

R. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA  
ISTITUTO DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

PUBBLICAZIONE N. 2

2165

1/37



CARLO CESTELLI GUIDI

**ESPERIENZE  
SUL MODELLO DI UN PONTE A TRAVATA  
IN CEMENTO ARMATO**



ROMA  
STABILIMENTO TIPOGRAFICO E. FAILLI  
1944

R. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA  
ISTITUTO DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

PUBBLICAZIONE N. 2

---

CARLO CESTELLI GUIDI

**ESPERIENZE  
SUL MODELLO DI UN PONTE A TRAVATA  
IN CEMENTO ARMATO**



ROMA  
STABILIMENTO TIPOGRAFICO F. FAILLI

1944

## PREFAZIONE

*Da vari anni nel Laboratorio annesso all'Istituto di Scienza delle Costruzioni, è stato da me costituito uno speciale reparto per esperienze su modelli.*

*Come è noto, i metodi principali per tali indagini sono due: quello basato sulla luce polarizzata, che consente l'indagine qualitativa e quantitativa delle tensioni interne su modelli piani formati con materiali ad alto coefficiente fotoelastico (vetro, celluloidi, resina sintetica ecc.), sollecitati da forze applicate sul contorno nel piano stesso del modello e quello basato sulle misure dirette della deformazione, che fa uso di modelli piani o spaziali, di materiale elastico adatto con alto coefficiente di deformabilità (in generale celluloidi) od anche dello stesso materiale della struttura al vero (ferro, cemento armato), sottoposti a carichi convenienti, ed esaminati nelle loro parti più caratteristiche mediante estensimetri particolarmente sensibili e leggeri.*

*Tali metodi sperimentali di indagine costituiscono oggi un efficace complemento dei procedimenti di calcolo, specialmente quando per le difficoltà dell'impostazione del problema analitico e le complessità degli sviluppi matematici, non è agevole determinare col calcolo con sufficiente approssimazione il reale comportamento delle strutture sotto l'azione dei carichi.*

*Il Laboratorio è ora attrezzato con tre apparecchi completi per indagini fotoelastica in luce polarizzata piana o circolare e di alcuni banchi di prova per strutture, atti a permettere l'applicazione di forze comunque dirette, corredati di strumenti di misura di grande precisione (flessimetri ed estensimetri, meccanici, ottici, ed elettroacustici).*

*Varie strutture sono già state sperimentate, fra le quali, elementi di telai, travature reticolari, cavalletti per linee elettriche, parti di ponti, solai ecc. con risultati notevoli e di pratico interesse per la spiegazione di fenomeni, che il calcolo analitico non avrebbe permesso di indagare e di scoprire. Nell'intento di dare alle ricerche sempre maggiore sviluppo è stato costruito nei locali della Facoltà un apposito capannone in cui è possibile eseguire esperimenti anche su parti di strutture al vero, come solai, volte ecc.*

*Purtroppo le difficoltà gravi create dalla guerra, ed i mezzi finora limitati, non hanno permesso un più rapido sviluppo; tuttavia alcuni miei assistenti come il Prof. ing. C. Cestelli Guidi e gli ingegneri D. Gentiloni-Silvery e A. Benini, hanno potuto svolgere in questo campo notevoli studi, che è mio desiderio vengano di mano in mano pubblicati in questa raccolta dei lavori sperimentali dell'Istituto.*

*Il presente fascicolo contiene i risultati ottenuti su un modello in celluloidi di un ponte sul Tevere progettato dall'ing. Cestelli e in via di costruzione da parte dell'Impresa Allegri. L'indagine richiesta era rivolta essenzialmente alla determinazione della ripartizione dei carichi mobili sulle varie nervature longitudinali delle travi Gerber tenuto anche conto della presenza delle travi trasversali di irrigidimento e ripartizione. Le prove hanno posto in rilievo come sia ammissibile per la pratica l'ipotesi di una distribuzione uniforme del carico, anche quando la risultante è eccentrica rispetto all'asse del ponte.*

Roma Dicembre 1944

IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO  
A. GIANNELLI



## ESPERIENZE SUL MODELLO DI UN PONTE A TRAVATA IN CEMENTO ARMATO

620.1 (003.5): 624.2

TG. 305

*SOMMARIO. — Si espongono i risultati di esperienze eseguite sul modello in celluloido di un ponte sul Tevere del tipo a travate Gerber, in cemento armato con un tratto metallico sollevabile. Scopo delle esperienze è di chiarire come i carichi mobili si ripartiscono sul graticcio di travi costituenti l'ossatura portante delle travate e di ricercare le massime sollecitazioni nelle diverse strutture. I risultati vengono confrontati con quelli ottenuti da procedimenti di calcolo approssimati. Le esperienze furono eseguite mediante l'applicazione di carichi ed il rilievo delle deformazioni con estensimetri e flessimetri.*

È noto quale importante contributo possa ottenersi dall'impiego di modelli nel progetto di strutture di qualsiasi tipo, principalmente tutte le volte che la loro funzione statica è indeterminata e i fenomeni da analizzare sono ribelli a precise indagini matematiche; il modello, se trattato con criteri razionali, porta rapidamente alla soluzione cercata, per quanto complessi siano gli elementi di cui è formato, i loro mutui collegamenti e i carichi applicati.

Mentre nello studio di ogni problema di stabilità di una qualche importanza, oltre al rigore degli sviluppi matematici, occorre porre la massima attenzione alla loro impostazione, ad evitare che alcuni punti essenziali sfuggano all'indagine dello studioso, e quindi che l'esattezza dei risultati sia illusoria, nel modello questa ultima avviene automaticamente. Ogni parte di esso, sotto l'azione dei carichi di prova, trasmette alle altre il flusso di forza, similmente a quanto si verifica nel prototipo, così che si riproduce, in piccola scala e nel modo più preciso, il comportamento reale.

Il meraviglioso equilibrio statico offerto, ad esempio, da strutture molteplici connesse, concepite con profonda intuizione del loro apporto alla stabilità del complesso resistente, non viene poi trascurato dalle ipotesi semplificative spesso introdotte nei calcoli, allo scopo di renderli praticamente possibili, e neppure, ciò che è più importante, si perviene, in sede di progetto, alla rinuncia dei benefici effetti di una forte iperstaticità unicamente per desiderio di poter calcolare esattamente con metodi semplici e rapidi.

L'uso del modello presuppone la conoscenza sia del tipo, sia delle dimensioni delle strutture che pertanto vanno stabilite a priori con i soliti criteri; ossia il primo mediante l'intuizione della loro funzione statica, le seconde con calcoli di massima e; se è il caso, con susseguenti calcoli di verifica.

Permane quindi la fase creativa, che è la più suggestiva ed attraente, veramente di competenza dell'ingegnere che, esplicandovi in pieno le sue doti di intelletto, vi ritrae la massima soddisfazione.

La via sperimentale, se nella maggior parte dei casi non lo esime dalla elaborazione dei calcoli di verifica, gli dà modo di controllare l'ordine di grandezza dei risultati ed anzi di approssimarli maggiormente alla realtà. Il progettista non può tuttavia disinteressarsi dello stesso svolgimento delle prove, dopo di averle affidate ad un laboratorio sperimentale, poichè, per il loro buon esito, è opportuno che egli stesso collabori a predisporle e ad interpretarne i risultati.

Operare su un modello è più semplice di quanto possa apparire a prima vista; tuttavia si richiede allo sperimentatore molta pazienza, familiarità cogli strumenti di misura e perizia nel sorvegliare l'andamento delle prove. Alcune difficoltà si

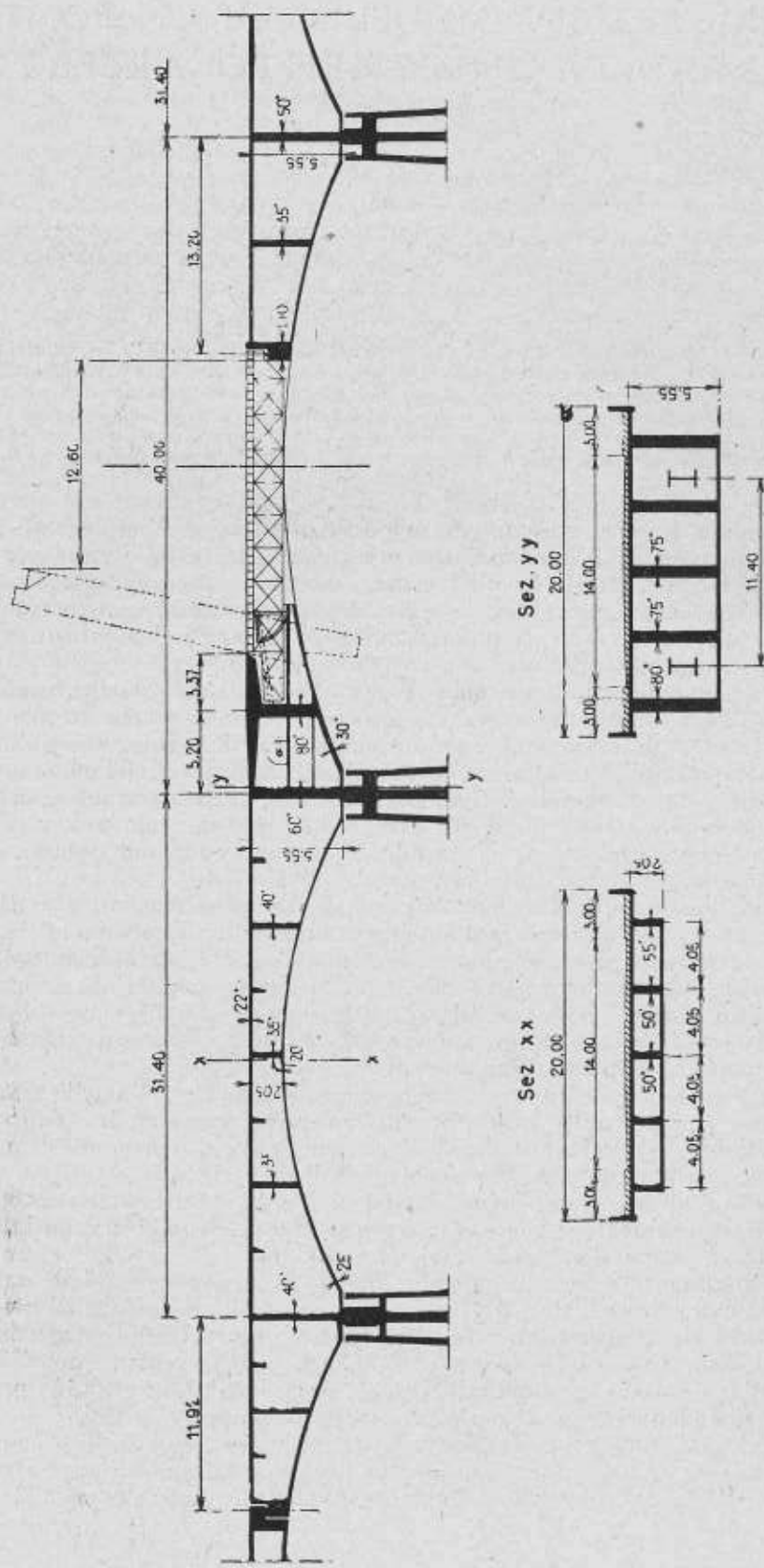


Fig. 1. — Sezioni longitudinale e trasversale della parte centrale del ponte (La campata apribile è quella centrale, le due adiacenti sono identiche fra loro).

incontrano specialmente nelle strutture spaziali, sia nella scelta del materiale più conveniente e della più opportuna scala di riduzione, sia nella lavorazione del modello stesso che deve risultare perfetto nella solidarietà delle varie parti di cui è composto.

Dall'esame delle monografie che illustrano esperienze su modelli è difficile trarre delle norme generali circa il metodo di sperimentazione ed è evidente invece come esse debbano venire stabilite di volta in volta a seconda delle particolari caratteristiche dell'opera. Riesce comunque sempre utile la conoscenza di un gran numero di casi onde usufruire della esperienza fatta dagli altri, principalmente riguardo alle più frequenti difficoltà che si presentano nel corso delle prove ed ai criteri seguiti per superarle.

Può pertanto presentare qualche interesse il presente studio che rientra in un particolare campo fecondo di applicazione per i modelli: quello dei ponti in cemento armato. Il cemento armato consente infatti molteplici collegamenti che rendono le strutture monolitiche e, come detto, mentre ciò giova alla stabilità dell'opera riesce d'intralcio ad una esatta impostazione dei calcoli a causa dello elevato grado d'iperstaticità.

D'altra parte nei ponti si presentano elementi strutturali (travi rettilinee o curve a momento d'inerzia fortemente variabile, travi con dimensioni trasversali elevate rispetto a quelle longitudinali, travi a cassone ecc.) che, per la loro conformazione, già per se stesse portano a stati di sollecitazione troppo diversi da quelli che si ottengono coi normali metodi di calcolo; come pure si hanno condizioni di carico mobile che assumono grande importanza per l'entità dei carichi stessi e per alcune particolari posizioni che essi possono avere sull'impalcato (ad esempio forte eccentricità rispetto all'asse del ponte con conseguenti notevoli effetti di torsione).

La maggiore approssimazione che si consegue coll'uso del modello può allora riguardarsi come dovuta a due cause; una consistente nel considerare gli elementi dello schema strutturale nella loro condizione reale di vincolo, l'altra nel tenere conto della distribuzione delle tensioni in modo più esatto di quanto non consentano alcune ipotesi fondamentali di calcolo (conservazione delle sezioni piane, applicazione dei carichi secondo l'ipotesi di Saint Venant).

La prima è più o meno importante a seconda dell'esattezza colla quale è possibile impostare il calcolo, la seconda dipende dal comportamento del materiale del modello, rispetto a quello del prototipo, e dal modo come si può riprodurre nel modello l'applicazione dei carichi.

#### OGGETTO DELLE ESPERIENZE.

La figura 1 mostra in sezione longitudinale e trasversale la parte centrale di un ponte in cemento armato a sette luci del tipo GERBER (1).

Caratteristica dell'opera è di avere nella campata centrale un tratto apribile che lascia libera una apertura di m. 12,60 di luce per il transito di natanti di qualsiasi altezza. Questa ultima particolarità ha richiesto l'adozione di speciali strutture fortemente cimentate, per la stabilità delle quali si è ritenuto opportuno analizzarne lo stato di sollecitazione, oltre che con il calcolo, anche direttamente mediante l'uso di un modello.

Si è poi ravvisata la convenienza di estendere le esperienze alle altre campate considerando l'effetto sulle nervature longitudinali di sovraccarichi mobili, transitanti direttamente sull'impalcato, e quindi disposti anche in posizione eccentrica rispetto al baricentro delle masse delle nervature longitudinali.

(1) Costruito dalla Impresa Allegri sul Tevere in località Magliana.



Questo problema della ripartizione dei carichi su un graticcio di travi ha dato luogo a vari interessanti studi teorici alcuni dei quali, impostati con opportune ipotesi semplificative, portano a prevedere per le nervature esterne sollecitazioni sensibilmente maggiori che per quelle centrali.

Lo schema portante del ponte in parola risulta costituito nelle sue linee generali da cinque nervature longitudinali, sagomate inferiormente ad arco, collegate fra loro dalla soletta dell'impalcato, da quella inferiore del voto e da trasversi. La parte apribile in acciaio, dopo vari studi, venne progettata in una unica travata sollevabile, mediante rotazione di due settori posti ad una estremità e poggianti

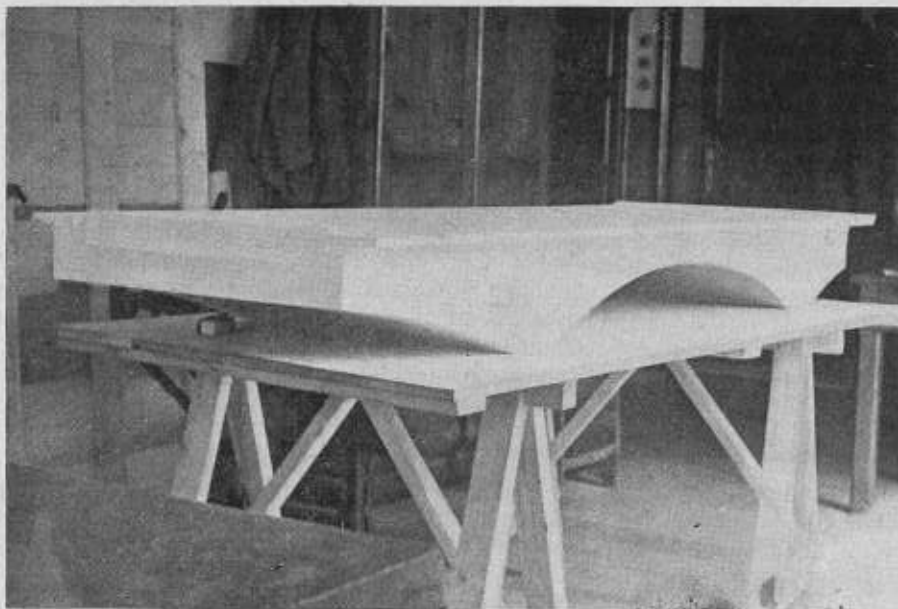


Fig. 2. — Il modello in cellulose del ponte.

su mensole metalliche a loro volta ancorate alle strutture fisse in cemento armato. La continuità dell'impalcato fra la parte fissa e quella mobile è affidata ad una soletta a sbalzo in cemento armato che aggetta per tre metri.

A ponte chiuso la travata metallica va ad appoggiarsi all'altro estremo, con due apparecchi scorrevoli, su una seggiola terminale di uno sbalzo in cemento armato di m. 13,20 di aggetto. Essendo la travata metallica contrappesata, le reazioni di appoggio su questa ultima, per il carico permanente, sono quasi nulle e quindi le totali massime sono prodotte quasi esclusivamente dal carico accidentale.

#### IL MODELLO.

Il modello venne costruito nella scala 1:25, con lastre di cellulose bianca, dal Laboratorio della Società Terni a Papigno per cortese concessione dei Dirigenti e sperimentato negli anni 1942-43 in questo Istituto di Scienza delle Costruzioni diretto dal Prof. A. Giannelli. Onde ottenere la perfetta similitudine geometrica fra prototipo e modello, gli elementi (travi, solette) vennero realizzati incollando fra loro lastre di spessore diverso. Un tentativo fatto in un primo tempo di adottare scale diverse per le lunghezze e per gli spessori, al fine di conse-

guire una maggiore deformabilità del modello all'azione dei carichi di prova, ebbe esito sfavorevole poichè ne risultava alterata la resistenza torsionale delle travi che, invece, dalle esperienze si è dimostrata avere grande importanza per la ripartizione dei carichi.

La scala 1 : 25 venne ritenuta sufficiente per una buona utilizzazione degli apparecchi di misura che si avevano a disposizione ; d'altra parte una scala maggiore avrebbe portato il costo del modello a valori eccessivi.

Le parti del ponte che si volevano sottoporre ad esperienze erano, come già accennato, i due sbalzi della campata centrale (figura 1) e le travate delle campate adiacenti a questa. In tal modo si sarebbe dovuto estendere il modello alle tre campate centrali del ponte, ma, per ragioni di economia, e tenuto conto che l'azione della travata mobile sugli sbalzi sarebbe stata sostituita da pesi, nel modello venne riprodotta una sola delle campate laterali, prolungata oltre gli appoggi con i due sbalzi della campata centrale come si vede in fig. 2. In tal modo mentre veniva ridotto alla metà il costo del modello, si potevano ugualmente sperimentare separatamente i due sbalzi e la campata in quanto ognuna di queste parti risultava sottoposta a condizioni di vincolo praticamente uguali a quelle dello schema originario.

Le fig. 3 e 4 mostrano il modello nelle sue fasi di lavorazione. Particolarmente complesso risultava il riprodurre l'azione che le due mensole metalliche di sostegno della parte mobile esercitano sul trasverso di estremità dello sbalzo al quale sono ancorate, poichè la esecuzione di fori nel trasverso del modello, per l'introduzione di mensole, ne avrebbe alterato il comportamento. Vennero allora incollate al trasverso delle piastrelle di celluloidi come indicato nella fig. 5 alle quali si appesero i carichi di prova. Dette piastrelle furono dimensionate in modo che la parte solidale al trasverso del modello corrispondesse esattamente a quella interessata dalle mensole metalliche nel prototipo.

Tale applicazione trascurava l'azione di torsione impressa al trasverso dalla deformazione delle mensole per effetto del carico della travata, ma essendo queste notevolmente rigide, nel tratto incastrato, è da ritenersi che la sostituzione non abbia influenzato sensibilmente i risultati.

Onde riprodurre le reali condizioni di vincolo esterno, il modello venne appoggiato su un banco di ghisa, praticamente indeformabile, tramite un listello in celu-

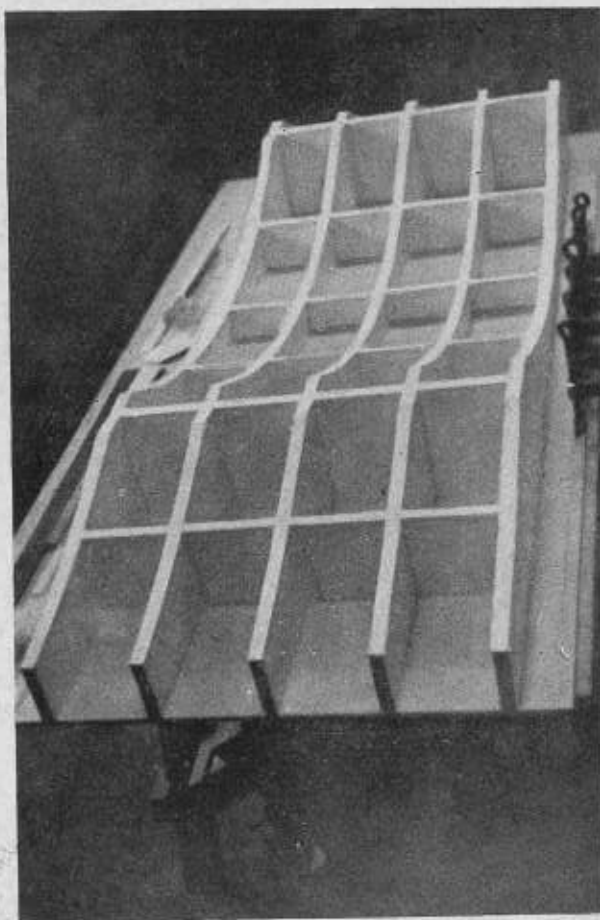


Fig. 3. — Il modello in lavorazione (rovesciato).



loide da un lato, costituente una cerniera delle dimensioni in scala della lastra di piombo del prototipo, e su un cilindro metallico dall'altro lato, funzionante come cerniera scorrevole e riproducendo il comportamento del pendolo del prototipo.

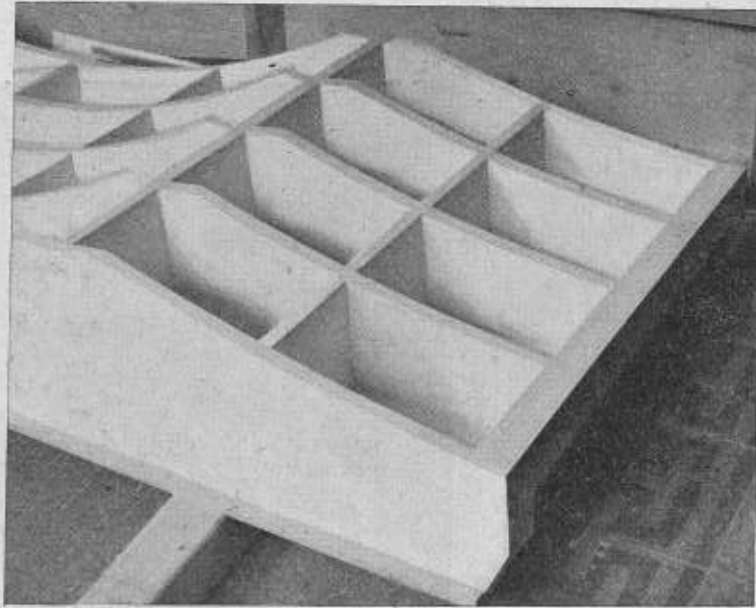


Fig. 4. — Particolare di uno sbalzo del modello.

Le esperienze consistevano nel misurare le deformazioni in vari punti del modello sotto l'azione di carichi di prova. Dalla loro conoscenza è infatti agevole risalire alle caratteristiche di deformazione e di sollecitazione del prototipo mediante note relazioni di similitudine meccanica che, in questo caso, trattandosi unicamente di carichi esterni statici, si riducono alle semplici espressioni qui di seguito ricordate.

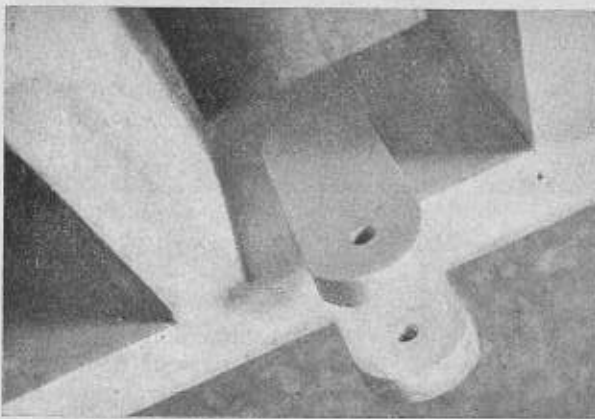


Fig. 5. — Dispositivo di attacco del carico di prova al trasverso di sostegno della travata apribile.

Essendo il rapporto delle lunghezze  $\lambda = \frac{l}{l'}$  e quello delle forze

$$f = \frac{F}{F'}$$

supposti modello e prototipo soggetti a sistemi di forze simili, risulta per le deformazioni:

$$\frac{\delta}{\delta'} = \frac{F}{F'} \frac{E'}{E} \frac{l'}{l} = \frac{f}{\lambda} \frac{E'}{E}$$

Le sollecitazioni in un punto del modello si ottengono dalla misura delle estensioni su una lunghezza che, se in teoria dovrebbe risultare infinitesima, in pratica, con i comuni strumenti di laboratorio, può scendere difficilmente al di sotto di 5 mm.

Le sollecitazioni in un punto del modello si ottengono dalla mi-

È evidente allora che l'approssimazione della lettura sarà tanto maggiore quanto maggiore è la deformabilità del modello entro il suo campo elastico e quindi, in generale, si impiegano per esso materiali (celluloide) notevolmente più deformabili di quelli da costruzione (ferro, cemento armato, muratura).

Misurate in un punto le estensioni unitarie  $\epsilon_x$  ed  $\epsilon_y$ , essendo le direzioni  $x$  ed  $y$  normali fra di loro, le tensioni notoriamente risultano:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y); \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x),$$

conoscendo poi anche l'estensione in una terza direzione giacente sul piano  $x - y$  risulta definito completamente lo stato di tensione nel punto senza dover rilevare anche la  $\tau$ .

Alcune volte, quando sia conosciuta la direzione della tensione maggiore, e questa è preponderante rispetto a quella ortogonale, può essere sufficiente misurare unicamente la sua deformazione e calcolare quindi la tensione ideale:

$$\sigma = E \cdot \epsilon.$$

Essendo il rapporto fra le tensioni in punti omologhi del modello e del prototipo:

$$\frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{F}{F'} \frac{l'^2}{l^2} = \frac{f}{\lambda^2}$$

si trova allora per le estensioni:

$$\frac{\epsilon}{\epsilon'} = \frac{\sigma E'}{\sigma' E} = \frac{f}{\lambda^2} \frac{E'}{E}.$$

Indicando con  $A$  l'amplificazione degli estensimetri (1000 ÷ 1200 per i tipi Huggenberger e Galileo adottati in queste esperienze);  $\Delta$  la lettura sulla graduazione dello strumento e  $b$  la base di misurazione, si deducono dalle esperienze le sollecitazioni nel prototipo mediante la relazione:

$$\sigma = \epsilon' E' \frac{f}{\lambda^2} = \Delta \frac{1}{A \cdot b} E' \frac{f}{\lambda^2}.$$

È noto che la perfetta proporzionalità fra le tensioni, essendo proporzionali le deformazioni, risulterebbe solo nel caso di eguaglianza di rapporti delle costanti elastiche di Lamè dei materiali di cui sono costituiti il modello ed il prototipo, dalla quale condizione si deduce che dovrebbero essere uguali i rispettivi coefficienti di Poisson. Per i materiali celluloide e conglomerato ciò non è verificato ma le costanti di Lamè risultano poco diverse fra loro.

Inoltre nel caso in esame, essendo le reazioni dei vincoli staticamente determinate, esse non risultano influenzate dalle costanti elastiche del materiale, cosicchè è possibile risalire semplicemente dagli spostamenti del modello a quelli della costruzione.

Per la determinazione del modulo di elasticità della celluloide vennero eseguite esperienze di trazione, ed anche di flessione, secondo la disposizione indicata in fig. 6, su provini direttamente estratti dalle lastre che servirono per la confezione del modello; e poichè per le nervature s'impiegarono lastre di spessore diverso, incollate fra di loro, si sperimentarono anche provini così composti.

I risultati di una estesa serie di prove furono abbastanza concordanti fra di loro non avendosi risultati sensibilmente diversi fra le prove a trazione ed a fles-

sione, nè fra le lastre semplici e quelle composte. Gli estensimetri nella prova indicata in fig. 6 dettero identici valori al lembo teso ed a quello compresso.

Dette prove vennero ripetute alcun tempo dopo riscontrando, rispetto alle prime, un miglior comportamento elastico del materiale il che indusse a ripetere tutte le esperienze sul modello.

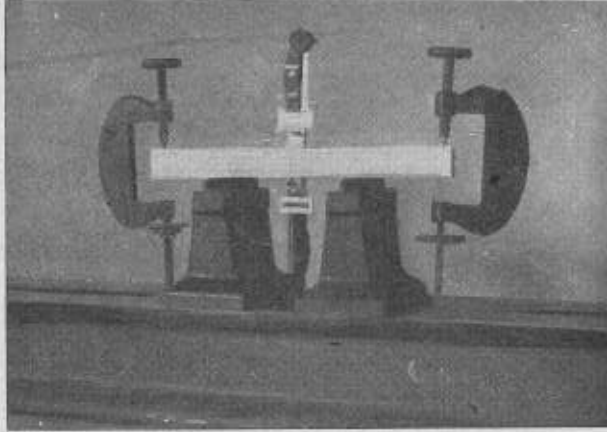


Fig. 6. — Determinazione del modulo di elasticità della celluloido con un provino sollecitato a flessione.

Dal grafico della fig. 7, che contiene i risultati di una prova a flessione, si vede che il modulo dal valore iniziale di 19000  $\text{kg/cm}^2$  diminuisce leggermente al crescere della sollecitazione; anche nelle prove a trazione semplice esso per piccole sollecitazioni è risultato di poco inferiore a 20.000  $\text{kg/cm}^2$ . Poiché le sollecitazioni nel modello, prodotte dai carichi di prova, erano molto basse, venne assunto in 20.000 il modulo della celluloido e quindi il valore 10 come rapporto fra i moduli del materiale del prototipo e del modello.

Le esperienze, delle quali qui di seguito sono riassunti i risultati principali, furono ripetute un gran numero di volte fino ad ottenere una perfetta concordanza di valori fra prove successive. Per la stessa esperienza gli apparecchi vennero scambiati di posto fra di loro onde ricercare eventuali difetti di applicazione o di funzionamento.

Ciò nondimeno alcune volte si sono ottenuti valori non rispettanti perfettamente la simmetria delle condizioni di carico e del modello, ovvero altre condizioni che si deducono da note proposizioni di teoria dell'elasticità (reciprocità, ecc.). Ciò è da attribuirsi ad un comportamento non omogeneo del materiale, ad inevitabili piccole imperfezioni di costruzione ed alla difficoltà di realizzare appoggi della trave che siano perfettamente piani.

Comunque si è seguito il criterio di esporre fedelmente i risultati riportando ogni volta i valori medi fra quelli ottenuti da più prove, senza apportare alcuna modifica che avrebbe potuto essere suggerita dai criteri accennati. Essi di preferenza sono riassunti in grafici, che riescono di più evidente e gradevole interpretazione che non le tabelle.

Essendosi riscontrato che piccole variazioni di temperatura, nel corso delle esperienze, influenzano sensibilmente i risultati, si rese l'ambiente a temperatura pressochè costante con la chiusura di tutti i vani; però, mentre dapprima si era ritenuto di attendere un certo tempo fra l'applicazione del carico e la lettura degli strumenti, si convenne poi di far seguire quasi subito (intervallo di 2 o 3 minuti) la seconda operazione alla prima

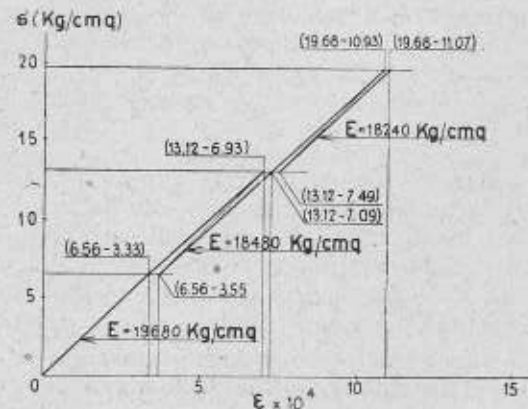


Fig. 7. — Rappresentazione grafica dei risultati della prova indicata in fig. 6.



eliminando così l'influenza di variazioni termiche ed ottenendo un migliore comportamento elastico del modello.

Nelle prime prove gli estensimetri vennero applicati rigidamente al modello con perni e dadi, si riscontrò poi più conveniente assicurare l'aderenza delle losanghe degli strumenti alle lastre di celluloidi mediante pesi sulle staffe di sostegno, poichè in tal modo gli strumenti avevano maggiore libertà di seguire il modello nella deformazione. Ciò naturalmente tutte le volte che la superficie di applicazione si presentava orizzontale.

Il carico di prova venne applicato nei diversi punti dell'impalcato mediante una asticella verticale collegata ad una leva con fulcro sul banco di appoggio e portante all'estremo libero il piatto per i pesi, come si vedè nelle fotografie.

#### PRIMA SERIE DI ESPERIENZE.

Le esperienze vennero iniziate dallo sbalzo di m. 5,20 della campata centrale del ponte (in figura 1 il sinistro) al quale sono ancorati i due mensoloni in ferro della parte mobile come indicato nella fig. 8.

Le reazioni  $R$  sono quelle trasmesse alle mensole metalliche dalla travata mobile nella posizione di transito aperto. Esse danno luogo a loro volta alle reazioni  $P$  sul trasverso in cemento armato dello sbalzo, come ancora è chiarito dalla fig. 9 (Forze  $P_1$  e  $P_2$ ). Queste ultime quando la risultante del carico accidentale è eccentrica rispetto all'asse del ponte, possono assumere grandezza diversa le une dall'altre; si presenta quindi il problema di vedere in quale proporzione esse si distribuiscono fra le cinque nervature in cemento armato della travata.

Tale problema venne dapprima affrontato analiticamente adottando opportune ipotesi semplificative sulla natura dei vincoli, consistenti nello ammettere il collegamento a cerniera fra travi longitudinali e trasversali (quindi nel trascurare la rigidità torsionale delle travi stesse) e nel considerare la continuità delle travi longitudinali fino al primo trasverso della campata adiacente, supposto immobile nella deformazione, ovvero, ciò che è lo stesso, nell'ipotesi che esso si sposti parallelamente a se stesso. Questa ipotesi non ci porta molto lontano dal vero poichè il trasverso è molto rigido e l'inclinazione da esso assunta per effetto di carichi  $P_1 \neq P_2$  è minima come è risultato dalle prove stesse. Comunque l'ipotesi venne ritenuta lecita in sede di progetto in quanto porta a risultati approssimati in eccesso.

Pervenuti così allo schema della fig. 10, le reazioni  $y$  fra le nervature e il trasverso terminale, indotte da una qualsiasi coppia di valori  $P_1$  e  $P_2$  ed in particolare per  $P_1 = 1$ ;  $P_2 = 0$  si ottengono dal ben noto procedimento dell'uguaglianza delle deformazioni nei punti in comune. Il trasverso poteva considerarsi allora come trave appoggiata a due delle cinque nervature e sottoposto, oltre

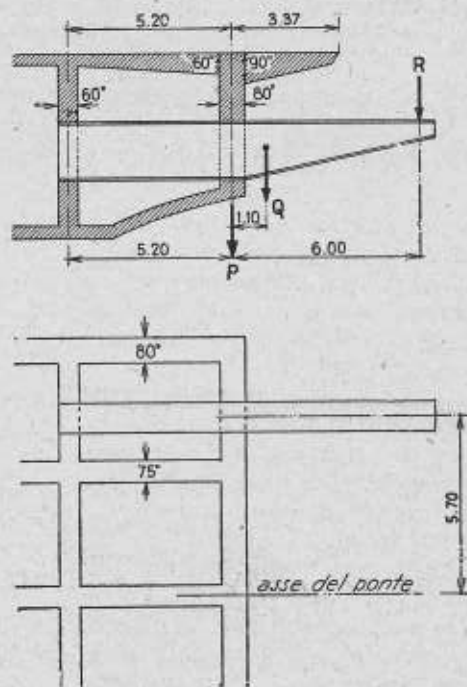


Fig. 8. — Sezione e pianta della struttura a sbalzo di sostegno della travata metallica mobile.

che all'azione dei carichi  $P_1$  e  $P_2$ , alle reazioni iperstatiche  $y$  delle altre tre nervature, ma per comodità di scritturazione delle deformazioni si è preferito scindere il problema nei due casi di carico simmetrico ed emisimmetrico, come indicato in figura, e risalire poi da essi allo schema iniziale.

Tenuto conto dei momenti di inerzia, che sono appena differenti per le nervature di estremità e quelle centrali, e considerata la sezione a J per il trasverso, che è notevolmente irrigidito dalla soletta a sbalzo di forte spessore, si perviene ai seguenti risultati:

Per la condizione di carico simmetrica b):

$$y'_1 = y'_5 = 0,1929$$

$$y'_2 = y'_4 = 0,2114$$

$$y'_3 = 0,1913$$

e per quella emisimmetrica c):

$$y''_1 = -y''_5 = 0,2648$$

$$y''_2 = -y''_4 = 0,1741$$

$$y''_3 = 0,0000$$

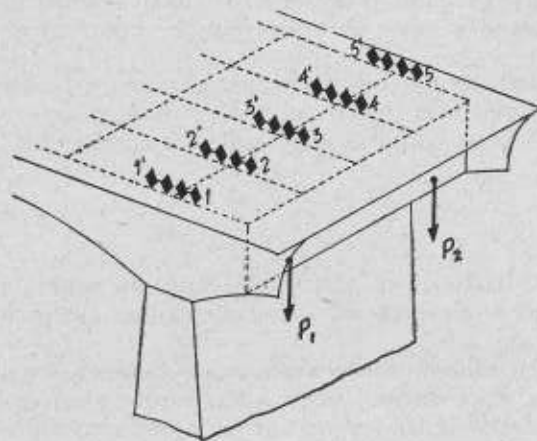


Fig. 9. — Prova di carico dello sbalzo di cui in fig. 8. Disposizione degli estensimetri.

Per sovrapposizione degli effetti si ottengono poi le reazioni corrispondenti dalla condizione di carico a):

$$y_1 = 0,4577; y_2 = 0,3855; y_3 = 0,1913; y_4 = 0,0373; y_5 = 0,0719$$

Dal primo ed ultimo dei precedenti valori si ha immediatamente la linea di influenza della reazione  $y_1$  della trave esterna, per un carico spostantesi sulla travata metallica trasversalmente all'asse del ponte.

Trattandosi di carico indiretto è rettilinea, come segnata in fig. 11 (tratteggiata) e ad essa corrisponde la condizione più sfavorevole di sovraccarico indicata in a).

Operata la disposizione più sfavorevole delle colonne anche in senso longitudinale al ponte, si perviene a valori delle reazioni sulle mensole metalliche (fig. 8)  $R_1 = 154 T$ , ed  $R_2 = 53 T$ , a cui corrispondono carichi sul trasverso in cemento armato:

$$P_1 = 154 \frac{11,2}{5,2} = 532 T;$$

$$P_2 = 53 \frac{11,2}{5,2} = 114 T$$

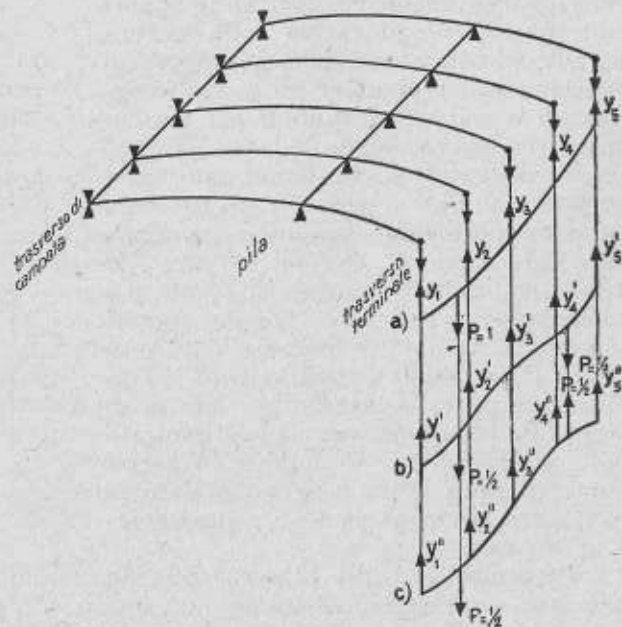


Fig. 10. — Schema adottato per il calcolo approssimato delle travi dello sbalzo di cui in figura 8.

e reazioni sulle cinque nervature ;

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 332 \times 0,4577 - 114 \times 0,0719 &= 146 \text{ T} \\
 Y_2 &= 332 \times 0,385 + 114 \times 0,0373 &= 132 \text{ " } \\
 Y_3 &= (332 + 114) \times 0,1913 &= 86 \text{ " } \\
 Y_4 &= 332 \times 0,0373 + 114 \times 0,3855 &= 56 \text{ " } \\
 Y_5 &= -332 \times 0,0719 + 114 \times 0,4577 &= 28 \text{ " }
 \end{aligned}$$

dalle quali si vede che il carico sulla nervatura di estremità risulterebbe del 62 % maggiore del valore medio.

Passiamo ora ad esporre i risultati ottenuti dal modello.

Vennero applicati estensimetri in corrispondenza del lembo superiore della sezione di appoggio sulla pila, come indicato nella fig. 9, due per ogni nervatura,

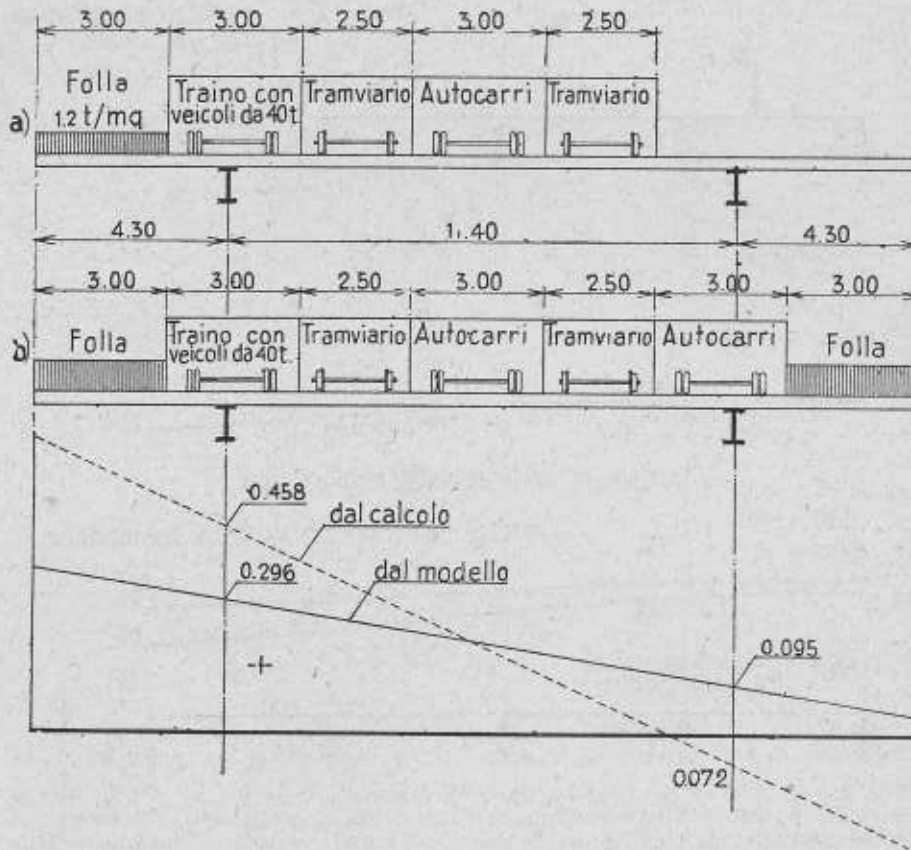


Fig. 11. — Linee d'influenza della reazione  $y$ , fra trasverso e nervatura di estremità dello sbalzo di cui in fig. 8 ottenuta dal calcolo approssimato (schema fig. 10) e dal modello (fig. 9).

Condizioni di carico più sfavorevoli.

adiacenti al trasverso in modo da misurare le deformazioni fuori di esso. A causa della grande rigidezza del tratto del modello in esame si è reso necessario dare agli estensimetri una base di 50 mm., nonostante il carico applicato  $P$  fosse di 90 kg. Le operazioni di carico e scarico sono state ripetute più volte per le due condizioni  $P_1 = 90 \text{ kg.}, P_2 = 0$ ;  $P_1 = 0, P_2 = 90 \text{ kg.}$  fino ad ottenere costanza di risultati.