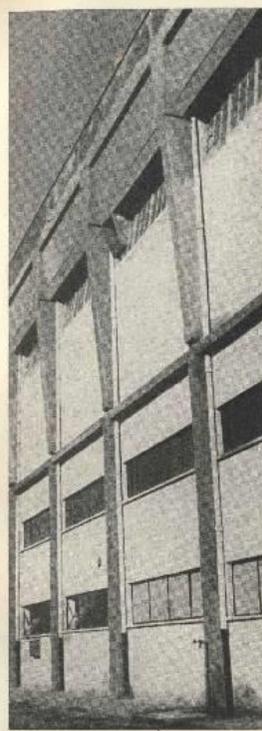


Fig. 7 - Stabilimento del Castellaccio (Colleferro).

carro-ponti della capacità di sollevamento di 100 tonnellate ciascuno.

La sala caldaie con le sue esigenze ha obbligato alla risoluzione



Fig. 8 - Stabilimento del Castellaccio (Colleferro).

di alcuni delicati problemi statici, affrontati con intendimento di alta espressività.

Il complesso, in avanzato stadio di costruzione, credo rappresenterà un interessante tentativo di denunciare, in linguaggio architettonico appropriato, le diverse funzioni delle sue varie parti e ciò soltanto con la forma delle strutture principali portanti.

Da notare in particolare che le molteplici e svariatissime esigenze funzionali dei vari edifici hanno limitato la libertà di progettazione, nel senso che è stato sempre necessario che il sentimento dell'architetto risultasse aderente ad esse.

L'architetto cioè ha dovuto preventivamente studiare il funzionamento del complesso per appropinquarsi e porgere ai progettisti

tecnologici una collaborazione efficace.

4) *Stabilimento industriale del Castellaccio presso Colleferro* (figure 7 e 8).

Si tratta di un complesso per la lavorazione dei filati. Da notare in esso l'edificio della filatura della lana, con un unico salone di lavorazione della superficie di circa metri quadrati 6.500. In questo caso la tecnica della precompressione ha permesso la realizzazione di una copertura piana con intercapedine, entro cui risultano allagate tutte le canalizzazioni per l'aria condizionata.

I telai principali portanti, che determinano il partito architettonico, sono della lunghezza di 70 metri con due luci di metri 35 ciascuna.

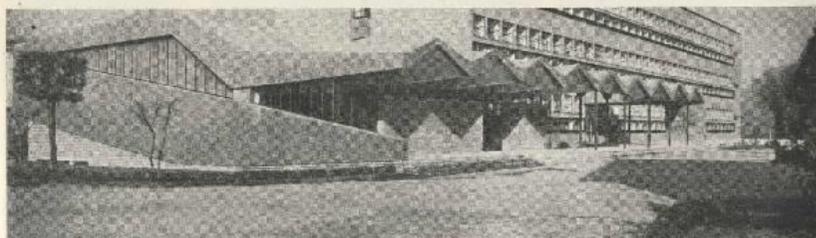


Fig. 9 - Centro di studi chimico-fisici a Colleferro.



Fig. 10 - Cine-teatro Maestoso in Roma.

5) *Centro Studi chimico-fisico a Colferro* (fig. 9).
L'edificio, che è adibito a Centro studi per le ricerche chimico-fisiche, è articolato su due elementi distinti e cioè il corpo dei

Da notare però che la forma dei portali della sala conferenze è discesa essenzialmente sia da esigenze di visibilità per gli auditori, sia soprattutto da esigenze acustiche. Il risultato è stato tale per cui è

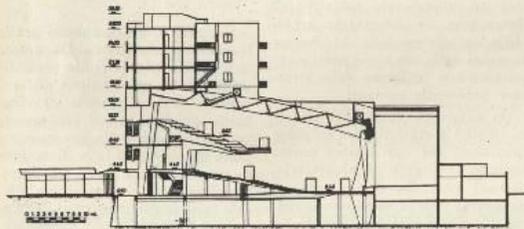


Fig. 11 - Cine-teatro Maestoso in Roma.

laboratori, di volume chiuso e geometrico, e la sala per conferenze, di forma libera e schiettamente espressa all'esterno. La pensilina ondulata determina l'elemento di legame tra i due corpi.

possibile udire, nei punti più lontani dalla cattedra, anche un semplice bisbiglio, a sala vuota e senza trattamento speciale delle pareti e del soffitto.

La forma della copertura ha

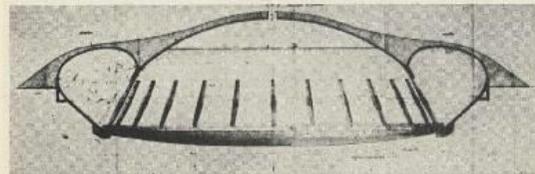


Fig. 12 - Serbatoio per carburanti.

quindi appagato il mio sentimento anche se è discesa da calcolazioni di altra natura.

6) *Cinema-teatro Maestoso in Roma* (figg. 10 e 11).

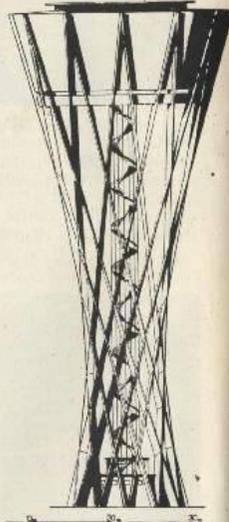
L'edificio è costituito da un complesso per tre funzioni diverse: Al seminterrato un magazzino della superficie di circa metri quadrati 1.500, al disopra un cinema-teatro di circa 2.800 posti a sedere, ed al disopra un edificio di civile abitazione di circa cento vani.

La coesistenza delle varie funzioni dell'edificio ha obbligato alla risoluzione di un arduo problema statico. Il complesso è supportato da una serie di portali iperstatici della luce di 40 metri, ciascuno dei quali supporta un sistema di carichi concentrati per complessive 240 tonnellate.

La realizzazione di tali strutture è stata possibile solo con l'adozione dei criteri della precompressione in una applicazione che forse è tra le maggiori del mondo, nel campo delle costruzioni edilizie.

Del partito statico abbiamo voluto ricavare la modulazione ar-

Fig. 13 - Serbatoio pensile per acqua.



che in nessuna sua parte è stato adottato il benchè minimo infingimento. Il cinema-teatro è il risultato di una semplice composizione di strutture e se ne è derivato un aspetto un po' polemico, e questo è dovuto ad una schiettezza spinta fino alle ultime conseguenze.

7) *Serbatoio per carburanti* (figura 12).

La forma inusitata del serbatoio, della capacità di 15.000 metri cubi, è discesa da considerazioni di convenienza per lo sfruttamento di superfici a doppia curvatura.

Le azioni mutue della cupola centrale e della volta torica circostante determinano una notevole economia di sforzi per le azioni del liquido insitato e dei carichi insistenti sulla copertura.

8) *Serbatoio pensile per acqua* (figg. 13 e 14).

Lo studio di un grande serbatoio pensile della capacità di 2000 metri cubi e dell'altezza di metri 65 ha condotto ad una soluzione, ritengo originale, dell'incastellatura che supporta il serbatoio vero e proprio.

L'intreccio dei ritti, secondo un iperboloido rigato, determina una notevole rigidità dell'incastellatura, senza ricorrere a legamenti orizzontali, essendo ciascun ritto rettilineo e quindi di semplice esecuzione.

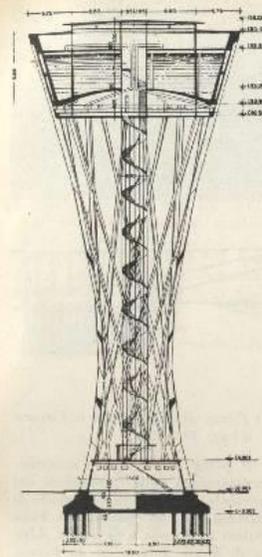


Fig. 14 - Serbatoio pensile per acqua.

chitettonica dell'intero edificio, che pertanto si presenta esternamente ed internamente con aspetto insolito.

Posso formalmente dichiarare

Fig. 15 - Il mercato Metronio in Roma.

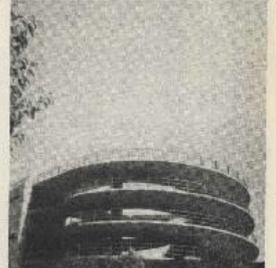


9) *Mercato Metronio in Roma* (figure 15, 16, 17 e 18).

Il complesso, testè inaugurato, consta di un mercato coperto al piano terreno e di un grande garage per circa 600 macchine allegato in tre aule, una nel piano interrato, un'altra al primo piano e la terza al secondo piano.

I due organismi, assolutamente indipendenti ma compenetrati uno dentro l'altro, hanno resa necessaria la costituzione di un elemento di legame tra le varie parti dell'autorimessa, al di fuori dell'edificio, e da cui se ne è tratto par-

Fig. 16 17 18 - Il mercato Metronio in Roma.



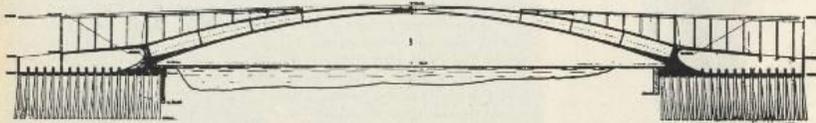
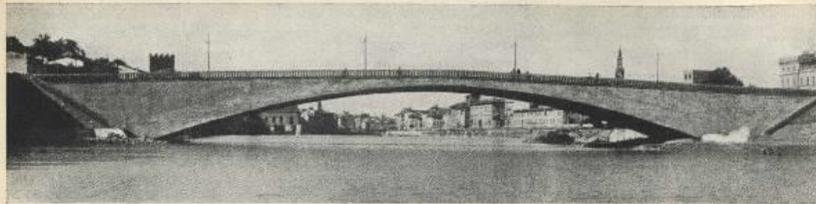


Fig. 19 e 20 - Ponte di San Nicolò a Firenze.

tito espressivo e in contrasto con l'edificio stesso.

La doppia rampa elicoidale, che costituisce l'elemento di cui sopra, consta di due eliche continue a sbalzo, calcolate come due sistemi nello spazio e volutamente di notevole leggerezza.

Gli esempi di cui sopra, scelti nel campo delle costruzioni edilizie, hanno voluto dimostrare che

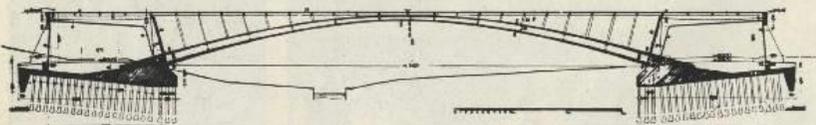
la risoluzione architettonica di ciascun tema è sempre affidata ad elementi caratteristici strutturali, pensati in funzione di quella, ma sempre giustificabili, ritengo, dalla più adatta soluzione funzionale del tema.

Passo ora ad esporre alcune esemplificazioni sul tema del ponte, che ho avuto occasione di trattare numerose volte.

Fig. 21 - Il viadotto « Nuova Repubblica » in Caracas.



Fig. 22 - Il viadotto « Nuova Repubblica » in Caracas: schema costruttivo.



1) Ponte di San Nicolò a Firenze (figg. 19 e 20).

Il ponte di Firenze è approssimativamente delle dimensioni del mirabile ponte del Risorgimento di Hennebique, di quello del Foro Italico di Aureli e di quello Africani di Krall, tutti e tre in Roma.

Questo se ne differisce per il fatto che ha abbandonato il concetto dei « timpani irrigidenti » per arrivare alla costituzione di una reale volta relativamente sottile e gli elementi che sorreggono l'impalcato non fanno parte del sistema statico di essa. E ciò in considerazione di evitare le indeterminazioni statiche che la soluzione dei tre ponti di Roma poteva presentare.

La modifica strutturale ha condotto ad una notevole economia, specialmente di armatura metallica.

2) Il Viadotto « Nuova Repubblica » in Caracas (figg. 21 e 22).

Senza entrare nel dettaglio di alcune particolari caratteristiche di questo tema, accennerò soltanto che la ribassatezza dell'arco

(cioè il rapporto tra luce e freccia) raggiunge l'inusitato valore di 1/14. Per gli effetti di tale notevole ribassatezza si è ricorso ad una distorsione delle imposte dell'arco mediante una coazione indotta. La precompressione, cioè, del calcestruzzo è stata usata quale mezzo ausiliario per aiutare singoli punti di una struttura non propriamente precompressa.

L'accorgimento, che ha obbligato alla risoluzione di qualche delicato problema di calcolo, si è rivelato molto efficace ed ha permesso un'espressione architettonica giudicata, specialmente in America, piuttosto felice.

3) Il ponte della Lupara dell'Autostrada Genova-Savona (figura 23).

Si tratta di una versione di notevoli dimensioni (luce dell'arco 130 metri) del consueto tema del ponte ad arco non ribassato, con impalcato sovrapposto.

Da notare soltanto la risoluzione dei ritzi di notevole altezza, che trasmettono i carichi dall'impalcato alla sottostante volta e la cui speciale forma a tronco di piramide è discesa dalla considerazione che, per i carichi orizzontali trasversali dovuti al vento, è preferibile che al piede dei ritzi, i flettenti, indotti alla volta quale effetto torcente, siano i minori possibili, senza giungere al limite della cerniera teorica che avrebbe comportato una eccessiva deformabilità del sistema.

4) Il ponte sullo Storms River (figure 24 e 25).

Questo ponte, costruito sulla strada Port-Elisabeth-Cape Town (Sud Africa), presenta due aspetti, uno di progettazione e l'altro di

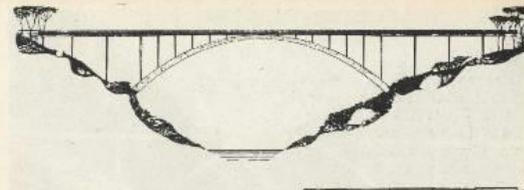


Fig. 23 - Il ponte della Lupara, sull'Autostrada Genova-Savona.

esecuzione, che mette conto di accennare brevemente.

Dal punto di vista della disposizione di progetto è da notare l'obliquità dei ritzi tra impalcato ed arco. La ragione di questa è di operare una automatica correzione del poligono funicolare al passaggio dei carichi, specialmente per le sezioni prossime alla chiave.

Infatti le componenti orizzontali delle azioni dei ritzi sulla volta rappresentano altrettanti elementi di riduzione dell'eccentricità del detto poligono funicolare rispetto al piano baricentrale della sezione di chiave. Una constatazione, questa, che rafforza sempre di più la convinzione corrente che le composizioni più gradevoli, come in

Fig. 24 - Il ponte sullo Storms River (in costruzione).



Fig. 25 - Il ponte sullo Storms River (Sud Africa).



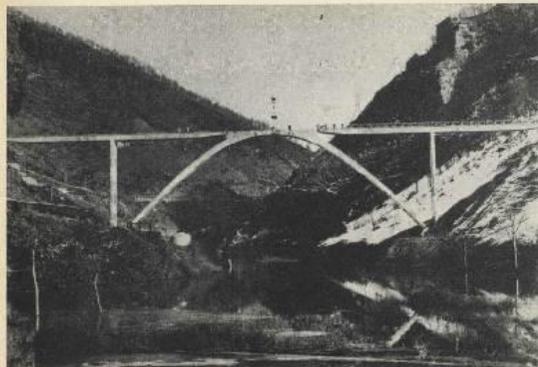


Fig. 26 - La passerella a Vagli di Sotto (Garfagnana).

questo caso, nascondono sempre un più facile assorbimento degli sforzi entro le strutture.

Il bellissimo volume « The architecture of bridges » di Elisabeth Mock edito in America qualche anno fa, riporta il progetto di un ponte del 1801 in ferro fuso, in cui è chiaramente espresso il concetto dei ritti obliqui.

Dal punto di vista esecutivo, il ponte, date le sue particolari condizioni ambientali, è stato realizzato costruendo verticalmente i due mezzi archi, per poi disporli nella loro posizione definitiva mediante rotazione.

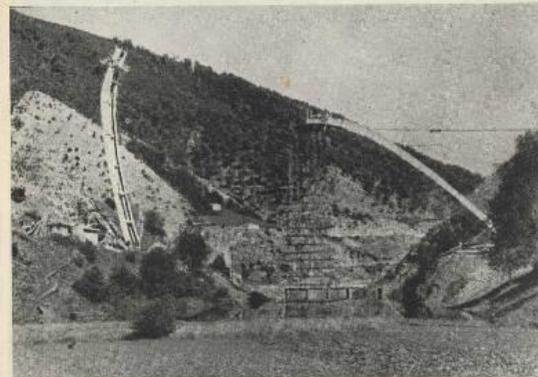


Fig. 27 - La passerella a Vagli di Sotto (in costruzione).

L'idea, già applicata da Krall, è stata in questo caso resa possibile mediante l'adozione di stati di coazione, variabili nella struttura durante la rotazione, ed atti ad assorbire gli eccezionali e temporanei sforzi che la rotazione medesima induceva sulle strutture. In altri termini la precompressione è stata usata quale mezzo d'opera ausiliario.

5) *La passerella a Vagli di Sotto in Garfagnana* (figg. 26, 27 e 28).

Anche in questo caso l'arco è stato eseguito con il metodo della rotazione e la precompressione ha

rappresentato l'unica maniera possibile per la sua realizzazione.

6) *Ponte di San Nicola a Benevento* (figg. 29 e 30).

Presento questo ponte perchè è il più grande di una serie di attraversamenti realizzati con telai iperstatici attraverso piano in calcestruzzo precompresso.

La luce centrale è di metri 80 con due sbalzi di metri 20 ciascuno.

L'opera è stata realizzata passando attraverso una trasformazione intermedia dei vincoli. Cioè la trave, per il suo peso proprio, si è comportata quale un doppio cantilever su semplici appoggi.

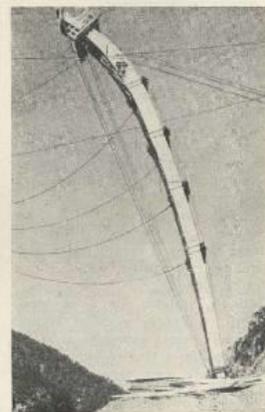
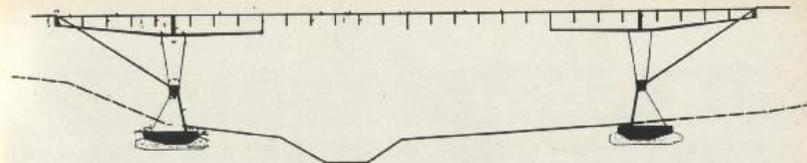


Fig. 28 - La passerella a Vagli di Sotto (in costruzione).

Indi, questi, sono stati bloccati ed il comportamento iperstatico del complesso è stato considerato per il passaggio dei carichi accidentali e per le variazioni di temperatura. In tal modo si sono contenute in valori accettabili le spinte orizzontali sulle fondazioni.

7) *Ponte sul Cerami in Sicilia* (figura 31).

Quest'opera, ancora in costruzione, rappresenta un prototipo della famiglia dei cosiddetti ponti a tiranti, in cui due sistemi di cavi di acciaio applicati all'estremità di apofisi che si protendono a sbalzo al di là degli appoggi di una trave, sono sottoposti a pre-



ventiva trazione in maniera da produrre nella trave un voluto campo tensionale.

L'idea, già largamente usata all'estero, è assai interessante per la possibilità di regolare a piacere il rapporto dei flettenti tra gli appoggi e la zona centrale della trave.

Il ponte sul Cerami risulterà della luce di 75 metri e la sua espressività architettonica discende dall'estrema schiettezza di forma delle parti che lo compongono.

8) *Ponte Amerigo Vespucci in Firenze* (fig. 32).

L'opera, che consta di una luce centrale di 57 metri e di due luci laterali di 54 metri ciascuna, è costituita anch'essa da tre travi a tiranti le cui apofisi, in corrispondenza delle pile intermedie, si inseriscono l'una dentro l'altra in maniera da essere contenute entro le pile progettate e dimensionate con un po' di preoccupazione di ambientazione.

Da notare la modesta altezza delle travate che nella sezione di mezzera raggiunge appena metri 1,60.

9) *Ponte sul Loreto nei pressi di Palermo* (figg. 33 e 34).

Presento di sfuggita questa applicazione poichè la ritengo appartenere ad una fase di forma-



Figg. 29 e 30 - Il ponte di San Nicola a Benevento.

zione dei criteri che hanno condotto alla progettazione del grande ponte di Maracaibo.

La luce teorica centrale è di 80 metri.

10) *Ponte sul lago di Maracaibo* (figg. da 35 a 42).

Il problema dell'attraversamento stradale e ferroviario del ponte sul lago di Maracaibo non presenta gravissime difficoltà nè per l'eccessiva sua lunghezza (circa 9 chilometri), nè per le sue fondazioni, nè per i raccordi con l'esistente e la futura rete stradale e ferroviaria; ma la caratteristica

che porta subito l'opera a classificarsi tra le più grandi del mondo è la necessità che, al disotto dell'attraversamento, la navigazione possa avvenire senza limitazione di frequenza e soprattutto di dimensioni dei natanti.

Infatti nel lago di Maracaibo si articola il traffico di uno dei più grandi centri petroliferi del mondo nonchè quello di un grande porto, in costruzione, che dovrà servire parte delle regioni settentrionali del Venezuela e della Columbia.

Sul ponte passerà il traffico di collegamento tra la città di Maracaibo (più di 500.000 abitanti) e la celebre strada Panamericana

Fig. 31 - Schizzo del ponte sul Cerami in Sicilia.



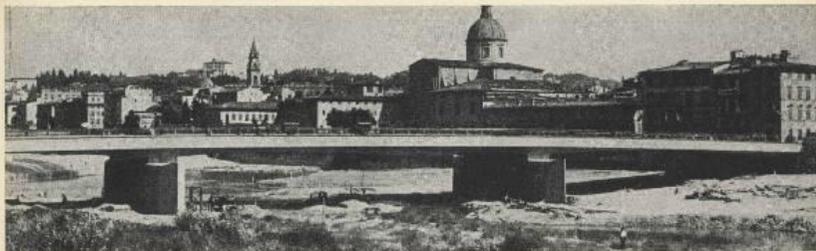


Fig. 32 - Il ponte Amerigo Vespucci in Firenze.

che percorre il continente per tutta la sua lunghezza.

Il Governo Venezuelano, che ha bandito il concorso per la progettazione e la costruzione di un'opera così importante, nella specificazione allegata al concorso di secondo grado ha voluto stabilire le caratteristiche fondamentali dell'opera e cioè che essa, della lunghezza di metri 8720, doveva presentare, in corrispondenza del canale navigabile e cioè quasi al suo centro, una luce libera da ogni ingombro dell'ampiezza di

400 metri e dell'altezza di 45 metri. Ai suoi due lati dovevano prevedersi 5 luci, ciascuna di metri 150 ed anch'esse dell'altezza di 45 metri. Il resto dell'opera poteva essere progettato a piacere.

L'impostazione del tema sembrava a prima vista condurre alla conclusione che la parte centrale del ponte dovesse essere costruita in acciaio. L'applicazione di tale soluzione, pur essendo ragguardevole, non presentava alcuna caratteristica di arditezza in considerazione dei grandi ponti sospesi

già eseguiti, specialmente in Nord America.

Occorreva però considerare che l'atmosfera del lago è particolarmente nociva alla conservazione dei materiali ferrosi e quindi un ponte in ferro avrebbe significato una spesa di manutenzione molto notevole.

Mi sono chiesto se fosse stato possibile lanciare l'attraversamento usando, per tutta la sua lunghezza, strutture resistenti in calcestruzzo precompresso.

Le luci minori laterali e le luci

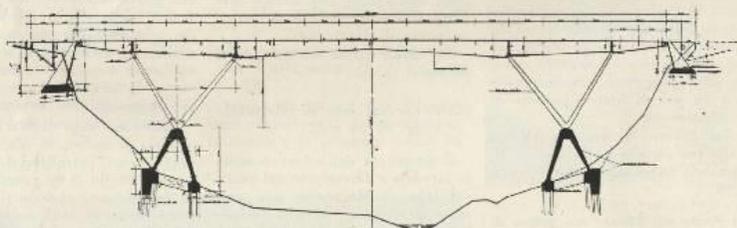


Fig. 33 - Il ponte sul Loroio, presso Palermo.

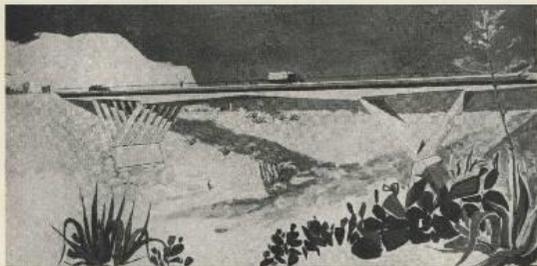
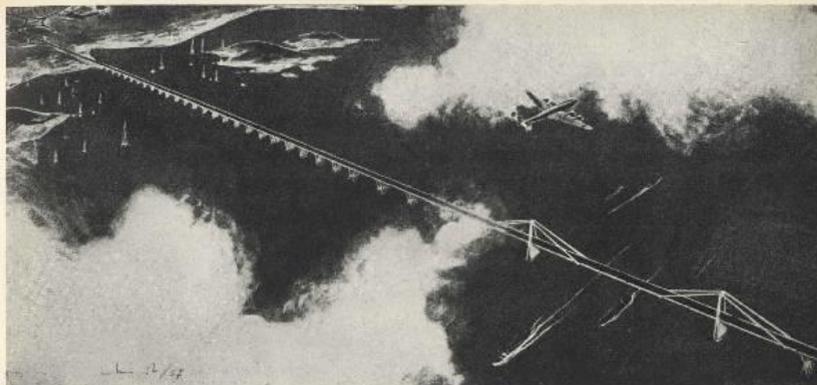


Fig. 34 - Schizzo del ponte sul Loroio, presso Palermo.

da 150 metri entrano nei limiti delle strutture fin qui eseguite con successo un po' dappertutto. Rimaneva la campata centrale.

Ho pensata e proposta una soluzione in cui l'attraversamento avvenisse a mezzo di tre elementi di dimensioni già provate, articolati tra loro in maniera tale da ottenere lo scopo senza ricorrere a nessuna idea che non fosse stata controllata da una mia precedente esperienza.

Il Governo del Venezuela si è convinto, attraverso i suoi organi tecnici, ed in seguito al parere di



una commissione appositamente costituita, che i concetti di impostazione del tema erano accettabili ed ha dichiarato vincitore il mio progetto poiché, anche dal punto di vista economico, risultava più conveniente in considerazione del quasi annullamento delle spese di manutenzione.

L'opera consta delle seguenti parti:

TRATTO A:

N. 24 luci da 85 metri, in ascesa da quota 18 a quota 50 sul livello del mare.

Ogni luce è costituita da un doppio cantilever, poggiante su speciali pile ad X, alle estremità del quale risulta disposta una trave di 45 metri.

La pila ad X ed il sovrastante cantilever fanno parte di un unico sistema elastico calcolato per le azioni orizzontali e verticali trasmesse dal sistema dei carichi mobili e dal vento.

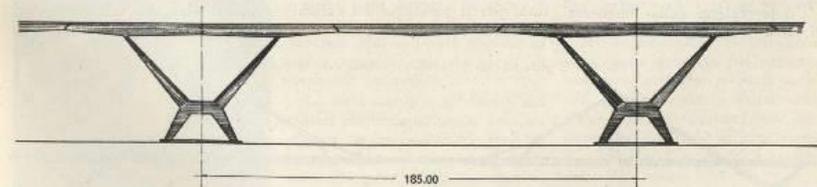
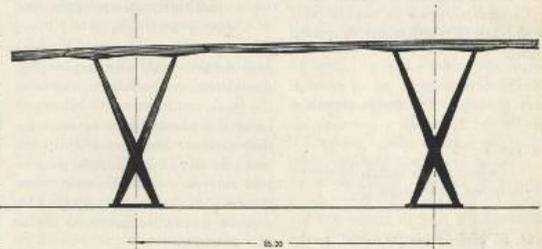
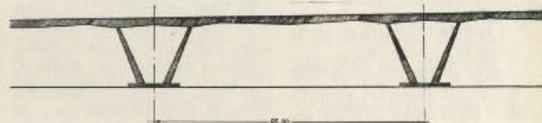


Fig. 35, 36, 37 e 38 - Il ponte sul lago di Maracaiho e studi preliminari.

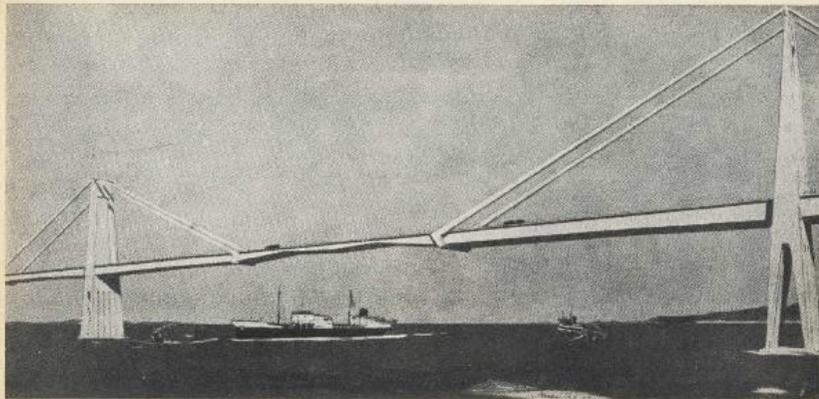


Fig. 39 - Il ponte sul lago di Maracaibo: la campata centrale.

TRATTO B:

N. 5 luci da 185 metri, in ascesa da quota 50 a quota 53.

Salvo le dimensioni, il partito statico di queste luci è identico a quello delle luci precedenti.

TRATTO C:

N. 1 luce dell'ampiezza di metri 430 in orizzontale a quota 53.

Ci intratterremo in seguito sulle speciali caratteristiche di questo tratto.

TRATTO D:

N. 5 luci da 185 metri, uguali a quelle del tratto B.

TRATTO E:

N. 24 luci da 85 metri, in discesa da quota 50 a quota 18.

TRATTO F:

N. 53 luci da 36, 60 metri, parte in discesa e parte in orizzontale fino a quota 5.

TRATTO G:

Un terrapieno della lunghezza di circa 400 metri.

La luce centrale di 430 metri e le due luci adiacenti costituiscono un unico sistema statico composto da due travi continue, ciascuna a due luci dell'ampiezza libera di circa 130 metri.

Le estremità, verso il centro, delle due travi continue, si protendono a sbalzo per circa 30 metri e costituiscono appoggio per una trave centrale di metri 70.

Il tratto centrale quindi deve considerarsi quale un complesso di due sistemi indipendenti, ciascuno dei quali risulta in equilibrio (per i carichi permanenti) su appoggi diversamente elastici costituiti da una pila di speciale forma, da una pila-antenna e dal terminale verso il centro di due tiranti obliqui che passano sopra la sommità delle pile-antenne.

Qualche parola su questi tiranti: se avessi previsto dei semplici tiranti di acciaio mi sarei imbatuito, per il passaggio dei carichi accidentali (penso in particolare

a quelli severissimi ferroviari), in due serie difficoltà: la prima che l'allungamento dei tiranti dovuti al suddetto passaggio dei carichi avrebbe lesionato qualsiasi guaina in calcestruzzo gettata a loro protezione e che l'allungamento stesso sarebbe stato di tale entità da disturbare addirittura il transito dei veicoli ferroviari sul ponte (l'abbassamento della sede stradale sarebbe risultato di circa 1 metro).

Ho pensato quindi che se i cavi di acciaio fossero stati pretesi in maniera tale che una guaina di calcestruzzo, preventivamente disposta intorno ad essi, fosse risultata compressa, il passaggio dei carichi avrebbe operato su di essa soltanto una diminuzione di compressione, senza mai raggiungere il valore zero, per cui fossero da escludersi concettualmente le fessurazioni e le deformazioni sarebbero state ridotte del rapporto tra modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo.



Fig. 40 - Il ponte sul lago di Maracaibo: schema della campata centrale.

È da considerare inoltre che la componente orizzontale della reazione, in corrispondenza del punto di innesto del tirante della travata orizzontale, costituisce uno sforzo di autoprecompressione nella travata che contribuisce sensibilmente alla buona risoluzione economica del problema.

Come ho già detto, per quanto si riferisce al peso proprio della struttura, i due sistemi risultano bilanciati e la risultante delle azioni passa per le verticali delle due pile antenne. Il passaggio dei carichi invece determina una dissimmetria delle azioni entro le due braccia dei tiranti, ed a sua volta induce sulle antenne degli sforzi flessionali che hanno obbligato a determinare una condizione di congruenza tra le deformazioni elastiche dei tiranti e quelle

delle antenne. Da considerare inoltre che il passaggio dei carichi sulla luce centrale non produce un sollevamento sensibile in corrispondenza degli attacchi dei tiranti sulle pile a cavalletto, posti

tazione unitaria che raggiunge i 180 kg/cmq., obbliga ad un attento esame su eventuali fenomeni di instabilità elastica, per cui è stato previsto un sistema di elementi irrigiditi che non toglie a

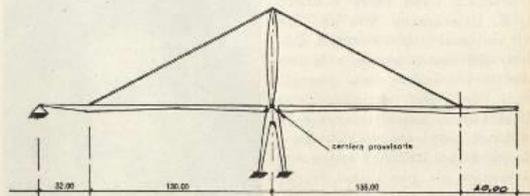


Fig. 42 - Il ponte sul lago di Maracaibo: studi preliminari.

ai limiti delle due luci adiacenti a quella centrale.

Queste due ultime pile a cavalletto presentano altresì la caratteristica di permettere, all'atto della messa in tensione dei tiranti, una certa traslazione sul piano orizzontale, e questo allo scopo di poter utilizzare la componente sul detto piano orizzontale dello sforzo di pretensione dei tiranti medesimi quale tensione di autoprecompressione delle luci comprese tra le pile a cavalletto e le pile antenne.

Passo ora ad esporre alcuni dati caratteristici della luce centrale e di quelle adiacenti.

La trave semplicemente appoggiata di 70 metri posta al centro della grande luce risulta dall'altezza variabile da m. 3,50 a metri 5,00. Risulta posta in coazione da N. 70 cavi, ciascuno composto di 30 fili di acciaio speciale del diametro di mm. 7. Essa è suddivisa in cinque nervature di speciale sezione che saranno costruite a terra, indi lanciate in acqua e trasportate per galleggiamento. Saranno indi sollevate e poste in opera essendo esse del peso di circa 300 tonnellate.

Le travi continue al disotto dei tiranti risulteranno anche esse costituite da tre nervature, dell'altezza costante di otto metri, composte da pareti dello spessore di cm. 15. La loro notevole sollec-

ciascuna nervatura la caratteristica di grande leggerezza in rapporto al suo enorme momento di inerzia.

I cavi che sorpassano l'antenna, in numero di due, al di fuori dei marciapiedi del ponte sono costituiti da cmq. 2.500 di acciaio ad altissima resistenza e saranno testati con uno sforzo totale di circa 14.000 tonnellate.

Le guaine, entro cui sono alloggiati N. 100 gruppi di 30 fili di acciaio, sono costituite da una serie di tubi di calcestruzzo di alta resistenza, sollecitato fino a 200 kg/cmq., e sono coinvolte tutte insieme in un involucro sottile di calcestruzzo retinato eseguito con un processo a spruzzo.

L'opera, della larghezza di 21 metri e che copre una superficie di circa 18.000 metri quadrati, comporterà l'impiego di circa 100.000 metri di pali a forte portanza, 260.000 metri cubi di calcestruzzo e 35.000 tonnellate di armatura metallica. Si prevede una spesa di circa 70 miliardi di lire italiane ed i lavori saranno ultimati entro il 1960.

Mi auguro che l'impostazione e lo studio accurato del progetto condurrà anche a risultati notevoli di espressività architettonica e che il ponte costituirà una realizzazione conforme all'alto grado di civiltà dell'arte del costruire dei nostri tempi.

Ricardo Morandi

Fig. 41 - Il ponte sul lago di Maracaibo.

