

# RASSEGNA TECNICA

La « Rassegna tecnica » vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

## Recenti ricerche sul comportamento torsionale dei ponti in sistema misto acciaio-calcestruzzo

PIETRO MATILDI riferisce sui risultati raggiunti nell'attuazione di un programma di ricerca in atto presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Trieste sul comportamento torsionale delle travate da ponte in sistema misto acciaio-calcestruzzo a due sole travi portanti. Richiamati brevemente i concetti fondamentali della teoria della torsione non uniforme delle travi a sezione aperta in parete sottile, nell'ambito della quale può inquadrarsi il problema in esame, procede alla determinazione dell'influenza che sul comportamento di assieme di tali strutture viene esercitata dalla presenza di rinforzi trasversali, intermedi o di estremità. Espone al riguardo sia i risultati conseguiti per via teorica che quelli scaturiti dall'indagine sperimentale nel corso di varie serie di prove condotte su profilati metallici, vincolati agli estremi in maniera diversa e rinforzati in sezioni intermedie mediante piastre di diverso spessore. Con specifico riferimento alle travate da ponte in sistema misto, esamina quindi il problema della controventatura inferiore, di cui viene valutata l'influenza sul comportamento torsionale della struttura, mostrando come esso risulti notevolmente modificato per l'incremento, di norma assai sensibile, della rigidità torsionale primaria. (Conferenza tenuta agli ingegneri-allievi del Corso di Cultura in Costruzioni Metalliche « G. Albenga » presso la Facoltà d'Ingegneria del Politecnico di Torino il 13 - 5 - 1966).

### 1 - PREMessa

Presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Trieste è da tempo in atto una serie di ricerche teorico-sperimentali tendenti ad indagare sul comportamento torsionale delle travate da ponte in sistema misto acciaio-calcestruzzo a due sole travi portanti.

Dal punto di vista teorico il problema può ricondursi a quello, più generale, delle travi in parete sottile, soggette contemporaneamente a flessione composta e a torsione non uniforme, purchè:

a) la larghezza dell'impalcato sia relativamente piccola rispetto alla luce;

b) siano presenti diaframmi trasversali in numero e di caratteristiche tali da garantire l'indeforabilità della sezione trasversale nel proprio piano.

In questa Sede si riferirà sulle ricerche condotte a tutt'oggi, e sui risultati conseguiti.

Particolarmente esaminato, e praticamente concluso, è stato il problema della determinazione dell'influenza dei diaframmi trasversali — sia intermedi, sia di estre-

mità — sul comportamento torsionale di assieme della struttura. Il problema, affrontato dapprima per via teorica, è stato riesaminato al completo per via sperimentale operando su travi variamente vin-

teorica può dirsi anche il problema della determinazione dell'influenza della controventatura inferiore, di cui è stato valutato il contributo sulle caratteristiche di resistenza della struttura nei casi di più

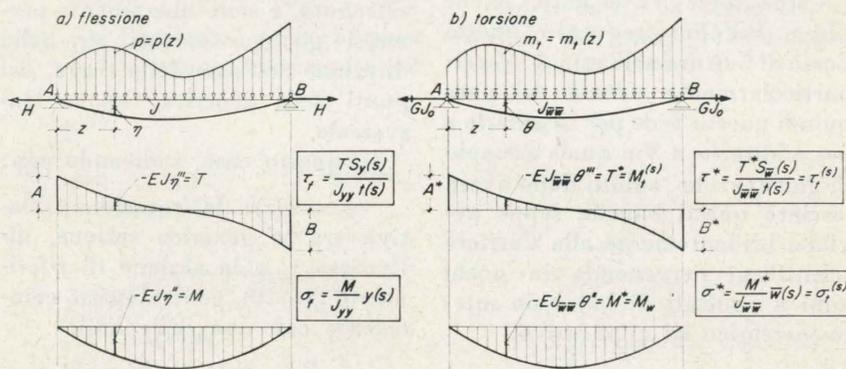


Fig. 1.

colate agli estremi dal punto di vista torsionale, in partenza non rinforzate e successivamente rinforzate da traversi di differente spessore, ed indirizzando la ricerca sia alla determinazione della deformata torsionale, sia alla determinazione dello stato tensionale secondario.

Completamente risolto per via

notevole interesse applicativo. Le relative esperienze, il cui programma è già predisposto, non hanno potuto ancora avere inizio: il superamento di talune difficoltà che ancora si frapponevano alla messa a punto del complesso dispositivo sperimentale che le prove richiedono fa però ben sperare per un rapido inizio delle stesse.

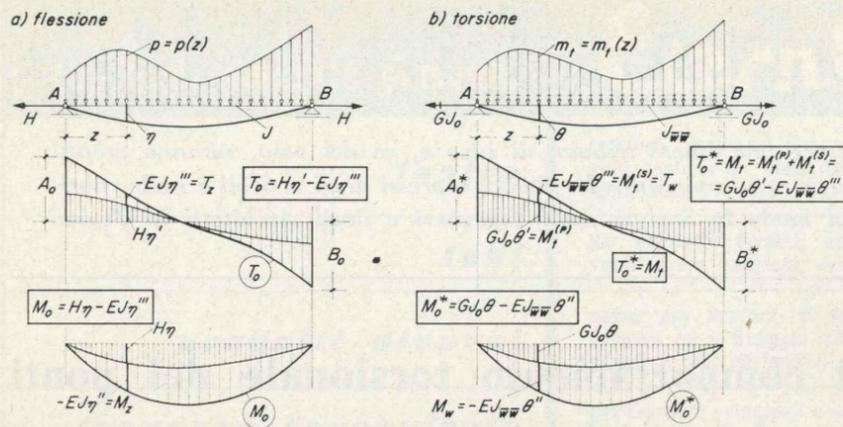


Fig. 2.

Sui criteri informativi di tali prove, sul relativo dispositivo sperimentale, come pure sull'esame di ulteriori aspetti del problema che ancora richiederebbero qualche messa a punto, si riferirà in apposita Sede.

Prima di entrare in argomento non posso non rivolgere un affettuoso pensiero all'Ing. Michele Bufalini, scomparso improvvisamente ed immaturamente all'età di soli 29 anni il 19 Agosto 1965. A Lui si debbono buona parte dei risultati teorici di cui si riferisce in questa Sede, nonché l'inquadramento e l'avvio delle relative prove sperimentali.

Come forse Vi è noto, anche l'Ing. Bufalini frequentò questo Corso di Cultura nell'anno 1959-60: particolarmente adatta mi pare quindi questa Sede per ricordarlo e per additarlo a Voi quale esempio di giovane che, subito dopo avere lasciato questi banchi, seppe avviarsi brillantemente alla Carriera scientifica, pervenendo in pochi anni a risultati di indubbio interesse teorico ed applicativo.

## 2 - QUALCHE RICHIAMO DELLA TEORIA DELLA TORSIONE NON UNIFORME DELLE TRAVI A SEZIONE APERTA IN PARETE SOTTILE

Allo scopo di rendere chiara l'esposizione che segue si ritiene opportuno — salvo rimandare, per il dettaglio, ai lavori citati in Bibliografia — richiamare le nozioni fondamentali della teoria della torsione non uniforme delle

travi a sezione aperta (costante) in parete sottile, ad asse rettilineo.

Rammentiamo, allo scopo, che una trave si dice sollecitata a torsione pura, o uniforme, o di Saint-Venant, quando è sollecitata soltanto da due momenti torcenti  $M_t$ , uguali e contrari, in corri-

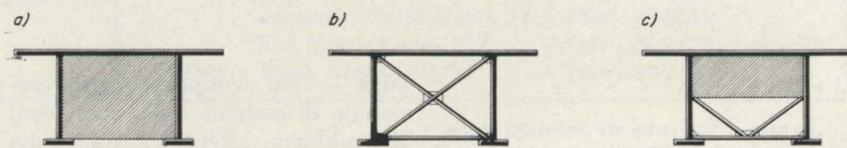


Fig. 3.

spondenza delle sue sezioni di estremità, e sono liberamente permessi gli spostamenti  $w$ , nella direzione dell'asse della trave, dei punti della generica sezione trasversale.

In questo caso, indicando con:

$\vartheta = \vartheta(z)$ : la rotazione relativa tra la generica sezione, all'ascissa  $z$ , e la sezione di riferimento ( $z = 0$ ), generalmente coincidente con una delle basi,

$G$ : il modulo di elasticità tangenziale del materiale,

$J_0$ : il momento d'inerzia polare ridotto della sezione, vale la:

$$M_t = GJ_0\vartheta' = GJ_0 \frac{d\vartheta}{dz} \quad (1)$$

essendo  $\vartheta' = \frac{d\vartheta}{dz}$  l'angolo unitario di torsione, costante con  $z$ , e  $GJ_0$  (momento da applicare tra due sezioni a distanza unitaria per produrre tra esse una rota-

zione relativa anch'essa unitaria) la rigidità torsionale della trave.

Sussiste inoltre proporzionalità tra la componente secondo  $z$ , del vettore spostamento e l'angolo unitario di torsione; vale cioè la:

$$w = \bar{w}(x, y) \vartheta' = \bar{w}(x, y) \frac{d\vartheta}{dz}, \quad (2)$$

nella quale  $w$  è indipendente da  $z$  ( $\vartheta' = \frac{d\vartheta}{dz} = \text{cost.}$ ), essendo  $\bar{w}(x, y)$  una funzione di carattere esclusivamente geometrico, dipendente, oltre che dalla forma della sezione, anche dalla posizione dell'asse di rotazione.

Con riferimento alla trave in argomento, diremo che essa è soggetta a torsione non uniforme ogniquale sia impegnata a torsione con modalità diverse da quelle precisate, onde gli spostamenti  $w$ , espressi dalla (2), anziché costanti con  $z$ , risultino funzione di questa.

Ne conseguono delle

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad (3)$$

diverse da zero e generalmente variabili con  $z$ , nonché delle

$$\sigma_z = E \varepsilon_z, \quad (4)$$

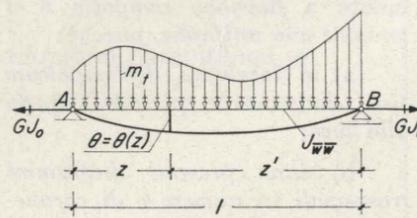


Fig. 4.

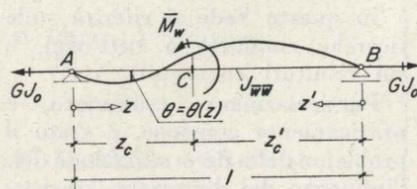


Fig. 5.

anch'esse, in generale, variabili con  $z$ .

La variazione delle  $\sigma_z$  con  $z$  lungo le fibre longitudinali richiede, per l'equilibrio, la presenza di opportune  $\tau_{yz}$ , e quindi, sul piano della sezione, di un'opportuna distribuzione di  $\tau_{zy}$ .

Nella sezione generica, pertanto, la torsione non uniforme induce, accanto a quelle che sono le normali tensioni tangenziali caratteristiche della sollecitazione di torsione, e che nel seguito chiameremo tensioni tangenziali primarie, o di Saint-Venant, uno stato di tensione secondario, caratterizzato dalla presenza di  $\sigma$  e  $\tau$  del tipo di quelle della flessione composta.

A seguito di ciò, il momento torcente  $M_t = M_t(z)$  si spezza, sezione per sezione, in una quota primaria  $M_t^{(P)}$ , equilibrata da tensioni tangenziali alla S. Venant, ed in una quota secondaria  $M_t^{(S)}$ , caratteristica della torsione non uniforme, equilibrata dal complesso delle tensioni secondarie. Vale pertanto la relazione:

$$M_t = M_t^{(P)} + M_t^{(S)}, \quad (5)$$

nella quale l'addendo  $M_t^{(S)}$  è nullo soltanto in presenza di torsione uniforme, essendo in questo caso, e solo in questo, il momento torcente equilibrato da sole tensioni tangenziali del tipo ben noto.

Dopo quanto detto risulta ben chiaro come, con riferimento ad una trave assegnata, il problema fondamentale della torsione non uniforme consista nella determinazione della legge con cui il momento torcente si ripartisce, sezione per sezione, in momento torcente primario e secondario, e nella determinazione, tramite tali quote, del conseguente stato di tensione.

Si è mostrato in altra sede come tale problema possa ricondursi, sotto opportune ipotesi (\*), a quello, più familiare, della determinazione della linea elastica di una trave inflessa e caricata assialmente.

(\*) E precisamente:

- della indeformabilità della sezione trasversale nel suo piano;
- della trascurabilità delle deformazioni da taglio sulla superficie media della trave.

L'equazione differenziale che regge quest'ultimo problema è infatti, con il ben noto significato dei simboli (fig. 1), la:

$$EJ\eta^{IV} = p + H\eta'', \quad (6)$$

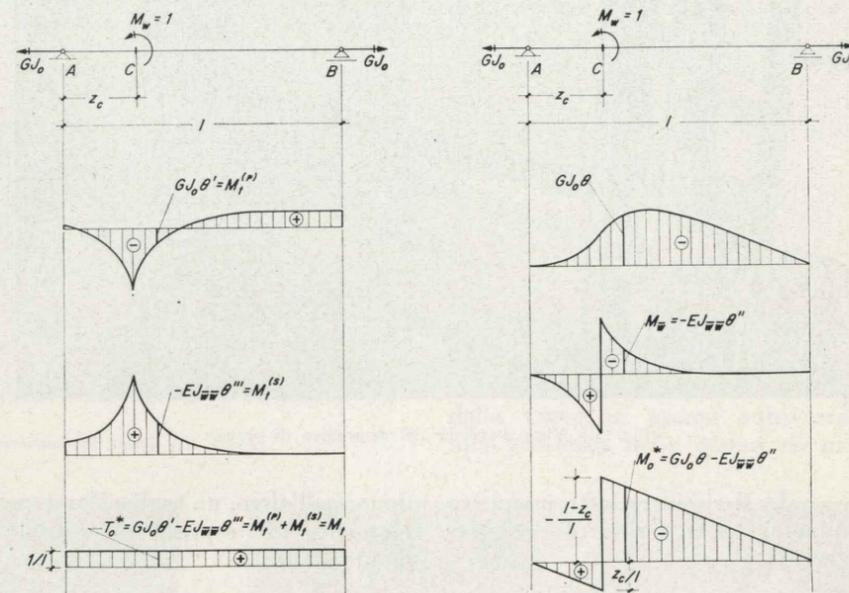


Fig. 6.

dalla quale, operando le sostituzioni:

$$J \rightarrow J_{\text{vite}}; \quad H \rightarrow GJ_0; \\ p \rightarrow m_t; \quad \eta \rightarrow \vartheta, \quad (7)$$

può passarsi alla

$$EJ_{\text{vite}}\vartheta^{IV} = m_t + GJ_0\vartheta'', \quad (6')$$

che, per l'appunto, regge, se pure in un opportuno riferimento, il

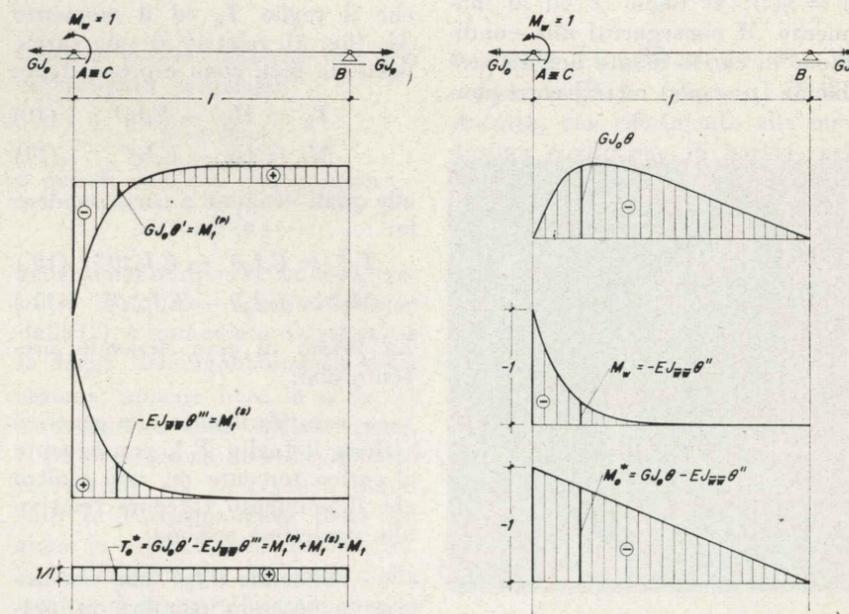


Fig. 7.

problema della torsione non uniforme delle travi a sezione aperta in parete sottile.

Per quanto si riferisce a quest'ultima equazione, va soltan-

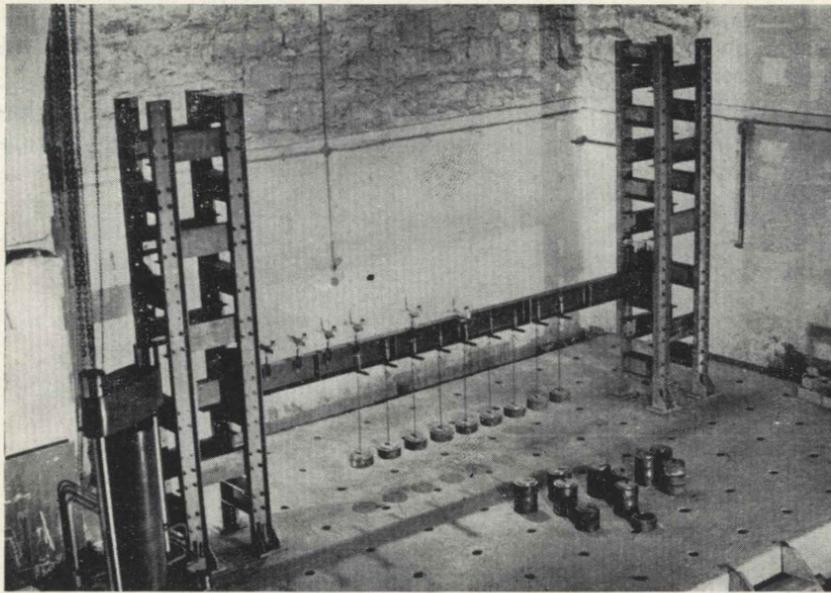


Fig. 8 - Vista d'insieme del dispositivo di prova.

$J_0$ : il già introdotto momento d'inerzia polare ridotto della sezione;

$J_{uv}$ : un momento d'inerzia generalizzato, con distanze espresse da quella che, in altra sede, è stata chiamata *terza coordinata* dei punti della sezione;

$E$  e  $G$ : i moduli di elasticità, normale e tangenziale, del materiale costituente la trave.

L'identità formale dei due problemi riconduce così il problema della determinazione dell'incognita legge  $\vartheta = \vartheta(z)$  a quella dell'altra legge  $\eta = \eta(z)$ ; al taglio  $T$  ed al momento  $M$  conseguenti alla condizione di carico fissata nell'un problema [ $p = p(z)$  ed  $H$ ] corrispon-

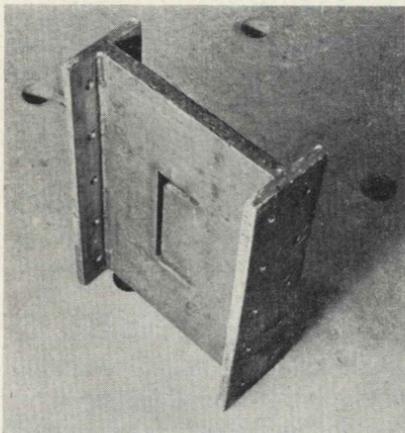


Fig. 9 - Particolare della piastra adoperata per realizzare l'incastro torsionale.

dono, nell'altro, un taglio  $T^*$  ed un momento  $M^*$  espressi rispettivamente dalle:

$$T^* = -EJ_{uv}\vartheta'''; \quad (8)$$

$$M^* = -EJ_{uv}\vartheta''; \quad (9)$$

di cui il primo non è altro che il richiesto *momento torcente secondario*  $M_i^{(s)}(z)$ , mentre il secondo  $M^*(z)$  è quello che di solito viene chiamato *momento d'ingobbamento* (o *bimomento*) ed indicato con  $M_w(z)$ .

Lavorando ancora sulla (6), integrando successivamente e tenendo presenti i teoremi fondamentali sulle travi, può rilevarsi che il taglio  $T_0$  ed il momento  $M_0$  (fig. 2), relativi al solo carico flettente  $p(z)$ , sono espressi dalle:

$$T_0 = H\eta' - EJ\eta''; \quad (10)$$

$$M_0 = H\eta - EJ\eta'; \quad (11)$$

alle quali vengono a corrispondere le:

$$T_0^* = GJ_0\vartheta' - EJ_{uv}\vartheta''; \quad (10')$$

$$M_0^* = GJ_0\vartheta - EJ_{uv}\vartheta'. \quad (11')$$

La *prima* di esse, tenendo presente che:

— con riferimento alla generica sezione il taglio  $T_0^*$ , conseguente al carico torcente  $m_t$ , non è altro che il momento torcente relativo alla medesima sezione;

— l'addendo  $GJ_0\vartheta'$  che vi compare a secondo membro rappresenta la quota di momento tor-

cente equilibrato, sezione per sezione, da tensioni tangenziali alla S. Venant,

precisa, praticamente, la quota di momento torcente equilibrata dal complesso delle tensioni secondarie che la non uniformità della torsione induce nelle varie sezioni, in aggiunta alle normali tensioni tangenziali caratteristiche della torsione. Equivale, in altri termini, alla (5), che fornisce la legge con cui, sezione per sezione, il momento torcente si spezza nelle quote *primaria* e *secondaria*.

La *seconda* fornisce invece la legge con cui l'integrale del momento torcente si spezza, sempre sezione per sezione, negli addendi corrispondenti. Il primo di essi non è altro che l'integrale degli  $M_i^{(p)}$ ; il secondo l'integrale dei momenti torcenti secondari, detto pure *momento d'ingobbamento*, o *bimomento*, ed indicato con  $M_w$ .

Si ritiene che possa risultare chiarificatrice, in proposito, la figura 2, nella quale è riportato schematicamente, in parallelo per i due casi, quanto è stato sopra succintamente richiamato.

### 3 - INFLUENZA DELLA PRESENZA DI RINFORZI TRASVERSALI SUL COMPORTAMENTO TORSIONALE DI UNA TRAVE A SEZIONE APERTA IN PARETE SOTTILE

I rinforzi trasversali che prenderemo in esame possono essere costituiti da diaframmi continui [fig. 3 a)]; da sistemi di aste, in genere opportunamente vincolate fra di loro [fig. 3 b)]; ovvero da sistemi misti, costituiti cioè sia da aste che da diaframmi continui [fig. 3 c)].

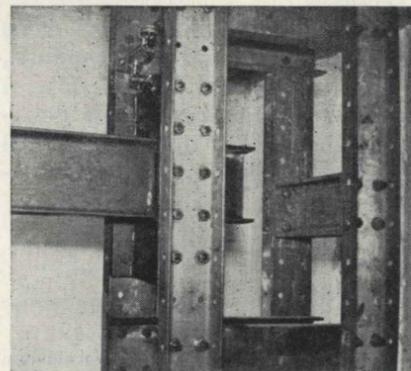


Fig. 10 - Particolare dell'incastro torsionale.

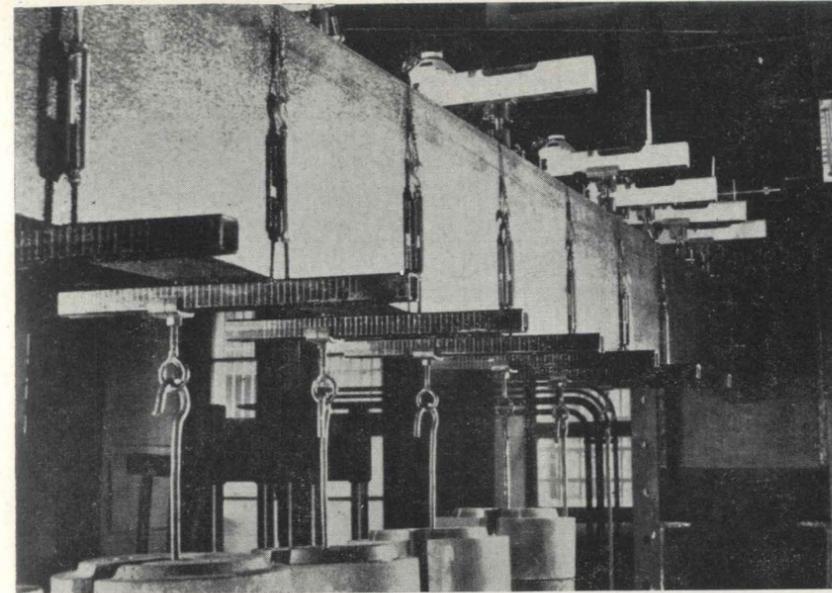


Fig. 11 - Dispositivo di trasmissione del carico alla trave.

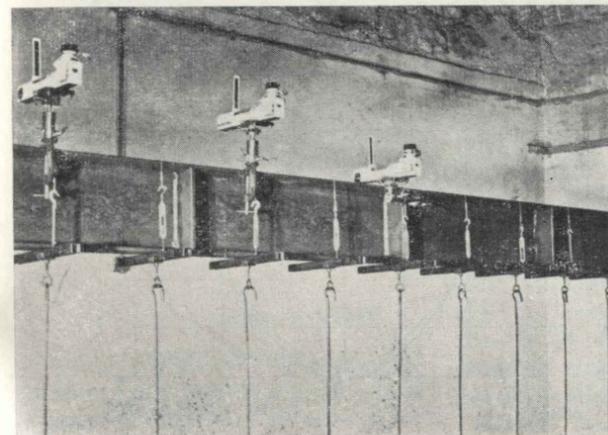


Fig. 12 - Vista della trave rinforzata da traversi di 10 mm.

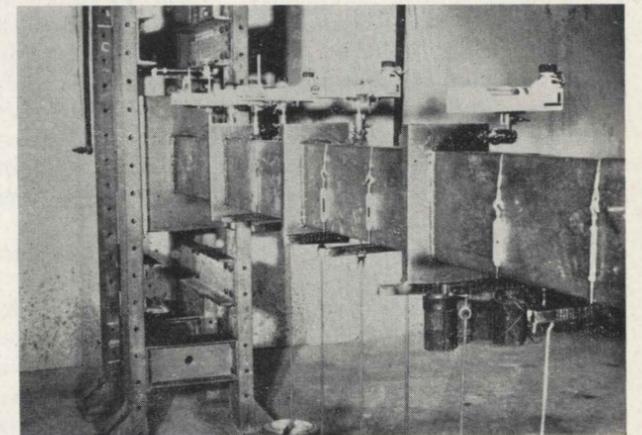


Fig. 13 - Vista della trave rinforzata con traversi di rilevante spessore.

Essi possono, ovviamente, essere disposti in corrispondenza di sezioni intermedie o di estremità.

a) *Caso dei traversi infinitamente rigidi.*

Incominceremo, per chiarezza, a trattare il problema nel caso particolare di collegamenti trasversali infinitamente rigidi; tali, cioè, da annullare l'ingobbamento delle sezioni in cui sono applicati.

Faremo riferimento alla trave rappresentata in fig. 4, che supporremo, ad esempio, appoggiata torsionalmente agli estremi e caricata in modo del tutto generico.

In una determinata sezione di ascissa  $z_c$  la condizione di carico

presa in esame comporta una ben determinata rotazione:

$$\vartheta = \vartheta(z_c)$$

e quindi una ben determinata:

$$\vartheta' = \vartheta'(z_c),$$

generalmente diversa da zero, tramite la quale, come consegue dalla (2), è immediato determinare la legge dell'ingobbamento della sezione, appena nota la  $\bar{w}(x, y)$  caratteristica della sezione stessa.

La presenza di un collegamento trasversale del tipo sopra precisato in corrispondenza della sezione in oggetto richiederebbe ivi, al contrario, una  $\vartheta'$  nulla, alla quale può giungersi sovrapponendo gli effetti della condizione di ca-

rico inizialmente presa in esame e di quella schematicamente rappresentata in fig. 5.

In definitiva, pertanto, l'effetto di un traverso del tipo precisato, applicato in una generica sezione della trave in esame, è equivalente all'azione esercitata da un opportuno momento d'ingobbamento  $\bar{M}_w$  da determinarsi in modo che nella sezione si abbia:

$$\vartheta'(m_t) + \vartheta'(\bar{M}_w) = 0.$$

b) *Caso dei traversi elastici.*

Un traverso elastico, ovviamente, impedirà soltanto parzialmente l'ingobbamento; la sua presenza in una sezione generica della trave in esame equivarrà alla presenza nella stessa di un

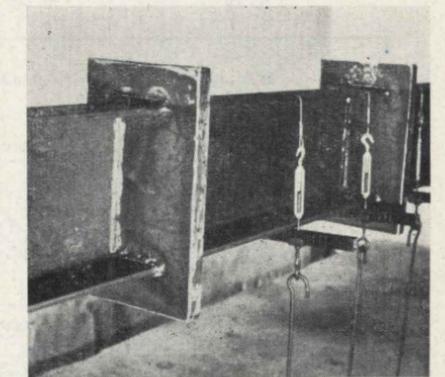


Fig. 14 - Traversi di rilevante spessore. Particolare.

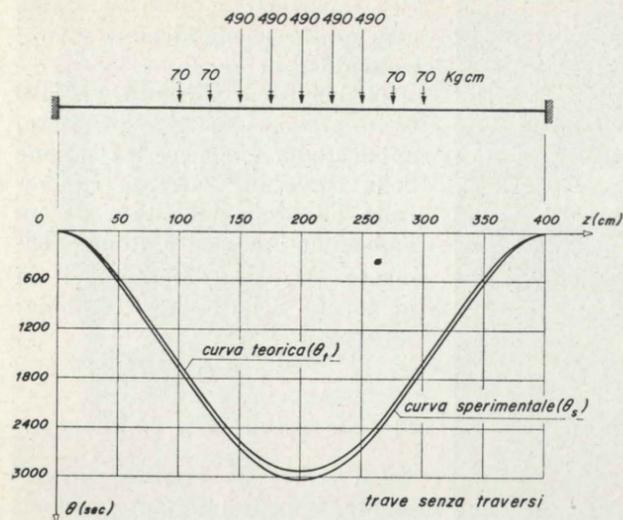


Fig. 15.

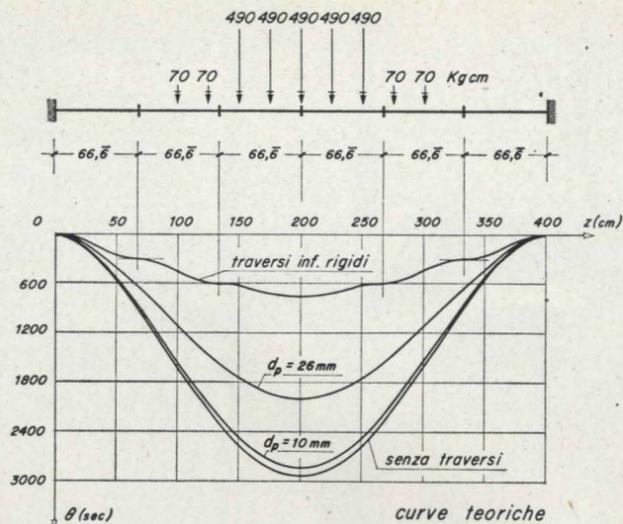


Fig. 18.

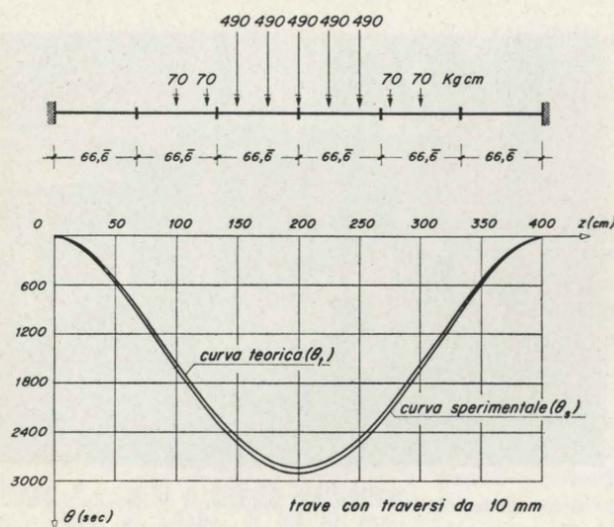


Fig. 16.

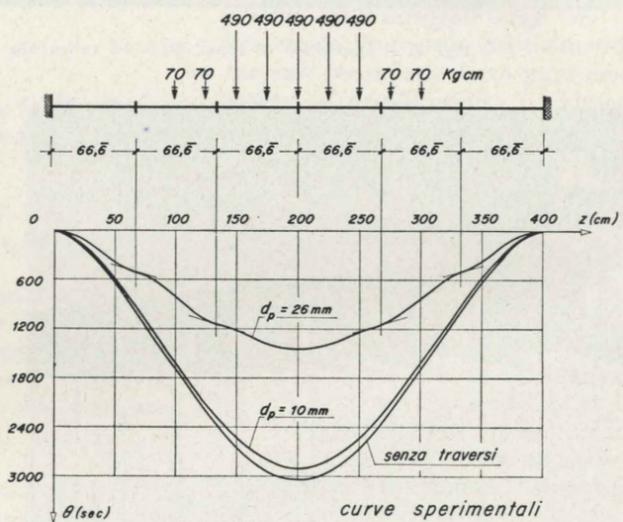


Fig. 19.

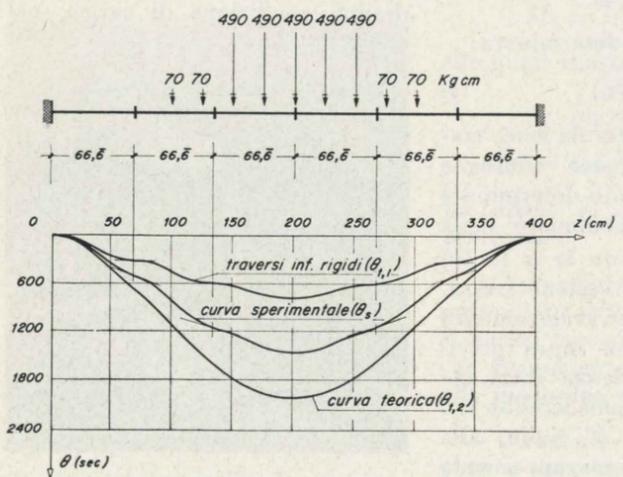


Fig. 17.

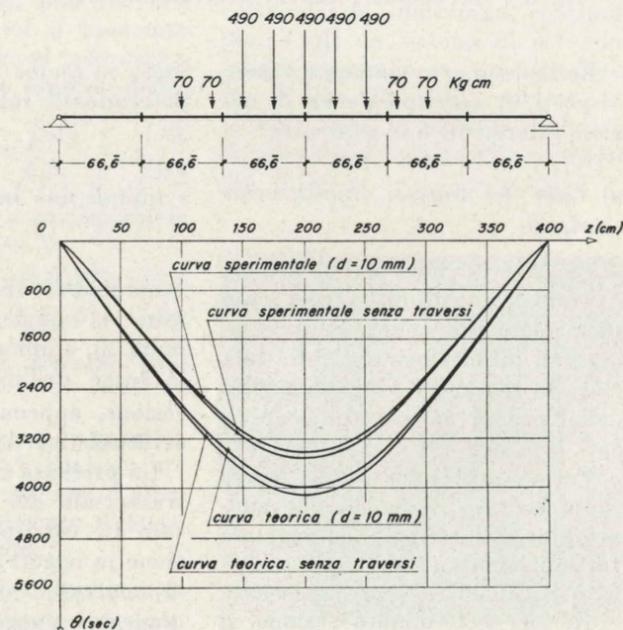


Fig. 20.

caso particolare appena concluso; risulta precisamente

$$M_{w} = K M_{w0}$$

con  $K$  funzione, oltrechè della forma della sezione, delle caratteristiche geometriche ed elastiche del diaframma trasversale considerato.

Ovviamente  $K$  assume il valore uno nel caso di traverso infinitamente rigido.

Ne consegue che il problema della risoluzione della trave rinforzata da un certo numero  $n$  di traversi viene così ricondotto alla risoluzione di un sistema di  $n$  equazioni lineari in  $n$  incognite: gli  $n$  momenti d'ingobbamento  $M_{w}$ .

Giova rilevare che la presenza di un traverso in una determinata sezione di una trave — equivalente, come si è detto, all'applicazione in essa di un opportuno momento d'ingobbamento  $M_{w}$  — fa risentire i suoi effetti, praticamente, su tutta la trave; il suo effetto, in altre parole, non è localizzato, come può agevolmente desumersi dai grafici delle figure 6 e 7, relativi, i primi, al caso di sezione intermedia; di estremità i secondi.

#### 4 - RISULTATI SPERIMENTALI

Come si è accennato nella Premessa, agli studi teorici di cui si è appena terminato di riferire ha fatto seguito un vasto programma sperimentale, tendente non soltanto a saggiare il grado di ammissibilità delle ipotesi che stanno alla base della teoria, ma anche a mettere definitivamente a punto alcune questioni non suscettibili di essere studiate sino in fondo soltanto per via teorica.

Nel corso della ricerca sono state preliminarmente eseguite prove su travi dotate agli estremi di due diversi tipi di vincolo: in una prima fase si è cercato di realizzare l'incastro torsionale, in una seconda l'appoggio, riuscendo in maniera abbastanza soddisfacente a creare, nel primo caso, un vincolo atto ad impedire, e, nel secondo, a consentire il libero ingobbamento delle sezioni di estremità. Non sfugge l'importanza pratica della ricerca, quando si pensi che lo stato tensionale e deformativo della trave è sensi-

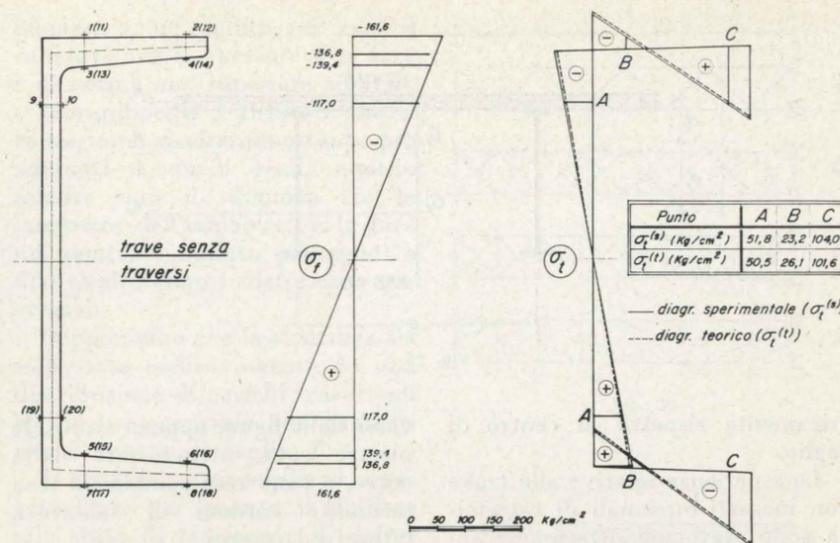


Fig. 21.

bilmente influenzato — e non solo localmente, come si è già accennato — dalle condizioni di vincolo torsionale presenti agli estremi. Le esperienze eseguite hanno messo chiaramente in evidenza la circostanza che nelle travi reali di una sola campata il grado di incastro raggiungibile adottando i normali traversi di estremità è piuttosto modesto.

Si è passati, successivamente, alla valutazione dell'influenza che la presenza di collegamenti trasversali intermedi di diverse caratteristiche fa risentire sul comportamento delle travi stesse. Onde valutare quantitativamente l'influenza dei suddetti diaframmi si è operato sulla trave nelle condizioni di vincolo già precisate, applicando successivamente dia-

frammi trasversali ad interasse costante, di diverso spessore.

La ricerca, diretta inizialmente alla determinazione della sola deformata, è stata successivamente ampliata, e per le travi torsionalmente appoggiate agli estremi è stata effettuata anche la determinazione diretta delle tensioni normali secondarie mediante estensimetri elettrici a semiconduttore, di elevata sensibilità.

Senza entrare nei dettagli del dispositivo sperimentale (figg. 8-9-10-11) e dei criteri con i quali sono state condotte le esperienze, per il che si rimanda alla Nota [6] della Bibliografia, vogliamo soltanto ricordare che tutte le travi di prova sono state realizzate mediante NP [200 aventi luce teorica  $l = 400$  cm, caricate eccen-

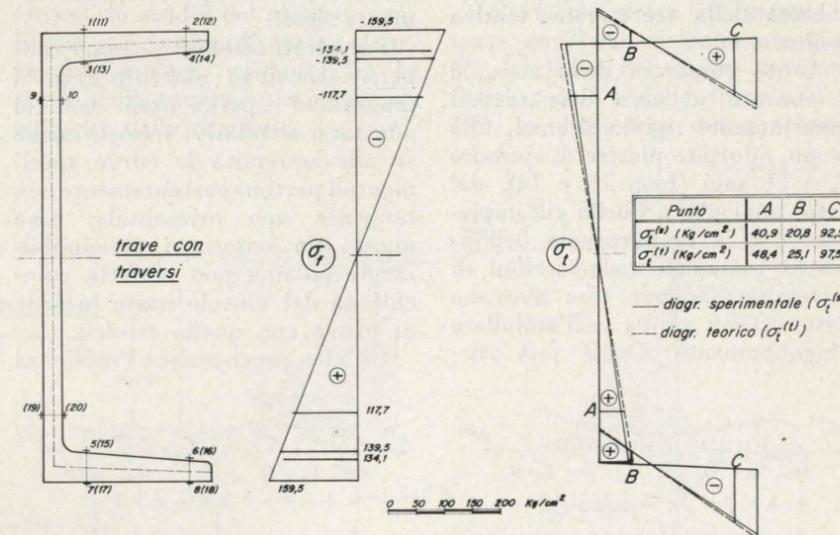


Fig. 22.

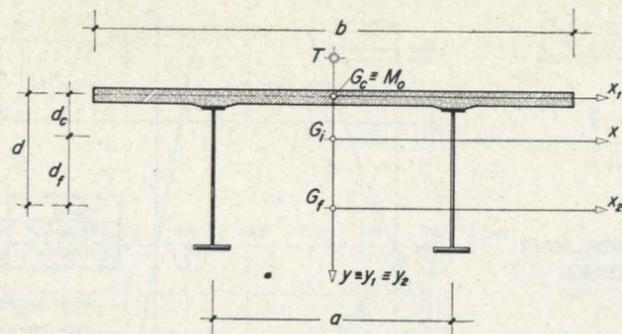


Fig. 23.

tricamente rispetto al centro di taglio.

Le esperienze relative alla trave con incastri torsionali di estremità sono state condotte analizzando il comportamento della struttura in assenza di diaframmi trasversali, e, successivamente, in presenza di cinque diaframmi di-

traversi dalle figure appena citate, le piastre sono attraversate dalla trave, e sono rese solidali ad essa mediante cordoni di saldatura interni ed esterni.

Nelle figure 15, 16, 17 sono riportati i risultati ottenuti, rispettivamente, per la trave senza traversi e quindi per quella con

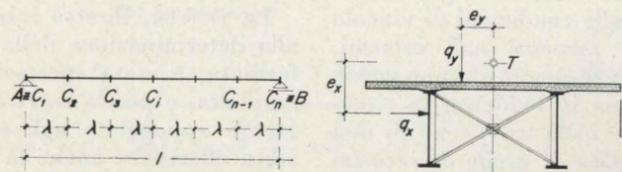


Fig. 24.

sposti ad interasse costante; questi sono stati realizzati, in una prima fase, a carattere orientativo, mediante piastre aventi spessore  $d_p = 10$  mm (fig. 12).

Ciò in quanto si nutriva qualche dubbio sull'attendibilità dei risultati teorici già acquisiti, che segnalavano come molto modesta l'influenza di piastre di irrigidimento fino a tale spessore, praticamente ai limiti del campo di applicabilità della trattazione teorica svolta.

Avuto conferma della cosa, si è puntato al caso dei traversi infinitamente rigidi. Si sono, allo scopo, adottate piastre di spessore  $d_p = 26$  mm (figg. 13 e 14), del tutto analoghe a quelle già impiegate per la realizzazione dell'incastro torsionale nelle sezioni di estremità, laddove esse avevano dato ottima prova nell'annullare l'ingobbamento. Come può rile-

traversi da 10 e da 26 mm di spessore; esse vengono confrontate con le corrispondenti curve ottenute per via teorica; c'è soltanto da osservare che nell'ultima di esse i calcoli teorici sono stati condotti sia considerando, a titolo orientativo (si è infatti ben al di fuori del campo di applicabilità della relativa trattazione teorica), i traversi elastici, sia ritenendoli, dato il loro rilevante spessore, infinitamente rigidi.

I risultati ottenuti possono ritenersi senz'altro soddisfacenti: i diagrammi sperimentali ben si adattano ai relativi teorici, anche se alle estremità le curve sperimentali partono costantemente con tangente non orizzontale, cosa questa da imputarsi presumibilmente ad una non perfetta coincidenza del vincolo usato in sede di prova con quello teorico.

Un'idea precisa circa l'influenza

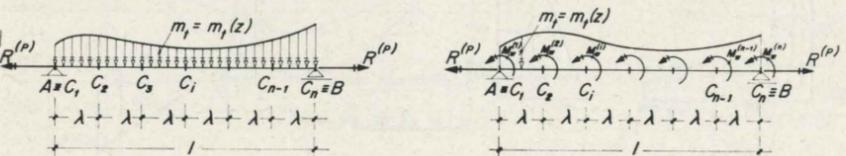


Fig. 25.

che i traversi hanno sul comportamento torsionale d'assieme del sistema è data dalle figure 18 e 19 nelle quali sono tracciate le deformate torsionali delle travi, rispettivamente teoriche e sperimentali, in assenza o in presenza dei traversi di cui sopra.

Si può rilevare che l'azione frenante dei diaframmi trasversali, se delle dimensioni e caratteristiche usuali della tecnica, è piuttosto modesta, anche se lievemente superiore a quanto previsto dalla teoria.

L'azione dei traversi di rilevante spessore ( $d_p = 26$  mm) si è rilevata senza dubbio molto energica, ma bisogna ricordare che il loro impiego nelle prove sperimentali è stato suggerito da motivi teorici: si voleva vedere, infatti, se adottando traversi opportunamente robusti fosse possibile ridurre sensibilmente la deformata torsionale della trave e renderla prossima a quella conseguente all'ipotesi di traversi infinitamente rigidi.

Le modalità di esecuzione delle prove relative alla trave con vincolo di appoggio torsionale agli estremi sono state le stesse di quelle relative alla trave incastrata: si è provata dapprima la trave in assenza di traversi e quindi con traversi di spessore  $d_p = 10$  mm. I risultati sono raccolti nella figura 20; c'è soltanto da osservare che in questo caso le curve sperimentali si distaccano maggiormente dalle rispettive teoriche, fatto questo da attribuirsi senz'altro al comportamento dei vincoli, che, pur avvicinandosi a degli appoggi torsionali, esercitano tuttavia sulla trave un certo grado di incastro, se pur modesto.

Come si è già accennato per la trave torsionalmente appoggiata agli estremi, contemporaneamente alla determinazione della deformata torsionale si è altresì proceduto alla determinazione diretta delle tensioni normali secondarie in due sezioni poste simmetricamente alla mezzeria ed equidistanti da quelle in cui, nella seconda fase della ricerca, sono ubicati i traversi. È stato necessario ricorrere all'impiego di estensimetri a semiconduttore ad elevata sensibilità, in quanto gli usuali

estensimetri elettrici a resistenza fornivano risultati di troppo scarsa attendibilità. Essi sono stati disposti come appare nelle figure 21 e 22, dove sono anche tracciati i diagrammi delle  $\sigma_f$  di flessione (si ricorda che i momenti torcenti sollecitanti le travi di prova sono stati ottenuti mediante carichi verticali posti eccentricamente rispetto al centro di taglio della sezione) e delle  $\sigma_t$  di torsione (a linea intera quelli sperimentali e a linea tratteggiata i corrispettivi teorici).

Un confronto tra i risultati in presenza ed in assenza di traversi mostra che, mentre le  $\sigma_f$  sono rimaste praticamente inalterate, le  $\sigma_t$  sperimentali hanno subito diminuzioni sensibili per la presenza dei traversi, molto più rilevanti delle corrispondenti rilevate lavorando sulle deformate torsionali.

## 5 - IL PROBLEMA DELLA CONTROVENTATURA INFERIORE

a) Incominciamo con il trattare il problema nel caso in cui tale controventatura manchi.

Il sistema risponda allo schema della figura 23. Si tratta di una struttura da ponte a due sole travi portanti, che supporremo collegate da diagrammi trasversali (disposti, in generale, ad interasse costante) sufficientemente rigidi, ed in particolare molto rigidi in corrispondenza delle sezioni di appoggio (fig. 24); la larghezza dell'impalcato sia relativamente piccola rispetto alla luce.

In tali ipotesi si può affrontare lo studio della struttura tramite la teoria delle travi a sezione aperta in parete sottile, che può ritenersi ancora applicabile, anche in presenza della soletta di con-

glomerato, in quanto per essa il rapporto tra lo spessore e la luce è di norma non superiore ad 1/10.

Naturalmente i risultati che si conseguono risulteranno tanto più aderenti a quelli reali, quanto minore sarà il rapporto tra la larghezza dell'impalcato e la luce del ponte, e quanto più rigidi e fitti risulteranno i diaframmi trasversali.

Supponiamo che la struttura sia sollecitata esclusivamente da una distribuzione di carichi trasversali  $q(q_x, q_y)$ , in generale non passanti per il centro di taglio  $T$ .

Il sistema potrà studiarsi separatamente per quanto si riferisce allo stato di tensione e di deformazione prodotto rispettivamente dai soli carichi flettenti, e dal momento torcente

$$m_t = q_x e_x + q_y e_y$$

che nasce dal trasporto in  $T$  del carico  $q$ .

Può prescindersi dall'influenza dei fenomeni lenti del conglomerato, esaminandosi, in questa sede, esclusivamente l'azione di carichi di breve durata.

Il problema dei carichi flettenti è di immediata soluzione, e può ricondursi al calcolo di una sola trave principale, tenendo opportunamente conto della relativa aliquota di soletta collaborante. Soltanto nel caso in cui il rapporto  $a/l$  (fig. 23) risulti relativamente piccolo (in genere non superiore ad 1/10, come previsto dalla DIN 1078) potrà ritenersi che tutta la soletta collabori con le travi principali.

Per quanto si riferisce ai carichi torcenti lo studio del relativo problema può venire affrontato sfruttando l'analogia esistente fra la teoria della torsione non uniforme e quella della flessione.

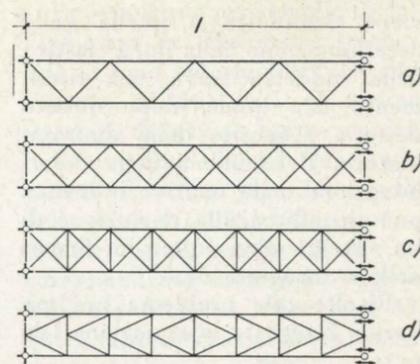


Fig. 26.

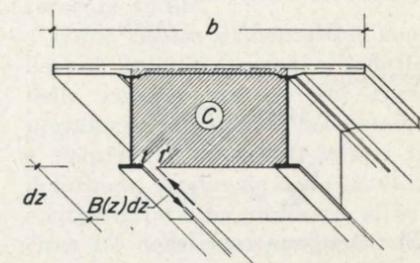


Fig. 27.

Occorre soltanto determinare gli elementi geometrici ed elastici della sezione; e precisamente:

— il centro di taglio  $T$ , con riferimento al quale possono darsi formule di immediata applicazione;

— la terza coordinata principale  $\bar{w}$  (riferita cioè al centro di taglio);

— il momento d'inerzia generalizzato  $J_{\bar{w}\bar{w}}$ ;

— le rigidità torsionali primaria e secondaria che indicheremo con  $R^{(P)}$  ed  $R^{(S)}$  rispettivamente.

Ciò fatto, presa in esame la trave ausiliaria diaframmata (fig. 25), caricata del carico flettente fittizio  $m_t(z)$  e delle forze assiali  $R^{(P)}$ , la risoluzione del problema

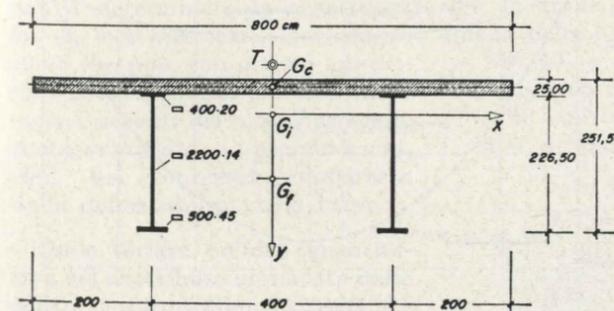


Fig. 28.

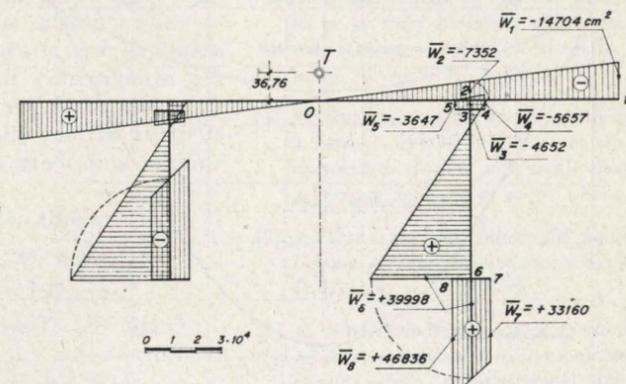


Fig. 29.

viene ricondotta a quella della determinazione della linea elastica della suddetta trave, con riferimento alla quale, dopo quanto detto a proposito della diaframmatura, il problema della determinazione della relativa influenza può ricondursi alla risoluzione di un sistema di  $n$  equazioni lineari nelle  $n$  incognite  $M_w^{(i)}$ .

Risolto tale problema preliminare e integrata la equazione ben nota:

$$R^{(S)}\vartheta^{IV} - R^{(P)}\vartheta'' - m_t = 0,$$

è agevole determinare:

$$M_t = M_t^{(P)} + M_t^{(S)},$$

essendo:

$$M_t^{(P)} = R^{(P)}\vartheta';$$

$$M_t^{(S)} = -R^{(S)}\vartheta'';$$

$$M_w = -R^{(S)}\vartheta''.$$

Si ottengono così le:

$$\sigma_f^{(S)} = \frac{M_w}{J_{w-w}} \bar{w};$$

$$\sigma_c^{(S)} = \frac{M_w}{n J_{w-w}} \bar{w};$$

$$\tau_f^{(S)} = -\frac{M_t^{(S)} S_{w-w}^{(i)}}{t_f J_{w-w}^{(i)}};$$

$$\tau_c^{(S)} = -\frac{M_t^{(S)} S_{w-w}^{(i)}}{t_c J_{w-w}^{(i)}};$$

tensioni secondarie, rispettivamente normali e tangenziali, nell'acciaio e nel conglomerato.

Ad esse vanno ovviamente aggiunte le tensioni tangenziali primarie

$$\tau_f^{(P)} = G_f \vartheta' t_f; \quad \tau_c^{(P)} = G_c \vartheta' t_c.$$

b) Supponiamo ora che le due travi principali siano collegate da una controventatura all'altezza

delle piattabande inferiori, di uno dei tipi schematizzati in figura 26.

La funzione della trave di controvento è ovviamente quella di

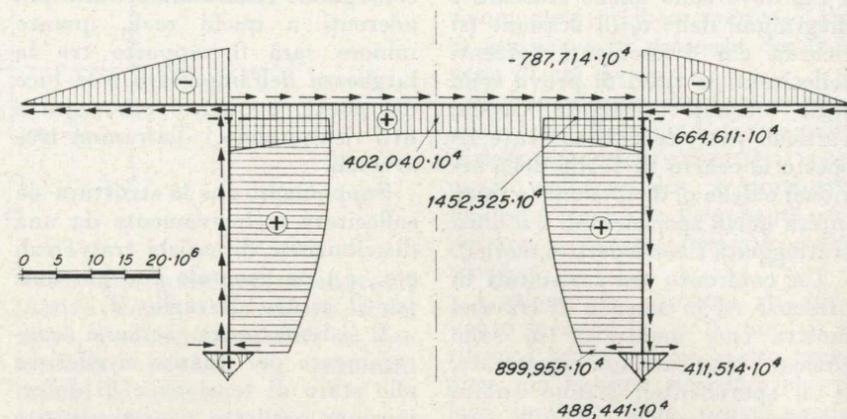


Fig. 30.

contrastare elasticamente gli spostamenti relativi delle piattabande inferiori, che si verificano in seguito alla deformazione del sistema (ingobbamento delle sezioni); pertanto essa modifica praticamente il solo comportamento torsionale della travata.

Presi allora in esame soltanto i carichi torcenti

$$m_t = q_x \varrho_x + q_y \varrho_y,$$

sostituiamo alla parete reticolare una lastra (sottile) ideale continua, avente un opportuno spessore  $t_f^*$ , in grado di resistere esclusivamente alle azioni taglianti.

Supponiamo, con riferimento ad una sezione di ascissa generica  $z$ , di isolare dal resto un elemento di trave di lunghezza  $dz$  (fig. 27), sul quale effettuiamo un taglio in corrispondenza della giunzione tra la piattabanda inferiore e la parete ideale di cui sopra. A causa

della torsione, tra i bordi a contatto viene a prodursi uno spostamento relativo:

$$\Delta w_{1,1'} = -\vartheta' 2C.$$

Per ripristinare la continuità dei bordi prospicienti basta introdurre un sistema di tensioni tangenziali alla Bredt, capaci di produrre uno spostamento relativo  $\Delta^{(B)}w_{1,1'}$ , tale che:

$$\Delta w_{1,1'} + \Delta w^{(B)}_{1,1'} = 0.$$

Detto allora  $B(z)$  lo sforzo tagliante per unità di lunghezza, le conseguenti tensioni tangenziali, uniformemente distribuite sullo spessore, valgono:

$$\tau_k^{(B)} = \frac{B}{t_k}, \quad (k = c, f)$$

ed il conseguente spostamento:

$$\Delta w^{(B)}_{1,1'} = B(z) \delta_1,$$

stando  $\delta_1$  a rappresentare lo spostamento relativo delle due facce a contatto, prodotto da una forza tagliante unitaria.

Ne consegue, per lo sforzo tagliante incognito, l'espressione:

$$B(z) = \frac{2C}{\delta_1} \vartheta'(z).$$

Le tensioni tangenziali alla Bredt che ne conseguono, sono, nel loro complesso, equivalenti ad un momento torcente  $M_t^{(B)}$  fornito da:

$$M_t^{(B)} = \frac{4C^2}{\delta_1} \vartheta',$$

per cui, in definitiva, il momento torcente totale si spezza nelle 3 aliquote:

$$M_t = M_t^{(P)} + M_t^{(S)} + M_t^{(B)} = R^{(P)}\vartheta' - R^{(S)}\vartheta'' + \frac{4C^2}{\delta_1}\vartheta',$$

stando  $R^{(P)}$  ed  $R^{(S)}$  a rappresentare le rigidità torcenti primaria e secondaria riferite alla sola sezione aperta fondamentale.

Posto:

$$\bar{R}^{(P)} = R^{(P)} + \frac{4C^2}{\delta_1}$$

la precedente può scriversi nella forma:

$$M_t = \bar{R}^{(P)}\vartheta' - R^{(S)}\vartheta'',$$

da cui consegue che la presenza della controventatura inferiore determina un incremento della sola rigidità torcente primaria, conseguente al contributo ad essa apportato dalla parete ideale fittizia di acciaio sostitutiva della controventatura.

Naturalmente occorre tener conto della nuova espressione della rigidità primaria in sede di risoluzione del problema, la cui equazione risolvente diventa:

$$R^{(S)}\vartheta^{IV} - \bar{R}^{(P)}\vartheta'' = m_t.$$

Integrata questa, risulta determinato lo stato di tensione principale e secondario, ai quali vanno aggiunte le tensioni tangenziali alla Bredt di cui si è detto.

Non resta, a questo punto, se non a determinare le espressioni dei  $\delta_1$  nei vari casi, determinazione che può, con ottima approssimazione, condursi tenendo conto esclusivamente del contributo della controventatura; prescindendo, cioè, dal contributo apportato dalla deformabilità della trave.

Onde fornire un'idea quantitativa del contributo apportato dalla controventatura alle caratteristiche di resistenza torsionale dell'in-

sieme, si ritiene opportuno riportare un esempio numerico.

Si prenda in esame, a questo proposito, la travata da ponte della luce  $L = 35,00$  m avente come sezione trasversale media quella riportata schematicamente in figura 28, supponendo che la struttura sia soggetta ad un carico torcente uniformemente distribuito

$$m_t = 1 \text{ tm/m},$$

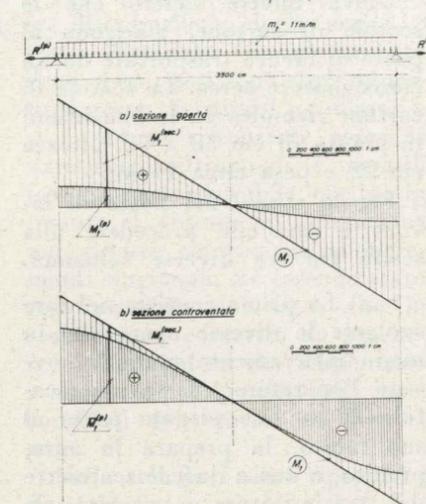


Fig. 33.

nell'ipotesi che la diaframmatura trasversale sia tale da assicurare l'unicità dell'angolo di torsione per i singoli elementi costituenti la travata.

Fissati per i moduli elastici i valori:

$$E_f = 2100 \text{ t/cm}^2;$$

$$E_c = 300 \text{ t/cm}^2;$$

$$G_f = 800 \text{ t/cm}^2;$$

$$G_c = 150 \text{ t/cm}^2,$$

si sono costruiti, per la sezione aperta assegnata, i diagrammi della terza coordinata principale  $w$  (fig. 29) e del momento statico generalizzato  $S_w^{(i)}$  (fig. 30).

Per quanto si attiene alla sezione controventata, si è supposto che la trave di controvento sia quella della figura 26 b, con  $\alpha = 38^\circ 40'$  e che inoltre tutte le aste abbiano la medesima sezione  $A = 30 \text{ cm}^2$ .

Si è ottenuto allora:

$$\delta_1 = 4,269 \text{ cm}^2/\text{t};$$

$$t_f^* = 0,102 \text{ cm};$$

$$R^{(P)} = 9031,481 \cdot 10^6 \text{ t/cm}^2$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\bar{R}^{(P)}}{R^{(S)}}} = 1,869 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}.$$

Prescindendo per semplicità dall'influenza dei diaframmi trasversali, si sono determinati, con riferimento ai due casi di sezione aperta e di sezione controventata, i diagrammi della deformata torsionale  $\vartheta = \vartheta(z)$  (fig. 31); quelli della  $\vartheta'' = \vartheta''(z)$  (fig. 32) (proporzionale, per il tramite di  $R^{(S)}$ , ai corrispondenti momenti d'ingobbamento  $M_w$ ); ed infine (fig. 33) quelli rappresentativi dei momenti torcenti primario  $M_t^{(P)}$  e secondario  $M_t^{(S)}$ , la cui somma è pari, sezione per sezione, al momento torcente totale.

Come risulta evidente dall'analisi di tali diagrammi, l'effetto della controventatura sul comportamento torsionale del sistema è veramente notevole; infatti la deformata torsionale della travata controventata ha ordinate all'incirca 1/4 delle corrispondenti relative alla travata a sezione aperta; la stessa cosa accade per il momento d'ingobbamento  $M_w$ .

Per la travata controventata, inoltre, il momento torcente secondario  $M_t^{(S)}$  rappresenta una aliquota relativamente modesta del momento torcente totale, mentre per la travata aperta esso è l'aliquota predominante.

Pietro Matildi

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] P. MATILDI, Sulla torsione non uniforme di travi a sezione aperta in parete sottile, «Costruzioni Metalliche», n. 5, 1963.
- [2] P. MATILDI, Sul comportamento torsionale delle travi a sezione aperta in parete sottile rinforzate da traversi, «Tecnica Italiana», n. 10, 1963.
- [3] A. SOLLAZZO, Sulla torsione non uniforme di travi a sezione aperta torsionalmente iperstatiche, «Giornale del Genio Civile», n. 4, 1964.
- [4] M. BUFALINI, Sulla torsione delle travi a sezione aperta in parete sottile in presenza di rinforzi trasversali elastici, «Tecnica Italiana», n. 6, 1964.
- [5] M. BUFALINI, Sul calcolo dei ponti in sistema acciaio calcestruzzo, «Tecnica Italiana», n. 12, 1964.
- [6] A. SOLLAZZO-R. PUHALI, Risultati di esperienze su travi a sezione aperta in parete sottile, «Costruzioni Metalliche», n. 6, 1966, n. 1, 1967.

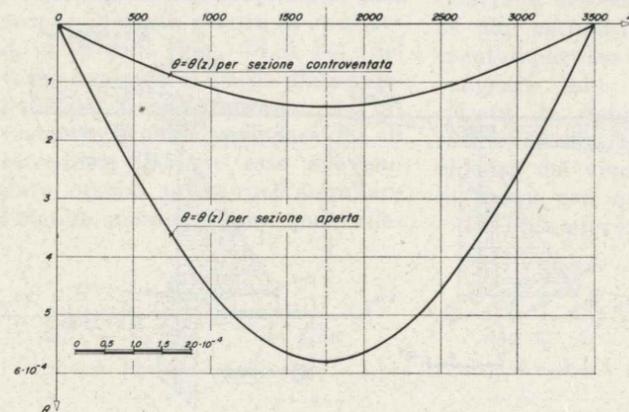


Fig. 31.

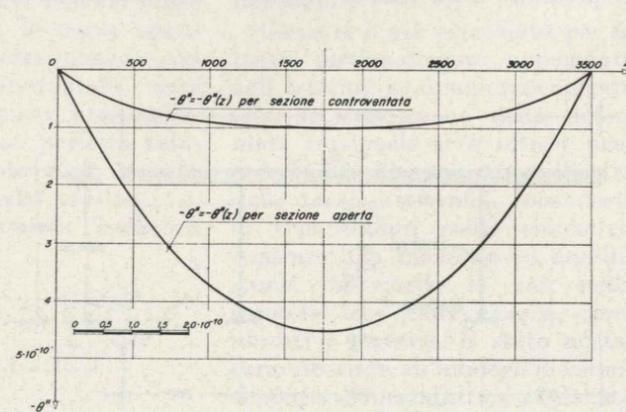


Fig. 32.

# Valutazione della disposizione planimetrica di un impianto con l'applicazione di modelli di ricerca operativa

ALBERTO CHIARAVIGLIO, basandosi su elementi derivati da un caso reale, applica la teoria « delle code » allo scopo di determinare il numero ottimo di macchine necessarie per l'impacchettatura di prodotti alimentari. Le possibili soluzioni in alternativa sono tre e, determinata per ognuna di queste il quantitativo ottimo, procede alla scelta della soluzione da adottare basandosi su criteri di convenienza economica.

## Considerazioni generali

Il problema che ci si propone di risolvere è quello della determinazione del tipo e del quantitativo più conveniente di macchine da impiegare nel posto di lavoro « incartonnamento » di scatolette di tonno al termine del ciclo operativo (fig. 1).

Le scatolette considerate sono quelle da 1/4 di kilogrammo, la produzione media oraria è di circa 16.000 ed esse giungono al posto di lavoro mediante trasportatori a gravità del tipo illustrato in fig. 2. Giungendo dalle macchine riempitrici (fig. 3) e dalle etichettatrici (fig. 4). Queste devono essere sistemate in numero di 48 scatolette di cartone.

Queste ultime (a fine zona incartonnamento (fig. 5) vengono raggruppate su palette di legno, formando unità di carico che, mediante car-

relli a forche, vengono inoltrate al magazzino prodotti finiti.

Giova inoltre sapere che le scatole di cartone, giungono al posto di lavoro trasportate da un convogliatore aereo. La scatola di cartone riempita ha le dimensioni in pianta di cm 38 x 50, altezza cm 22 e pesa circa 14 kg.

Per lo studio del posto di lavoro è possibile procedere alla scelta fra tre diverse soluzioni.

a) La prima consiste nel fare svolgere le diverse operazioni in modo interamente manuale, ovvero l'operatore afferra una scatola di cartone piegata posta al suo fianco, la prepara la apre, preleva, a due a due, le scatolette dal trasportatore a gravità, le sistema all'interno della scatola, la chiude, la sigilla e la spinge su un piano a rulli a gravità sul quale la scatola confezionata si avvia

verso la zona di preparazione delle unità di carico da immagazzinare in attesa della spedizione.

b) Nella seconda soluzione è previsto di adottare un'attrezzatura che preleva 12 scatole insieme e, consente di disporle contemporaneamente nella scatola a formare uno strato completo; inoltre è previsto un piccolo impianto automatico di chiusura e sigillatura della scatola di cartone e loro inoltre su piani a rulli verso la successiva operazione.

c) Nella terza, infine, tutte le operazioni precedentemente elencate avvengono in modo interamente automatico mediante l'impiego di una macchina speciale e l'intervento manuale è necessario solo per l'alimentazione delle scatole di cartone, oltretutto per i normali controlli e sorveglianze.

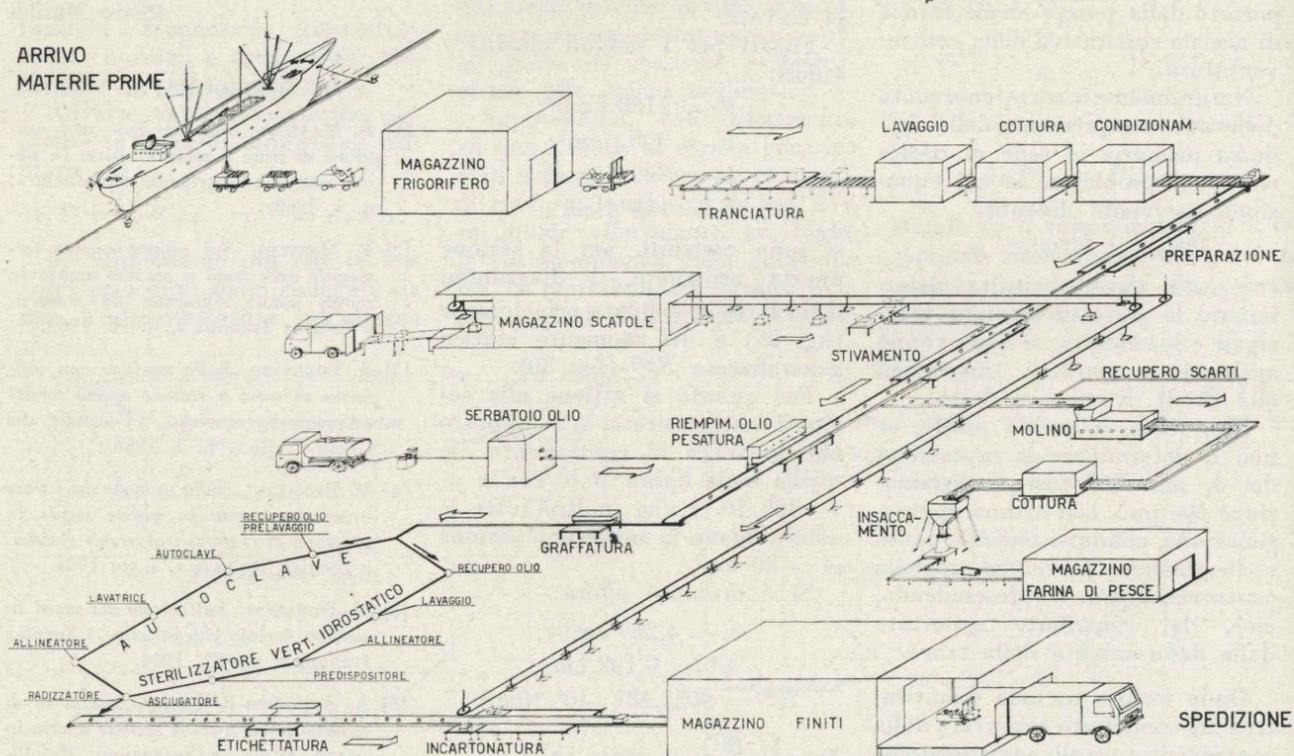


Fig. 1.

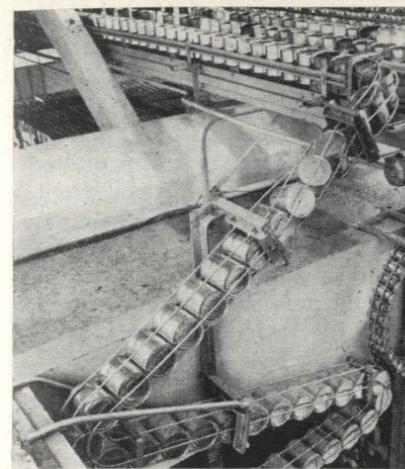


Fig. 2.

## Determinazione del problema

Come è facilmente intuibile, sia i costi d'installazione che quelli d'esercizio sono notevolmente variabili a seconda del tipo d'impianto prescelto; occorre pertanto, per procedere alla determinazione della soluzione ottima, innanzitutto stabilire per i tre casi, il numero ottimo dei posti di lavoro e successivamente definire per le tre soluzioni i costi di installazione e quindi per ciascuna di esse calcolare i costi di ammortamento, esercizio, manutenzione, ecc.

Solo agendo in questo modo si potrà arrivare ad una scelta basata su criteri non empirici, ma su concetti rigorosamente scientifici. Dato il tipo di problema, si può ritenere che esso sia risolvibile mediante l'applicazione di modelli di ricerca operativa ed esattamente cercando le soluzioni che vengono suggerite dalla « teoria delle code ».

Innanzitutto occorre definire e conoscere alcuni dati, ossia:

- 1) il numero di possibili clienti in attesa del servizio (incartonnamento e sigillatura della scatola), costante nei tre casi;
- 2) la disciplina della « coda », costante nei tre casi;
- 3) la distribuzione degli arrivi nell'unità di tempo prefissata, essa è uguale nei tre casi;
- 4) la distribuzione dei tempi di servizio nell'unità di tempo prefissata, essa varia a seconda della soluzione considerata.

Noti tali elementi sarà possibile conoscere per le tre possibili so-

luzioni il numero ottimo, di posti di lavoro — stazioni di servizio — da prevedere nel plant-layout.

Per quanto riguarda il numero di possibili clienti in attesa, in una parola la popolazione dei clienti, può essere ritenuto infinito. Circa la disciplina della coda risulta evidente che, dato il genere d'impianto, essa sarà del tipo « primo arrivato - primo servito ».

Per quanto concerne, invece, la distribuzione degli arrivi è stato effettuato un rilevamento degli stessi; essi sono stati opportunamente distribuiti nel tempo e si è potuto riscontrare come le variazioni settimanali e mensili fossero di trascurabile entità, in quanto il volume di produzione non subisce contrazioni od incrementi stagionali, ciò essendo stato reso possibile dal fatto che lo stabilimento è servito da pescherecci d'alto mare che alimentano i magazzini frigoriferi di pesci congelati provenienti da diversi mari.

Nella tabella I sono riportati i dati relativi.

Applicando la

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^{10} f_i}$$

risulta che il tasso medio degli arrivi è  $\lambda = 4,4375$ .

Dati gli elementi derivati dalla tabella I si può controllare, applicando uno dei tests normalmente impiegati per tale scopo — ad esempio quello KS — se la distribuzione, degli arrivi è assimilabile ad una i cui valori derivano dall'applicazione di una legge matematica nota.

Dato il tipo di distribuzione rilevata, si può procedere ad un confronto con quella cosiddetta « poissoniana », ovvero quella i cui valori derivano dall'applicazione della nota legge di Poisson:

$$F_x' = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

che esprime una densità di probabilità e nella quale il valore medio della distribuzione corrisponde al tasso medio degli arrivi

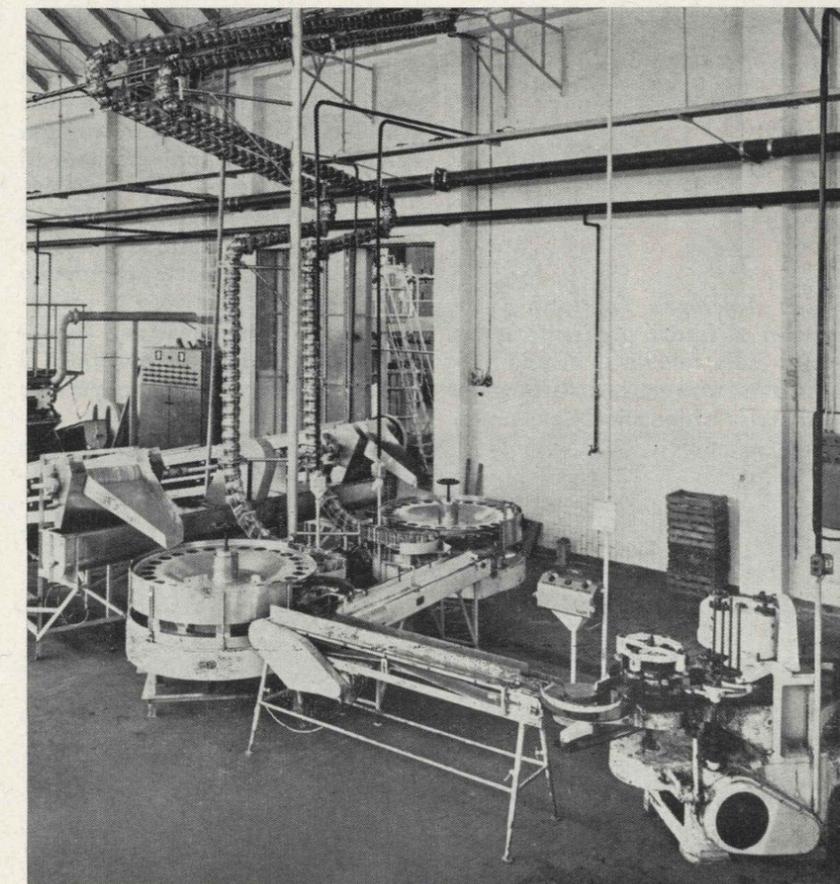


Fig. 3.

TABELLA I - Riepilogo dei rilevamenti effettuati e delle elaborazioni relative agli arrivi delle scatolette al posto di lavoro « incartamento ».

Arrivi al secondo	Frequenze assolute	Frequenze relative	Frequenze cumulate	Densità di probabilità	Valori cumulati della probabilità	Differenze
$x_i$	$F_{x_i}$	$f_{x_i}$	$f_{cum}$	$\frac{\lambda \cdot e^{-\lambda}}{x!}$	$f'_{cum}$	$ f_{cum} - f'_{cum} $
0	3	0,008152	0,008152	0,011898	0,011898	0,003746
1	15	0,040760	0,48912	0,052796	0,064694	0,015782
2	31	0,084239	0,133151	0,117140	0,181834	0,048683
3	58	0,157608	0,290759	0,173267	0,355101	0,064342
4	80	0,217393	0,508152	0,192219	0,547320	0,039168
5	79	0,214674	0,722826	0,170593	0,717913	0,004913
6	61	0,165761	0,888587	0,126166	0,844079	0,044508
7	28	0,076086	0,964673	0,079979	0,924058	0,040615
8	12	0,032609	0,997282	0,044363	0,968421	0,028861
9	1	0,002718	1,000000	0,021873	0,990294	0,009706
10	0	0,000000	1,000000	0,009706	1,000000	0,000000

riscontrato in pratica e precisamente è  $\lambda = 4,4375$ .

I valori di tale distribuzione teorica sono riportati nella tabella I. Applicando come già detto il test KS, e ciò è possibile in quanto il numero delle osservazioni ( $\sum_{i=0}^{10} F_{x_i} = 368$ ) è ben superiore al limite prefissato per la sua validità — 35 —, affinché la distribuzione rilevata sia identificabile con quella teorica, tabulata in I, occorre che:

$$|(fx_i + fx_{i-1}) - (f'x_i + f'x_{i-1})| \leq \frac{1,36}{\sqrt{\sum_{i=0}^{10} F_{x_i}}}$$

in cui 
$$\frac{1,36}{\sqrt{\sum_{i=0}^{10} F_{x_i}}} = 0,070880$$

Tali differenze risultano tutte inferiori al limite prefissato come risulta dalla tabella I; si può pertanto affermare che la distribuzione degli arrivi è identificabile con una distribuzione del tipo poissoniano.

Per quanto riguarda, infine, i tempi di servizio si è potuto osservare che essi sono differenti,

nei tre casi in esame, gli uni dagli altri non solo come durata del servizio ma anche come distribuzione delle durate.

Infatti per le tre soluzioni si sono rilevate su analoghi impianti già installati in altri stabilimenti, le distribuzioni riportate in tabella II per i primi due tipi d'impianto mentre per il terzo, quello altamente automatizzato, si ha un tempo di servizio pressochè costante, di 6".

I dati riportati si riferiscono ai tempi occorrenti per il confezionamento di una scatola contenente 48 scatolette di prodotto. Essendo sempre costante il numero delle scatolette da confezionare per ogni singola scatola si può pensare di riferire, allo scopo di omogenizzare i dati con quanto rilevato per gli arrivi, i tempi di servizio ad 1 singola scatoletta, dividendo cioè i tempi rilevati per la preparazione di 1 scatola per il numero di scatolette e pertanto si hanno le distribuzioni riportate in tabella III.

Allo scopo di poter controllare se le distribuzioni rilevate possono essere assimilate a distribuzioni delle quali siano note i mo-

delli matematici si ricorre all'artificio di sottrarre alle varie durate dei servizi il tempo più piccolo del rilevamento (per le soluzioni a e b rispettivamente 2,701" e 1,468") in tal modo si è in grado di procedere ad una verifica, che sarà effettuata con uno dei sistemi normalmente adottati, ad esempio il test  $\chi^2$  per la soluzione a e quello KS per la soluzione b. I nuovi valori sono riportati in tabella III.

Da qui deriva che:

$$\mu_a' = 0,3737 \quad \mu_b' = 0,2912$$

mentre i reali tempi medi di servizio sono

$$\mu_a = \mu_a' + 2,7010 = 3,0774;$$

$$\mu_b = \mu_b' + 1,4680 = 1,7592$$

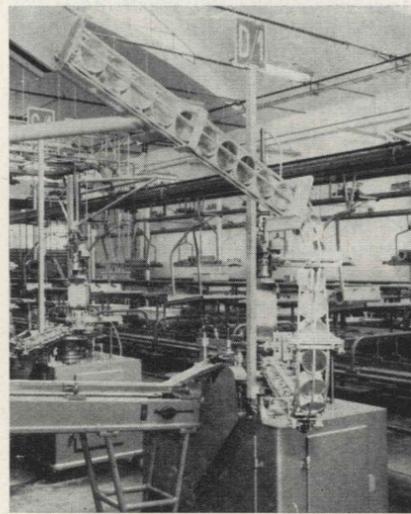


Fig. 4.

Dato il tipo di distribuzione rilevata si può pensare che non si discosti da una del tipo esponenziale negativa, caratterizzata dal fatto che le sue frequenze relative sono ricavabili per successive differenze dalla funzione di ripartizione di probabilità:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{y}{\mu}}$$

nella quale  $\mu'$  è il tempo medio fittizio dei servizi e  $y'$  è la durata fittizia dei servizi.

In tabella IV sono riportate le elaborazioni relative ai dati rilevati per la soluzione a). Come appare, il valore rilevato del  $\chi^2$  in base al campionamento è:

$$\hat{\chi}^2 = \sum_{n=0}^9 \frac{[F_{y'} - F(y')]^2}{F(y')} = 13,070$$

e poichè per  $9 - 2 = 7$  gradi di libertà il valore di  $\chi^2$  con livello

di significatività del 5% vale 14,067, risulta essere  $\hat{\chi}^2 < \chi^2$ .

In tabella V sono invece riportate le elaborazioni relative alla soluzione b). Per questa soluzione, avendo applicato il test KS, deve essere la differenza fra le frequenze cumulate inferiore a:

$$\frac{1,36}{\sqrt{N}} = \frac{1,36}{\sqrt{168}} = 0,1049$$

condizione rispettata per ogni valore tabulato.

Si può pertanto affermare che per le entrambe soluzioni a) e b) prospettate i tempi di servizio rilevati si presentano con distribuzioni assimilabili a quelle definite da una legge del tipo esponenziale negativa.

#### Risoluzione del problema

Si sono così definiti i quattro punti inizialmente elencati, ovvero:

— popolazione dei clienti: numero infinito;

— disciplina della coda: del tipo « primo arrivato-primo servito »;

— distribuzione degli arrivi nell'unità di tempo: assimilabile a quelli seguenti la legge di Poisson;

— tempi di servizio: per due delle tre soluzioni in alternativa la loro distribuzione nell'unità di tempo è assimilabile ad analoghe seguenti leggi esponenziali negative, per la terza i tempi sono costanti.

Basandosi quindi su quanto sopra si può rilevare, con la applicazione di modelli matematici, il problema posto che consiste nel determinare quanti posti di lavoro — stazioni di servizio — è più conveniente installare nelle tre soluzioni possibili, e confrontandole fra di loro, procedere alla scelta, basata su criteri rigorosamente scientifici, dell'impianto più conveniente.

Giova innanzitutto illustrare la simbologia adottata:

—  $\lambda$  = tasso medio degli arrivi;

—  $\mu$  = tempo medio di servizio, per una stazione;

—  $\frac{1}{\mu}$  = tasso medio dei servizi, per una stazione;

TABELLA III - Distribuzione dei tempi di servizio rilevati riferiti ad una singola scatoletta, e distribuzione rapportata a tempo iniziale nullo per le soluzioni a) e b).

Durata del servizio $y_a$	Soluzione a			Soluzione b			Soluzione c
	Durata dei servizi $y'_a$	Frequenza assoluta $F_{y_a}$	Durata del servizio $y_b$	Durata dei servizi $y'_b$	Frequenza assoluta $F_{y_b}$	Tempo di servizio	
2,701"	0	25	1,468	0	44	costante	
2,814"	0,113	23	1,581	0,113	32	0,125"	
2,927	0,226	20	1,694	0,226	24		
3,040	0,339	17	1,807	0,339	18		
3,153"	0,452	14	1,920	0,452	13		
3,266"	0,565	10	2,033	0,565	10		
3,379"	0,678	7	2,146	0,678	7		
3,492"	0,791	5	2,259	0,791	5		
3,605"	0,904	22	2,372	0,904	15		

TABELLA IV - Confronto fra i dati sperimentali e quelli teorici relativi ai tempi di servizio della soluzione a) con l'applicazione del test  $\chi^2$ .

$y'$	$F_{y'}$	$1 - e^{-y'/\mu'}$	$f_{y'}$	$F(y')$	$\frac{[F_{y'} - F(y')]^2}{F(y')}$
0	25	0	0,2613	37,36	4,089
0,113	23	0,2613	0,1926	27,54	0,748
0,226	20	0,4539	0,1423	20,34	0,005
0,339	17	0,5962	0,1057	15,11	0,236
0,452	14	0,7019	0,0792	11,32	0,634
0,565	10	0,7811	0,0560	8,00	0,500
0,678	7	0,8371	0,0421	6,02	0,159
0,791	5	0,8792	0,0317	4,53	0,048
0,904	22	0,9109	0,0891	12,78	6,651
	143	1,0000		143,00	13,070

TABELLA V - Confronto fra i dati sperimentali e quelli teorici, relativi ai tempi di servizio della soluzione b) con la applicazione del test KS.

$y'$	$F_{y'}$	$1 - e^{-y'/\mu'}$	$f_{y'}$ teor	$f_{cum}$ teor	$f_{y'}$ reale	$f_{y' cum}$ reale	Diff. cumulata
0	44	0	0,3218	0,3218	0,2619	0,2619	0,0599
0,113	32	0,3218	0,2163	0,5381	0,1905	0,4524	0,0857
0,226	24	0,5381	0,1501	0,6882	0,1428	0,5952	0,0930
0,339	18	0,6882	0,1002	0,7884	0,1072	0,7024	0,0860
0,452	13	0,7884	0,0678	0,8562	0,0773	0,7797	0,0765
0,565	10	0,8562	0,0465	0,9027	0,0596	0,8393	0,0634
0,678	7	0,9027	0,0310	0,9337	0,0416	0,8809	0,0528
0,791	5	0,9337	0,0215	0,9552	0,0298	0,9107	0,0445
0,904	15	0,9952	0,0448	1,0000	0,0893	1,0000	0,0000
	168	1,0000					

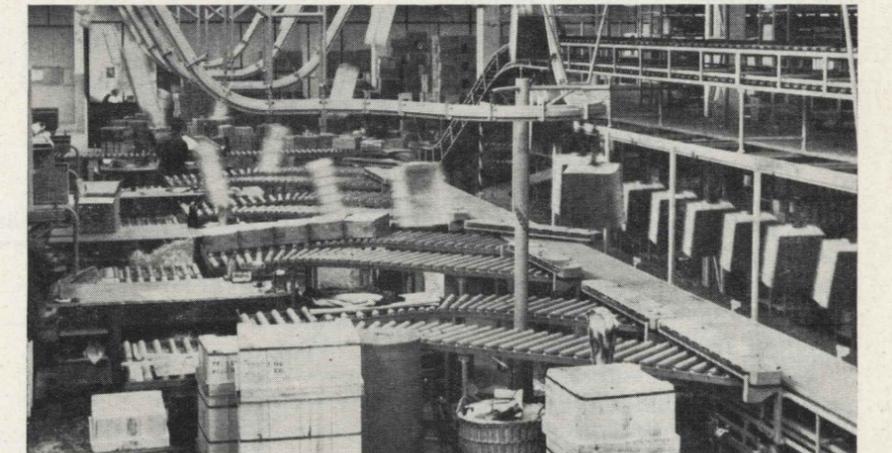


Fig. 5.

—  $s$  = numero di stazioni di servizio, o posti di lavoro, disposte in parallelo;

—  $\rho$  = tasso di una stazione di servizio =  $\frac{\lambda \cdot \mu}{s}$ ;

—  $L$  = numero medio di clienti in attesa nella coda.

Si sono determinate le formule risolutive da applicare nel caso che:

I) la popolazione dei possibili clienti sia infinita, gli arrivi seguono una distribuzione di Poisson, i tempi di servizio siano esponenziali, le stazioni di servizio siano multiple e la disciplina della coda sia del tipo primo arrivato-primo servito;

II) la popolazione sia infinita, gli arrivi poissoniani, i tempi di servizio regolari, la disciplina della coda sia del tipo primo arrivato-primo servito e, circa i servizi, vi sia una sola stazione di servizio, oppure essa sia multipla.

Alla prima categoria sono riferibili pertanto sia la soluzione a) che quella b), mentre nella seconda rientra la soluzione c).

Esaminando ora il costo totale delle varie soluzioni, si vede come esso sia costituito da due voci: il costo del servizio e quello dell'attesa.

Essi risultano dalla somma dei costi d'ammortamento (periodo di tempo variabile per le diverse voci ed a seconda dei vari elementi componenti, applicando un tasso d'interesse  $i = 7,5\%$ ), di mano d'opera, di manutenzione, d'esercizio, ecc.

Il costo del servizio è crescente con il numero di posti di lavoro, mentre quello dovuto all'attesa è infinito, quando la coda è infinita ed è decrescente con il diminuire della lunghezza della coda, esso è dovuto essenzialmente al costo del trasportatore a gravità che alimenta le diverse macchine, che funge da « polmone » per i vari posti di lavoro. Discende da quanto sopra che sarà indispensabile evitare che la coda diventi infinita e occorrerà inoltre stabilire, per le varie lunghezze di coda e quindi a seconda del numero di stazioni di servizio adottate, i costi di servizio e quelli di attesa per poter definire il costo totale.

### Soluzione a

Il modello matematico applicabile indica che:

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (1)$$

perchè la lunghezza media della coda  $L$  non sia infinita, occorre che  $\rho$  sia minore di 1; in base ai dati rilevati, essendo

$$\rho = \frac{\lambda \cdot \mu}{s}$$

ove  $\lambda = 4,4375$ ;  $\mu = 3,0347$ , si ha  $\rho = \frac{13,46}{s}$ ; affinché sia  $\rho < 1$  dovrà essere  $s \geq 14$ . I valori di  $L$  per diversi  $s$  compaiono in tabella VI, dove sono pure riportati i costi unitari (in £ per pezzo) dovuti al servizio, all'attesa e quelli totali.

Occorre notare che, allorché la lunghezza media della coda è superiore a 20, numero massimo di scatolette che può essere contenuto dal « caricatore » relativo ad ogni stazione di servizio, è necessario fare in modo che detti « caricatori » siano in grado di accogliere un maggior numero di scatolette; pertanto, nelle condizioni di cui sopra, si viene ad avere un costo dell'attesa che cresce sensibilmente con l'aumentare di  $L$ . I risultati ricavati sono chiaramente espressi nel diagramma di fig. 6.

Pertanto il numero dei posti più conveniente è quello per il quale è minimo il costo ovvero  $s = 14$  che è anche il minimo, al di sotto del quale si avrebbe una lunghezza media della coda infinita.

Procedendo in modo del tutto analogo a quello del caso precedente si sono riportati i dati relativi alla presente soluzione in tabella VII e nel diagramma di fig. 7.

Risulta pertanto che, in considerazione dell'elevato costo dell'attesa, il numero di posti di lavoro più conveniente, per la soluzione considerata è quello per il quale è minimo il costo, cioè  $s = 9$ .

In questo caso si sono determinati i costi dovuti al servizio ed all'attesa

### Soluzione b

Anche in questo caso, per la determinazione della lunghezza media della coda è applicabile, come al caso precedente, la (1); essendo  $\lambda = 4,4375$  e  $\mu = 1,7592$  si ha che

$$\rho = \frac{7,80}{s}$$

TABELLA VI - Lunghezza della coda e costi relativi alla soluzione a.

s	$\rho$	L	costi £/p		
			attesa	servizio	Totali
< 14	> 1	$\infty$	$\infty$	—	$\infty$
14	0,960	25,000	0,043	0,892	0,935
15	0,897	9,737	0,014	0,954	0,968
16	0,841	6,289	0,012	1,022	1,034
17	0,791	4,800	0,011	1,084	1,095
18	0,747	3,963	0,010	1,152	1,162

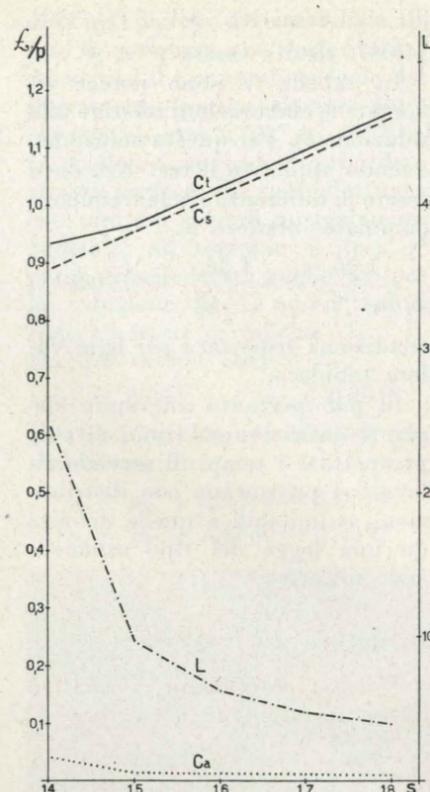


Fig. 6.

e, pertanto, affinché sia  $\rho < 1$  occorre che sia  $s \geq 8$ .

Procedendo in modo del tutto analogo a quello del caso precedente si sono riportati i dati relativi alla presente soluzione in tabella VII e nel diagramma di fig. 7.

Risulta pertanto che, in considerazione dell'elevato costo dell'attesa, il numero di posti di lavoro più conveniente, per la soluzione considerata è quello per il quale è minimo il costo, cioè  $s = 9$ .

### Soluzione c

Per questa soluzione si hanno 2 modelli matematici applicabili per trovare la lunghezza media della coda, a seconda che si abbia

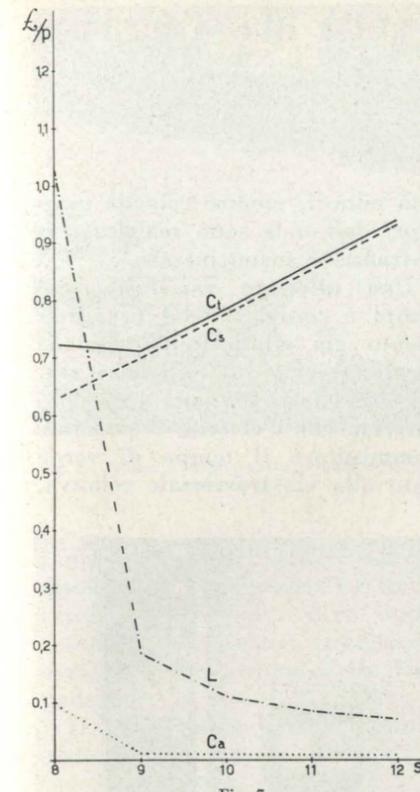


Fig. 7.

una sola stazione di servizio o più stazioni di servizio:

$$\text{per } s = 1 \quad L = \frac{1}{2(1 - \rho)}$$

$$\text{per } s > 1 \quad L = \frac{s}{\mu} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{\infty} e^{-s\rho i} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (s\rho i)^{si}}{(si)!} - \frac{1}{\rho} \frac{\sum_{i=2}^{\infty} (s\rho i)^{si}}{(si)!} \right]}{1 - \exp \left\{ - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{e^{-s\rho i}}{i} \left[ \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(s\rho i)^{si}}{(si)!} \right] \right\}}$$

dove  $i$  è un numero ordinale di una serie di termini matematici. Essendo  $\lambda = 4,4375$  e  $\mu = 0,125$  si ha che, per  $s = 1$ ,  $\rho = 0,55468$ , risulta pertanto essere

$$L = 1,122$$

In questo caso si sono determinati i costi dovuti al servizio ed all'attesa

$$C_{serv} = 0,299 \text{ £/p};$$

$$C_{att} = 0,006 \text{ £/p}$$

TABELLA VII - Lunghezza della coda e costi relativi alla soluzione b

s	$\rho$	L	costi £/p		
			attesa	servizio	Totali
< 8	> 1	$\infty$	$\infty$	—	$\infty$
8	0,9758	41,322	0,096	0,627	0,723
9	0,8673	7,535	0,013	0,698	0,711
10	0,7806	4,557	0,011	0,775	0,786
11	0,7096	3,443	0,010	0,852	0,862
12	0,6505	2,861	0,009	0,929	0,938

ne discende che

$$C_{tot} = C_{serv} + C_{att} = 0,305 \text{ £/p}$$

Qualora si ponesse  $s = 2$ , dato che

$$\rho = 0,27734$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} e^{-s\rho i} = 1,4$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(s\rho i)^{si}}{(si)!} = 0,28$$

$$\sum_{i=2}^{\infty} \frac{(s\rho i)^{si}}{(si)!} = 0,13$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{e^{-s\rho i}}{i} = 0,9$$

si avrebbe

$$L = 22,12$$

Il che significa che, qualora si mettessero 2 macchine aventi ciascuna le caratteristiche precedentemente descritte si avrebbe che queste non verrebbero a lavorare in condizioni ottime di esercizio in quanto l'alimentazione delle stesse sarebbe insufficiente.

Per stabilire il grado di saturazione delle due macchine occorre valutare la probabilità stazionaria che si abbia un'attesa (con valore

$$P = 1 - \exp \left\{ - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{e^{-s\rho i}}{i} \left[ \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(s\rho i)^{si}}{(si)!} \right] \right\}$$

dell'attesa maggiore di 0); tale è espressa dalla

$$P = 1 - \exp \left\{ - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{e^{-s\rho i}}{i} \left[ \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(s\rho i)^{si}}{(si)!} \right] \right\}$$

per il caso in esame si è trovato

$$P = 0,223$$

il che vuol dire che il grado di saturazione della macchina è

$$S = \frac{1,000 + 0,223}{2} = 0,6115$$

ovverossia che esse mediamente lavorano solo al 61,15% della loro potenzialità.

Anche per questa soluzione sono stati determinati i costi i cui valori sono

$$C_{serv} = 0,616 \text{ £/p}$$

$$C_{att} = 0,000 \text{ £/p}$$

$$C_{tot} = 0,616 \text{ £/p}$$

Si ha immediatamente che il numero di macchine ottimo per la soluzione in oggetto è  $s = 1$ , e ciò considerando sia i costi come il grado di saturazione degli impianti previsti.

### Conclusioni

Si sono analizzate, tre possibili soluzioni nella determinazione del posto di lavoro « incartonamento » descritto all'inizio di questo studio, per ciascuna di esse si è stabilito partendo da principi rigorosamente scientifici il numero ottimo di macchine da installare in base a considerazioni tecnico-economiche; si è quindi in grado di procedere alla scelta definitiva. Confrontando i costi unitari ricavati per le tre soluzioni si ha

Soluzione	a	b	c
costi £/p	0,935	0,711	0,305

ne deriva che la soluzione più conveniente è la c.

Si può pertanto affermare che ogni qual volta ci si trovi a dover progettare un impianto o una disposizione planimetrica di macchinari sarà sempre bene scegliere la soluzione ottima fra molte in alternativa, procedendo, ove possibile, con l'aiuto che viene fornito dall'impiego dei modelli matematici della ricerca operativa.

Alberto Chiaraviglio

### BIBLIOGRAFIA

- [1] CROMMELIN C. D., *Delay Probability Formulae*, P.O.E.E. Journal January (1934)
- [2] JANSEN ARNE, *The life and the Works of A. K. Erlang*.
- [3] MONTE A., *Determinazione del numero ottimo di banchine di carico e scarico degli automezzi in uno stabilimento industriale*, Ingegneria Meccanica, n. 12 Dicembre 1965.
- [4] WILKINSON ROGER I., *Working curves for delayed exponential calls served in radom order*, Bell system Technical Journal, Vol. XXVII. n. 2, March 1953.

# L'onda verde semaforica della città di Torino

PIETRO CARRA, Capo dell'Ispettorato Circolazione e Traffico della Città di Torino, ha tenuto all'A.T.A. di Roma ed alla Società Ingegneri e Architetti in Torino due conferenze, illustranti l'onda verde semaforica di Torino.

Qui si intende puntualizzare i più importanti aspetti tecnici relativi al nuovo sistema elettronico di regolazione semaforica comandata dal traffico, a tempi variabili, entrato recentemente in funzione nella nostra Torino, sistema che viene colloquialmente indicato con la denominazione di «onda verde», ormai entrata nell'uso. Non mi soffermerò sulle,



Fig. 1. - Planimetria onda verde - incroci semaforizzati.

pur interessanti, caratteristiche tecniche delle apparecchiature elettroniche di comando, poiché una descrizione, anche sommaria, di esse richiederebbe un tempo eccessivo. Mi limiterò, invece, dopo aver fornito brevemente i dati essenziali relativi alla costituzione del sistema, a trattare i concetti informativi del progetto, considerato dal punto di vista operativo — cioè della ingegneria del traffico —, ad illustrare qualche tipico provvedimento viabilistico, adottato congiuntamente alla installazione delle apparecchiature elettroniche, ed a riferire in merito alle tecniche e procedure seguite per la messa in funzione dell'impianto.

## Costituzione dell'impianto.

Il sistema semaforico di onda verde è stato progettato per regolare il traffico su 6,5 km di arterie centrali costituenti due importanti

itinerari est-ovest della città: 4,2 km lungo il Corso Vittorio Emanuele II e 2,3 km lungo le vie Cernaia, Pietro Micca e Po. Il numero di incroci, inizialmente previsto in 49, è stato ben presto portato a 51 — oltre a 3 incroci sulla via Roma, che sono collegati al sistema per mezzo di ripetitori sincronizzati. La «attuazione» locale, o misura del traffico trasversale, è stata realizzata in 38 degli incroci citati a mezzo di pedane o di detector magnetici. Sono governati dal sistema le luci di oltre 400 semafori veicolari, di 350 semafori pedonali e di 24 semafori a sospensione, di cui alcuni del tipo a sbraccio.

Il calcolatore centrale del sistema sceglie automaticamente uno tra 6 cicli semaforici (aventi durate di: 55", 65", 70", 80", 90" e 100") in base a misure della intensità del traffico, che gli vengono continuamente trasmesse da rivelatori o pedane di saggio installati in 8 posizioni statisticamente significative, sugli itinerari principali. In base a dette misure il calcolatore centrale sceglie anche quale sia il tipo di onda verde, che è più conveniente adottare in una data situazione di traffico.

Esistono 5 diversi tipi di onda verde, corrispondenti ad altrettanti diagrammi spazio-tempo: per traffico intenso, per traffico medio, per traffico scarso, per traffico prevalentemente presente in una delle due direzioni possibili (rispettivamente entrante ed uscente). È possibile, così, realizzare diversi diagrammi spazio-tempo, che favoriscano maggiormente le correnti arteriali più intense (oppure che trattino nello stesso modo le correnti che fluiscono nei due sensi sulle arterie), mentre — a seconda dei volumi di traffico effettivi — ciascun tipo di diagramma può (sempre automaticamente) essere realizzato a velocità diverse. Con traffico più intenso, si hanno cicli più lunghi — e, quindi, una minore incidenza nel ciclo dei tempi morti di accelerazione e di sgombero e velo-

cità minori, mentre velocità maggiori dell'onda sono realizzate se il traffico è meno intenso.

Una ulteriore variabilità dei tempi è consentita dal provvedimento già citato dell'attuazione locale: se si misura il traffico trasversale che si presenta a un dato incrocio con l'arteria, è possibile commisurare il tempo di verde dato alla via trasversale relativa,

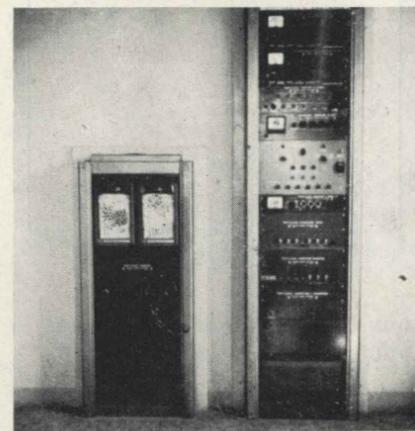


Fig. 2. - Calcolatore centrale presso il Comando Vigilanza Urbana.

in modo che questo non sia eccessivo (al limite in assenza di traffico trasversale non viene tolto mai il verde all'arteria principale). I tempi di verde, disponibili per le traverse e non utilizzati, vengono resi disponibili per l'arteria e rendono più fluida la circolazione su di essa.

In centrale è installato un registratore grafico doppio, che fornisce un diagramma dei volumi defluiti in ogni istante nell'una e nell'altra direzione sulle arterie.

Ogni incrocio è collegato alla centrale con un sistema telefonico indipendente, che utilizza lo stesso cavo di interconnessione usato per la trasmissione in parallelo dei segnali di comando.

È ancor bene tener presente che allo scopo di evitare l'apparizione contemporanea di luce verde nelle due direzioni ortogonali, il cosiddetto «verde nemico», l'impianto in oggetto è stato munito di dispositivi di bloccaggio che evite-



Fig. 3. - Pedane di saggio (in otto posizioni sugli itinerari principali).

ranno le erronee segnalazioni di questo tipo, qualunque ne sia la causa: da un guasto delle apparecchiature a un corto circuito dei cavi di alimentazione delle lampade.

Il costo totale dell'impianto è stato di circa lire 310.000.000.

## Concetti informativi del progetto.

Una decisione basilare, che ha dovuto precedere il progetto, è stata quella relativa alla individuazione degli incroci da regolare. Nel caso delle arterie citate, la decisione nelle grandi linee era univoca: i 49 incroci prescelti erano quelli siti sulle due più importanti arterie di Torino nella direzione E-O — interessanti il traffico diretto o proveniente dalle due stazioni ferroviarie di Porta Nuova e di Porta Susa. Più critica e meno ovvia era la decisione relativa all'eventuale inserimento nel sistema di incroci situati in



Fig. 4. - Telefono nei regolatori locali.

prossimità del contorno dell'area, che si era deciso di regolare. Si rivelava ben presto la necessità di coordinare con il sistema l'incrocio di via Santa Teresa con via San Francesco d'Assisi, sito a circa 60 metri dalla via Pietro Micca, ed analogo provvedimento era riconosciuto imprescindibile per i tre incroci su via Roma, tra Piazza Castello e Piazza San Carlo. Infatti detto tratto di via Roma era precedentemente regolato in modo coordinato con regime simultaneo su ciclo fisso di 80" e, poiché l'incrocio più prossimo a quello di Piazza Castello (facente parte del sistema) ne distava di soli 60 metri circa, non si sarebbe potuta accettare una condizione di funzionamento in cui tale limitatissima zona di accumulo avrebbe dovuto servire da «volano» per assorbire le conseguenze di una continua situazione di «controfase», dovuta alla immutabile rigidità del sistema a ciclo fisso di via Roma ed alla continua variazione dei tempi semaforici relativi all'incrocio di Piazza Castello. Il provvedimento adottato, di installare semplici ripetitori sui tre incroci di via Roma, soddisfa alla necessità di sincronizzazione continua a tempi variabili, seppure sia da considerare temporaneo ed adottato soltanto per soddisfare condizioni di massima economia. In un secondo tempo si addiverà probabilmente alla installazione di regolatori elettronici coordinati e comandati dal traffico trasversale (cioè, come si suol dire, «semiattuali») anche nei tre accennati incroci di via Roma: alla maggiore spesa conseguiranno ovvii vantaggi di minimizzazione delle attese e di migliore sincronizzazione dovuta alla possibilità di inserimento di sfasamenti (diagramma spazio-tempo con banda inclinata rispetto all'asse dei tempi anziché perpendicolare ad esso). Meno ovvio è stato il provvedimento relativo all'incrocio del Corso G. Ferraris con il Corso Matteotti, il quale è sito a circa 150 metri dal largo Vittorio Emanuele. Si sperava, infatti, inizialmente che tale pur scarsa distanza avrebbe consentito di esercire funzionalmente il sistema di onda verde e l'incrocio citato, regolato

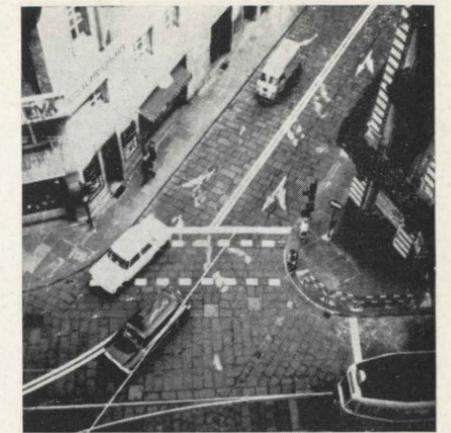


Fig. 5. - Incrocio P. Micca - S. Francesco d'Assisi.

da impianto indipendente dal sistema e funzionante a tempi fissi.

In questo caso è stata l'esperienza a forzare la decisione: dopo l'entrata in funzione dell'onda verde sul Corso Vittorio Emanuele II, si vide che la distanza di 150 metri era del tutto inadeguata ad accogliere le file di attesa formate dal traffico, già passato attraverso l'incrocio facente parte del sistema, e che non poteva defluire liberamente attraverso l'incrocio limitrofo. Il provvedimento di installare ivi un regolatore elettronico, coordinato dalla centrale di calcolo, risolveva completamente il problema, realizzando una situazione più fluida ed accettabile.

Particolarmente interessante risulta una discussione dei concetti in base ai quali si decide la convenienza di «attuare» (cioè dotare di rivelatori del traffico trasversale in approccio) o meno un dato incrocio appartenente al si-



Fig. 6. - Via Roma fra piazza San Carlo e piazza Castello.



Fig. 7. - Intersezione c. Matteotti - c. G. Ferraris.

stema. Il primo criterio da seguire è nettamente difforme da quello che potrebbe essere suggerito da una riflessione superficiale ed è: quanto meno importante è la via trasversale considerata, tanto più è conveniente installare su di essa rivelatori veicolari — e rendere, quindi, i tempi di verde dati alla trasversale stessa effettivamente proporzionali ai volumi di traffico misurati. Infatti, se la via trasversale considerata trasporta volumi di traffico esigui, la varianza caratteristica della distribuzione statistica ottenuta può assumere valori anche pari alla media dei volumi, il che comporta ovviamente variazioni percentuali di valore ben maggiore di quello che si rileva su strade a traffico più intenso e consente, quindi, maggiori vantaggi se tali variazioni vengono misurate e sfruttate. Naturalmente il criterio ora esposto deve essere interpretato con moderazione e buon senso: in alcune strade a traffico occasionale si è addirittura evitata completamente la regolazione semaforica all'incrocio con le arterie, ma si è imposto — in uscita da esse — l'obbligo di svolta a destra.

La installazione dei rivelatori veicolari trasversali si è dimostrata non necessaria, come sopra accennato, in corrispondenza degli incroci delle arterie con altre strade importanti, nelle quali i volumi di traffico non presentano variazioni significative durante le ore diurne oppure presentano variazioni approssimativamente proporzionali a quelle che si possono rilevare sull'arteria stessa. In tali

casi abbiamo sfruttato con successo la caratteristica, della quale sono dotate le apparecchiature elettroniche impiegate, di permettere una selezione automatica della ripartizione del verde disponibile in un ciclo fra l'arteria e la trasversale all'arteria stessa.

Detta ripartizione viene effettuata in percento del ciclo e non in secondi, per cui al variare del ciclo i due intervalli variano anch'essi proporzionalmente.

La selezione avviene in base ai comandi trasmessi dalla centrale sotto forma di segnali elettrici, in quanto è possibile, in ciascun regolatore locale, agire su 5 manopole e fissare una corrispondenza biunivoca fra ciascuno dei 5 tipi di progressione semaforica (sfasamento dello zero del ciclo rispetto allo zero di riferimento del sistema) ed uno fra i 3 valori disponibili della citata ripartizione.

Un altro caso in cui non è risultato conveniente dotare di rivelatori le vie trasversali è quello in cui dette vie sono costituite da arterie perpendicolari a quelle, sulle quali l'onda verde è già in funzione, e in cui si è già rilevata l'opportunità di realizzare in un prossimo avvenire altre « onde verdi », normali a quelle già realizzate. In tali casi è stato necessario prevedere fin dalla fase iniziale di realizzazione del sistema una conveniente determinazione dei parametri di regolazione, che possa consentire — senza ulteriori modifiche od aggiustamenti — la realizzazione di un sistema integrato a griglia. È ovvio, infatti, come la disponibilità di tale sistema a griglia sia tipicamente richiesto dalla planimetria ad angoli retti caratteristica della città di Torino. I nodi citati costituenti intersezioni fra due arterie normali fra di loro, dovranno quindi, costituire i « perni » di un sistema, nel quale i diagrammi spazio-tempo si sviluppano su tre dimensioni, anziché su due soltanto: conseguentemente viene a mancare un grado di libertà ed il criterio fondamentale di progettazione, che appena citiamo senza giustificarlo per esteso, è quello di mantenere costante il valore della progressione negli incroci costituenti perno fra due diagrammi

spazio-tempo, in modo che sia possibile usarlo come riferimento per le progressioni da progettare per i due diagrammi che in esso confluiscono.

Una soluzione alternativa dei problemi di sincronizzazione simultanea su due assi ortogonali all'incrocio fra le due arterie avrebbe potuto essere costituita dall'impiego di un regolatore elettronico del tipo a volume densità, sito in corrispondenza dell'incrocio stesso. Tale artificio è stato impiegato, a quanto pare, con successo anche notevole negli U.S.A.: esso è caratterizzato dalla realizzazione di una coordinazione « operativa » senza interconnessione elettrica. I regolatori a volume densità misurano continuamente la densità del traffico sull'arteria che, in un certo istante, ha la via libera (tale misura viene, in effetti, eseguita misurando la distanza in secondi tra veicoli che successivamente si presentano sull'arteria stessa) e provvedono a ridurre il valore ammissibile dell'intervallo fra veicoli consecutivi in funzione del numero di veicoli che, sull'altra arteria sono in attesa davanti ad un segnale rosso, ed in funzione del tempo che questi ultimi veicoli hanno avuto il rosso. Accade, così, che quanto maggiore è il numero di veicoli in attesa al rosso (oppure quanto maggiore è il tempo per il quale essi hanno atteso), tanto più facile è per essi togliere il verde alla fase che lo ha, non appena ivi la densità diminuisca — cioè aumenti l'intervallo fra veicoli consecutivi. Viceversa tanto più strettamente serrati (con alta densità) si presentano i veicoli sulla fase che ha il verde, tanto più difficile risulta per essi « perdere » detto segnale verde. I regolatori a volume densità, in altre parole, facilitano il deflusso dei grossi plotoni di veicoli, dando ad essi il verde il prima possibile e non togliendolo fin quando la densità del plotone si mantiene alta. Non si è ritenuto, però, opportuno saggiare la soluzione a volume densità in Torino — in parte allo scopo di mantenere una maggiore uniformità delle soluzioni tecniche e delle apparecchiature, in parte a causa della circostanza che la relativa regolarità planimetrica dell'area

urbana da governare suggeriva soluzioni sufficientemente brillanti ed efficienti del problema della riduzione dei diagrammi spazio-tempo.

La progettazione dei diagrammi spazio-tempo (onde verdi) costituisce ovviamente uno degli elementi essenziali del successo di un sistema semaforico coordinato. In tutti i testi di ingegneria del traffico è citata la circostanza che il progetto di un diagramma spazio-tempo può essere ottimizzato senza difficoltà unicamente ove l'arteria da coordinare sia regolata a senso unico. A Torino l'eventualità di istituire sensi unici sulle importanti arterie da regolare veniva scartata immediatamente data la insostituibilità dell'asse di scorrimento bidirezionale costituito dal Corso Vittorio Emanuele II — tangente alla soluzione di continuità dell'area urbana tagliata in direzione Nord-Sud dalla ferrovia — e data la netta convenienza di mantenere a doppio senso, per la quasi totalità del percorso l'itinerario via Cernaia - via Pietro Micca - via Po, che congiunge gli importanti nodi di Porta Susa, Piazza Castello e Piazza Vittorio Veneto.

Ci si trovava, dunque, nella necessità di progettare diagrammi spazio-tempo bidirezionali, tenendo conto delle condizioni geometriche reali del tracciato con disuniformità delle distanze tra incroci successivi di entità molto notevole anche nell'ambito di tratti relativamente brevi delle arterie. Non era neanche il caso di riferirsi, quindi, agli schemi ideali di



Fig. 8. - Spartitraffico Porta Nuova.

sincronizzazione di tipo simultaneo o di tipo alternato riportati dai manuali di ingegneria del traffico. Le onde verdi sono state progettate tenendo conto dei tempi effettivi di percorrenza dei vari tratti di arteria sia in un senso che nell'altro e nelle varie condizioni di traffico. I risultati ottenuti sono stati nettamente apprezzabili poichè si sono realizzati diagrammi spazio-tempo scevri da discontinuità sia in un senso che nell'altro, con larghezze di banda libera maggiori nella direzione da considerare preferenziale e con larghezze di banda approssimativamente uguali nelle due direzioni per le condizioni di traffico bilanciato.

Anche la migliore progettazione dei diagrammi di onda verde può rivelarsi insoddisfacente nell'attuazione pratica durante i regimi transitori, che tipicamente vengono instaurati nel passaggio da un regime di progressione ad un altro (ad es. passaggio da un regime di progressione per traffico medio ad un regime preferenziale per uno dei due sensi di marcia). Infatti durante tale transizione accadrà spesso che il valore di progressione relativo ad un dato incrocio debba essere variato (debba essere, cioè, cambiato il valore del tempo che intercorre fra lo zero del ciclo di riferimento del sistema e lo zero del ciclo semaforico locale dell'incrocio interessato). Se tale variazione viene apportata istantaneamente alla progressione di un dato incrocio accade, ovviamente, che il tempo relativo deve essere tolto od aggiunto alla durata di un solo ciclo, alchè consegue la necessità di omettere una importante porzione o la totalità del tempo di verde assegnato ad una delle fasi. Tale evento, al quale si allude colloquialmente con la locuzione di « doppio rosso », può causare un grave perturbamento del regime di regolazione locale, perturbamento che si verifica proprio in corrispondenza di condizioni critiche — le stesse che hanno suggerito di cambiare il tipo di progressione — e che può essere determinante nel generare l'inizio di una situazione di congestione. A tale inconveniente abbiamo rimediato adottando apparecchiature



Fig. 9. - Incrocio corso Vittorio - via Sacchi - via XX Settembre. Contemporaneità delle svolte a sinistra.

che frazionano nel tempo l'ammontare della variazione di progressione, in modo che, dopo presa la decisione di passare da un regime di progressione ad un altro, la transizione dura per circa 3 minuti ripartendo in più cicli successivi l'ammontare dello spostamento dello zero locale ed evitando le pericolose conseguenze del « doppio rosso ». Anche se il ciclo del sistema non subisce variazioni, i cicli locali relativi ad incroci in cui la progressione deve essere cambiata vengono allungati od accorciati moderatamente e fino al raggiungimento del nuovo valore di progressione.

Particolare cura va posta nella scelta degli altri parametri di regolazione del sistema ed anche delle lunghezze degli intervalli di tempo di durata fissa, inseriti nei cicli di durata variabile. È tipico il caso dei tempi di durata degli intervalli di sgombero, che tradizionalmente a Torino sono sempre stati piuttosto lunghi raggiungendo perfino il valore di 10". Inizialmente le durate dei tempi di sgombero furono ridotte sperimentalmente a soli 4" — ma la reazione psicologica degli utenti della strada non fu favorevole, al che conseguiva spesso un comportamento incerto dei pedoni e degli automobilisti, che in ultima analisi conduceva a perdita di tempo e ad uno sfruttamento inadeguato delle potenzialità offerte dal nuovo sistema di regolazione. Si dovette tornare ad un valore di compromesso dei tempi di sgombero, che, salvo casi eccezionali, ha ora quasi ovunque il

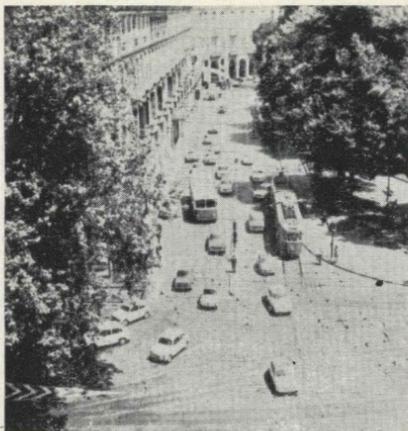


Fig. 10 - Piazza Carlo Felice preselezione per le svolte verso via Nizza e verso via Sacchi.

valore di 7". È questo un chiaro esempio della necessità di affiancare ai concetti di ingegneria del traffico la considerazione dei principi di quella che recentemente è stata battezzata ingegneria umana.

#### Soluzioni viabilistiche.

Il successo dell'impiego di un grande e moderno sistema di regolazione semaforica, quale quello che riteniamo di aver conseguito a Torino, non può essere unicamente affidato alle apparecchiature di comando. Anche la scelta più oculata dei tipi e delle funzioni delle apparecchiature deve essere accompagnata da una analisi accurata delle situazioni viabilistiche ed, in alcuni casi, dalla riprogettazione della disciplina in vari incroci — specialmente ove si rilevi che dette discipline siano state mantenute unicamente per ragioni tradizionali o perchè erano state inizialmente prescelte allo scopo di adeguare date situazioni di fatto alle prestazioni di apparecchiature di regolazione ormai antiquate.

Nella progettazione e nella definitiva scelta della costituzione del sistema semaforico di Torino ci siamo convinti che l'opera di analisi e di riprogettazione, alla quale si è accennato, ha una importanza del tutto comparabile a quella di una felice scelta del tipo di apparecchi e della particolare tecnica elettronica da impiegare.

Uno dei casi più importanti è quello della zona circostante il fronte della stazione di Porta Nuova, zona in cui gli ingorghi

del traffico si presentavano con regolarità giornaliera, prima dell'adozione dei recenti provvedimenti viabilistici e di semaforizzazione. La stazione di Porta Nuova coincide praticamente con il baricentro dei volumi di traffico circolanti nell'area centrale urbana — tanto che il traffico sul Corso Vittorio Emanuele II è considerato convenzionalmente « entrante » quando è diretto verso Porta Nuova dalle due estremità del corso ed è considerato « uscente » quando prevalgono le correnti che da Porta Nuova si dirigono verso le due estremità stesse. Attualmente la situazione a Porta Nuova è migliorata radicalmente, in modo che possiamo prendere questo esempio come caso rappresentativo dei concetti sopra esposti.

I provvedimenti viabilistici fondamentali che sono stati adottati per migliorare la situazione, in concomitanza all'impiego del sistema semaforico coordinato a cicli variabili, sono stati tre:

1) eliminazione dell'impiego di un binario tramviario e dirottamento di tutte le linee tramviarie su un solo binario (nella direzione fiume Po - Piazza Rivoli) — conseguente spostamento in posizione laterale delle fermate dei mezzi pubblici, alchè è conseguita una maggiore disponibilità di sezione stradale per le correnti veicolari dirette, ottenuta anche spostando uno spartitraffico che delimitava la mezzera della strada;

2) utilizzazione di tutte le corsie centrali del Corso Vittorio Emanuele II per il transito di correnti dirette, mentre le correnti di svolta a sinistra ed a destra sono state spostate sui controviali (la corrente di svolta a sinistra dal Corso Vittorio Emanuele verso la via Sacchi avviene dal controviale nord ed è attuata dal traffico: simultaneamente ad essa ha luogo la svolta a sinistra dal controviale sud del corso verso la via XX Settembre) — con ciò sono evitati i rallentamenti delle correnti veicolari dirette;

3) apertura di un varco nella banchina spartitraffico di delimitazione fra la carreggiata centrale e quella laterale prospiciente il fronte della stazione, in modo da

permettere il deflusso in detta carreggiata laterale delle correnti veicolari provenienti dalla Piazza Carlo Felice e dirette, con svolta a sinistra, verso la via Nizza: ciò permette una facile canalizzazione di dette correnti ed evita la necessità di effettuare scambi in un tratto troppo breve dell'arteria, nonchè il punto di conflitto fra correnti dirette del controviale e correnti di svolta a destra provenienti dalle corsie centrali.

Come già accennato, la simultanea adozione di detti provvedimenti viabilistici e del nuovo sistema di regolazione ha condotto alla soluzione completa e soddisfacente dei problemi che affliggevano questo nevralgico nodo centrale. Provvedimenti di ordine viabile sono stati adottati all'intersezione Calandra-Vittorio-d'Azeglio con l'adozione di fasi semaforiche per le svolte a sinistra. Anche l'incrocio Cernaia-G. Ferraris-Siccardi ha comportato una preselezione del traffico all'altezza di via Avogadro per i veicoli che da via Cernaia intendono svoltare a sinistra per procedere sul corso Siccardi.

#### Messa in funzione dell'impianto e risultati finora conseguiti.

I lavori di installazione del sistema semaforico erano virtualmente completati verso la metà di dicembre 1965.

Man mano che gli impianti relativi ai singoli incroci erano completati, essi venivano messi in funzione ed in questa prima fase gli utenti della strada ottenevano

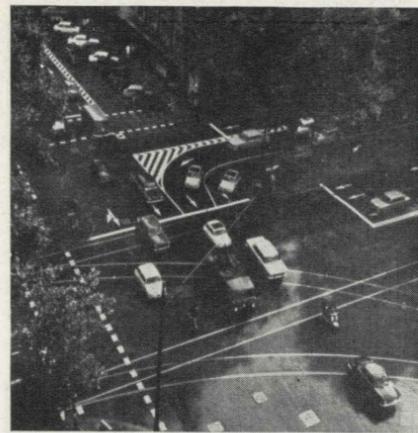


Fig. 11. - Intersezione via Calandra - corso Vittorio Emanuele II - corso d'Azeglio.

il vantaggio della eliminazione delle perdite di tempo in tutti gli incroci attuati dal traffico. Durante la fase di definitiva messa a punto delle apparecchiature di centrale, si cominciava ad instaurare un singolo regime di sincronizzazione e si affinava il progetto dei diagrammi spazio-tempo sulla base dei dati forniti dai registratori grafici dei volumi di traffico e delle esperienze simultaneamente condotte di adozione di diverse lunghezze di ciclo in corrispondenza dei vari volumi di traffico continuamente misurati.

Nell'ultima fase veniva instaurata la piena variabilità dei cicli, delle progressioni, delle ripartizioni del ciclo e dei tempi locali, sotto il governo del calcolatore centrale e dei regolatori locali. Il processo descritto veniva condotto con calma e con gradualità, in modo da controllare anche le reazioni degli utenti della strada, da abituarli alle nuove discipline e da educarli alla obbedienza delle nuove modalità di comportamento da seguire. Per quanto riguarda le modifiche di itinerari, cui gli automobilisti erano abituati da lungo tempo, si provvide tempestivamente all'aggiornamento della segnaletica orizzontale ed alla installazione di tabelloni indicatori della misura di m. 2 x 1; ove le manovre di svolta erano state vietate, si installavano segnali luminosi con freccia sulle stesse lanterne semaforiche sospese, ottenendosi con ciò una estrema chiarezza di indicazione.

Prima e dopo l'inaugurazione ufficiale del sistema, avvenuta il 15 gennaio 1966, alla presenza del Sindaco prof. Grosso, fu condotta una campagna di educazione e propaganda a mezzo della stampa quotidiana per ottenere principalmente:

— il rispetto delle norme di circolazione (e particolarmente delle preselezioni e canalizzazioni) e delle nuove discipline;

— la prontezza degli automobilisti nel rispondere ai segnali semaforici (in modo da garantire anche il corretto conteggio delle varie correnti di traffico, il quale è inibito se una corrente non si mette in moto non appena il segnale verde di via libera le viene dato);

— che i pedoni premano gli appositi pulsanti pedonali, il che ha per conseguenza che il tempo di attraversamento minimo loro consentito aumenti convenientemente.

L'effetto di tale campagna è stato positivo ed ha aggiunto un terzo elemento, la collaborazione educata degli utenti, ai primi due costituiti da un oculato progetto viabilistico e dall'uso di apparecchiature di regolazioni moderne, pronte ed efficienti. Il risultato di questo triplice apporto è confortevole e posso riferire che nei primi giorni di marzo del corrente anno (con l'ausilio di tecnici dell'Istituto Trasporti del Politecnico di Torino) sono state svolte indagini sull'incremento della velocità media commerciale, approntato dal nuovo impianto elettronico di regolazione semaforica sia nelle quattro ore di punta dovute al traffico pendolare che in quelle di traffico medio.

Dette indagini hanno dato i seguenti risultati:

— i tempi medi di fermata sono stati sensibilmente ridotti;

— i tempi medi totali di percorrenza sono ora notevolmente inferiori, e quindi i valori medi sul percorso completo presentano rispetto ai valori del 1964 un aumento della velocità commerciale sia in entrata che in uscita.

Esaminando singolarmente le varie ore di rilevamento e le varie tratte in cui è stato suddiviso il percorso, si nota che, in alcune ore ed in alcune tratte, il tempo medio di marcia, cioè solo il tempo in cui i veicoli sono effettivamente in moto, è superiore a quello del '64. Ciò è probabilmente conseguenza dell'aumento del volume di traffico che costringe i veicoli a muoversi in gruppi più numerosi con conseguente tendenza a procedere più lentamente. A tale aumento corrisponde però una diminuzione del tempo di fermata quasi sempre così marcata da rendere il tempo di percorrenza notevolmente inferiore ai valori del '64.

Questo significa che, prima dell'installazione dell'impianto, i veicoli percorrevano a forte velocità i pochi tratti liberi, per poi arre-



Fig. 13. - Incrocio via Cernaia - corso Siccardi - corso Ferraris preselezione del traffico.

starsi in lunghe attese in corrispondenza delle intersezioni. Ora, invece, essendo ridotte le fermate, i veicoli possono mantenere una andatura più regolare, e si ha un aumento della velocità commerciale, ottenuto in condizioni di assoluta sicurezza. Ciò appare ancora più evidente se si considerano i valori più interessanti per gli automobilisti, cioè i tempi totali di percorrenza dell'arteria, da piazza Rivoli al ponte Umberto I. Questi tempi sono notevolmente diminuiti, in tutte le ore del giorno ed in entrambi i sensi. Queste diminuzioni, a cui consegue l'aumento delle velocità commerciali, assumono un significato particolarmente importante se si considera che il volume di traffico interessante l'arteria è aumentato, nel corso degli ultimi anni, del 41 %.

In particolare, per citare alcuni risultati delle misure effettuate dall'Istituto di Tecnica ed Economia dei Trasporti del Politecnico di Torino si ha, come media fra le varie ore ed i due sensi, un aumento della velocità commerciale del 29 %.

Esaminando in dettaglio tale incremento, si nota che, nelle ore di punta, la velocità commerciale è aumentata del 17 %, mentre in ore non di punta l'aumento è in media del 50 %, con punte fino al 62 % (fra le 11,45/12,45 per il traffico entrante) e con punte fino al 45 % (fra le 18,30/19,30 per il traffico uscente).

A ciò corrisponde il risultato complessivamente più interessante, e che può riassumersi come segue: nonostante l'incremento

dei volumi di traffico, i periodi di punta sono ora notevolmente meno pesanti che in passato e, soprattutto, essi durano molto meno tempo.

Non è stato possibile estendere le indagini di cui trattasi all'itinerario via Cernaia-Pietro Micca-Po in quanto non erano noti all'ufficio i dati anteriori alla messa in funzione dell'impianto in questione.

La nostra città con tale realizzazione si è posta all'avanguardia

anche nel campo della regolazione della circolazione veicolare, adottando soluzioni che favoriscono la sicurezza e la fluidità del traffico, in modo da ottenere un coordinamento del rapporto tempi-percorsi che possa prevenire il formarsi di intasamenti, ridurre il pericolo di ingorghi e riesca a tener conto sia delle caratteristiche geometriche degli incroci che delle mutevoli condizioni del traffico.

Pietro Carra

## INFORMAZIONI

### Produzione e trasporto di energia elettrica

Dati informativi sugli impianti di produzione e trasporto di energia elettrica nel Marocco, visitati dagli Ingegneri ed Architetti della Società durante un viaggio promosso in occasione del Centenario.

Un gruppo di ingegneri che si apprestava ad attraversare, pur rapidamente, il Marocco, non poteva non avere il desiderio di informazioni sullo sviluppo della produzione di energia elettrica nel paese.

Questo desiderio fu ben compreso dal giovane dinamico Ministro dei LL.PP. Sig. Ahmed Lasky il quale, non solo li invitava ad una riunione nei suoi uffici, ma faceva trovare lungo il percorso di studio persone qualificate che mostrarono loro la situazione attuale ed esponessero loro i programmi per il futuro. Programmi, giova dire, studiati con serietà di intenti, senza esagerazioni, tenendo conto delle reali possibilità e soprattutto del coordinamento tra le varie necessità tanto più pressanti in un paese in notevole evoluzione.

Nel Marocco il problema da risolvere con la maggiore urgenza è quello relativo all'agricoltura con il miglioramento dei metodi e dei mezzi e con la messa in valore di nuovi terreni, il che richiede: acqua per l'irrigazione ed energia per gli impianti di sollevamento, per le aziende agricole e per quelle industriali ad esse connesse (impianti di frigoriferi, di condizionamento, per la preparazione di succhi, di marmellate, di conserve e relativi imballaggi; per lavorazione del latte, delle pelli ecc.); è infatti con il creare queste industrie, di mole limitata, ma dislocate nel paese presso le zone di produzione delle materie prime che il Governo pensa di trattenere sul posto, con un discreto tenore di vita, una popolazione che, già di per se stessa nomade, è ora lanciata verso le grandi città nell'illusione di trovarvi migliori condizioni di sussistenza; creando difficoltà nei centri verso i quali preme a detrimento della produzione agricola che è la base delle risorse economiche del paese.

Il problema dello sviluppo dell'agri-

coltura viene quindi strettamente associato a quello della distribuzione capillare dell'energia elettrica prodotta in centri opportunamente dispersi nel paese in modo da ridurre per quanto possibile le grandi linee di trasporto. Alla ricerca di questa soluzione il Governo si è lanciato con il fervore dei neofiti ed il risultato ne è già palese percorrendo le campagne.

Si ritiene interessante riunire qui i dati che si sono potuti raccogliere dalle pubblicazioni e dalle conversazioni avute con i cortesi accompagnatori durante il viaggio ed in particolare nella visita agli impianti Bin-el Ouidane ed Afourer.

Con il 1° gennaio 1963 lo Stato Marocchino nazionalizzò i più importanti servizi di produzione e distribuzione di energia elettrica istituendo un apposito organo a carattere industriale e commerciale con autonomia finanziaria chiamato « Office National de l'Electricité » posto sotto il controllo amministrativo del Ministero dei Lavori Pubblici e delle Comunicazioni; detto ente viene correntemente designato con la sigla O.N.E.

L'O.N.E. alla fine del 1965 controllava la produzione di circa 1.300.000.000 Kwh corrispondente a circa il 90 % della produzione nazionale con un effettivo di 3143 dipendenti.

La produzione idroelettrica prevale sulla produzione termica, dei Kwh sopra indicati solo 144.000.000 erano di origine termica.

La discreta idraulicità del Marocco si spiega con l'esistenza delle tre catene montuose del Medio Atlante, dell'Alto Atlante, dell'Anti Atlante che corrono quasi parallele alla costa atlantica e che con le loro vette che raggiungono altitudini di 3000÷4000 m.s.m. danno luogo a notevoli precipitazioni quando sono investite dai venti umidi di W e di S-W. Nelle parti elevate si hanno altezze annue di pioggia di 80 cm, nelle parti

basse di 20÷40 cm. Queste precipitazioni alimentano corsi d'acqua di notevole lunghezza, ma di portata variabilissima.

L'utilizzazione idroelettrica è sempre associata all'irrigazione, si potrebbe anzi dire che scopo primo delle derivazioni d'acqua è proprio l'uso irriguo perchè estensioni enormi sono costituite da terreni fertili che, opportunamente sistemati ed irrigati, possono dar luogo ad una fiorente agricoltura.

Le centrali termiche utilizzano mazout e scarto di antracite granulata.

Il mazout si ha dai pozzi delle regioni di Sidi-Kacem e di Essaouira; ma la produzione è limitata, per cui si utilizzano anche prodotti di raffinerie che lavorano materie prime importate.

Il granulato di antracite è invece un prodotto nazionale e si ha dalle miniere del bacino di Jerada-Hassiblat che danno un'antracite ad alto potere calorifero avendo un contenuto in carbonio fisso dell'84,65 %; ma che purtroppo è friabilissima e quindi difficilmente commerciabile: è da notare che queste miniere si trovano sul versante del Mediterraneo e quindi verso l'estremo NE del paese.

I dati relativi alla produzione di energia elettrica con le relative potenze erano nel 1962:

	potenza Kw	produzione Gwh
impianti idraulici	330.720	1.010
impianti termici Diesel	54.190	23
impianti termici a vapore	71.260	55
	456.170	1.088

A fine 1965 la produzione idraulica era salita a 1168 Gwh, la termica a 144 Gwh, quindi in totale a 1.312 Gwh, con un incremento medio annuo del 7 % circa.

#### Impianti idroelettrici.

Trascurando le piccole installazioni di Gueref, Khenifra, Immouzer das Ida, Tillonguit, Zaonia-Ahansal, Meknes e Taza della potenza complessiva di 1480 Kw si può affermare che il complesso idroelettrico del Marocco è costituito da 12 impianti.

1) TAOURAT: opera di presa Talambot II sull'Oued Talambot - canale lungo 4 Km della portata di 4 m<sup>3</sup>/s - centrale a Taourat - salto 107 m - 2 gruppi Francis asse orizzontale, potenza complessiva 220 Kw; produzione media annua 12 Gwh.

2) LAU-TALAMBOT: opera di presa Talambot I sull'Oued Talambot subito a valle dello scarico della Centrale di Taourat - canale lungo 3 Km della portata di 4 m<sup>3</sup>/s; altra opera di presa sull'Oued Lau, affluente del Talambot, costituita da una diga a gravità alta 23 m - serbatoio di 30 milioni di m<sup>3</sup> - canale lungo 7 Km della portata di 10 m<sup>3</sup>/s; i due canali arrivano ad un unico bacino di carico che attraverso un'unica condotta alimenta la centrale di Lau-Talambot - 3 gruppi Francis ad asse verticale - salto m 120 - potenza complessiva 10500 Kw - produzione media annua 35 Gwh.

3) FES - monte dell'Oued Fis - centrale con 3 gruppi della potenza complessiva di 1200 Kw.

4) FES - valle sull'Oued Zitoun - centrale con 2 gruppi della potenza complessiva di 1890 Kw - questa centrale è completamente automatica ed è comandata da FES monte. Produzione media annua delle due centrali 15 Gwh.

5) EL KANSERA du BETH - sbarramento, costruito sull'Oued Beth per l'irrigazione della piana di Rharb, della capacità di 227 milioni di m<sup>3</sup>; l'acqua prima di essere consegnata ai canali irrigui alimenta con un salto di 44 m una centrale con due gruppi Francis ad asse verticale della potenza complessiva di 13900 Kw - produzione media annua 15 Gwh; un serbatoio di compenso allo scarico della centrale permette a questa di fare servizi di punta.

6) KASBA-ZIDANIA sull'Oum-er-Rebia - opera di presa - canale della portata di 18 m<sup>3</sup>/s - bacino con doppia funzione di partitore per l'irrigazione e di carico per la centrale - 2 gruppi Francis per complessivi 7120 Kw - produzione media annua 30 Gwh. Poichè l'acqua per l'irrigazione è derivata a monte della centrale la produzione di questa va diminuendo man mano si sviluppa l'irrigazione; la centrale sarà però valorizzata quando nel bacino saranno immesse le acque di scarico della Centrale di Afourer.

7) IM-FOUT - sbarramento sull'Oum-er-Rebia, diga a gravità lunga 200 m, alta 50 m, con luci sfioranti - capacità del serbatoio 85 milioni di m<sup>3</sup> dei quali 54 utili - portata d'evacuazione delle 5 luci di cresta 3500 m<sup>3</sup>/s - in destra una centrale con 2 gruppi Kaplan della portata di 50 m<sup>3</sup>/s - salto 36 m - potenza totale installata 31.200 Kw - produzione media annua 165 Gwh.

Dal serbatoio parte il complesso di irrigazione della piana dei Doukkala.

8) DAOURA - sbarramento con annessa centrale sull'Oum-er-Rebia - diga alta 32,5 m, lunga 123 - capacità del serbatoio 24 milioni di m<sup>3</sup> dei quali 13 utili - scarico in sponda destra per 3500 m<sup>3</sup>/s - centrale con 2 Gruppi Kaplan - salto 20,90 m - portata 48,5 m<sup>3</sup>/s - potenza 8500 Kw - potenza totale installata 17.000 Kw - produzione media annua 95 Gwh.

9) SAID-MACHOU - sbarramento sull'Oum-er-Rebia - alto 6 m - invaso 2 milioni di m<sup>3</sup> - canale galleria in carico lungo 1425 m della portata di 125 m<sup>3</sup>/s - centrale con 4 gruppi Francis - salto m 17 - potenza 5200 Kw - potenza totale installata 21.270 Kw - produzione media annua 70 Gwh.

10) BIN-EL-OUIDANE - sbarramento sull'Oued-el-abid con centrale al piede - diga a volta alta 133 m - serbatoio della capacità di 1.500.000.000 di m<sup>3</sup> dei quali utili 1.200.000.000 - 2 scarichi di superficie per 2600 m<sup>3</sup>/s - centrale con 3 gruppi Francis per un salto variabile da 60 a 100 m - portata max 56 m<sup>3</sup>/s - potenza 40.000 Kw - potenza totale installata 120.600 Kw - produzione media annua 160 Gwh.

11) AFOURER sull'Oued-el-Abid: allo scarico della Centrale di Bin-el-

Ouidane si è creato un serbatoio di compenso della capacità di 3,8 milioni di m<sup>3</sup> che alimenta la centrale di Afourer; canale galleria in pressione lungo 10,57 Km - portata 48 m<sup>3</sup>/s - camera d'equilibrio - centrale con 3 gruppi Francis - 230 m di salto - 24 m<sup>3</sup>/s - potenza 46.800 Kw - potenza totale installata 94.500 Kw - produzione media annua 390 Gwh. Il serbatoio tra gli impianti 10) ed 11) permette al primo di fare servizi di punta. Le acque di scarico della centrale di Afourer alimentano due canali di irrigazione, l'uno da 32 m<sup>3</sup>/s, l'altro da 16 m<sup>3</sup>/s, il supero è ora versato direttamente nell'Oum-er-Rebia, in seguito sarà convogliato nella centrale di Zidania (vedi n. 6) della quale aumenterà la produzione di 30 Gwh.

12) LALLA TAKERKOUST: utilizza le acque destinate più a valle all'irrigazione della regione di Marrakech - sbarramento sull'Oued N'Fis alto 62 m - capacità del serbatoio 50,5 milioni di m<sup>3</sup> - centrale con due gruppi a vortice ad asse verticale - salto m 50 - portata 13,5 m<sup>3</sup>/s - potenza totale installata 8.800 Kw - produzione media annua 10 Gwh.

#### Impianti termici.

A) con motori a combustione interna - si tratta di ben 98 piccole installazioni per una potenza totale di 54.190 Kw autonome e destinate ad alimentare centri isolati.

B) con motrici a vapore - sono in funzione tre centrali:

1) TETOUAN - due gruppi per un totale di 1460 Kw ed una produzione media annua di 5 Gwh.

2) OUIDA - quattro gruppi per una potenza totale di 25.800 Kw - produzione annua possibile 160 Gwh - combustibile i fini grezzi dell'antracite di Jerada macinati ed eventualmente mazout - sette caldaie di cui 3 da 30 a 40 t/ora a 37 hpz 460° e 4 da 15 t/ora.

3) ROCHES-NOIRES - due gruppi per una potenza totale di 34.000 Kw - produzione annua possibile 204 Gwh - combustibile i fini grezzi dell'antracite di Jerada macinati ed eventualmente mazout solo o con carbone polverizzato - tre caldaie da 70 a 85 t/ora a 50 hpz e 460° - parco carbone da 20.000 t.

Questa centrale è studiata per un ampliamento per raggiungere a tappe successive una potenza di 120.000 Kw.

#### Linee di trasporto e di distribuzione.

Per completare il quadro dell'elettrificazione del Marocco può essere utile dare una tabella dello sviluppo delle linee (mancano i dati sulle potenze) ed una sulle potenze complessive delle sottostazioni nel 1965.

— linee a 150 KV	1348 Km
— linee a 60 KV	2780 Km
— linee a 22÷30 KV	4674 Km
— sottostazioni di trasf. 150/60 KV	320.500 KVA
— sottostazioni di trasf. 150/5,5 KV	
— sottostazioni di trasf. 150/8,5 KV	319.500 KVA
— sottostazioni di trasf. 60/22 KV	231.500 KVA
— sottostazioni di trasf. 60/5,5 KV	464.000 KVA
totale	1.335.500 KVA

Sembrerà strano al lettore che ci sia dilungati a dare le caratteristiche di quasi tutti gli impianti trascurando solo i piccolissimi; ma ci è sembrato con questo di dare un'impressione tangibile di quello che è il complesso energetico in tutto il Marocco e vogliamo aggiungere che: correndo quasi senza sosta per pianure, altipiani ed ampie valli, ora in vista dell'Oceano ora in vista delle catene montuose dell'Atlante bianche di neve in mezzo a notevoli estensioni di terreno or rosso or bruno coltivato a grano, ad agrumeti, a vigne, le piccole centrali bianche, le piccole sottostazioni, le stazioni delle pompe, le righe dei canali che solcano il paesaggio, le canaline prefabbricate che si insinuano tra le fronde della vegetazione davano un senso strano di pace e di lavoro, della volontà di un popolo, quasi sempre invisibile, di andare incontro alla natura, spesso ingrata, di invitarla ad assecondarlo sulle nuove strade di una civiltà operosa.

Sono testimonianze di questa volontà non solo le opere già fatte ma anche i programmi per il futuro.

#### Programmi per il futuro.

Il Marocco dispone di un complesso di centrali, di mezzi di trasporto e di distribuzione di costruzione abbastanza recente e quindi ad un livello tecnico abbastanza elevato, questo complesso permette di soddisfare i fabbisogni attuali con una certa larghezza e sicurezza. Per ora sta dedicando notevoli sforzi allo sviluppo dell'agricoltura ed alla valorizzazione di nuovi terreni, ma pensa anche alla creazione di centri industriali così da provocare un notevole incremento nei consumi.

Il Marocco dispone ancora di un potenziale energetico idraulico di 1.690.000 Gwh, tuttavia con le nuove costruzioni in programma dà notevole risalto alla produzione termica, sia perchè dispone di depositi carboniferi sul territorio nazionale sia perchè a produzione uguale gli impianti termici esigono investimenti minori, sia perchè sono di più rapida realizzazione.

Attualmente sono in costruzione due centrali idroelettriche, quella di MECHRA-KHLILA e quella di BOU-AREG per una produzione di 60 Gwh ed è previsto l'ampliamento della centrale termica di Casablanca con un nuovo gruppo di 60.000 Kw.

#### Formazione professionale ed assistenza sociale del personale dell'O.N.E.

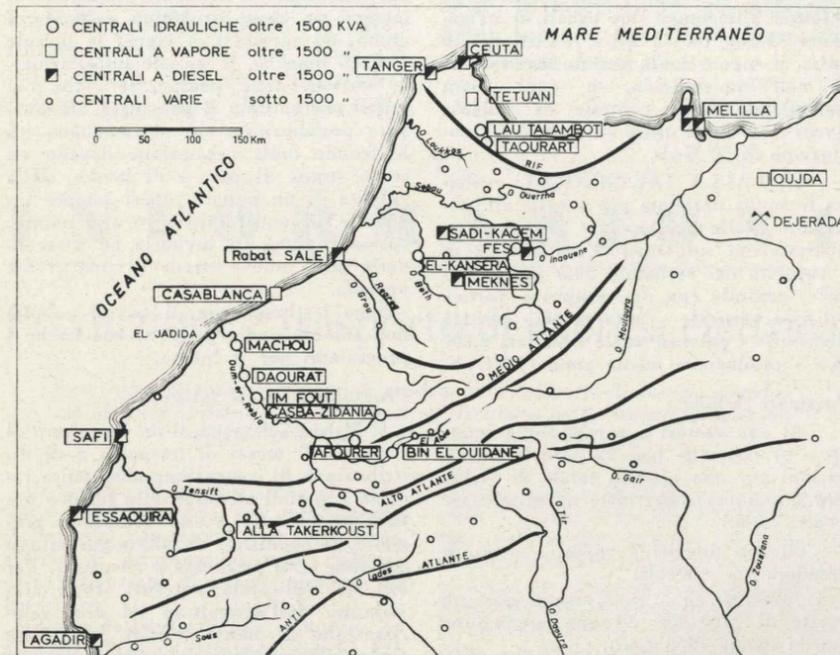
Fatta la rassegna delle installazioni in atto e previste per l'elettrificazione del paese è doveroso mettere in evidenza anche gli sforzi che il Governo ha dovuto fare nei riguardi del fattore umano in tutti i settori anche se qui si prende in considerazione solo il campo nel quale opera l'O.N.E.

È naturale che i Marocchini, raggiunta l'indipendenza politica nel 1956, abbiano desiderato di emanciparsi dagli stranieri, pur non disconoscendo quanto da questi era stato fatto, anche nelle varie attività per cui vive il paese: agricoltura, opere pubbliche, trasporti per terra, per mare e per aria, elettrificazione, miniere, industrie varie e quindi

si siano trovati nella necessità di crearsi maestranze e quadri dirigenti marocchini sia per sostituire gli stranieri che se ne andavano sia nella previsione di notevoli sviluppi di quelle attività.

Nell'ambito dell'O.N.E. dal 1956 al 1965 la percentuale del personale di nazionalità marocchina è salita dal 40 al 92 %, ciò si è ottenuto con un'intensa formazione professionale che spesso ha dovuto iniziarsi con la soppressione del-

l'alfabetismo. Due strade si sono seguite:



3) stages per capi e sottocapi della distribuzione;

b) con corsi per corrispondenza distinti in tre tappe;

c) con corsi di promozione superiore che durano tre anni, dopo i quali i candidati scelti sono inviati in Francia alla Scuola speciale T.P. che in due o

Nella seconda parte del suo percorso corre parallelamente all'Oum-er-Rebia in un'ampia valle tortuosa notevolmente sopraelevata sulla pianura percorsa dall'Oum-er-Rebia (a circa 280 m). Tra i due corsi d'acqua si eleva una costa montagnosa, il Tazerkannt.

La disposizione topografica si presentava favorevole per la creazione di un serbatoio nella valle dell'Oued-el-Abid in corrispondenza della stretta di Bin-el-Ouidane e per l'utilizzazione delle sue acque in una centrale posta sull'Oum-er-Rebia attraversando il Tazerkannt con una galleria di circa 10 Km.

Nello studio definitivo, il salto venne diviso in due, quello in corrispondenza della diga ed un altro dal piede della diga alla Centrale di Afouer posta sulla sponda sinistra dell'Oum-er-Rebia, con l'interposizione di un serbatoio di compenso. Con questa disposizione si raggiunse lo scopo di rendere indipendente il funzionamento della Centrale della diga da quella più a valle che deve seguire le richieste dell'irrigazione.

Venne quindi equipaggiata la prima per un funzionamento di punta, la seconda invece per un funzionamento più tranquillo che dovrà seguire solamente le variazioni di portata stagionali richieste dal comprensorio irriguo.

Si sali dalla strada di fondo valle al serbatoio per una bella strada panoramica che rimonta con ampi tornanti il costone del Tazerkannt con vista alterna sulla valle boscosa finale dell'Oued-el-Absid, e dell'ampia pianura di Tadla con lo sfondo dei monti dell'Atlante.

La visita si iniziò quindi dal serbatoio del quale peraltro essendo diramato e tortuoso si è vista solamente la parte presso la diga.

Gli elementi raccolti sono:

- superficie del bacino imbrifero 6.400 Km<sup>2</sup>
- portata media annua 33 m<sup>3</sup>/s
- portata minima osservata (1946) 3 m<sup>3</sup>/s
- portata massima osservata (1942) 1.100 m<sup>3</sup>/s
- portata media regolarizzata utilizzabile 26 m<sup>3</sup>/s
- quota di massimo invaso normale 810 m.s.m.
- quota di minimo invaso eccezionale 750 m.s.m.
- capacità totale del serbatoio 1.500.000.000 m<sup>3</sup>
- capacità utile tra quota 810 e q. 765 1.200.000.000 m<sup>3</sup>.

La diga è del tipo a volta sottile in calcestruzzo di cemento fondata su roccia calcarea, ed è individuata dai seguenti dati:

- altezza massima sulle fondazioni 135 metri
- spessore massimo alla testa 32 m
- lunghezza in coronamento 260 m
- raggio di curvatura in coronamento a valle 105 m
- volume del calcestruzzo 450.000 m<sup>3</sup>.

Uno sfioratore in sponda destra seguito da uno scivolo a salto di ski può smaltire una piena di 2.500 m<sup>3</sup>/s.

Dalla sommità della diga si scese alla

Centrale che scarica nel serbatoio di compenso.

La centrale può funzionare con livello a monte compreso tra 810 e 770 e con livello a valle tra 704,50 e 709, ossia tra i salti lordi compresi tra 105,50 m e 61 m.

La centrale è equipaggiata con 3 gruppi Francis alimentati ognuno dalla propria condotta forzata in acciaio annegata nella diga del diametro di 3,80 m e della lunghezza di 55 m.

Caratteristiche di ogni gruppo:

turbina Francis ad asse verticale portata massima 57 m<sup>3</sup>/s

alternatore potenza massima 40.000 Kw portata totale erogabile dalla centrale 171 m<sup>3</sup>/s

potenza totale producibile dalla centrale 120.000 Kw.

Ogni alternatore è collegato ad un proprio trasformatore che eleva la tensione di macchina a 150.000 V.

Sotto la centrale di Bin-el-Ouidane si stende il serbatoio di compenso creato da una diga che sbarrò il fiume 3,5 Km a valle della Centrale stessa in località Ait-Ouarda. Questo serbatoio rappresenta l'opera di testa dell'impianto di Afouer.

La diga è ad arco sottile a paramenti cilindrici, ha le seguenti caratteristiche:

- raggio intradosso 60 m
- altezza sulle fondazioni 45 m
- sviluppo in coronamento 120 m
- spessore costante 5 m
- volume calcestruzzo 28 m<sup>3</sup>.

La diga è provvista di 5 paratoie a settore di superficie di m 7,50 x 10,50 e di 3 scarichi di fondo di 4 x 4 m che possono complessivamente evacuare una piena di 2800 m<sup>3</sup>/s.

La capacità del serbatoio è di 3.800.000 m<sup>3</sup> di cui 2.500.000 utili tra la quota 709,00 e la quota 703,00.

L'opera di presa per l'impianto a valle trovasi in sponda destra presso la diga ed è seguita da una galleria lunga 10.570 m rivestita in calcestruzzo, dello spessore di m 0,30÷0,50 alle volte armato: il diametro netto è di 4,5 m e permette un deflusso di 48 m<sup>3</sup>/s.

Questa galleria che attraversa il massiccio del Tazerkannt tra strati calcarei alternantisi con strati marnosi in parte sotto la falda acquifera che durante l'avanzamento diede luogo a venute d'acqua della pressione di anche 15 Kg/cm<sup>2</sup> è stata un'opera costruttivamente di un certo rilievo.

La galleria immette in un pozzo d'equilibrio costituito da un'enorme vasca parzialmente interrata del diametro di 30 m e profonda 30 m.

Tre condotte forzate escono dalla camera e raggiungono la Centrale di Afouer. Due condotte del diametro di 2,60 alimentano due gruppi generatori in centrale; la terza assicura la restituzione all'irrigazione fino ad una portata di 24 m<sup>3</sup>/s nel caso di avaria di uno dei gruppi.

Caratteristiche di ogni gruppo: turbina da 24 m<sup>3</sup>/s salto di 228,5 m alternatore da 46 800 Kw.

Dato uno sguardo ai partitori della rete di irrigazione, il viaggio proseguì per Casablanca.

Giulio Gentile

## ALCUNE FOTOGRAFIE VALDOSTANE CON COMMENTI DI A. PEDRINI

Ponte S. Martino - Case medioevali in Bard - Ponte sull'Albard

### PONTE S. MARTINO

Il ponte San Martino è opera dell'ingegneria Romana, posto sul confine della provincia di Torino e la Valle di Aosta, che offre spunto per fornire alcuni cenni sulle vicende storiche della località.

Il feudo venne occupato verso la fine del sec. XII, dalla famiglia dei Bard (originaria dalla Lorena) di origine Burgunda. Un Edoardo costruì un torrione fortificato sulla sommità di una rupe soprastante, dove per volere del figlio, precipitò e morì crudelmente in un trabocchetto irto di lance. I Bard avevano sistemati alcuni rifugi ai lati del ponte dove convivevano servi e armigeri sempre pronti a ricattare i viandanti che percorrevano le due strade, della valle Augustea e di Vallesa

che raggiungeva il biellese. Sui primi del sec. XIII i Bard costruirono il castello includendo la torre che è ora un ammasso di ruderi.

Ritornando all'epoca di Ugone I, tutto il casato dei Bard, venne in gravi conflitti per le eredità, incendiandosi l'un l'altro i poderi, tanto che il vescovo di Ivrea Ottino dovette intervenire, finalmente conciliandoli con trattato del 1214, accordando a Vuillerm (Guglielmo) il castello e le terre di Ponte San Martino che comprendeva valli e villaggi. Al detto Guglielmo di Bard, onde attenuare il ricordo di tanti crimini, venne concesso il titolo di conte di San Martino, dietro promessa di buon governo. Ma egualmente la malvagità di questa famiglia, faceva soffrire alle plebi a loro soggette ogni sorta di arbitrio, compreso il famigerato *jus primae*



Vertice del ponte romano a due inclinazioni, da poco rimesso nel suo stato originale. La larghezza in fabbrica è di mt. 5,825, la strada si riduce a mt. 4,625, lo spessore del parapetto mt. 0,600. Il selciato è ancora a poliedri o piramidi Romani divenuti lisci dall'uso. Plutarco fa presente che Caio Gracco li faceva scalpellare e rassodare con la sabbia. Ai lati della via sono ancora sul posto le lunghe pietre rettangolari, avevano lo scopo di proteggere il parapetto dalle ruote dei carreggi (« marginis »), che passavano in colonna, mai abbinati. L'edicola è del sec. XVIII, l'edificio o porta col passaggio carraio è rifacimento del sec. XVIII. Nessun ingombro esisteva all'epoca Romana. La facciata della casa di sinistra porta i segni delle fucilate napoleoniche. Qui passarono le legioni Romane per dieci volte tra gli anni 57-47 avanti l'E. V. al comando di Giulio Cesare nei mesi della buona stagione. Le sue gesta sono note dai suoi Commentari.



Il ponte romano di San Martino, che è degli anni 140-120 a. C., si presenta ancora bene conservato. La sua linea architettonica maestosa può dirsi perfetta, ingentilita da cordoni orizzontali che allettano lo sguardo e donano l'impressione di snellezza, riducendone l'altezza. È costruito con pietre di gneiss micaceo locale, da poco ripulite con aggiunte di muri o contrafforti per rinforzo e protezione delle basi.

*noctis* pagabile in moneta sonante (Giacosa). Nemmeno il sentimento religioso valeva a far frenare gli abusi ed i soprusi scaturenti dal gioco di reciproci appoggi tra nobiltà e clero nella conservazione di ricchezze e privilegi temporali (Ratti e Casanova).

G. Giacosa scrive testualmente: « Ad Ibleto di Challand è dovuto uno degli atti più umani del suo poco umano secolo. Uditi nel luglio 1387, nella chiesa maggiore di Ivrea i sindaci di val Brosso, i quali protestavano che i conti di San Martino loro signori, avevano convertito il natural dominio in tirannide e scongiuravano che il Conte di Savoia li ricevesse sudditi immediati, egli (Ibleto) regolò i patti colla nuova sudditanza, ne fissò i tributi, decretò le libertà comunali proclamando nuovo e pericoloso principio per un signore feudale, che l'oppressione è patto risolutivo di ogni governo feudale, il quale torna in tal caso ad essere devoluto al signore Sovrano ».

Verso la fine del '300 la famiglia San Martino abbandonò il castello andando ad abitare un caseggiato presso la parrocchia. L'ultimo dei San Martino, Giuseppe Filiberto, morì nel 1737, i beni passarono al demanio dello Stato Piemontese.

La regione aostana (Vallem Salassorum) terminava, come tutt'oggi, con il torrente Lis o Lesa, che



Bard. Scala a chiochiola in muratura del palazzotto alla prossima figura, disabitato, che attende l'autodemolizione. In dialetto del luogo è detto « viret ». Ve n'è un'altra nel borgo, però in marmo di Aymevilles, come quello di Jssogne pure in pessime condizioni.

sbocca nella Dora Baltea separando in due il territorio. La zona e le case a destra del torrente, appartengono al comune di Carema, terra Canavesana inclusa nella provincia di Torino. Oltre il ponte vi è il comune di Ponte San Martino da dove inizia la Valle di Aosta, nella quale esiste la parlata francese residuo del regno di Borgogna. Da Carema suonò sempre il dialetto canavesano che è piemontese schietto e la nostra lingua italiana. Il Promis fa presente che lo storico Viberto definisce questa località, verso il 1050 « ad extremos Italiae fines, locumque qui dicitur ad Cameram ». Il Durandi annota nel suo libro « Marca di Ivrea », stampato nel 1652, che sul fianco del ponte esisteva una lapide con dicitura « Ad pontem Hellae Helioe » nome antico del torrente ora detto Lesa o Lis. Gli scrittori Ratti e Casanova confermano che altri storici accennarono a questa lapide. Una mappa del 1229 consultata dal Durandi segna « Flumen quod dicitur Hellix ».

I Romani scelsero un sito così elevato per evitare le paludi che infestavano le terre verso valle, impostando l'arco su due massi che recingono il torrente.

È noto come gli antichi evitarono gli archi rilassati, e questo è uno dei pochi esempi dell'età repubblicana nel quale vedesi la saetta dell'arco essere soltanto di 1/3 della corda, ma qui non volendo deprimere troppo l'arco, dovettero necessariamente fare il selciato con due inclinazioni.

La corda è di metri 35,64, la saetta di mt. 12 e la larghezza totale col parapetto di mt. 5,825. La strada sopraelevata è ridotta a mt. 4,625 di larghezza, l'inclinazione dei cordoni e del selciato a poliedri è del 12 e mezzo per cento. Il materiale usato è lo gneiss micaceo locale.

Come già detto, fu costruito tra gli anni 140-120 prima dell'era nuova, appena dopo che Appio Claudio Pulcro costrinse i Salassi ad un accordo, in virtù del quale i Romani poterono transitare e costruire le famose grandi vie consolari con tutte quelle opere stabili, impiegando un cospicuo numero di architetti e artigiani, mentre la manovalanza era tutta di valligiani.

Da Plutarco sappiamo che a soprintendente dei lavori fu il tribuno Romano Caio Gracco « avendo la mira all'utilità e nel medesimo tempo alla grazia e alla bellezza ».

Questo ponte è sempre stato transitabile, però verso la prima metà dell'800, previa bonifica del terreno sottostante, venne costruito un ponte in legno (che nel 1862 era però già sconnesso), poi l'attuale in muratura, congiungendo le strade comunali di Ponte San Martino con Caréma, eliminante le salite e più adatto ai moderni mezzi di trasporto.

A Caréma fu rinvenuta una lapide coi nomi di liberti seviri urbani, il cui patrono era Sallustio Crispo, nipote del celebre storico omonimo, padrone delle miniere di rame dette sallustiane nei Centroni (odierna Tarantaria), e che in questo vico aveva il magazzino del minerale. « Ad Cameram ».

BARD

Lo storico che osserva le fronti di questi antichi palazzotti, ha modo di notare le rimodellazioni attraverso i secoli.

È utile perciò la fotografia e qualche annotazione degli attenti sopralluoghi effettuati. Il portale a sinistra, manca di circa un metro alla base dovuto all'adattamento del mutato livello stradale. Recenti scavi eseguiti per delle condutture, hanno messo in luce l'antica via Romana coi poliedri. Il rialzo si può calcolare risalga al secolo XII. Il continuo passaggio dei carri avrà certamente influito a rendere la via impraticabile, come il tratto ora esistente presso l'arco a Donnaz.

Il primitivo sistema stradale doveva richiedere ai Romani una gravosa manutenzione, ciò che nelle epoche successive non fu più possibile per cui fu più comodo coprire il tutto e lastricare con



Antiche case medioevali in Bard lungo la strada romana, rimodellati lungo i secoli fino al '400.

ciottoli di fiume. Le guide carraie sono state collocate recentemente.

Plutarco assicura che le vie erano oggetto di sommo studio, lastricate con pietre scalpellate, rassodate con sabbia portatavi (Le Vite, Tiberio e Cajo Gracco).

Ritornando al portale di sinistra, gli stipiti sono stati rinforzati dai « marginis » tolti dalla via, e così per la soglia; l'androne ha una discreta discesa verso il cortile ricavato ai lati del burrone. A metà percorso vi è la scala a chiocciola, tipica costruzione della seconda metà del sec. XV, in pessime condizioni e pericolante come tutti gli ambienti da tempo abbandonati.

Di fronte a questa casa, un'altra, ancora abitata, ha l'entrata sul ciglio della strada, però occorre scendere alcuni gradini per trovare il pianerottolo e la scala, dovuto al detto livellamento. È ugualmente interessante per la storia dell'architettura rustica.

Tutte le case del Borgo subirono delle modifiche e aggiunte a più riprese, talune di queste pare risalcano ai Salassi Incolae, sfuggiti alle orde dei barbari, dopo la caduta dell'Impero Romano nel sec. V.

**PONTE ROMANO  
SUL TORRENTE ALBARD**

Date le condizioni ambientali dove non è possibile un'illuminazione diurna regolare. Ho potuto egualmente ritrarre le caratteristiche di questa testimonianza di una tecnica costruttiva ben calcolata che avrebbe potuto sfidare ancora qualche secolo se il generale francese La Roquette nel 1691 non l'avesse resa un rudero.

Questo ponte è poco discosto da un'altro moderno che ne cavalca la parte restante del canale. Trovasi su un lato della strada nazionale dopo la discesa di Bard, frazione Jaquemed.

È un'opera che risale agli anni 140-120 avanti l'E. V. È fondato in trincea (aggrale), tra rocce scavate; vi passano le acque del torrente Albard, le quali precipitano da un'alta rupe, levigata ripida ad arte, a guisa di conca con



Il ponte romano sul Torrente Albard il quale presenta interessanti strutture idrauliche per sopperire alle esigenze dello smaltimento delle acque di piena raccolte dai drenaggi sulle pendici montane.

alte spalle per convogliare le acque e spingerle rapide sotto il pavimento stradale, per immetterle nel fiume.

Questo dimostra la praticità dei Romani per prevedere la fuoriuscita delle acque in tempo di piena e trattenere le alluvioni.

Gli spalloni che formano l'argine hanno la superficie concava più accentuata verso l'alto, formati da scheggioni piatti di tufo calcareo, cementati orizzontalmente; la larga cimasa, o sommità, è a lastre di pietra squadrate che compongono un piano inclinato per ricevere l'impostazione dell'arco. I cunei di forma grossa come poliedri, forse di gneiss, hanno delle bozze (tubèris) sporgenti per in-

serirli tra loro e per legarli. Sovrasta una spessa e lunga lastra di pietra onde preservare l'arco, sul quale ancora si vedono degli scheggioni piatti per la massiciata del passo. La larghezza del ponte in fabbrica è di circa mt. 6,20.

Tale canale costruito con tanta praticità, ha suscitato curiosità. Dopo attenti sopralluoghi fatti da montanari, risulta essere lo scarico delle acque raccolte da innumerevoli drenaggi disseminati sul versante del monte Albard rivolto verso la via delle Gallie lungo il passo di Bard. Sono passati molti anni, mutate le strutture, ma le acque ubbidiscono ancora al vecchio progetto.

Augusto Pedrini

# ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

**FIAT**  
TORINO

**SOCIETÀ  
PER AZIONI  
UNIONE  
CEMENTI**

**MARCHINO  
& C.**

**CASALE  
MONFERRATO**

NUOVA SERIE . ANNO XXI . N. 5 . MAGGIO 1967

## SOMMARIO

### RASSEGNA TECNICA

P. BONDI - V. FERRO - C. LOMBARDI - A. SACCHI - *Prove sistematiche di conduttanza termica eseguite su pareti prefabbricate per l'edilizia* . . . . . pag. 119

G. A. PUGNO - *Misure di resa frigorifera eseguite su un condizionatore ad induzione a pronto effetto nella regolazione termica* » 128

### PROBLEMI

C. CASTIGLIA - *Potenziale traffico aereo della regione piemontese* » 132

REGOLAMENTAZIONE TECNICA . . . . . » 150

### COMITATO DI REDAZIONE

*Direttore:* Augusto Cavallari-Murat - *Membri:* Gaudenzio Bono, Cesare Codegone, Federico Filippi, Rinaldo Sartori, Vittorio Zignoli - *Segretario:* Piero Carmagnola.

### COMITATO D'AMMINISTRAZIONE

*Direttore:* Alberto Russo-Frattasi - *Membri:* Carlo Bertolotti, Mario Catella, Luigi Richieri.

REDAZIONE: Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24 - telefono 51.11.29.  
SEGRETERIA: Torino - Corso Siracusa, 37 - telefono 36.90.36/37/38.  
AMMINISTRAZIONE: Torino - Via Giolitti, 1 - telefono 53.74.12 (per la pubblicità 58.71.25).

Pubblicazione mensile inviata gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. — Per i non Soci: abbonamento annuo L. 6.000. - Estero L. 8.000. Prezzo del presente fascicolo L. 600. - Arretrato L. 1.000.

La Rivista si trova in vendita: a Torino presso la Sede Sociale, via Giolitti, 1.  
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA VII

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT** Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948  
STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO

# INDUSTRIA DEL CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO



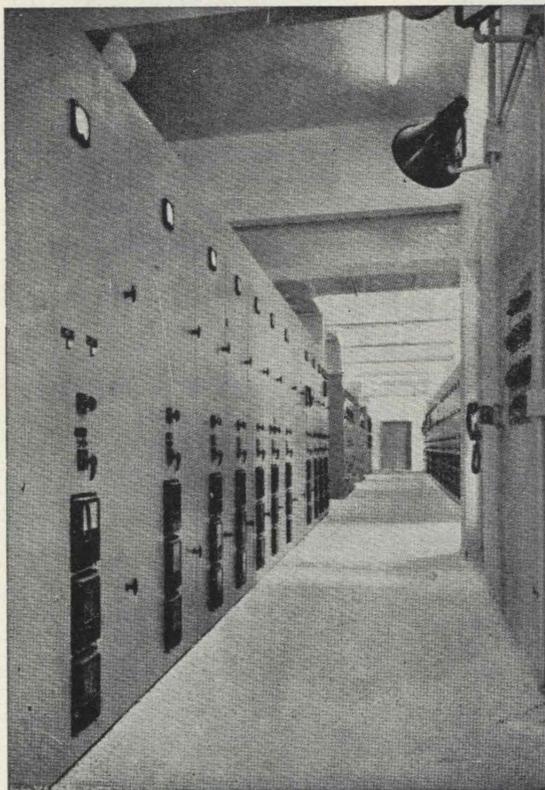
## DIREZIONE E SEDE

**TORINO**  Via Tirreno, 45 - tel. 502.102 / 502.103 / 599.908

## CENTRALI DI BETONAGGIO

**TORINO**  Via Nallino (ang. C. Orbassano) tel. 393.996  
 Via Sandro Botticelli - telefono 243.010  
 Via Pietro Cossa - telefono 737.070

**MONCALIERI**  Corso Trieste - telefono 667.786



Quadri « Metal-Clad » a 3 kV installati presso la Centrale di Civitavecchia

- apparecchiature elettriche per bassa, media ed alta tensione fino a 380 kV
- quadri e banchi di manovra
- quadri protetti normalizzati per interno e per esterno con interruttori estraibili
- interruttori automatici in aria per bassa, media ed alta tensione
- sezionatori, scaricatori



# Magrini

Sede, Stabilimenti e Direzione Vendite:  
BERGAMO - Via L. Magrini, 7 - Tel. 35.444

Uffici vendite:  
MILANO - ROMA - NAPOLI - PALERMO  
TORINO - Via Almese, 15 - Tel. 751.994