



impresa costruzioni generali ing. RECCHI s.p.a. torino

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
CEMENTERIE**

**MARCHINO
EMILIANE
E DI
AUGUSTA**

UNI CEM

Direzione Generale :
**Via C. Marengo 25
10126 TORINO**

NUOVA SERIE . ANNO XXVII . N. 3-4 . MARZO-APRILE 1973

SOMMARIO

ATTI DELLA SOCIETÀ

G. F. MICHELETTI - *Da Pechino: uno spiraglio sulla Cina - Il ruolo dell'Università, dell'Industria, della Ricerca nella Repubblica Popolare Cinese* pag. 37

RASSEGNA TECNICA

C. CASTIGLIA, E. PARATORE - *Trasporti aerei a velocità subsonica e supersonica* » 40

C. CANCELLI, F. VATTA - *Impianto sperimentale per misure su correnti in regime turbolento* » 56

G. BONGIOVANNI, M. CLERICO - *Studio sperimentale sul comportamento di un giunto elastico a caratteristica non lineare* » 61

INFORMAZIONI » 62

Direttore: Guido Bonicelli.

Comitato d'onore: Gaudenzio Bono, Mario Brunetti, Cesare Codegone, Federico Filippi, Rolando Rigamonti, Rinaldo Sartori, Paolo Verzone, Vittorio Zignoli.

Comitato di redazione: Anna E. Amour, Giuseppe Boffa, Dante Buelli, Francesco Dolza, Loris Garda, Carlo Mortarino, Mario Federico Roggero, Ugo Piero Rossetti.

Segretario di redazione: Oreste Gentile.

Redazione, segreteria, amministrazione: Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, via Giolitti, 1 - Torino.

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. 1000.

La Rivista si trova in vendita: a Torino presso la Sede Sociale, via Giolitti, 1.

SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III/70

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

ZÜST AMBROSETTI S.p.A.

TRASPORTI INTERNAZIONALI

Affidateci con sicurezza e fiducia le vostre spedizioni per:

- Servizi ferroviari groupages nazionali e internazionali
- Servizi camionistici groupages nazionali e internazionali
- Traffico oltre mare
- Servizi rail-route
- Servizi doganali
- Traffici aerei (Agenti IATA MERCI)
- Trasporti di merce di dimensioni e pesi eccezionali
- Traffici automobilistici con propri magazzini doganali e propri vagoni e camions a doppio piano
- Servizi speciali d'opere d'arte
- Assicurazione di trasporto
- Servizi speciali liquori e magazzinaggi

UFFICIO COLLEGAMENTO E DI RAPPRESENTANZA: ROMA - Via Mecenate, 59 - Telefono 730.649

CASA CONSOCIATA: S.I.T.F.A. Società Italiana Trasporti Ferroviari Autoveicoli S.p.A. - Via Melchiorre Voli, 33 - TORINO - Telefono 325.093 - Telex 21.257

CASA ALLEATA: S.E.T. Société d'Entreprises de Transports et de Transit - Siège social: 30-32, Rue du Landy, Clichy (Seine) - Tel.: 737.42.45 62-44 63-43 63-46 - Telex: 29.429 S.E.T. Clichy - Service Europe: 23-25, Rue Sadi-Carnot, Aubervilliers/Seine - Tel.: Fla 6693 - Telex 22.946 S.E.T. Auber

SEDI PROPRIE

MILANO: Via Toffetti, 104
Telefoni 539.69.41/2/3/4/5
539.741/2/3/4/5
Telex 31342 ZASPED

BIELLA: Via Oberdan, 23/a
Telefono 23.573

BOLZANO: Via Renon, 21
Telef. 35.045 - Telex 48.142 ZAM

COMO: Via Recchi, 11
Telefono 34.988

DESIO: Via XXV Aprile, 2
Telefono 66.929

GENOVA: Via Dante, 2-40
Telefoni 52.320 - 51.641 - 586.497

PIACENZA: Via F. Frasi, 27
Telefono 21.284

TORINO: Corso Rosselli, 181
Telefoni 337.733 (5 linee)
338.433 (5 linee) - 339.033
(5 linee) - 337.676 (5 linee)
Telex 21.242 ZAMBROS

BOLOGNA: Via Bovi Campeggi, 4
Telefoni 272.818 - 235.203
Telex 51.118 Züstbo

FIRENZE: Piazza Stazione, 1
Telefono 287.136

PARMA: Via P. Giordano, 20
Telefono 29.233

SAVONA: Via Chiodo, 2
Telefono 28.877

VANZAGO (Milano):
Via Valle Ticino
Telefono 934.175 - Telex 31.657

IMPIANTI TERMICI

RADIAZIONE

CONDIZIONAMENTO

VENTILAZIONE

IDRAULICI SANITARI



g. SARTORIO ef.

DI ING. LORENZO SARTORIO & C. S.A.S.

10139 - TORINO - VIA BARDONECCHIA, 5

TELEF. 37.78.37
(3 linee con ric. autom.)



UFFICI E SEDE: VIA TIRRENO N. 45
TEL. 502.102 (ric. aut.) - 10134 TORINO

INDUSTRIA DEL CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO



CENTRALI DI BETONAGGIO N. 9

TORINO

- Via Nallino, ang. C. Orbassano - tel. 393.996
- Via Sandro Botticelli - tel. 267.010
- Via Pietro Cossa - tel. 737.070

MONCALIERI

- Corso Trieste, 140 - tel. 667.786
- Regione Bauducchi - Corso Savona, 76 - tel. 645.859

LA LOGGIA

- Str. Statale n. 20 - Ponte Chisola - tel. 645.983

VENARIA

- Strada Caselle - tel. 592.800

RIVOLI

- C.so IV Novembre - tel. 950.416

ORBASSANO

- Str. Beinasco

CALCESTRUZZI A DOSAGGIO, A RESISTENZA GARANTITA E SPECIALI - GETTI CON POMPA



asfalt - c. c. p.

TORINO

S. p. A.

Strada di Settimo 6 - Tel. 20.11.00 - 20.10.86

COPERTURE IMPERMEABILI - MARCIAPIEDI - STRADE

ASFALTI COLATI E TAPPETI STRADALI COLORATI

LAVORI GARANTITI

PRODUZIONE, APPLICAZIONE E VENDITA DI ASFALTI
A FREDDO GELBIT E GELBIPLAST

CATELLA

MARMI • GRANITI • PIETRE

Cave proprie - Stabilimenti - Segherie

Torino - Via Montevecchio 27 - Tel. 545.720-537.720

COPERTURE IMPERMEABILI

GAY

di Dott. Ing. V. BLASI

Impermeabilizzazioni e manti
per tetti piani o curvi, cornicioni,
terrazzi, sottotetti, fondazioni.

VIA MAROCHETTI 6. TORINO. TEL. 690.568

DOTT. ING. VENANZIO LAUDI

S. n. c.

IMPIANTI RAZIONALI TERMICI

E IDRICO SANITARI

TORINO - VIA MADAMA CRISTINA 62

TELEF. DIREZIONE: 683.226 • TELEF. UFFICI: 682.210

**Coperture impermeabili di durata
e a larghi margini di sicurezza**

Ditta

PALMO & GIACOSA

Coperture tipo Americano brevettata "ALBI-
TEX" alluminio - bitume amianto - tessuto di
vetro

Coperture in RUBEROID originale con cementi
plastici a freddo ed a caldo. Asfalti naturali di miniera

PAVIMENTAZIONI STRADALI

Via Saluzzo 40 - TORINO - Tel. 652.768 - 682.158 - 700.304

DA PECHINO: Uno spiraglio sulla Cina

Il ruolo dell'Università, dell'Industria, della Ricerca nella Repubblica Popolare Cinese

Il prof. GIAN FEDERICO MICHELETTI, ordinario di Tecnologia meccanica al Politecnico di Torino, è stato ufficialmente invitato a recarsi in Cina, per presentare una relazione sulla ricerca applicata e lo sviluppo tecnologico in Italia, in occasione delle Giornate Tecnologiche organizzate in concomitanza con l'Esposizione Italia 72 a Pechino. La nostra rivista lo ha pregato di voler sintetizzare alcune sue impressioni, specificamente sul settore produttivo, riportate durante il viaggio e le visite effettuate a stabilimenti e laboratori in Cina, traendole dal testo della conferenza tenuta per la nostra Società il 14 dicembre scorso.

I primi spiragli che, timidi seppur ricchi di speranze e di attese, si sono aperti nel 1972 verso la Cina del presidente Mao, sembrano destinati ad accrescersi in numero ed in ampiezza, alla luce degli avvenimenti dei mesi (per non dire settimane) recenti. Visite di capi di Stato, già preannunciate, di ministri degli esteri o di consiglieri ad altissimo livello, inducono a ritenere che queste speranze avessero validi fondamenti, e che quelle attese siano foriere di incoraggianti prospettive.

Devo dire che, questo, si era però già raccolto nell'aria, quando in ottobre ci trovammo a Pechino, fra milioni di cinesi, in occasione dell'Esposizione italiana di impianti, macchinari, macchine utensili, strumentazioni.

Non è sulla mostra come tale, ch'io qui intendo soffermarmi, anche se fa assai piacere ricordare che venne allestita con estremo impegno, grande accuratezza e molta convinzione: insomma, una bella ed efficiente esposizione, che già stava ad attestare, al di là delle parole e delle attestazioni ufficiali, le speranze e le aspettative cui ho accennato.

L'esposizione venne efficacemente ed intelligentemente integrata da « GIORNATE » congressuali, aventi come oggetto l'illustrazione degli aspetti salienti della struttura, dell'organizzazione, dell'attività industriale italiana; di tali giornate, fra l'altro, una fu dedicata alla ricerca tecnologica in Italia, sviluppata sia negli istituti universitari, sia nei laboratori industriali: chi scrive ebbe appunto l'incarico di elaborare un « survey » della situazione della ricerca applicata, e si trovò l'inattesa incombenza di dover inoltre coordinare, nei giorni successivi, gli incontri con gruppi di tecnici cinesi, per riprendere molti dei punti esposti durante il Convegno.

V'è infatti un aspetto che vorrei sottolineare, perché del tutto nuovo rispetto alla prassi congressuale italiana ed europea (o, in senso lato, occidentale). Infatti l'uditorio dei cinesi, che ci attendevano compatti ed attentissimi, avendo già ricevuto

in precedenza il testo (in cinese) di quanto i relatori si accingevano ad illustrare, delegarono uno dei loro (per inciso, un docente dell'Università di Pechino) ad esprimere un garbatissimo ringraziamento ed a comunicare che essi, gli uditori, si sarebbero riuniti per concordare le domande da rivolgere, facendone a noi pervenire il testo nei giorni successivi, così che ci si potesse poi nuovamente riunire ed incontrare, fornendo le risposte.

Vorrei dire che questo fu il primo accostamento ad una delle realtà cinesi, assolutamente preponderante: quella di un'assai impegnata e persuasa serietà di apprendimento, discussione, volontà di sapere, bisogno di perfezionamento.



Fig. 1 - La più grande e spettacolosa opera di ingegneria civile e militare nella storia: il lungo muro di 10 mila li (la grande muraglia si estende per oltre 6.000 km ed è l'unica opera umana — si dice — visibile dalla Luna). Non fu solo opera difensiva, ma costituì una vera arteria di comunicazione fra le regioni lungo l'immensa frontiera dell'impero cinese. Larga oltre 8 m alla base e circa 6 m alla sommità, consentiva al proprio interno il passaggio di carriaggi e materiali. Torre, torrioni, rampe di difesa, contrafforti costituiscono opere di notevole interesse ingegneristico.

La « Giornata » si trasformò, dunque, in più giornate; e ce ne rallegrammo. La mia prima reazione fu infatti di soddisfazione, poiché considerai immediatamente che la richiesta di presentarci un elenco di domande, conteneva un indiscutibile vantaggio: quello di capire che cosa possa interessare ai tecnici cinesi, che cosa stia più loro a cuore di

apprendere, quali informazioni tecniche preme loro acquisire.

Dirò di più: non solo dal contenuto, ma dal livello delle domande era altresì possibile formarsi un'opinione precisa dello « stato » in cui le aziende e la ricerca si trovano in Cina, quanto meno per la produzione industriale comunemente intesa, ed a parte settori strategici coperti dal più difeso segreto.

Era una curiosità, la nostra, più che legittima, perché nella prima giornata quell'uditorio, ammirevolmente intento a prendere appunti in quella stupenda stenografia che è l'ideogramma cinese, ma tutto così eguale nell'espressione dei volti, negli sguardi, nell'abbigliamento (le ben note casacche scure con il colletto alto) non ci aveva permesso di trarre alcuna deduzione, neppure approssimativa, circa le reazioni ricettive a quanto si andava via via esponendo.

Le domande fioccarono ed il loro primo elenco ci servì subito — come avevo previsto — quale primo orientamento: orientamento positivo, perché stava a confermarci il grandissimo interesse di ascoltare molte più cose, sopra tutto molti più det-



Fig. 2 - Lo stadio dei lavoratori a Pechino: opera recente, luogo di esercitazioni sportive, di grandi manifestazioni coreografiche, di gare ed esibizioni. Si noti che nella Cina di Mao il risultato di un incontro sportivo non è essenziale, tanto è vero che i giornali non riferiscono neppure i punteggi: ciò che conta è giocare bene, imparando da chi è migliore e impegnandosi a migliorare.

tagli, rispetto a quanto era stato esposto dai relatori. Si procedette dunque ad un primo coordinamento sia delle domande, sia delle risposte, e si affrontò il primo degli incontri, seguito poi da altri con analoga procedura.

Quali erano, prevalentemente, i temi di maggiore interesse?

Ecco, a titolo appena esemplificativo, alcuni degli argomenti: orientamenti sulla progettazione delle macchine utensili, circa la scelta dei sistemi di comando, la struttura, la standardizzazione; precisione delle macchine e garanzie di collaudo; tendenza sui metodi di riduzione dei tempi di lavorazione; caratteristiche specifiche di macchine utensili per lavorazioni speciali (fabbricazione di ruote dentate ecc.); impianti e macchinari utilizzati nelle fabbriche di autovetture e di trattori; orientamenti nella scelta fra sistemi di comando idraulico, elettrico e meccanico per le macchine utensili; metodi

e sistemi di copiatura di profili; rettificatrici ad alta velocità; dispositivi di equilibratura dinamica delle mole; sistemi di misura « in process » nella rettificatura interna ed esterna; criteri utilizzati nella progettazione di mandrini per macchine di alta precisione.

Se ne potevano dunque desumere alcune indicazioni fondamentali, confermate poi dalle impressioni riportate durante le visite, effettuate in stabilimenti industriali. Il Presidente Mao sostiene, e ripete nei suoi pensieri (di cui si alimenta quotidianamente il popolo cinese, con il fideistico abbandono accordato come ad una nuova religione, interamente sostitutiva di tutte le credenze tradizionali), che l'industria ha una funzione-guida nello Stato, e pertanto si guarda all'industria come ad una attività di propulsione.

Ma la base autentica, la più salda, la più sentita (perché più autentica nella mentalità dei cinesi) è e resta l'agricoltura. Vorrei dire che anche negli stabilimenti e nelle fabbriche, il cinese ha portato e conserva intatta la sua remota radice contadina; lavora con lentezza ma con continuità, mantenendo una sua intatta capacità di osservazione.



Fig. 3 - La stazione ferroviaria di Pechino: un tipico e significativo esempio di combinazione di architettura nella quale elementi convenzionali sono integrati da contorni derivanti dalla tradizione architettonica cinese. Allo sviluppo della rete ferroviaria è dedicata speciale attenzione: ma la natura e la configurazione delle varie regioni costituiscono serie difficoltà.

La sensazione è che nelle fabbriche cinesi tutto sia quanto mai alieno, per intrinseco temperamento oltre che per deliberata volontà politica e sociale, dall'impostazione non diciamo consumistica, ma anche solo di incremento della produzione come fine che trovi in se stesso una giustificazione tecnologica.

Il presupposto inderogabile è portare avanti il tutto, da tutti, con lenta quanto incessante progressione, ad evitare qualsiasi « urto », conseguente a squilibri di sviluppo fra l'uno e l'altro settore. Non prevalgono certamente problemi di spinti automatismi, di automazione o di progettazione di macchine sostitutive di manodopera nelle mansioni più modeste o ripetitive. Infatti il problema di base è tutt'altro: il problema, cioè, consiste nell'assicurare a tutti un lavoro, anche se modesto (e modestamente retribuito): ciò, per ragioni di dignità umana, certamente, ma anche di addestramento, di inquadramento, di controllo totale.

Il tessuto cinese è composto da 800 milioni di particelle: a ciascuna delle quali le altre, tutte le altre, in nome del comunismo e del popolo, chiedono di assicurare il proprio contributo. Ciascuno vi si deve impegnare: i dirigenti diranno, a ciascuno, attraverso la fitta rete di comitati rivoluzionari o consigli, quale tributo deve dare, come, dove, quando, a chi.

La nostra mentalità occidentale è senza dubbio colpita da un livello di gestione e di progresso organizzativo, che rispetto a noi dovremmo collocare piuttosto indietro nel tempo: ma sarebbe superficiale un giudizio così sommario, poiché addentrarsi un po' di più nella situazione dei cinesi, significa aver modo di mettere noi a fronte della nostra impostazione, tentare di guardarla con i loro occhi, valutare le molte limitazioni loro, ma anche le deformazioni nostre.

Mi sono sentito chiedere ripetutamente: « ma i cinesi sono contenti, sono consapevoli del livello industriale al quale si trovano? ». Mi sia consentito riferire qui la mia risposta preliminare: « per essere più o meno contenti di una situazione, bisogna essere in grado di poterla confrontare con altre; i cinesi hanno per ora un solo confronto, quello della loro stessa situazione prima della rivoluzione comunista, della lunga marcia, della rivoluzione culturale. Tale unico confronto è per loro senza dubbio positivo; se, infatti, il generale livello di vita (per quanto è dato intuire o rilevare da case, negozi, scuole, fabbriche, abbigliamento ecc.) è assai modesto, è però vero che la miseria dei diseredati non c'è, che i generi alimentari sono assai più che sufficienti ed a basso costo. I prodotti industriali sono invece costosi: una bicicletta equivale al salario di qualche mese ed è praticamente l'unico mezzo di locomozione, a parte carri o carretti, giacché la motorizzazione è presso che inconsistente, salvo che per trasporti pubblici, collettivi o militari ».

Sanno, i cinesi, come si vive nei paesi industrializzati? La gente comune non lo sa, né avrebbe modo o mezzo per saperlo, ove si tenga conto che la Cina si è veramente isolata (ed è stata isolata) per vari anni.

L'esposizione italiana è stata una delle primissime occasioni, offerte ai cinesi di Pechino, di vedere beni industriali prodotti nell'occidente.

Senza dubbio, come ho detto, c'era una curiosità enorme; nei 20 giorni di mostra, al mattino alle 8 già si erano formate code pazienti ed ordinatissime, lunghe oltre un chilometro, alle entrate, di visitatori muniti di biglietti ottenuti dalle apposite organizzazioni (l'ingresso era gratuito). Per tutto il giorno la folla gremiva inverosimilmente tutti i padiglioni, avidamente impossessandosi di dépliant, cataloghi e fascicoli pubblicitari. L'esposizione fu chiusa alla folla solo un giorno, allorché ebbe due visitatori estremamente illustri: Lishien Nien, vice primo ministro, e Yeciengyng, maresciallo capo dell'esercito, amico e compagno di Mao durante la lunga marcia. Essi giunsero con un imponente seguito e si interessarono con estrema minuziosità ad ogni cosa: tutt'altro, quindi, che un

rapido percorso uso-inaugurazione, cui siamo invece abituati.

Previsioni per il futuro?

Questa è l'altra domanda ricorrente, cui potrebbero rispondere solo gli operatori economici impegnati nell'Esposizione. A me è solo possibile esprimere mie impressioni, del tutto a titolo personale. Io credo che gli sviluppi positivi non mancheranno; che la Cina costituisca o stia per costituire un mercato degno di tutta l'attenzione: ma non ci si deve attendere nulla di immediato, od anche solo a breve scadenza.

I cinesi sono lenti: lo abbiamo constatato in tutte le occasioni — ma metodici —. Se mi si permette il bisticcio concettuale, la loro è una « lenta efficienza », che però avanza con costante e, si direbbe, inarrestabile progressione. Vogliono fermamente far progredire il fronte industriale, ma senza provocare scosse. La loro radice contadina è intimamente persuasa dell'antico assioma: « Natura non facit saltus », e non vogliono quindi salti, anche perché devono provvedere a consolidare tutta l'impostazione voluta da Mao e dal partito. Gli spiragli certamente si ingrandiranno; d'altra parte l'industrializzazione è resa indispensabile anche per il fatto obiettivo che solo il 12 % della superficie cinese è coltivata e coltivabile, e deve provvedere ad alimentare 7-800 milioni di persone.

L'altro elemento positivo è l'insistenza con la quale le sfere ufficiali cinesi affermano di voler avviare ed intrattenere rapporti di amicizia: « Noi insistiamo sulla coesistenza pacifica con i Paesi che hanno sistemi sociali differenti, sulla base del principio che, se anche uno Stato ha tenuto in passato una politica ostile alla Cina, noi desideriamo un dialogo per migliorare i reciproci rapporti, purché l'ostilità si trasformi; sosteniamo il principio di adottare un atteggiamento flessibile, il che è necessario ed auspicabile per dimostrare la validità del principio » è stato detto esplicitamente nel discorso ufficiale celebrativo della Rivoluzione.

Essendo questa la volontà cinese di oggi, e quindi la realtà, tenerla presente e coltivarla con identico spirito di « flessibilità » è non solo una prudenza politica, ma anche una eccellente prospettiva economica. Là abita un popolo, che lavora 300 giornate all'anno, senza ferie (salvo casi specifici), 8 ore al giorno, con ingegnosità e curiosità di apprendere, di migliorare, di elevare il proprio livello di vita; macchinari ed impianti non possono non essere indispensabili, giacché non può bastare la pur commendevole volontà di basare tutto sulle proprie forze. Se la Cina vuole allinearsi ai Paesi progrediti, non potrà ignorare l'occidente, e tanto più avrà successo chi saprà rispettare tutto un sistema politico-sociale-economico, che ha profonde giustificazioni nella storia remota e meno remota della Cina e che sembra avvertire il presagio — per chi ponga l'attenzione, e sopra tutto l'intuizione, su alcuni sintomi — che il principio della flessibilità possa forse anche essere adottato, seppure assai cautamente e con vigile programmazione, al proprio interno.

Gian Federico Micheletti

RASSEGNA TECNICA

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella « Rassegna Tecnica », in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non soci, invitati. La pubblicazione, implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

Trasporti aerei a velocità subsonica e supersonica

Proseguendo gli studi iniziati dalla Cattedra di Strade sui problemi di traffico aereo della Regione Piemonte, CESARE CASTIGLIA ed ELIO PARATORE, dopo aver richiamato i presupposti tecnici ed economici del trasporto aereo, mostrano come i velivoli supersonici da adibire a trasporto passeggeri siano in linea con le attuali esigenze che richiedono alle tecnologie più avanzate « distanze sempre minori ».

Si analizzano inoltre le ripercussioni che i nuovi mezzi supersonici creeranno nell'affiancarsi economicamente a quelli subsonici con la conseguente differenziazione delle tariffe in rapporto alla velocità. Viene esaminata la gestione operativa su brevi e medie tratte, con frequenti sorvoli di agglomerati urbani, del jet tradizionale e delle flotte miste.

1. TRAFFICO AEREO E SST.

La tendenza ad esprimere uno spostamento di merci o passeggeri in termini di tempo meglio che in termini di spazio è ovviamente un aspetto particolare di un più completo bilancio costi-benefici. E come termine di tempo per tale bilancio si è adoperato e si adopera quello necessario per compiere tutte le operazioni corrispondenti al superamento della tratta che si considera e non quello espresso dal rapporto spazio/velocità per il solo mezzo di trasporto.

Al concetto di velocità vengono quindi affiancarsi quelli economici di « velocità utile » e di « efficienza globale del mezzo ».

Il rapporto $\frac{\text{velocità utile}}{\text{velocità}}$ può essere in definitiva interpretato come un indice di funzionalità e, come tale, essere espresso in termini monetari.

È noto infatti che quando è possibile scegliere fra due sistemi di trasporto capaci di operare alla stessa tariffa con velocità diverse, viene preferito quello di maggior « velocità utile ».

Un'ipotesi di questo genere consente, allorché si prospetti l'eventualità dell'entrata in servizio di un mezzo passeggeri più veloce ma più costoso, di prevedere a quanta parte della utenza potrà interessare: quella parte cioè per la quale la differenza di costo divisa per il tempo risparmiato fornisce un valore orario inferiore a quello che lo stesso passeggero ha valutato per la propria unità di tempo.

Questo spiega l'attenzione sempre maggiore che viene dedicata all'eliminazione dei « perdi-tempo », allo snellimento di tutte le operazioni connesse con operazioni di imbarco e di sbarco e con il trasporto da e per gli aeroporti; quello che conta infatti non è il tempo di volo necessario per andare da uno scalo all'altro, ma quello globale « da porta a porta » ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ C. CASTIGLIA - C. DE PALMA - E. PARATORE, *Collegamento rapido Torino-Caselle-Malpensa-Milano*, Edizioni Quaderni di studio - Torino, 1969.

Il tempo cui si fa riferimento è quello effettivo, quello cioè cui corrisponde — economicamente parlando — una certa velocità utile.

VARIAZIONE DEL TRAFFICO SUBSONICO IN FUNZIONE DEL COSTO DELL'ORA RISPARMIATA

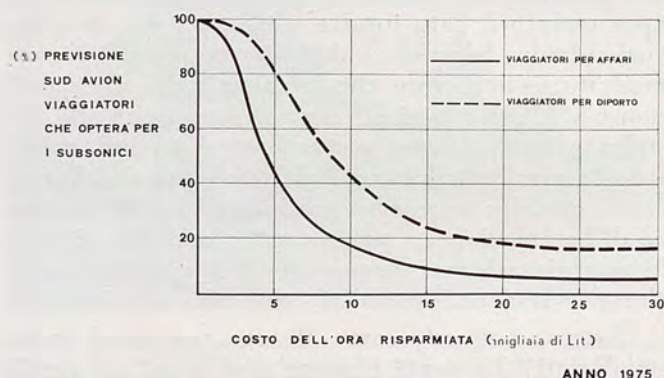


Fig. 1.

VARIAZIONE DEL TRAFFICO IN FUNZIONE DELLA TARIFFA ADOTTATA

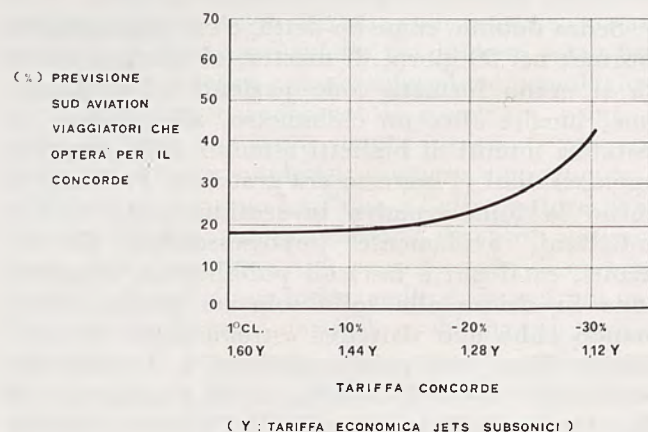


Fig. 2.

Ciò è valido, naturalmente, per tutti i sistemi di trasporto, ma è tanto più significativo quanto più elevata è la velocità con cui viene effettuato il trasporto. Il relativo problema si presta ad un completo sviluppo analitico.

1.1. A titolo esemplificativo dei metodi di previsione di traffico aereo passeggeri nelle tabelle che seguono sono illustrate le ricerche effettuate dalla *Sud Aviation* per determinare le possibilità di penetrazione del supersonico « Concorde » nel mercato internazionale.

Va notato che le ripartizioni del traffico e le tariffe corrispondono ai valori medi del mercato e che la tariffa prevista per il « Concorde » è pari all'85 % di quella della prima classe degli attuali mezzi subsonici.

Il tempo di volo è comprensivo della perdita di tempo dovuta alle limitazioni di velocità per il passaggio del muro del suono. La tratta di riferimento è pari a 4.800 chilometri.

2. LA CARATTERISTICA FONDAMENTALE « CARICO-DISTANZA ».

Nel campo del trasporto aereo i parametri ponderali più significativi sono:

- P_{max} : peso massimo all'involò;
- P_v : peso operativo a vuoto.

La loro differenza rappresenta la « possibilità di carico » del mezzo considerato. Naturalmente, essa deve essere suddivisa in due parti:

- P_p : carico pagante;
- P_c : carburante.

Per semplicità si suppone che il volo avvenga in aria calma, a velocità costante e con un consumo specifico anch'esso costante.

Siano:

- V_c : velocità di crociera in aria calma;

JET SUBSONICI				« CONCORDE »				
C=Classe	Tariffa (Lit)	Tar. C Tar. Y	Tempo tot. (h)	C=Classe	Tariffa (Lit)	Δ Tar. Sub (Lit)	Valore tempo risp. (Lit/h)	Tempo tot. (h)
F = Prima	200.000	1,60	5,69	Unica	170.000	— 30.000	—11.000	2,80
Y = Economica	125.000	1,00	5,69	Unica	170.000	+ 45.000	+ 16.000	2,80
Y _p = Promozionale	90.000	0,71	5,69	Unica	170.000	+ 80.000	+ 29.000	2,80
Y _G = Gruppi	70.000	0,57	5,69	Unica	170.000	+ 100.000	+ 36.000	2,80

Supponendo che le distribuzioni dei passeggeri nelle varie classi e delle varie classi in funzione delle cause del viaggio, siano espresse dalle seguenti percentuali nella tabella sottoriportata; supponendo ancora che chi viaggia per affari attribuisca al proprio tempo un valore doppio di quello che gli attribuisce chi viaggia per diporto, si può ricavare la percentuale di passeggeri che opererà per il « Concorde » in funzione del valore del tempo risparmiato, e la competitività del supersonico in funzione della tariffa che verrà adottata (figg. 1 e 2).

- C_c : consumo specifico corrispondente a V_c .

Supponiamo che il nostro mezzo, all'involò abbia un peso pari a P_{max} . Viaggiando a velocità costante V_c , esso percorrerà, consumando un peso P_c di carburante, una distanza

$$R = \frac{P_c}{C_c}$$

Essendo la possibilità di carico

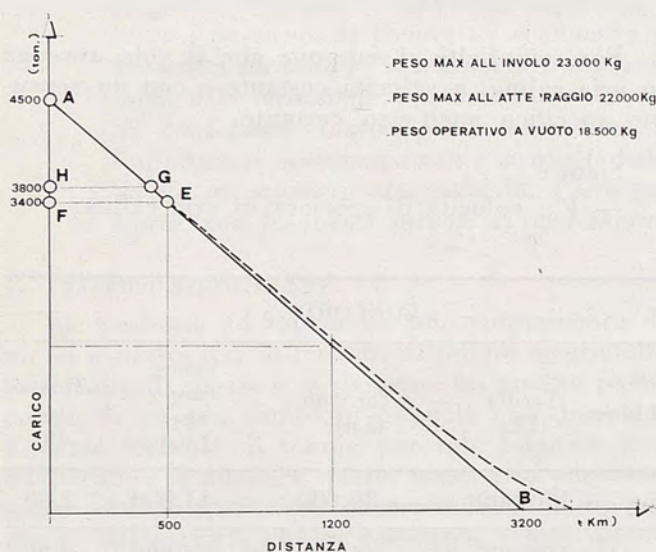
$$C = P_{max} - P_v = P_p + P_c$$

Divisione Traffico $\times$ Classe		Divisione % Tariff. all'interno classi		Divisione % risp. al tot. del traff. delle varie classi		Tariffa C Tariffa Y
Tariffa	%	Affari	non affari	Affari	non affari	
F	10	50	50	5,0	5,0	1,60 Y
Y	52	60	40	31,2	20,8	1,00 Y
Y _p	25	15	85	3,7	21,3	0,71 Y
Y _G	13	0	100	0	13,0	0,57 Y

si ha:

$$R = \frac{C - P_p}{C_c}$$

Si ottiene così il diagramma riportato in fig. 3, il cui andamento tipico rappresenta la base del trasporto aereo: esso mostra (facendo riferimento ad un aereo ipotetico avente un peso massimo all'involò pari a 23.000 kg ed un peso limite all'atterraggio pari a 22.000 kg) a quale distanza possa essere trasportato un dato carico pagante, volando in aria calma (3.800 kg a 700 chilometri; 1.700 kg a 1.950 chilometri).



CARATTERISTICA CARICO - DISTANZA

Fig. 3.

La distanza percorribile in aria calma non prevede alcun margine per il carburante di riserva.

La possibilità di carico è rappresentata dalla differenza fra il peso massimo all'involò ed il peso operativo a vuoto: teoricamente un carico pagante di 4.500 kg ($P_p = 4.500$ kg; $P_c = 0$ kg) potrebbe essere trasportato ad una distanza di zero chilometri mentre un carico pagante di zero chilogrammi ($P_p = 0$ kg; $P_c = 4.500$ kg) potrebbe essere trasportato ad una distanza di 3.200 chilometri.

La linea AB non tiene conto della progressiva diminuzione del peso sull'aeromobile, cui consegue una lenta diminuzione di C_c : il diagramma, pertanto, si modifica nel modo indicato dalla linea tratteggiata.

Le variazioni sono di piccola entità sulle tratte brevi, se l'aria è calma; sulle tratte lunghe, invece, specialmente se si impiegano propulsori di grande potenza, possono anche essere notevoli.

Va notato pure che non esiste alcuna differenza di principio fra aerei ad elica ed aerei a getto: le curve caratteristiche hanno soltanto una diversa pendenza dovuta al diverso consumo specifico dei due sistemi di propulsione ⁽²⁾.

⁽²⁾ ALAN H. STRATFORD, *Air Transport Economics in the Supersonic Era*, Mac Millan, London, 1967.

3. CONSIDERAZIONI TECNICO-ECONOMICHE.

3.1. Organizzazione di un Trasporto Aereo.

Un trasporto aereo può essere organicamente studiato attraverso l'esame di un modello matematico che conduca alla realizzazione di un servizio efficiente ed economico, rispetto ai differenti costi operativi, alle possibilità di carico del mezzo impiegato, alla lunghezza della tratta considerata, alla disponibilità di velivoli ed alla domanda di trasporto.

Facciamo, a titolo di esempio, riferimento ad una tratta l_1 che vada da J a K.

Indichiamo con:

- $x(l, f_c, h)$ il numero dei voli «non stop» dell'aeromobile di tipo h da J a K, con un fattore di carico f_c ;
- $y(l)$ il numero dei passeggeri in partenza da J e diretti ad L in transito per K;
- $d(l)$ la domanda non soddisfatta del trasporto da J a K;
- $n(l, f_c, h)$ il numero dei passeggeri che può essere trasportato da un aereo di tipo h , sulla rotta da J a K, con un fattore di carico f_c ; cioè: $n = f_c \cdot V(l, h)$ essendo $V(l, h)$ il numero complessivo dei posti del velivolo;
- $b(l, h)$ il numero delle ore di volo necessarie all'aeromobile h per andare da J a K;
- $c(l, f_c, h)$ i costi operativi di ogni volo dell'aeromobile di tipo h sulla rotta da J a K;
- $S(h)$ le ore totali di volo dell'aeromobile di tipo h ;
- $D(l)$ la domanda complessiva di trasporto da J a K;
- $p(l)$ il prezzo del biglietto da J a K.

L'ottimizzazione del servizio tra J a K si ricava minimizzando l'espressione ⁽³⁾:

$$\sum_{l, f_c, h} c(l, f_c, h) + \sum_l p(l) \cdot d(l)$$

che è soggetta alle seguenti restrizioni (con gli indici a, r, t si fa rispettivamente alle tratte di andata, ritorno e transito):

$$\sum_l y_a(l) - \sum_l y_r(l) + d_l(l) = D_l(l)$$

$$\sum_{l, f_c} x_a(l, f_c, h) - \sum_{l, f_c} x_r(l, f_c, h) \geq 0$$

$$- \sum_{l, f_c} b_r(l, h) x_r(l, f_c, h) = -S(h)$$

$$\sum_{f_c, h} n_r(l, f_c, h) - \sum_l y_{r, t}(l) \geq 0$$

$$x_i(l, f_c, h); y_i(l); d_i(l) \text{ tutti } \geq 0 \quad (i = a, r, t)$$

⁽³⁾ RONALD E. MILLER, *Domestic Airline Efficiency*, The M.I.T. Press Cambridge Massachussets, 1963.

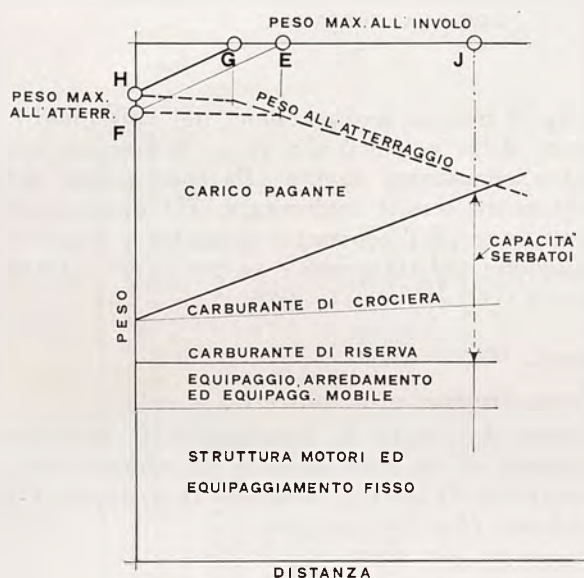
Estendendo all'intera rete aerea l'analisi che qui è stata limitata alla tratta J-K e dettagliando ulteriormente le variabili del problema che viene a complicarsi notevolmente per l'intervento delle interconnessioni, si giunge a delle conclusioni che sono tanto più attendibili quanto più curato è il modello e quanto più esatti sono i dati in esso introdotti.

3.2. L'evoluzione produttiva dei trasporti aerei.

La produttività viene definita come prodotto peso trasportato - velocità di trasporto. I miglioramenti produttivi possono quindi essere ottenuti operando separatamente o contemporaneamente sui due parametri fondamentali, velocità e capacità di trasporto.

Nella storia dei trasporti aerei le migliori produttive sono state quasi sempre realizzate incrementando contemporaneamente le due variabili.

I DC-3 sono stati sostituiti dai DC-6, due volte più veloci e tre volte più capaci (incremento produttivo del 600 per cento). I DC-6, a loro volta, sono stati sostituiti dai jets aventi velocità doppia e capacità doppia (incremento produttivo del 400 per cento) ⁽⁴⁾.



INFLUENZA DEL PESO SULLA DISTANZA

Fig. 4.

Per il raggiungimento di ulteriori miglioramenti produttivi, non rimanevano dunque che due vie: o tenere ferma la velocità ed incrementare soltanto la capacità o modificare ancora entrambi i parametri, affrontando i problemi inerenti il volo supersonico.

Tutte e due le possibilità sono state ritenute valide. Sono così nati gli attuali «Jumbo» subsonici giganti dell'aria ed i progetti dei supersonici da trasporto.

La velocità del supersonico, d'altra parte, è perfettamente coerente con le esigenze odierne:

⁽⁴⁾ I.C.A.O., *Air transport operating costs*.

i percorsi Europa-America con ritorno in giornata e dall'Europa o dall'America per l'Estremo Oriente e l'Australia in un solo giorno, hanno già oggi un potenziale passeggeri tutt'altro che trascurabile.

3.3. Velocità media e tempo di volo.

Il parametro fondamentale di tutti gli studi economici sui trasporti è il costo operativo specifico, cioè il costo unitario comprendente tutte le operazioni di gestione e di servizio.

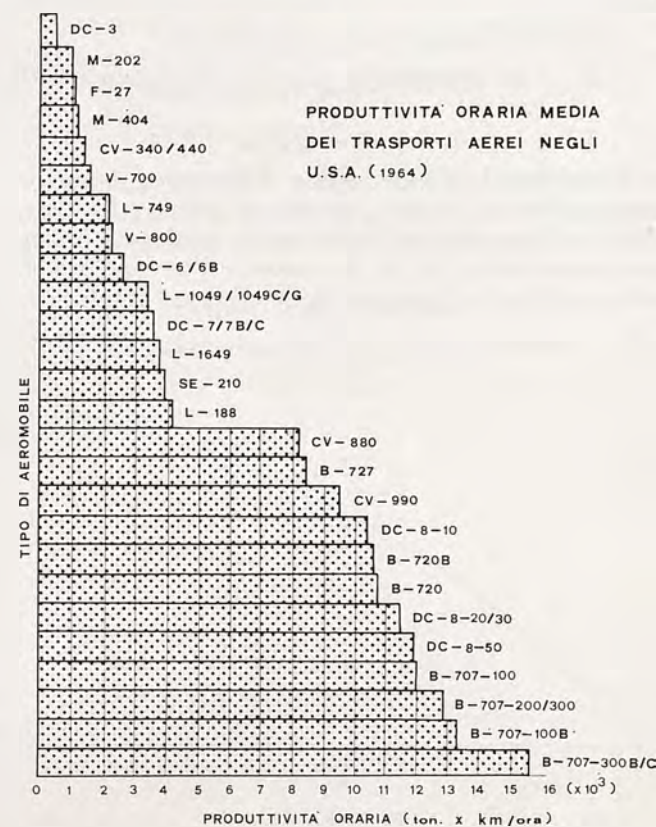


Fig. 5.

Per un dato aeromobile però i costi sono legati più strettamente al tempo di volo che non al carico trasportato ed alla distanza percorsa. Parecchie voci, infatti, quali, ad esempio, quelle legate al tempo di stazionamento a terra, al carburante necessario nelle fasi di salita e di discesa, ai diritti aeroportuali, sono costanti, qualunque sia la durata del volo e vengono quindi ad incidere sui costi orari in modo sempre meno sensibile via via che il tempo di volo aumenta.

Sotto questo punto di vista ha molta importanza anche l'utilizzazione dell'aereo, in quanto ad una maggiore utilizzazione fa riscontro una minore incidenza oraria dei costi.

Le figg. 6 e 7 mostrano la variazione tipica del tempo di volo e della velocità media con la distanza da percorrere.

3.4. La produttività.

L'influenza della velocità media sui costi d'esercizio di un trasporto aereo è diretta e non va sottovalutata in quanto è proprio il tempo che cor-

risponde a questa velocità (sulla distanza che si considera) a determinare, assieme con la capacità di carico pagante, la produttività.

La velocità di crociera è modificata da vari fattori: i tempi di circolazione a terra, di salita, di discesa, di attesa e quelli corrispondenti alle eventuali variazioni di rotta determinano un mutamento sensibile del tempo medio di un volo.

Si può scrivere

$$t_B = \frac{R}{V} + \text{costante}$$

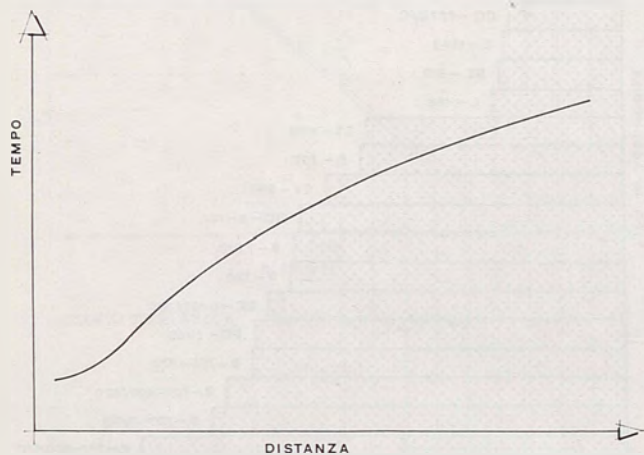
dove:

t_B è il tempo medio di volo;

R è la distanza fra gli scali di partenza e di arrivo;

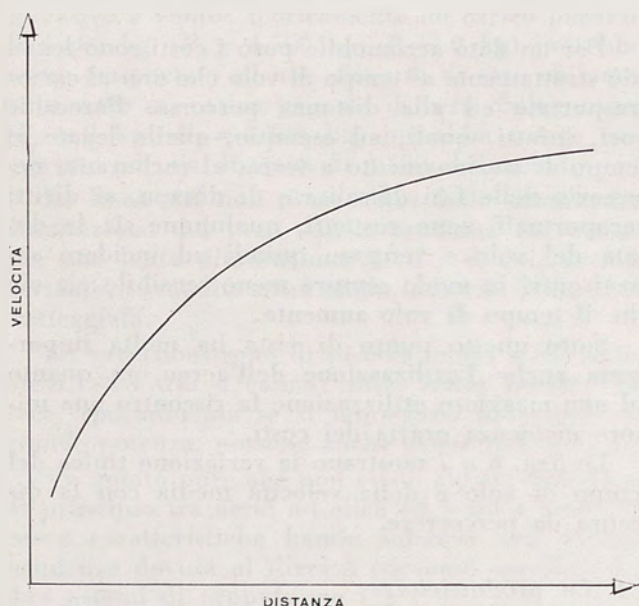
V è la velocità di crociera.

Combinando l'espressione della velocità media con quella del carico pagante si ottiene l'espressione della produttività: la curva risultante è rappresentata nella fig. 8 che mostra l'andamento di tale variabile in funzione della distanza totale.



RELAZIONE TEMPO - DISTANZA

Fig. 6.

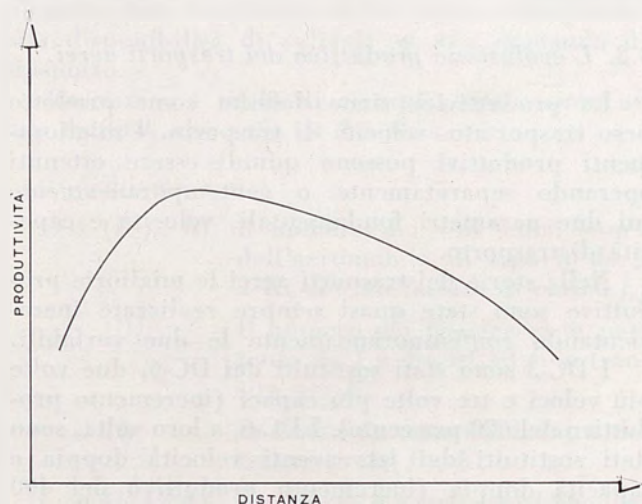


RELAZIONE VELOCITÀ - DISTANZA

Fig. 7.

Il valore massimo corrisponde al punto di massimo carico pagante del diagramma carico pagante-distanza.

La forma della curva mostra la rapidità con cui decade l'efficienza del trasporto su tratte di lunghezza minore di quella corrispondente al punto di massimo carico pagante, anche se questo rimane costante.



PRODUTTIVITÀ E SUA VARIAZIONE CON LA DISTANZA

Fig. 8.

La fig. 8 mostra inoltre come, nei voli lunghi, l'aumento della velocità non riesca a compensare la perdita economica dovuta alla sostituzione del carico pagante con il carburante. (Il diagramma non tiene conto dell'economia operativa e trascura la produzione del trasporto e le ore perse a terra dall'aereo) ⁽⁵⁾.

4. I COSTI.

4.1. Costi diretti e costi indiretti.

Il costo dell'unità di trasporto è il risultato della somma di un gran numero di addendi che, per semplicità di analisi, vengono raggruppati ⁽⁶⁾ suddividendo (fig. 9) i costi in:

- costi diretti;
- costi indiretti.

I costi diretti sono quelli che dipendono direttamente dalle caratteristiche dell'aereo: tali costi, in genere, non sono legati alla tratta sulla quale il mezzo opera. Va osservato, però, che due delle voci che concorrono alla loro composizione, e cioè assicurazione e svalutazione dell'equipaggiamento di volo, sono correlate all'utilizzazione del velivolo e che tale utilizzazione dipende dalla frequenza e dal livello di servizio.

I costi diretti comprendono:

1. Operazioni di volo:

1.1. equipaggio;

⁽⁵⁾ ALAN H. STRATFORD, *op. cit.*

⁽⁶⁾ I.C.A.O., Circular: « Air transport operating costs », may 1966.

TABELLA DEI COSTI OPERATIVI

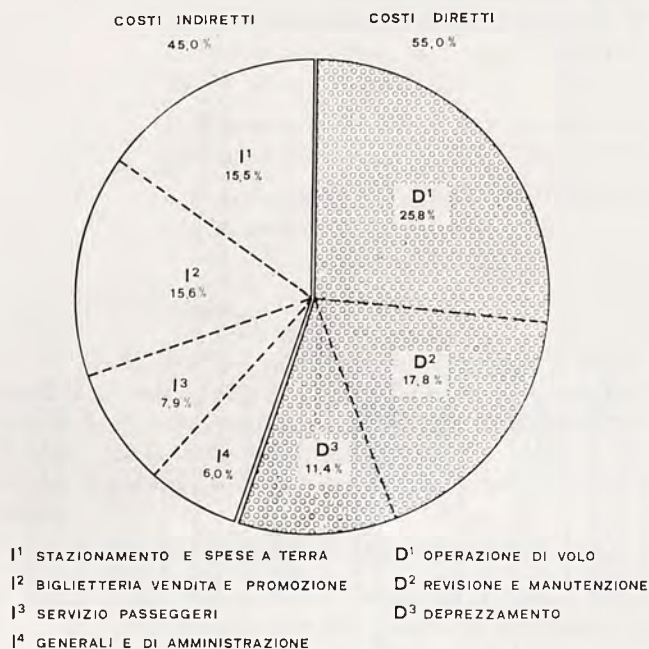


Fig. 9.

- 1.2. carburante e lubrificante;
- 1.3. assicurazione equipaggiamento di volo e perdite non assicurate;
- 1.4. equipaggiamento di volo;
- 1.5. altre spese.

2. Revisioni e manutenzione.

3. Deperimento ed ammortamento:

- 3.1. deperimento normale equipaggiamento di volo;
- 3.2. deperimento normale installazioni ed equipaggiamento di terra;
- 3.3. deperimenti extra;
- 3.4. miglioramenti.

I costi indiretti rappresentano tutti gli altri costi operativi e quelli di gestione che competono alla conduzione di un'aerolinea commerciale.

I costi indiretti comprendono:

1. Stazionamento ed altre spese a terra:

- 1.1. diritti d'atterraggio e di involo (figg. 10 e 11);

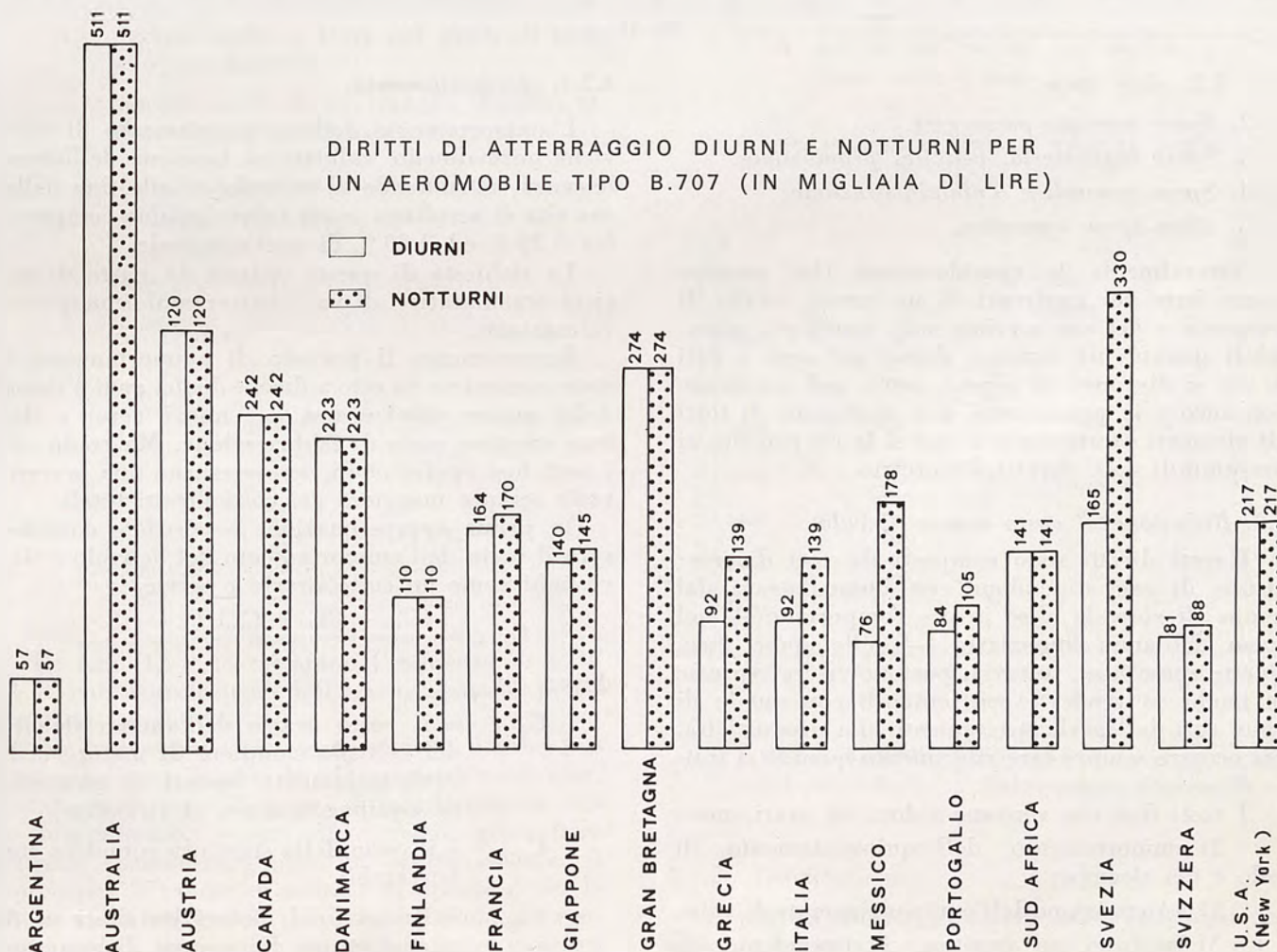


Fig. 10.

DIRITTI DI ATTERRAGGIO DIURNI E NOTTURNI PER
UN AEROMOBILE TIPO DC.9 (IN MIGLIAIA DI LIRE)

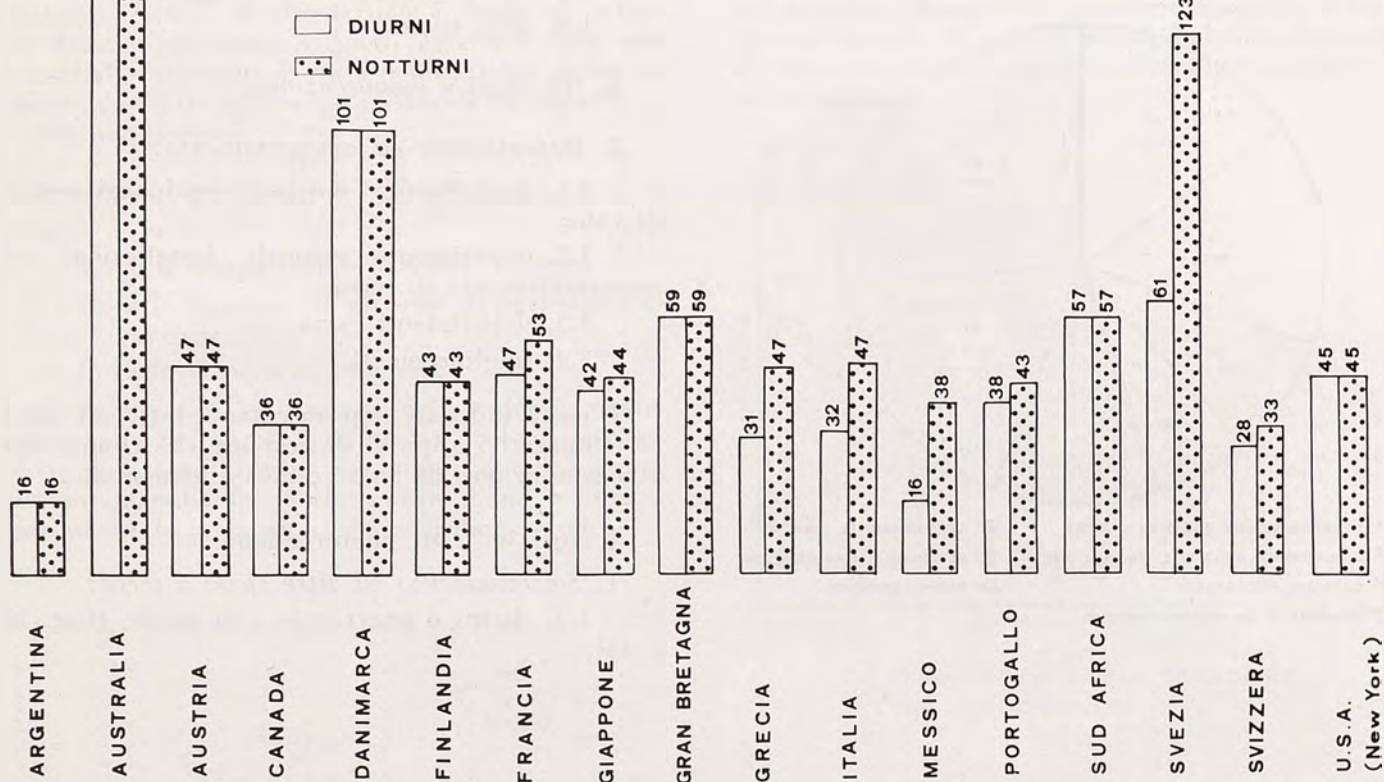


Fig. 11.

1.2. altre spese.

2. Spese servizio passeggeri.
3. Spese biglietteria, vendita, promozione.
4. Spese generali e d'amministrazione.
5. Altre spese operative.

Naturalmente le considerazioni che possono essere fatte nei confronti di un nuovo mezzo di trasporto e del suo servizio sono tanto più attendibili quanto più esatti e dettagliati sono i dati di cui si dispone: in genere, però, per un mezzo non ancora in produzione, non si dispone di tutti gli elementi caratteristici e così si fa riferimento ai presumibili costi diretti d'esercizio.

4.2. Riduzione al costo orario di volo.

I costi diretti sono composti da voci diverse: alcune di esse dipendono con immediatezza dal tempo di volo, le altre invece comportano — nel corso dell'anno finanziario — delle spese fisse. Queste spese fisse, tuttavia, possono essere espresse in modo da renderle confrontabili con quelle di volo, così da legarle strettamente alla produttività, cui occorre sempre fare riferimento quando si tratta di società commerciali.

I costi fissi che vengono ridotti ad orari sono:

- 1) ammortamento dell'equipaggiamento di volo e dei ricambi;
- 2) assicurazione dell'equipaggiamento di volo;
- 3) interesse sul capitale corrispondente all'equipaggiamento di volo ed ai ricambi.

4.2.1. Ammortamento.

L'ammortamento dell'equipaggiamento di volo viene normalmente valutato in funzione dell'obsolescenza, attribuendo al velivolo — alla fine della sua vita di aerolinea — un valore residuo compreso fra il 10 % ed il 20 % di quello iniziale.

La richiesta di questi velivoli da parte di società organizzatrici di voli charter conferma questa valutazione.

Recentemente il periodo di ammortamento è stato aumentato da otto a dieci ÷ dodici anni a causa della minor obsolescenza dei nuovi aerei e del loro maggior costo di fabbricazione. Malgrado ciò i costi fissi operazionali rappresentano una percentuale sempre maggiore dei costi diretti totali.

In prima approssimazione è possibile considerare il costo dell'ammortamento del velivolo e dei ricambi come un costo orario e scrivere:

$$C_{amm} = \frac{(C_{str} + C_{mot} + C_{eq}) (1 - r_v)}{L \cdot U}$$

dove:

- C_{amm} è il costo orario dell'ammortamento del velivolo completo di motore e di equipaggiamento motori di ricambio ed equipaggiamento di ricambio;
- C_{str} è il costo della struttura completa con i ricambi;
- C_{mot} è il costo dei motori installati su di una struttura dei motori di ricambio e dei ricambi per i motori;

- C_{eq} è il costo dell'equipaggiamento installato e dei relativi ricambi;
- r_v è il valore residuo del velivolo completo e dei ricambi dopo il periodo di esercizio previsto, espresso come frazione del costo iniziale;
- L è il numero di anni del periodo di esercizio previsto;
- U è l'utilizzazione media per velivolo in ore annue di volo.

4.2.1.1. Utilizzazione

Il problema dell'utilizzazione compare a denominatore nella formula precedente che si usa per esprimere i costi orari e pertanto più l'utilizzazione è alta, più i costi sono bassi.

Le variabili possono essere elencate in questo modo:

- D numero annuo di giorni operativi di servizio;
- H ore di servizio nei giorni di servizio;
- n numero di voli giornalieri;
- t_m tempo medio di volo per tratta;
- R lunghezza media di ogni tratta;
- V velocità di crociera del velivolo;
- t_g tempo medio a terra nei punti di transito e terminali;
- t_l tempo medio di atterraggio, decollo, salita, discesa e rullaggio.

Le correlazioni esistenti sono

$$H = n \cdot m + (n-1) t_g$$

$$t_m = \frac{R}{V} + t_l$$

$$U = D \cdot n \cdot t_m$$

per cui è

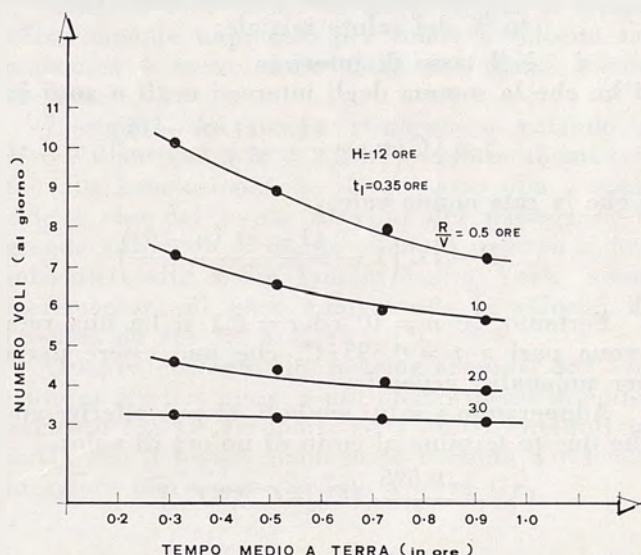
$$n = \frac{H + t_g}{\frac{R}{V} + t_g + t_l}$$

$$U = D \cdot \frac{\left(\frac{R}{V} + t_l\right) \cdot (H + t_g)}{\frac{R}{V} + t_g + t_l}$$

Le figg. 12 e 13 mostrano l'influenza di t_l , V ed R sull'utilizzazione dell'aereo, secondo le assunzioni specificate.

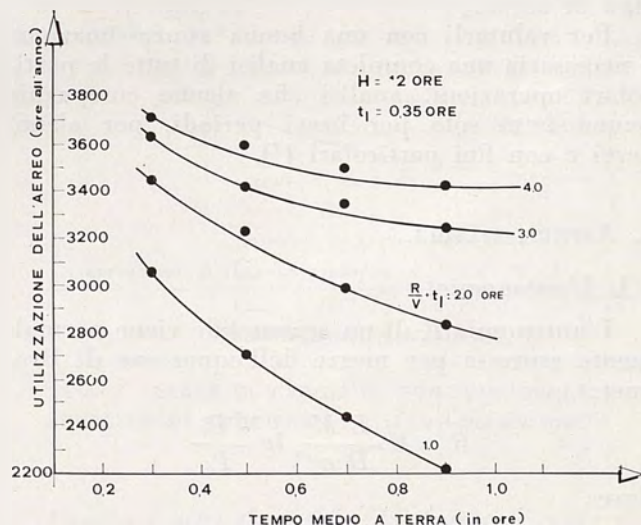
Per la sopravvivenza economica dei Jumbo Jets è necessario un livello di utilizzazione assai alto: il numero di ore e di giorni di inutilizzazione viene minimizzato, le ore di esercizio giornaliero vengono massimizzate con un orario efficace, il tempo per le rampe di salita e di discesa e per le attese viene ridotto al minimo, in modo da rendere reali i potenziali di utilizzazione mostrati nelle figure.

F. M. Kolk ha richiamato l'attenzione sui rapporti che influenzano in modo fondamentale l'utilizzazione e cioè sui rapporti tra i tempi necessari per compiere le varie operazioni ed il tempo impiegato in servizio. Il tempo perduto durante le ore in cui il servizio per i passeggeri non è richiesto, è destinato ad aumentare man mano che il tempo medio su certe tratte viene ridotto dalla maggior velocità. Nel caso dei velivoli supersonici questa considerazione richiede una particolare attenzione per l'influenza sempre maggiore — dati anche gli alti costi di fabbricazione — dell'utilizzazione sui costi diretti operativi.



VOLI GIORNALIERI SU TRATTE BREVI

Fig. 12.



UTILIZZAZIONE POTENZIALE DI UN VELIVOLO

Fig. 13.

4.2.2. Assicurazione.

È pratica diffusa assumere per l'assicurazione un valore pari ad una certa parte (X) del costo del velivolo completamente equipaggiato dei ri-

cambi. È così possibile fare riferimento ad un costo orario di volo e scrivere:

$$C_{ass} = \frac{X}{U} (C_{str} + C_{mot} + C_{eq})$$

(i simboli hanno il significato specificato in precedenza).

4.2.3. Interesse.

Se:

C è il capitale iniziale;

n è il numero di anni;

r è il valore residuo dopo n anni, espresso in % del valore iniziale;

i è il tasso di interesse

si ha che la somma degli interessi negli n anni è:

$$S = i C \left(n - \frac{(1-r)(n-1)}{2} \right)$$

e che la rata annua vale:

$$P = i C \left(1 - \frac{(1-r)(n-1)}{2n} \right)$$

Pertanto, se $n = 10$ ed $r = 0,1$ si ha una rata annua pari a $p = 0,595 i C$, che può essere usata per un'analisi generale.

Adoperando i soliti simboli, si può riferire anche questo termine al costo di un'ora di volo:

$$C_{int} = \frac{0,595}{U} (C_{str} + C_{mot} + C_{eq})$$

4.3. Costi di volo.

I costi di manutenzione e di revisione sono estremamente difficili da valutare per ogni nuovo tipo di aereo.

Per valutarli con una buona approssimazione è necessaria una completa analisi di tutte le particolari operazioni, analisi che alcune compagnie hanno fatto solo per brevi periodi, per alcuni aerei e con fini particolari ⁽⁷⁾.

5. ASPETTI TECNICI.

5.1. L'autonomia.

L'autonomia R di un aeromobile viene normalmente espressa per mezzo dell'equazione di Breguet:

$$R = K \frac{L}{D} \frac{M}{c} \lg \frac{P_i}{P_f}$$

dove:

R è l'autonomia;

K è una costante dipendente dalle unità di misura;

$\frac{L}{D}$ è il rapporto $\frac{\text{portanza}}{\text{resistenza}}$ del velivolo;

M è la velocità espressa in numero di Mach;

c è il consumo specifico;

⁽⁷⁾ ALAN H. STRATFORD, *op. cit.*

P_i è il peso dell'aeromobile alla partenza;

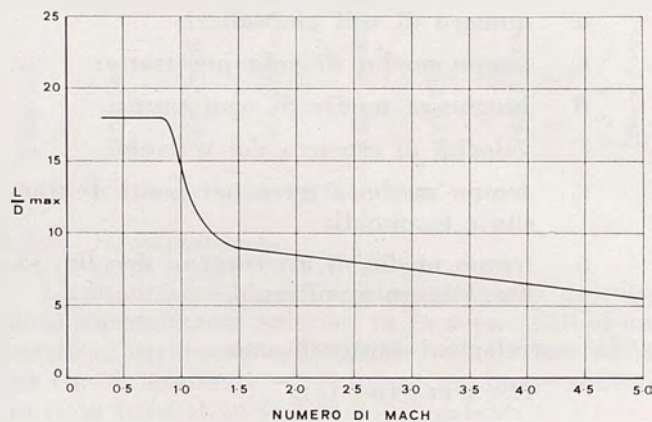
P_f è il peso dell'aeromobile all'arrivo.

Esaminiamo i termini che appaiono in questa equazione:

— il rapporto P_i/P_f è una misura della efficienza e dipende dalla forma del velivolo;

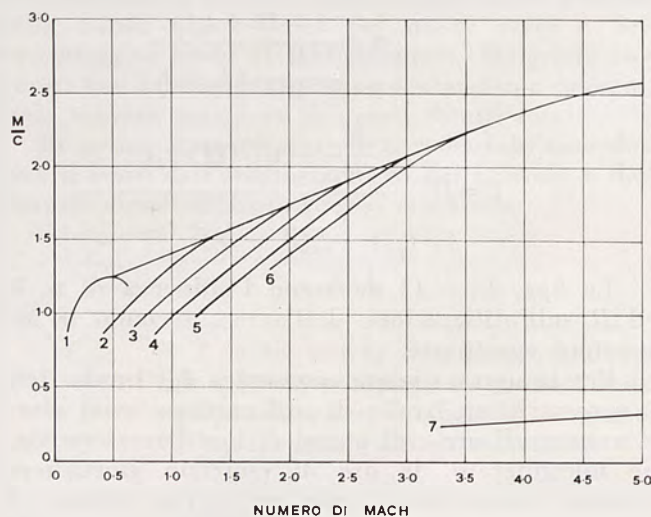
— il rapporto portanza/resistenza è una misura dell'efficienza aerodinamica ed è funzione della velocità. Tale rapporto diminuisce con l'aumentare di M e, come si vede nella fig. 14, ha un valore quasi costante (circa 18) per le velocità subsoniche; decade poi rapidamente (fino a 9) nell'intorno della velocità del suono e decresce gradualmente fino a raggiungere il valore di 5,5 in corrispondenza di $M = 5,0$. I valori riportati valgono per un velivolo avente un volume tale da poter essere usato per il trasporto di passeggeri e non tengono conto del controllo laminare dei flussi.

— il rapporto M/C è una misura dell'efficienza di propulsione e, in generale, aumenta con l'aumentare del numero di Mach. Le caratteristiche riportate in fig. 15 sono quelle corrispondenti ai



VARIAZIONE DI $\frac{L}{D} \max$ IN FUNZIONE DEL NUMERO DI MACH

Fig. 14.



VARIAZIONE DELL'EFFICIENZA PROPULSIVA IN FUNZIONE DEL NUMERO DI MACH

Fig. 15.

diversi tipi di propulsori: il loro inviluppo evidenzia il modo di variare della efficienza con il numero di Mach.

Se esprimiamo $\frac{M L}{C D}$ in funzione del numero di Mach otteniamo la curva, riportata con tratto continuo nella fig. 16 che rappresenta il limite teorico raggiungibile: la curva tratteggiata segnala i limiti attualmente raggiunti.

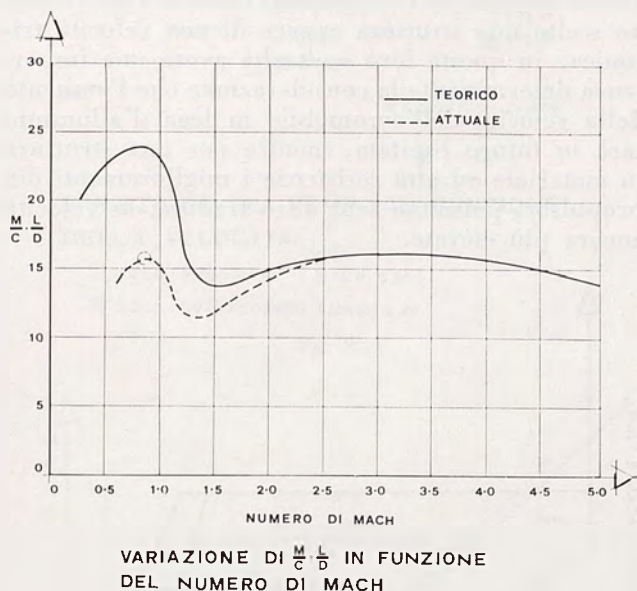


Fig. 16.

Queste due curve mostrano che il prodotto dell'efficienza aerodinamica e propulsiva, nell'intervallo compreso fra $M = 2,0$ ed $M = 4,0$ è paragonabile con quello caratteristico delle velocità subsoniche.

5.2. La velocità.

Nel trasporto supersonico la scelta fondamentale è quella riguardante la velocità.

Le considerazioni che si possono fare riguardano soprattutto l'influenza che la velocità ha sull'economia del trasporto e sulle difficoltà tecniche e tecnologiche, di realizzazione.

La modificazione apportata al tempo totale di viaggio dalla variazione della velocità è riportata nella fig. 17 che fa riferimento alla tratta Londra-Nuova York: la potenzialità del traffico atlantico, infatti, ha imposto le tratte transoceaniche quale primo obiettivo per un progetto supersonico per passeggeri.

Il tempo totale di viaggio — misurato da terminale a terminale — prevede un tempo a terra ed un tempo di volo. Il tempo a terra è la somma dei tempi necessari per il trasferimento dalla città all'aeroporto, l'accettazione, le operazioni doganali, ecc... Il tempo di volo è la somma di due parti. La prima — grosso modo costante per tutti gli aeromobili (circa un'ora) — è dovuta ai tempi di circolazione, decollo, salita, discesa, atterraggio. La seconda è quella in cui il velivolo procede a velocità di crociera e, pertanto, è pro-

prio questa parte ad essere direttamente influenzata dalle variazioni della velocità.

Sulla tratta che si considera gli attuali jets subsonici volano a velocità pari a quella di crociera per circa sei ore. Il tempo totale di volo è di circa sette ore ed il tempo totale di viaggio di circa dieci.

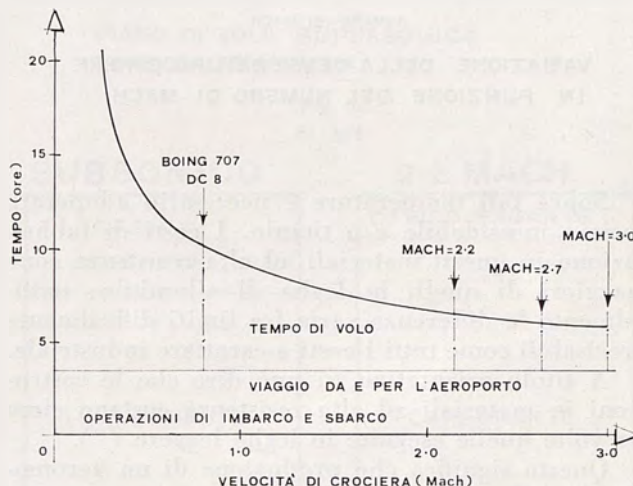
Se la velocità di crociera passa a $M = 2,2$ il tempo totale di viaggio diventa di circa sei ore.

Se la velocità di crociera è $M = 3,0$ si ha un tempo di volo a velocità di crociera pari ad ottantadue primi, un tempo totale di volo di circa due ore e mezzo ed un tempo totale di viaggio poco superiore alle cinque ore.

Come si vede anche su tratte lunghe il tempo effettivamente impiegato per volare a velocità supersonica è meno della metà del tempo totale di volo.

L'esiguità del tempo risparmiato volando a $M = 3,0$ anziché a $M = 2,2$ ha condotto alcuni critici alla conclusione che il vantaggio non è notevole e che dal punto di vista del passeggero il grande guadagno di tempo ottenuto rispetto ai jets subsonici sulla tratta Londra-Nuova York, viene incrementato di poco aumentando la velocità di crociera da $M = 2,2$ a $M = 3,0$ ⁽⁸⁾.

Occorre pertanto che insieme ai nuovi SST entrino in servizio nuovi e più idonei mezzi di collegamento fra gli aeroporti ed i centri cittadini in modo che il tempo guadagnato volando a velocità maggiore non venga perduto a terra ⁽⁹⁾.



TEMPO TOTALE DI VIAGGIO IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI CROCIERA (TRATTA LONDON - NEW YORK)

Fig. 17.

Questo è senz'altro vero dal punto di vista del passeggero, ma non è detto che sia altrettanto vero dal punto di vista del vettore, per il quale anche i quattordici minuti che si risparmiano volando a $M = 3,0$ anziché a $M = 2,7$ possono avere una notevole importanza, in considerazione delle maggiori tratte superabili.

⁽⁸⁾ 2900 km/h: perchè? quando? V.S. and World Report, Washington.

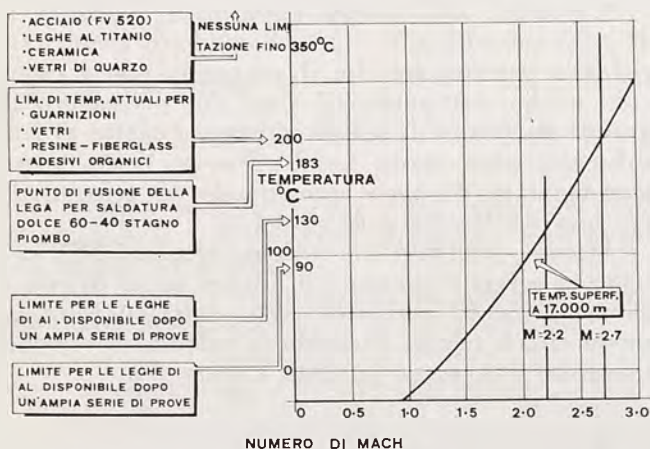
⁽⁹⁾ Cfr.: Il collegamento Torino-Caselle-Malpensa-Milano.

5.3. La temperatura.

All'aumentare della velocità di avanzamento corrisponde un considerevole incremento della temperatura superficiale. Questa temperatura nei jets subsonici che operano a circa 10.000 m di quota è inferiore a 0 °C. Per $M=2,2$ è di poco superiore ai 120 °C ed a $M=3,0$ raggiunge i 255 °C.

Nella figura 18 sono mostrati i limiti della temperatura di esercizio di alcuni materiali: come si nota le leghe di alluminio non possono essere impiegate oltre i 90 °C senza accurate prove a fatica ed a rottura.

Se tali prove sono eseguite (ed i risultati ottenuti lo consentono) queste leghe leggere possono essere impiegate fino a temperature di esercizio di circa 130 °C.



VARIAZIONE DELLA TEMPERATURA SUPERF.
IN FUNZIONE DEL NUMERO DI MACH

Fig. 18.

Sopra tali temperature è necessario adoperare acciaio inossidabile e/o titanio. I costi di fabbricazione in questi materiali ad alta resistenza sono maggiori di quelli in leghe di alluminio: naturalmente la differenza varia fra limiti difficilmente precisabili come tutti i costi a carattere industriale.

A titolo orientativo, si può dire che le costruzioni in materiali ad alta resistenza costano circa tre volte quelle eseguite in leghe leggere ⁽¹⁰⁾.

Questo significa che produzione di un aeromobile da $M=3,0$ oltre ad essere gravata da una maggiore difficoltà tecnica richiede anche una tecnologia esecutiva più progredita e più costosa.

Alla scelta della velocità fu fatta questa premessa: «non è conveniente andare troppo al di là delle velocità per le quali i progettisti ed i costruttori hanno un buon bagaglio di esperienze» (Edwards, 1964).

Malgrado che sulla premessa fossero tutti d'accordo, sulla velocità effettivamente scelta ci furono due distinti orientamenti.

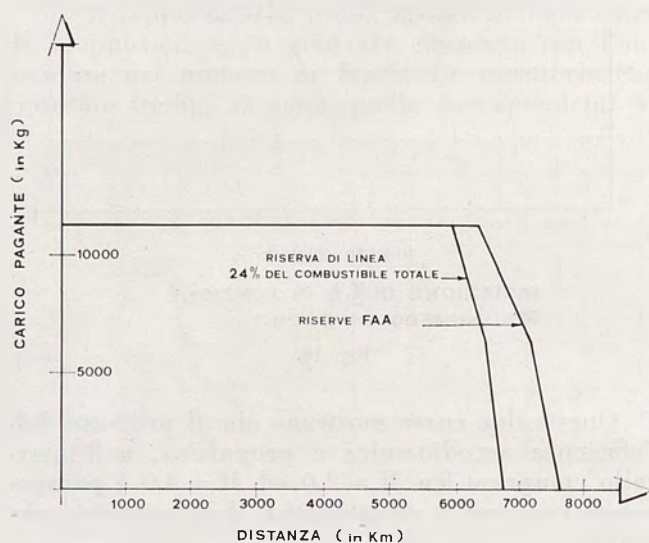
Gli europei furono progressisti decidendo che la velocità giusta per la prima generazione di SST fosse di circa $M=2,0$.

⁽¹⁰⁾ ALAN H. STRATFORD, *op. cit.*

Dalla concordanza su questa velocità degli inglesi e dei francesi nacque il «Concorde» (fig. 19) di cui sono stati fino ad ora realizzati alcuni prototipi due dei quali hanno già volato a velocità superiore a quella del suono.

Anche i russi hanno scelto una velocità bisonica ed hanno realizzato il TU-144 che dovrebbe entrare in servizio nel 1974 e quindi a precedere sia pure di stretta misura il «Concorde» operativo nel 1975.

I progettisti americani invece forti delle esperienze derivate dai programmi militari (B-70) hanno scelto una struttura capace di una velocità trisonica: in questa loro scelta ha avuto una importanza determinante la considerazione che l'aumento della velocità dell'aeromobile in lega d'alluminio sarà in futuro limitata, mentre per una struttura in materiale ad alta resistenza i miglioramenti dei propulsori potranno senz'altro tradursi in velocità ancora più elevate.



PROTOTIPO "CONCORDE" CARICO PAGANTE - DISTANZA

Fig. 19.

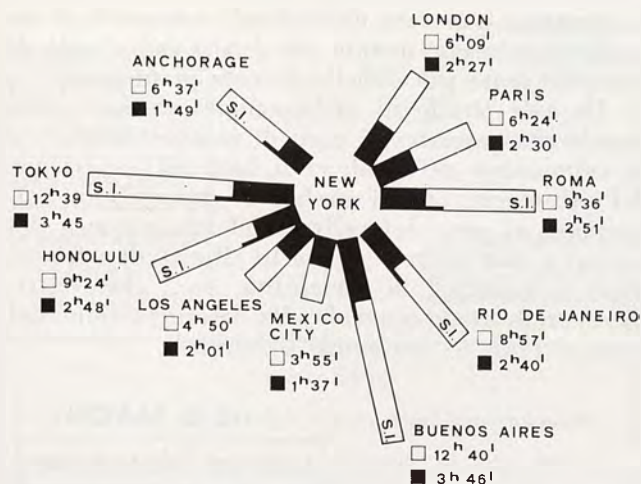
Mentre però, gli anglo-francesi da una parte ed i russi dall'altra, una volta fatte le loro scelte, si sono incamminati verso l'effettiva realizzazione dei primi prototipi, gli americani, al contrario, hanno prima dibattuto se l'ala dovesse essere a geometria fissa o variabile, poi quale dovesse essere il numero dei posti del velivolo e quando finalmente tutte le scelte erano state definitivamente fatte, si sono trovati improvvisamente privi di ulteriori finanziamenti.

5.4. Carburante e carico pagante.

Il rapporto tra il peso iniziale ed il peso finale:

$$\frac{P_{iniziale}}{P_{finale}} = \frac{P_{finale} + P_{carb. con}}{P_{finale}} = 1 + \frac{P_{carb. con}}{P_{finale}}$$

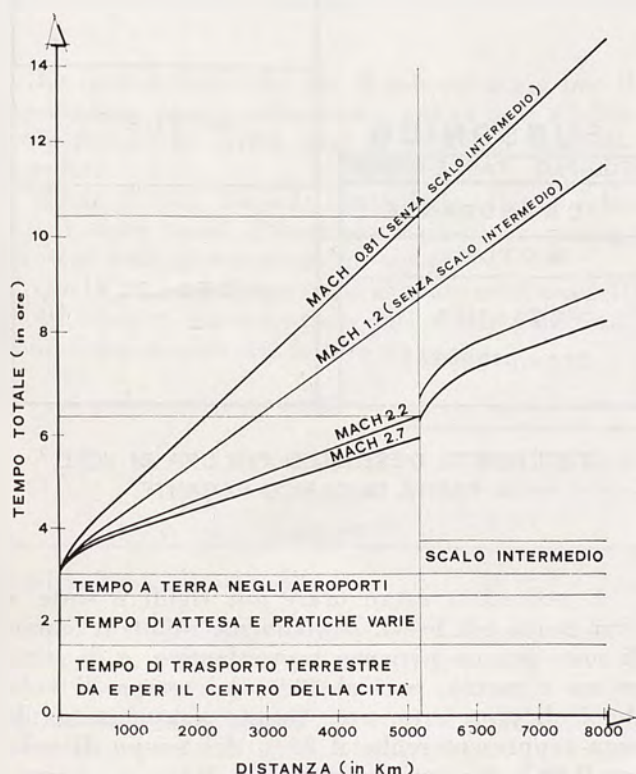
dipende, per una certa tratta, essenzialmente dal peso a vuoto della struttura della macchina e, quindi dai materiali di costruzione. Bisogna, però, tenere conto anche dei rapporti reciproci esistenti fra peso a vuoto, peso del carburante, carico pagante, ecc.



VARIAZIONE DEL TEMPO IN FUNZIONE DELLA VELOCITA'

- VOLO SUBSONICO (MACH 0,85)
- VOLO SUPERSONICO (MACH 2,20)

Fig. 20.



VARIAZIONE DEL TEMPO TOTALE DI VIAGGIO IN FUNZIONE DEL NUMERO DI MACH

Fig. 21.

Occorre notare, infatti, che una delle caratteristiche dell'aereo supersonico è quella di avere a bordo molto carburante, che proporzionalmente rappresenta una parte molto alta del peso totale. Il carico pagante proporzionalmente ne è una piccola parte, e di conseguenza è basso il fattore di utilizzazione dell'energia agli effetti della capacità di trasporto ⁽¹¹⁾.

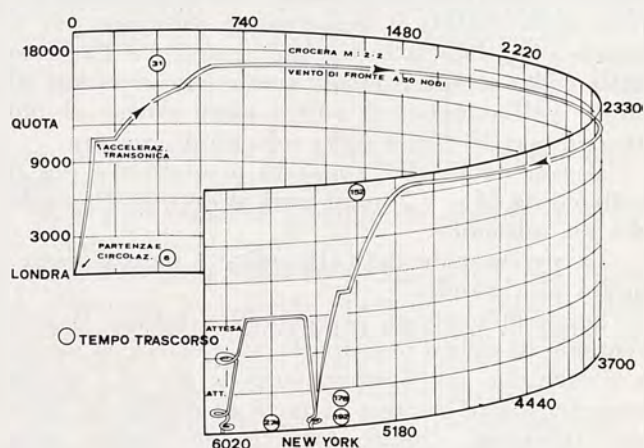
Naturalmente la riduzione della percentuale del carico pagante non infirma la potenzialità econo-

mica del SST che trae i suoi vantaggi della velocità e, quindi, dal tempo.

Confrontiamo i tempi di volo (fig. 20) su varie rotte: come si vede (fig. 21) la velocità di $M=2,2$ offre un notevole vantaggio di tempo anche su percorsi che richiedono almeno uno scalo (questa eventualità, però, può essere fastidiosa per il pubblico ed onerosa per l'aerolinea).

Il piano di volo di un velivolo supersonico richiede un'alta efficienza aerodinamica e propulsiva in un vasto campo di velocità e di altezze.

⁽¹¹⁾ G. GABRIELLI, *Considerazioni sul grado di utilizzazione dell'energia richiesta nei veicoli per passeggeri e merci di tutti i tipi in rapporto alla loro «capacità netta di trasporto»* ICC Genova 1972.



PIANO DI VOLO SUPERSONICO LONDON - NEW YORK

Fig. 22.

SUBSONICO

CARICO PAGANTE
CARBURANTE
VARIE (equipaggiamenti speciali, arredamenti equipaggiati)
MOTORI
CELLULA

2,2 MACH

CARICO PAGANTE
CARBURANTE
VARIE
MOTORI
CELLULA

RIPARTIZIONE DEL PESO TOTALE NEI VELIVOLI SUBSONICI E SUPERSONICI

Fig. 23.

A titolo d'esempio, è riportato nella fig. 22 il piano di un volo transatlantico. Come si vede, le quote previste per il volo a velocità di crociera sono comprese fra i 15.000 ed i 20.000 m.

Il 20 % del carburante trasportato viene consumato nella fase ascensionale, a velocità subsonica; il 55 % viene usato nel volo a velocità di crociera ed il restante 25 % nella fase di discesa e per riserva.

Velivolo ed apparato motore devono possedere la maggior efficienza possibile sia in condizioni di bassa altitudine a velocità subsonica, sia ad alta quota a velocità supersonica. Questo condiziona la scelta della struttura e dei motori.

La suddivisione del peso totale di un aereo supersonico da $M = 2,2$ e di un jet subsonico tipo B-747 è riportata nella fig. 23. La percentuale del peso della cellula è leggermente inferiore per il supersonico data la forma più semplice e l'assenza della coda, semplificazioni queste che superano gli effetti dell'aumento di carico alare dovuti al più alto numero di Mach della velocità di crociera.

Il peso totale dell'apparato propulsivo è per il velivolo da $M = 2,2$ quasi pari al doppio di quello del jet subsonico.

La percentuale del carburante è naturalmente, molto più grande.

Sommando queste percentuali si ottiene la percentuale di carico pagante di cui è capace il mezzo e si vede che per il supersonico da $M = 2,2$ questa capacità è pari a circa la metà di quella dei velivoli subsonici. Questo fatto è equilibrato dalla maggiore velocità.

7. CONFRONTI ECONOMICI.

La fig. 24 confronta i costi di esercizio di un'ora di volo di un velivolo supersonico con quelli di uno subsonico, nella ipotesi che siano capaci dello stesso carico pagante e che operino sulla stessa tratta supposta di lunghezza pari a 4800 Km.

Come specificato prima, i costi diretti sono quelli necessari a comprare, assicurare, mantenere, rifornire, equipaggiare e far atterrare il velivolo completo di motori. Non comprendono le spese generali.

Come indicato nella fig. 24 i costi d'esercizio sono suddivisi: costo della cellula, costi dei motori e costi del carburante, dell'equipaggiamento e delle tasse d'atterraggio.

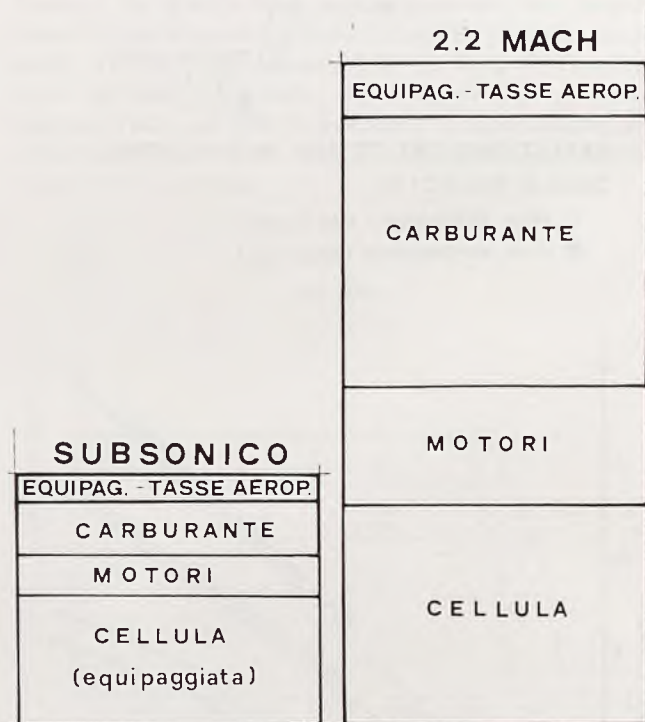
A causa del maggior consumo di carburante, del maggior costo iniziale di produzione e soprattutto a causa della minore percentuale di carico pagante, il costo orario del SST è circa due volte e mezzo quello di un subsonico.

L'incidenza maggiore è quella del carburante che rappresenta il 42 % dei costi orari diretti dall'esercizio. Quelli della struttura ammontano al 33 %, quelli dei motori al 18 % e quelli riguardanti l'equipaggiamento e le tasse aeroportuali al 7 %.

Nel calcolo dei costi dell'esercizio si fa l'ipotesi che le ore annue di volo di un aeromobile destinato al servizio di linea siano circa 3.500 (sulle 8766 totali). Questo limite è stato effettivamente

raggiunto e superato dai velivoli subsonici; è indubbio, però che quanto più è alta la velocità di esercizio tanto più difficile diventa mantenerlo.

Un tale livello di utilizzazione, in ogni caso, non fa che accrescere i costi di manutenzione, per la valutazione dei quali ci si basa sull'esperienza del subsonico: così si rischia di dare troppa importanza al peso del velivolo ed alla potenza dei motori e non mettere in giusto rilievo altri fattori quali la rapidità, la affidabilità, ecc., che contribuiscono in modo notevole alla determinazione del numero reale di ore annue di servizio.



COSTI DIRETTI D'ESERCIZIO PER ORA DI VOLO
A PARITÀ DI CARICO PAGANTE

Fig. 24.

È necessario avere orari più rigidi e soste a terra molto più brevi. Attualmente infatti il tempo di sosta per un percorso transatlantico, è di circa un'ora e mezzo, pari al 20 % del tempo di volo che è di circa sette ore. Questo tempo stesso di sosta rappresenterebbe il 50 % del tempo di volo per il SST che impiega poco più di tre ore a compiere la trasvolata.

La fig. 25 mostra i costi totali d'esercizio per passeggero-miglio di un aereo supersonico da $M = 2,2$ di un subsonico.

In essa sono stati inclusi, in basso, i costi indiretti e cioè quelli dovuti alla pubblicità, ai servizi di prenotazione, alla formazione del personale, ai servizi per i passeggeri, alle prove di volo, all'amministrazione ed alle spese generali. Nella fig. 25 queste voci sono state ritenute identiche sia per gli attuali subsonici sia per i futuri supersonici.

Le due colonne sovrastanti i costi indiretti rappresentano i costi diretti della figura precedente trasformati in costi per passeggero-km e suddivisi in modo da mostrare le relative proporzioni.

SUBSONICO		2 2 MACH	
EQUIP - TASSE AER.		EQUIP - TASSE AER	
CARBURANTE.		CARBURANTE	
MANUTENZIONE		MANUTENZIONE	
AMMORTAMENTO		AMMORT. INTERNO	
INTERESSI		ASSICURAZIONI	
ASSICURAZIONE			
INDIRETTI			
pubblicità, prenotazioni, commissioni, addestramento			
piloti servizio passeggeri, servizio di rotta, ammi-			
nistrazione e spese generali			

RIPARTIZIONE DEI COSTI TOTALI PER PASSEGGERO
PER KM (COEFFICIENTE DI CARICO 55%)

Fig. 25.

Le ipotesi fatte, sia per il subsonico sia per il supersonico, sono: utilizzazione annua pari a 3.500 ore e fattore di carico pari al 55 % dei posti disponibili.

Come si vede, tenendo conto delle relative velocità, i costi totali d'esercizio espressi in passeggero-km sono grosso modo gli stessi.

Quelli riportati sono naturalmente costi teorici: quelli effettivi dipenderanno dall'effettiva utilizzazione e soprattutto dal fattore di carico.

8. IL « CONCORDE ».

8.1. Classe unica e flotta mista.

Attualmente il traffico internazionale è così ripartito:

C = Classe	%	Tariffa
F = Prima	10	1,60 Y
Y = Economica	52	1,00 Y
Y _p = Promozionale	25	0,71 Y
Y _G = Gruppi	13	0,57 Y

Facendo una media ponderata dei prezzi dei biglietti venduti (i pesi sono rappresentati dalle percentuali), si può calcolare il prezzo medio:

$$P_m = 0,1 \times 1,60 Y + 0,52 \times 1,00 Y + 0,25 \times 0,71 Y + 0,13 \times 0,57 Y = 0,93 Y$$

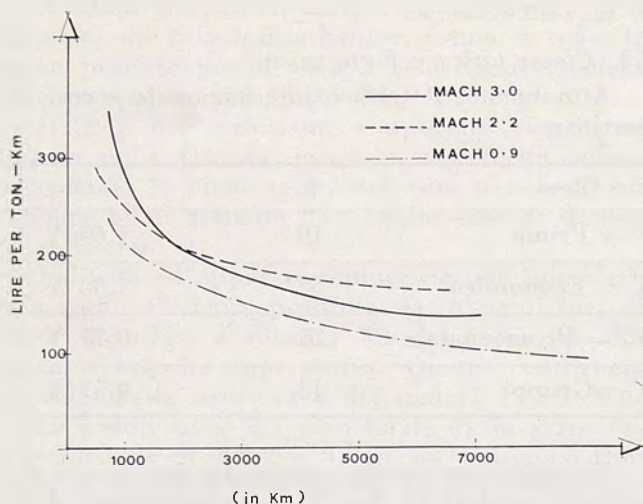
dove Y rappresenta la tariffa della classe economica.

Il biglietto medio corrisponde quindi al 93 % di quello della classe economica.

L'entrata in servizio del « Concorde », che verrà ad affiancarsi ai velivoli subsonici, condurrà alla realizzazione di flotte miste, che opereranno in classe unica; è lecito, infatti, supporre che tutto il traffico di prima classe si trasferisca al SST.

Naturalmente, la penetrazione del « Concorde » influenzerà la produttività dell'intera flotta; gli incassi realizzabili nell'ipotesi che le tariffe praticate siano 1,36 Y per il « Concorde » e 0,93 Y per i subsonici, sono riportati nella tabella seguente:

	FLOTTA SUBSONICA		FLOTTA MISTA		CONCORDE
	B-707	B-747	B-707	B-747	
Suddiv. Traff. Subsonico	40 %	60 %	20 %	80 %	—
Posti	140	366	165	398	110
Utilizzazione (ore/anno)	3.850	3.850	3.850	3.850	3.500
Velocità media non utile (miglia/ora)	425	453	425	453	865
Costi op. tot. (pass.-miglia)	3,29	2,73	2,92	2,56	variabile
Investimenti (M)	10,11	26,57	10,11	25,54	28,79
Fatt. di carico	55 %	55 %	55 %	55 %	variabile
Tasse	48 %			48 %	
Interessi	8 %			8 %	
Traffico nel 1975	37.000 10 ⁶ pass. Km				



PRESUNTA VARIAZIONE DEI COSTI
OPERATIVI SPECIFICI IN FUNZIONE
DELLA DISTANZA

Fig. 26.

La tratta di riferimento ha lunghezza pari a 4.850 chilometri.

Nella tabella precedente sono riportate le ipotesi che stanno alla base di una gestione con flotta mista e le corrispondenti per una flotta di soli velivoli subsonici.

Come si nota, in ambedue i casi (flotta mista e flotta omogenea) la maggioranza del traffico subsonico (che nel caso della flotta omogenea coincide con il traffico totale) si serve dei B-747.

La velocità totale media assunta per il « Concorde » tiene conto dei perditempo dovuti alle restrizioni di velocità dovute al boom sonico.

Gli investimenti riportati si basano sui prezzi d'acquisto del '69: 5,3 miliardi di lire per il B-707 e 13,1 miliardi di lire per il B-747. Tali aerei rappresentano il tipo di velivolo base per il trasporto a medio e lungo raggio. Per il « Concorde » si è previsto un prezzo d'acquisto pari a 13,5 miliardi di lire.

La voce riguardante gli investimenti tiene conto anche degli effetti inflazionistici (2 % annuo) fino alla data della consegna del SST.

8.2. Variazione dell'utile (%) annuo in funzione del fattore di carico e del livello delle tariffe.

L'utile annuo (%) di una flotta mista il cui traffico sia ripartito secondo le ipotesi precedenti in funzione dei valori del fattore di carico del Concorde è mostrato nella fig. 27.

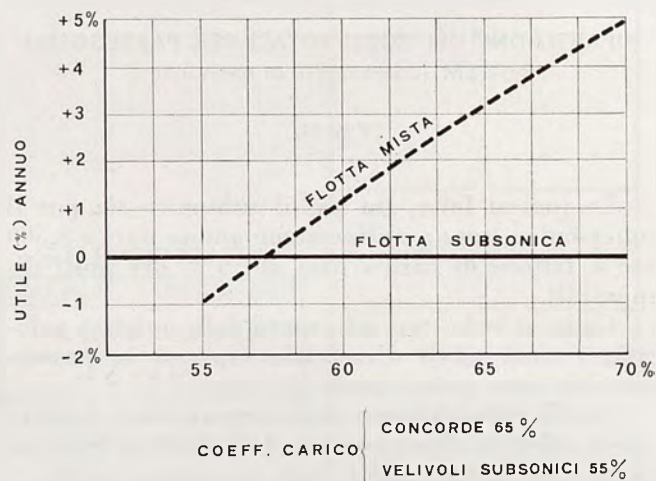


Fig. 27.

COEFF. DI CARICO { B 707 E B 747 : 55 %
CONCORDE : 65 %

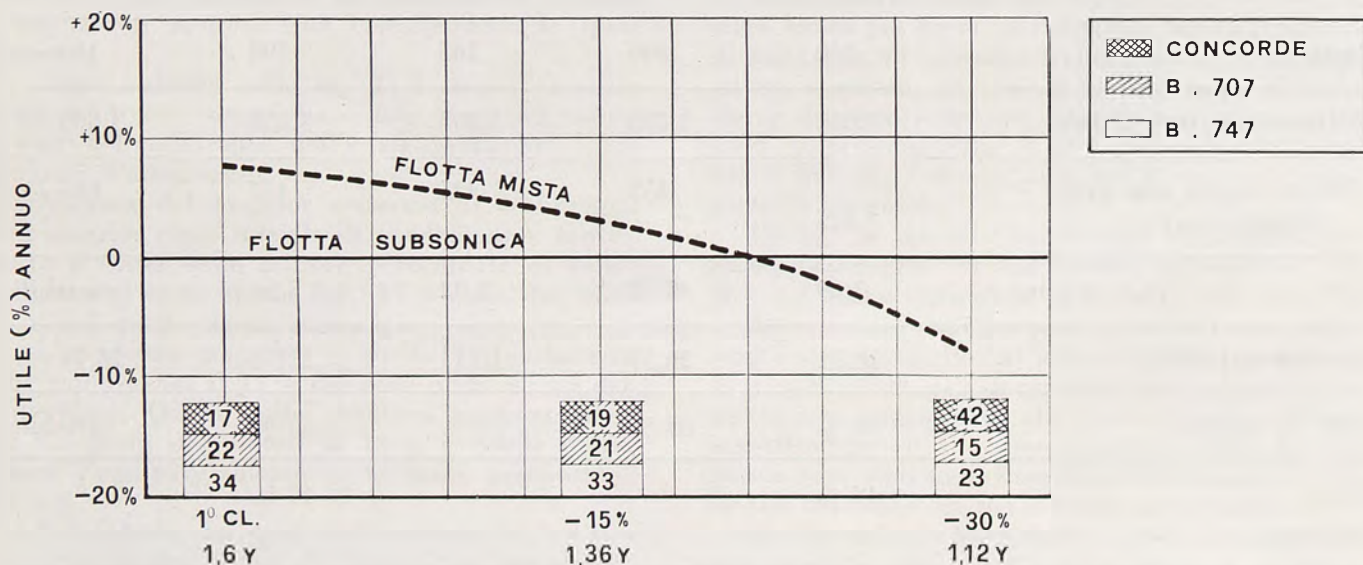


Fig. 28.

Per la flotta subsonica si è assunto un coefficiente di carico del 55 %.

Il paragone con la flotta subsonica mostra l'incremento dei profitti che si prevede di ottenere grazie all'introduzione del supersonico: assumendo per il « Concorde » un coefficiente di riempimento pari al 65 % si ha un profitto del 3,2 % maggiore di quello della corrispondente flotta subsonica.

Si vede, dunque, che anche con ipotesi pessimistiche l'uso del « Concorde » in una flotta mista, ne aumenta il rendimento totale.

Nella fig. 28 è mostrata la variazione dell'utile (%) annuo di una flotta mista in funzione del livello delle tariffe del « Concorde » usato in classe unica. La curva in essa riportata fornisce la base per l'impiego del SST francese e dovrebbe consentire di fissare le tariffe in modo da realizzare l'ottimizzazione tra servizio fornito e profitti ottenuti. Nel tracciarla si è supposto un mercato annuo di 20.000 10^6 passeggeri-miglia ed un coefficiente di riempimento pari al 55 % per i subsonici e pari al 65 % per i supersonici.

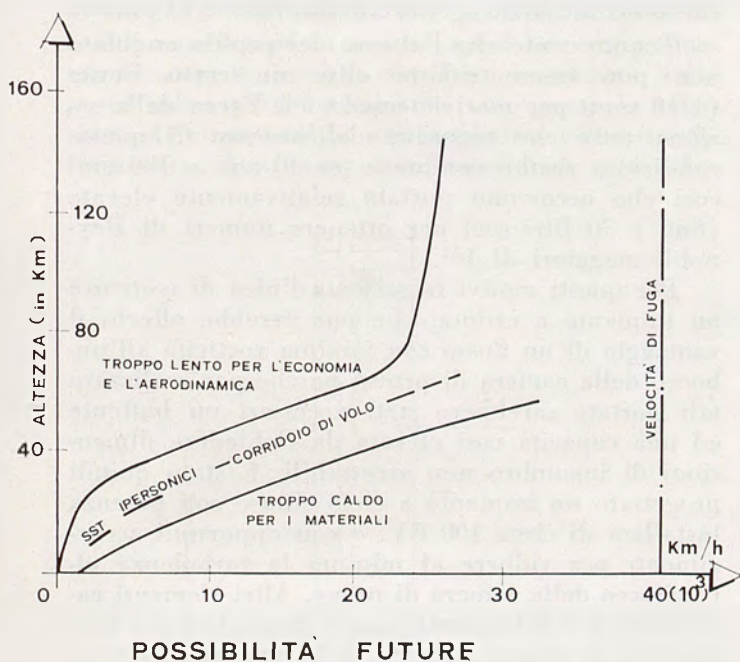


Fig. 29.

Si può notare come il profitto annuo della flotta mista sia maggiore di quello della flotta subsonica e che la tariffa del « Concorde » si mantiene al di sopra del 79 % della tariffa di prima classe dei subsonici odierni. Tale valore corrisponde alla tariffa di classe economica dei subsonici attuali, aumentata del 26 %, ossia 1,26 Y.

La tariffa che sarà effettivamente adottata per il « Concorde » dovrà quindi essere compresa tra la tariffa della prima classe subsonica (1,60 Y) ed il valore precedente (1,26 Y). Solo un esame approfondito potrà fornire il valore ottimale.

Al variare della tariffa del « Concorde », varia la suddivisione del traffico in subsonico e supersonico e, di conseguenza, è necessario che vari anche la composizione della flotta.

La fig. 28 indica anche tre possibili composizioni della flotta, a seconda delle tariffe adottate.

Il parametro che ha il maggior peso nella determinazione degli utili in questo caso è il coefficiente di riempimento, il cui valore in genere, per i velivoli subsonici, non è superiore al 55 %.

Va osservato, però, che normalmente il traffico può essere suddiviso in traffico stagionale e traffico non stagionale. Quello non stagionale è composto in massima parte — secondo quanto riportato dalle statistiche IATA — da viaggiatori per affari che attualmente si servono della classe economica dei subsonici ma che senz'altro preferiranno servirsi del SST non appena esso diventerà operativo.

È del tutto legittimo prevedere, quindi, che i SST avranno un coefficiente di utilizzazione maggiore di quello dei subsonici attuali. Ciò dovrebbe portare ad un positivo bilancio delle flotte miste.

C. Castiglia - E. Paratore

BIBLIOGRAFIA

- P. F. BANCALE, *Problemi di finanziamento delle flotte aeree*, in « Aviazione di linea », ottobre 1968.
- A. M. BOLOGNESI, *Costi d'esercizio dei principali aviogetti civili*, in « Aviazione di linea », ottobre 1968.
- A. M. BOLOGNESI, *Livello e variazioni dei diritti d'atterraggio in campo mondiale*, in « Aviazione di linea », settembre 1970.
- A. M. BOLOGNESI, *Aviolinee occidentali e loro indici di efficienza operativa*, in « Aviazione di linea », ottobre 1970.
- E. H. BURCESS, *I collaudi del Concorde*, in « Aviazione di linea », aprile 1970.
- H. COLEMAN, *Single class SST concept seen profitable*, in « Aviation Week & Space Technology », march 1970.
- L. DOTY, *Airline curbs boost load factor*, in « Aviation Week & Space Technology », august 1970.
- F. FAZIO, *È l'era dei « superjet »: problemi e prospettive*, in « Rivista aeronautica », febbraio 1970.
- F. J. FRENCH, *Aeroflot in the seventies*, in « Flight International », april 1970.
- R. S. KAHN, *Atlantic traffic spurting toward record*, in « Aviation Week & Space ».
- V. ROSASPINA, *Attualità del supersonico commerciale*, in « Aviazione di linea », agosto 1965.
- N. SFERRAGATTA, *SST: ipotesi e ripensamenti*, in « Aviazione di linea », ottobre 1968.
- A. H. STRATFORD, *Air transport supersonic in the supersonic era*, Mac Millan, London, 1967.
- J. M. SWIHART, *Our SST and its economics*, in « Astronautics & Aeronautics », april 1970.
- G. TUCCI, *Principi economici sul trasporto aereo internazionale*, in « Aviazione di linea », giugno 1970.
- S. WHEATCROFT, *The influence of the operational and technical factors regulation*, in « Aeronautical Journal », august 1970.
- G. GABRIELLI, *Considerazioni sul grado di utilizzazione dell'energia richiesta nei veicoli per passeggeri e merci di di tutti i tipi in rapporto alla loro « capacità di trasporto »*, IIC Genova 1972.

Impianto sperimentale per misure su correnti in regime turbolento

CLAUDIO CANCELLI e FURIO VATTA descrivono le caratteristiche di un impianto ad acqua a ciclo chiuso, con camera di prova a geometria variabile, progettato al fine di effettuare misure su correnti in regime turbolento.

Introduzione

L'impianto idrodinamico qui descritto (figg. 1 e 2) è stato progettato e realizzato per effettuare misure sperimentali su correnti in regime turbolento, nell'ambito di un programma di ricerche del Centro Studi Dinamica dei Fluidi del Politecnico di Torino.

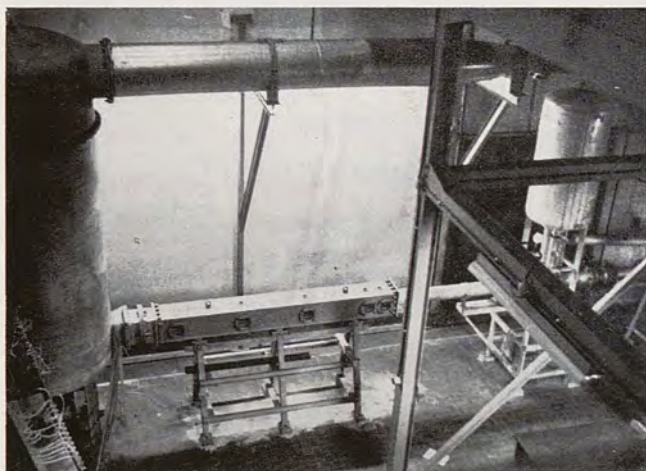


Fig. 1 - Complessivo dell'impianto.

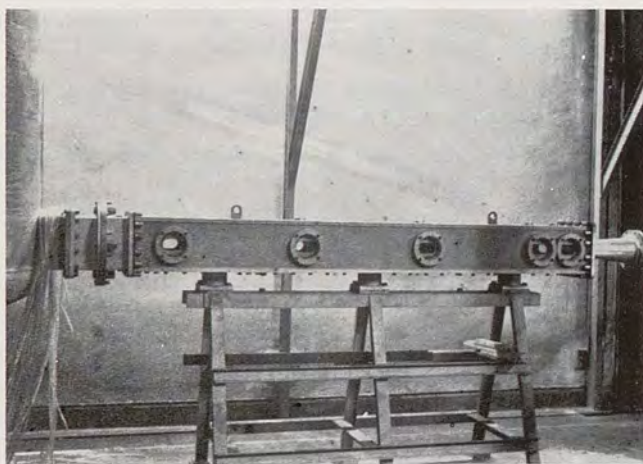


Fig. 2 - Camera di prova.

Oggetto di questo programma è lo studio di alcuni aspetti non ancora chiariti della turbolenza di parete, quali il comportamento del coefficiente di resistenza per alti numeri di Reynolds in un canale a sezione rettangolare con pareti ondulate, o la riduzione dello stesso provocata dalla presenza di macromolecole in soluzione acquosa a bassa concentrazione (effetto Toms). La presenza di pareti ondulate e la necessità di generare correnti sufficientemente veloci sono stati i requisiti essenziali

che hanno determinato, al momento del progetto, le caratteristiche dell'impianto. La camera di prova consta di due pareti orizzontali ondulate e di due pareti verticali lisce, e la sua sezione è stata disegnata perché soddisfi le seguenti condizioni:

a) che il rapporto tra larghezza ed altezza della sezione vari tra valori tali ($4 \div 10$), che l'influenza delle pareti verticali non ondulate si possa considerare non determinante;

b) che il rapporto tra l'ampiezza del profilo sinusoidale delle pareti orizzontali e l'altezza della sezione sia sempre compreso tra valori così piccoli ($1/100 \div 1/250$) che, almeno per numeri di Reynolds non elevati, l'altezza dell'ondulosità risulti dello stesso ordine dello spessore della regione di parete.

Tenuto conto che l'altezza del profilo ondulato non può essere ridotta oltre un certo limite ($4/10$ mm) per motivi tecnologici, l'area della sezione retta che consegue dall'insieme di queste condizioni risulta compresa tra 40 cm^2 e 100 cm^2 così che occorrono portate relativamente elevate (fino a 70 litri/sec) per ottenere numeri di Reynolds maggiori di 10^5 .

Per questi motivi fu scartata l'idea di costruire un impianto a caduta, che pur avrebbe offerto il vantaggio di un flusso con minima vorticità all'imbocco della camera di prova, perché per realizzare tali portate sarebbero stati necessari un battente ed una capacità così elevata da richiedere dimensioni di ingombro non accettabili. È stato quindi progettato un impianto a ciclo chiuso con potenza installata di circa 100 CV, e con opportuni accorgimenti per ridurre al minimo la turbolenza all'imbocco della camera di prova. Altri elementi caratteristici dell'impianto sono i dispositivi che permettono di variare l'altezza della camera di prova, e quelli che facilitano la sostituzione delle piastre ondulate.

La portata dell'impianto è regolabile tra un minimo di circa 2 litri/sec ed un massimo di 70 litri/sec; il numero di Reynolds varia di conseguenza da $5 \cdot 10^3$ a $1,75 \cdot 10^5$. I dispositivi di misura delle pressioni permettono di operare con apprezzabile precisione per numeri di Reynolds al di sopra di $7 \cdot 10^3$.

Descrizione dell'impianto

Gli elementi costitutivi dell'impianto sono i seguenti (fig. 3):

a) un recipiente di « calma » con una capacità di circa 3 m^3 che, rallentando alquanto la velocità del flusso, provoca una notevole attenuazione della vorticità preesistente. Per meglio conseguire detto scopo, sono state disposte all'interno del ser-

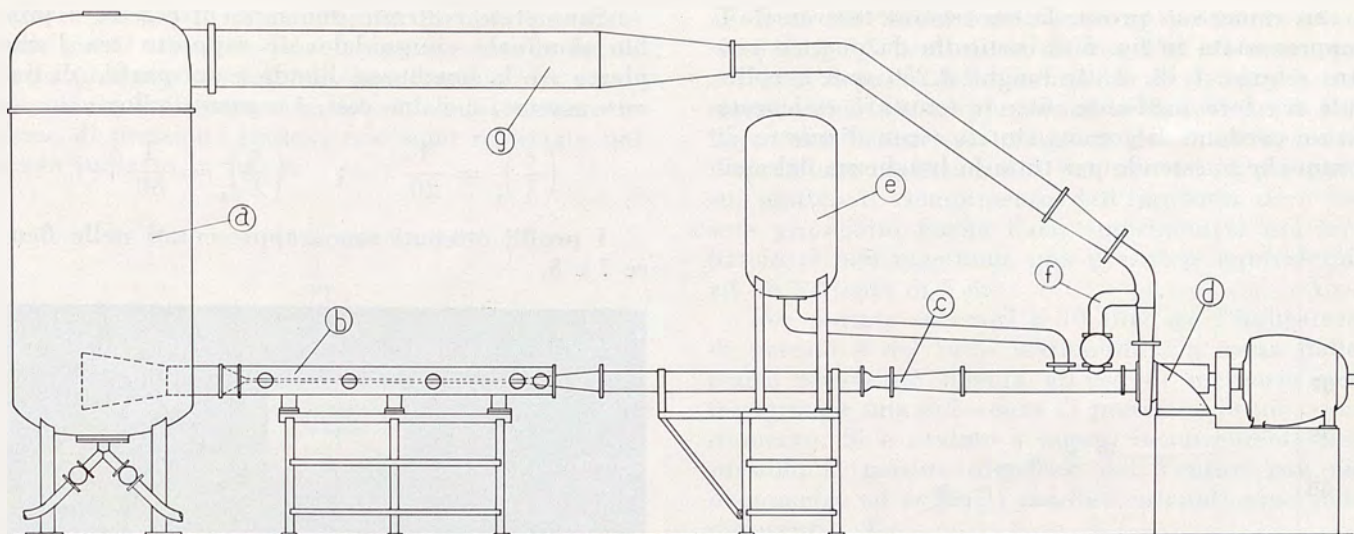


Fig. 3 - Schema dell'impianto.

batoio quattro griglie di lamiera forata, messe trasversalmente all'asse del recipiente ed appoggiate su mensole apposite, così da esaltare la dissipazione di vorticità. Nell'interno del serbatoio si trova un canale convergente a sezione quadrata con geometria fissa che si raccorda con il canale esterno. Nella parte inferiore del recipiente sono poste la tubazione di riempimento dell'impianto, collegata direttamente al circuito idraulico esterno, e la tuba-

zione di scarico; nella parte superiore esistono una apertura, attraverso la quale è possibile effettuare il riempimento con liquidi diversi dall'acqua della condotta esterna, ed una presa che permette di prelevare un campione di liquido di prova onde controllarne le caratteristiche fisiche;

b) la camera di prova, le cui estremità sono accoppiate con il resto del circuito mediante collegamenti elastici come quello rappresentato in fig. 4 per evitare che ad essa siano trasmesse vibrazioni indotte dall'apparato propulsivo;

c) un tubo Venturi tipo T.V.N.L. della Ditta Bosco di Torino, con diametro interno nella sezione massima di 125 mm e dotato di un diffusore tronco conico zincato, che è l'elemento sensibile di un misuratore di portata; la tubazione a diametro costante che separa il Venturi dalla camera di prova e dalla pompa, è necessaria per ridurre l'influenza delle perturbazioni prodotte da cause localizzate a monte e a valle delle sezioni di rilievo delle pressioni, ed è stata calcolata in base ai diagrammi forniti dalla ditta costruttrice;

d) una pompa centrifuga monostadio DELTA 100/20 della Ditta A.R.I.S. CHIAPPA di Torino, avente girante in ghisa con diametro di 200 mm, albero in acciaio rettificato e caratteristiche di funzionamento rappresentate nel diagramma di fig. 5;

e) un serbatoio con capacità di circa $0,80 \text{ m}^3$ destinato a contenere aria in pressione, necessario per regolare la pressione media dell'impianto, ed in particolare per mantenere la sovrappressione a monte della pompa costantemente positiva onde evitare fenomeni di cavitazione;

f) un by-pass che permette di variare la portata nella camera di prova a parità di numero di giri del motore;

g) una tubazione di collegamento tra la pompa ed il serbatoio di « calma », provvista di due successivi divergenti per ridurre la velocità del fluido prima dell'immissione nel serbatoio.

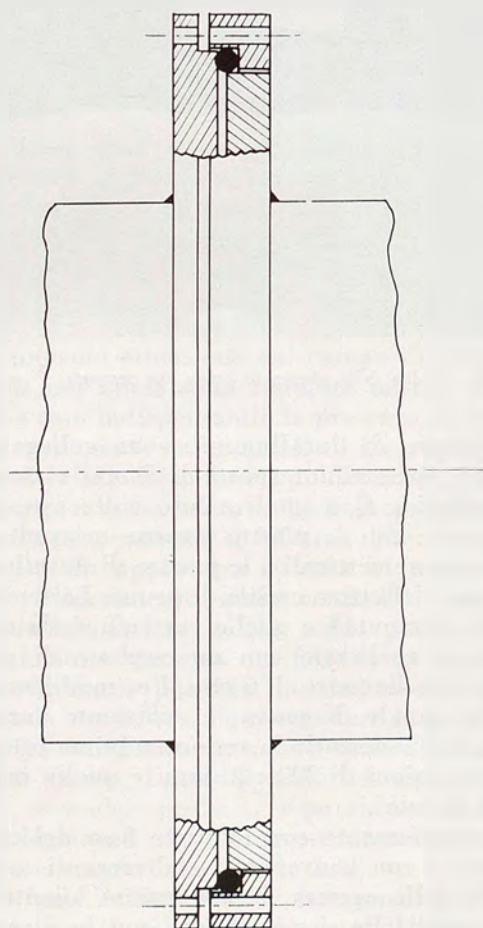


Fig. 4 - Particolare del collegamento elastico tra la camera di prova e l'impianto.

La camera di prova, la cui sezione trasversale è rappresentata in fig. 6, è costituita da quattro piastre esterne 1, 2, 3, 4, lunghe 2.250 mm e collegate tra loro mediante viti; la tenuta è assicurata da un cordone di gomma sintetica con diametro di 6 mm che si estende per tutta la lunghezza del con-

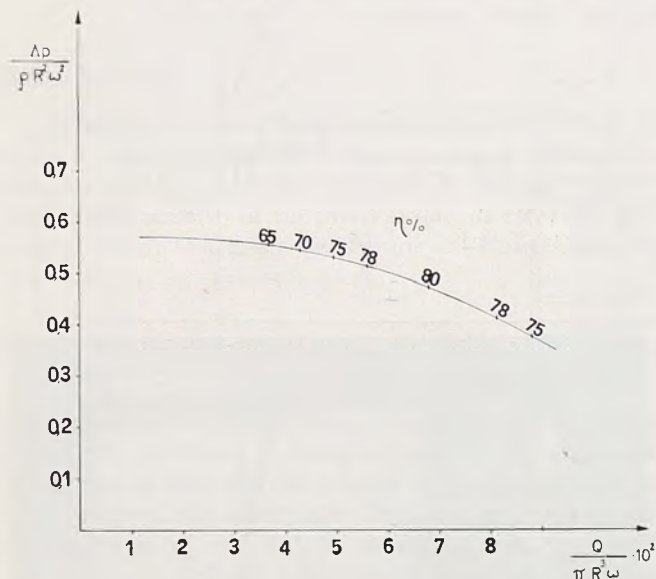


Fig. 5 - Curva caratteristica di funzionamento della pompa centrifuga.

tatto tra le piastre. Queste delimitano una sezione quadrata di $200 \times 200 \text{ mm}^2$ non tutta utile per il passaggio del fluido, poiché al suo interno si trovano altre due piastre in duralluminio, larghe 200 mm e lunghe 2.000 mm, che, poste come è indicato in fig. 6, costituiscono le pareti superiore ed inferiore del canale di prova. Le piastre sono state costruite in duralluminio per evitare fenomeni di ossidazione, dal momento che un'eventuale zincatura o cromatura, effettuata su materiale ferroso per ottenerne un'adeguata protezione, avrebbe alterato il profilo dell'ondulosità di parete.

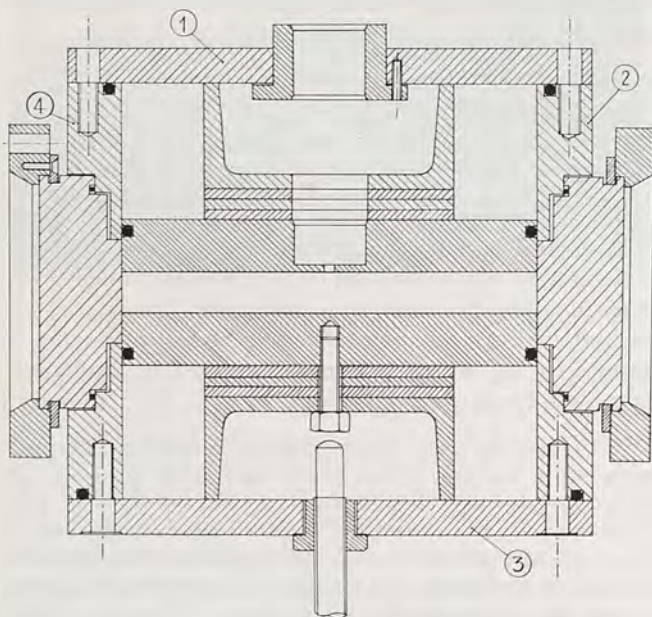


Fig. 6 - Sezione trasversale della camera di prova.

Sono state costruite due serie di piastre a profilo nominale sinusoidale; il rapporto tra l'ampiezza ε e la lunghezza d'onda λ del profilo di parete assume, nei due casi, i seguenti valori:

$$\left(\frac{\varepsilon}{\lambda}\right)_1 = \frac{1}{20} \quad ; \quad \left(\frac{\varepsilon}{\lambda}\right)_2 = \frac{1}{60}.$$

I profili ottenuti sono rappresentati nelle figure 7 e 8.

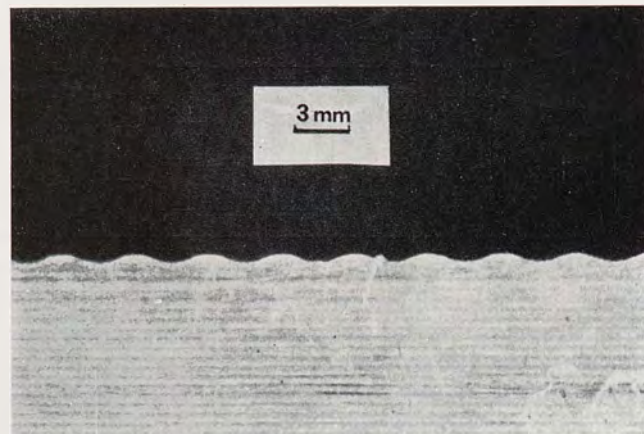


Fig. 7 - Profilo della piastra di prova con rapporto $\frac{\varepsilon}{\lambda} = \frac{1}{20}$

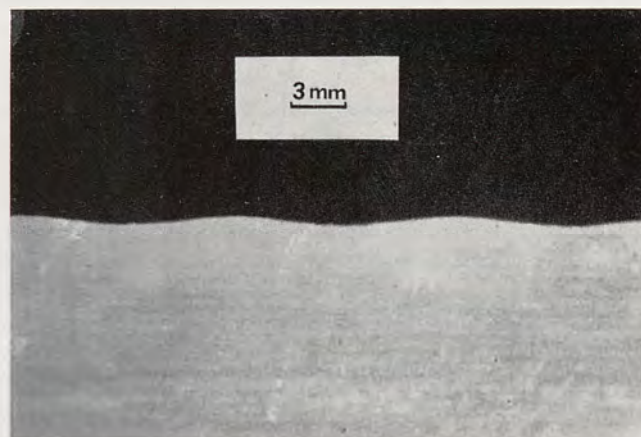


Fig. 8 - Profilo della piastra di prova con rapporto $\frac{\varepsilon}{\lambda} = \frac{1}{60}$

Le piastre di duralluminio sono collegate mediante tre spessori interposti di 5 mm ciascuno, a due profilati a C, i quali a loro volta sono fissati direttamente con le piastre esterne orizzontali; le piastre esterne verticali e le piastre di duralluminio delimitano l'effettivo canale di prova. La tenuta fra le pareti orizzontali e quelle verticali della camera di prova è realizzata con un cordone di gomma sintetica con diametro di 6 mm. Per modificare l'altezza del canale di prova, è sufficiente variare il numero degli spessori; la sezione minima ottenibile ha le dimensioni di $200 \times 20 \text{ mm}^2$ e quella massima di $200 \times 50 \text{ mm}^2$.

L'accoppiamento con la parte fissa del circuito è realizzato con convergenti e divergenti a monte e a valle della camera, le cui sezioni longitudinali hanno profili che si raccordano con le diverse altezze del canale. Per poter eseguire prove con visualizzazione del flusso sono state disposte nella

camera di prova cinque coppie di oblò sistemate sulle pareti verticali, come è rappresentato in fig. 6. Sulla piastra superiore di duralluminio, in corrispondenza della mezzzeria del canale, si trovano le prese di pressione statica; esse sono realizzate nel modo indicato in fig. 9.

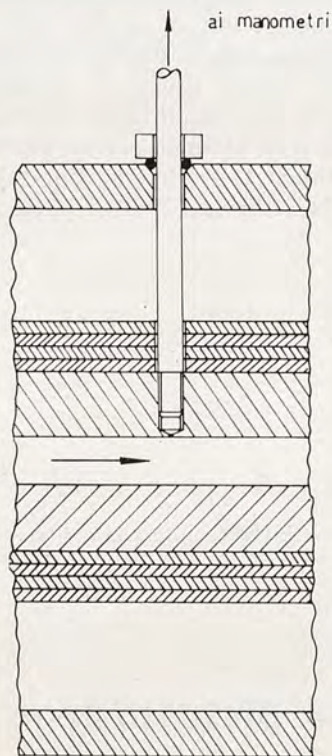


Fig. 9 - Disposizione delle prese di pressione.

Le prese sono sedici, distribuite lungo l'asse della camera di prova ad intervalli che variano tra un minimo di 40 mm nella parte iniziale ad un massimo di 200 mm nella parte centrale e finale.

Strumenti di misura e metodi di regolazione

La notevole estensione del campo di numeri di Reynolds nel quale sono richieste misure di pressione, ha reso indispensabile la presenza di due batterie di manometri differenziali ad U; una ad acqua per bassi valori del numero di Reynolds, l'altra a mercurio per valori elevati. La commutazione dall'una all'altra batteria si effettua intercettando il fluido con un opportuno sistema di rubinetti. È previsto l'inserimento nella camera di prova di sonde anemometriche a film caldo per la misura della velocità istantanea del fluido; un opportuno portasonda rende possibile la traslazione verticale della sonda stessa, così da permettere la misura della velocità istantanea in punti diversi lungo l'altezza del canale. Le sonde sono del tipo « conical probe », « wedge probe », « parabolic probe » e sono collegate ad un sistema anemometrico a temperatura costante della T.S.I. 1050.

La lettura della portata è fatta mediante un indicatore tipo i/L della Ditta Bosco di Torino avente un fondo scala di 70 litri/sec; l'indicazione è data su scala lineare con campo di misura previsto dal

10 % al 100 % del fondo scala ed un errore massimo di $\pm 0,5$ % di quest'ultimo. Per ottenere una corretta risposta dello strumento di lettura è necessario che la sovrappressione nella sezione di imbocco del Venturi sia maggiore del massimo salto di pressione realizzato nel Venturi stesso; per questo motivo il riempimento dell'impianto deve essere proseguito finché l'aria imprigionata nel serbatoio e) non raggiunga una pressione equivalente ad un battente di 5 m.

Per portate inferiori a 10 litri/sec l'indicatore di portata è del tutto inattendibile a causa della scarsa sensibilità dovuta all'uso di mercurio per trasformare una differenza di pressione in uno spostamento. Si è ovviato a questo inconveniente misurando la perdita di carico del Venturi con un manometro ad acqua; i risultati ottenuti sono soddisfacenti.

La regolazione di portata viene effettuata sia mediante il by-pass a cui si è già accennato, sia agendo sul numero di giri della pompa centrifuga; poiché questa è collegata direttamente con un motore a corrente continua, è sufficiente variare la tensione di alimentazione del motore per modificarne il numero di giri. L'uso del by-pass permette una regolazione fine della portata, mentre la regolazione con il controllo del numero di giri della pompa centrifuga permette solo variazioni discontinue, non essendo il reostato, inserito sul circuito di alimentazione del motore a corrente continua, in grado di dare una variazione continua di tensione. Lo schema dell'impianto elettrico è riportato in fig. 10 mentre in fig. 11 è diagrammata la legge di variazione del numero di giri del motore in funzione della tensione di alimentazione.

Prova dell'impianto

Prima di procedere alla misura dei coefficienti di attrito di canali con pareti ondulate, abbiamo effettuato un collaudo dell'impianto per riconoscere se le sue caratteristiche corrispondevano a quelle previste in fase di progetto; la prova è stata effettuata usando al posto delle piastre ondulate due piastre perfettamente piane e con una altezza del canale di prova di 20 mm e di 50 mm. La potenza assorbita dal motore a corrente continua e la pres-

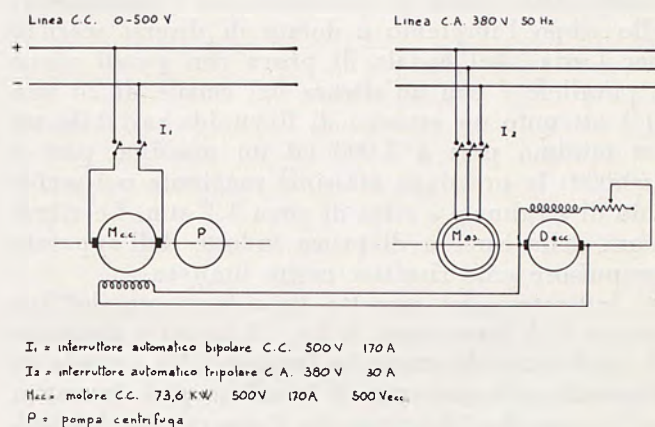


Fig. 10 - Schema dell'impianto elettrico.

sione misurata nel recipiente di « calma » in funzione del numero di giri del motore sono rappresentati in fig. 12, mentre la portata nella camera di prova, con by-pass disinserito, è rappresentata in fig. 13.

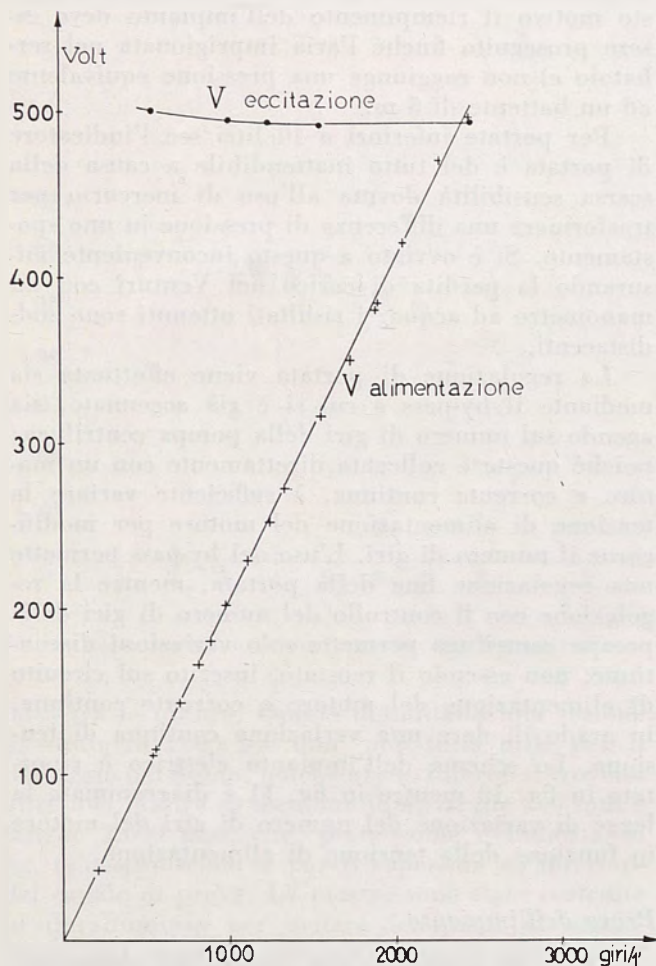


Fig. 11 - Variazione del numero di giri del motore in funzione della tensione di alimentazione.

Durante le prove abbiamo notato che occorre mettere particolare cura nella fase di riempimento dell'impianto; è necessario infatti evitare che si formino delle sacche d'aria le quali, durante il funzionamento, possono portare ad errori di misura qualora esse si introducano nei tubi di collegamento delle prese di pressione con i manometri; allo scopo l'impianto è dotato di diversi scarichi per l'aria. Nel canale di prova con pareti piane e parallele e con un'altezza del canale di 20 mm si è ottenuto un numero di Reynolds variabile tra un minimo pari a 5.000 ed un massimo pari a 160.000; la pressione massima raggiunta nel serbatoio di « calma » è stata di circa 4,1 atm. Le vibrazioni della camera di prova indotte dall'apparato propulsore sono risultate molto limitate.

Indicativo del corretto funzionamento dell'impianto è il diagramma di fig. 14 in cui è riportato il coefficiente di attrito in funzione del numero di Reynolds ottenuto per il canale sopra descritto; nella stessa fig. 14 è riportato il diagramma del coefficiente di attrito in funzione del numero di Rey-

nolds per tubi lisci a sezione circolare calcolato secondo la formula di Von Karman-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{\psi}} = 4 \lg_{10} (8 Re \sqrt{\psi}) - 1,6$$

in base ai risultati degli esperimenti di Nikuradse.

Si può notare dai risultati sperimentali riportati che il coefficiente di attrito per canali lisci a sezione rettangolare, a parità di numero di Reynolds, assume valori differenti quando si faccia variare l'altezza del canale mantenendo costante la larghezza; ciò è in accordo con le esperienze riportate su Handbuch Der Physik, Band VII pag. 143 del 1927. È da osservare d'altra parte che, in base

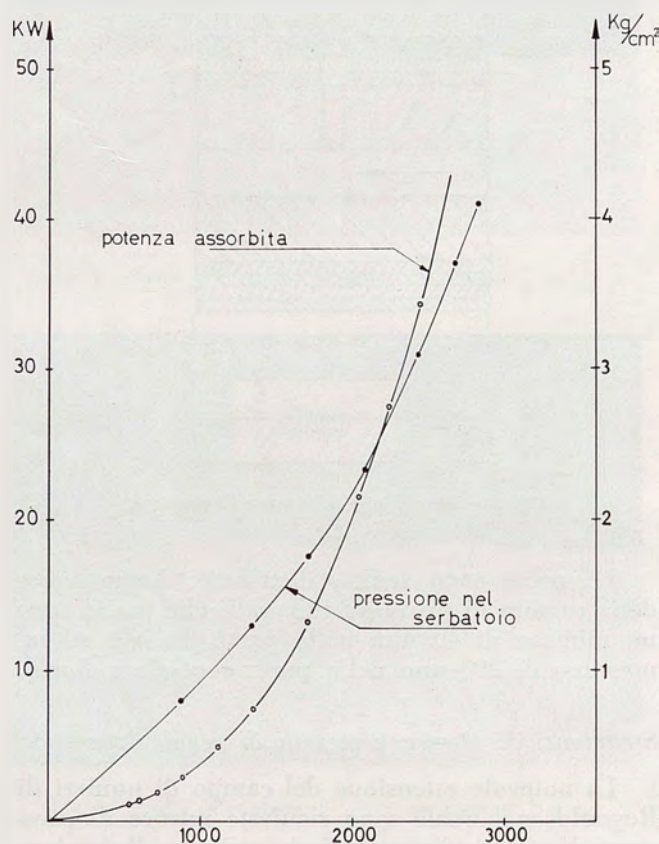


Fig. 12 - Potenza assorbita e pressione nel serbatoio in funzione del numero di giri del motore.

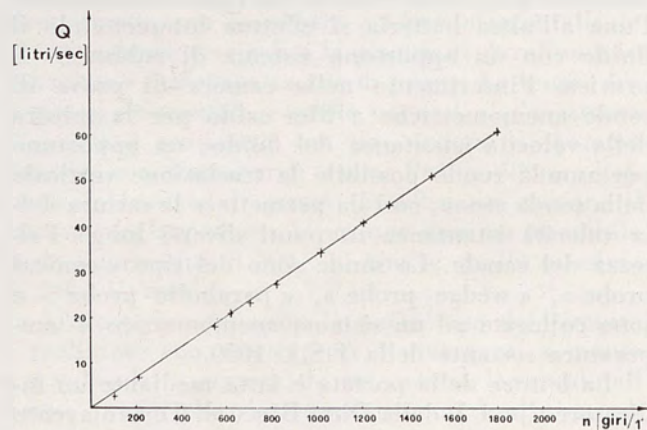


Fig. 13 - Variazione della portata in funzione del numero di giri del motore.

alle esperienze fatte da S. J. Davies e C. M. White e riportate sui Proceedings of the Royal Society of London del 1928, al variare del rapporto tra l'altezza e la larghezza del canale, i coefficienti di attrito sono rappresentati abbastanza bene da una unica curva; gli esperimenti tuttavia sono stati effettuati per numeri di Reynolds variabili entro il ristretto intervallo di 64 e 4.620. Tale risultato non è in disaccordo con quello da noi trovato per un intervallo di numeri di Reynolds alquanto più esteso in quanto dai diagrammi della fig. 14 appare che fino a $Re=50.000$, corrispondente con il riferimento

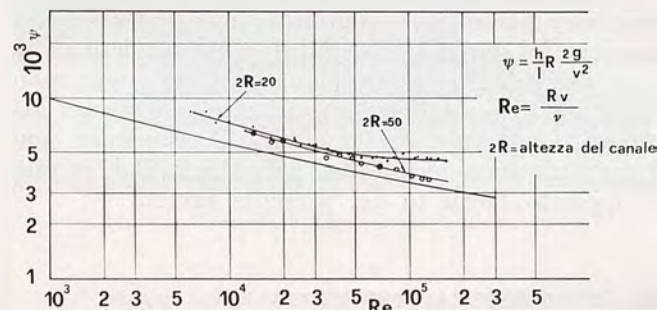


Fig. 14 - Coefficiente di attrito in funzione del numero di Reynolds.

assunto dagli Autori sopra citati a $Re=100.000$, l'influenza di una diversa altezza del canale di prova non determina sensibili variazioni del coefficiente di attrito; oltre il valore $Re=50.000$ si hanno invece per il coefficiente di attrito due distinti andamenti; probabilmente ciò è dovuto alla diversa condizione superficiale delle piastre nelle due differenti prove; si è notato infatti, alla fine delle esperienze con altezza del canale di 20 mm, che sulle piastre si erano formate sedimentazioni calcaree le quali possono quindi spiegare l'andamento, da noi riscontrato, tipico delle pareti rugose.

Riconoscimenti

Ringraziamo i tecnici del C.N.R. Gianfranco Giovara e Umberto Mantovani che ci sono stati di notevole aiuto nel montaggio e nella messa a punto dell'impianto, ed il tecnico Roberto Tassone che ha provveduto con i suddetti all'esecuzione del circuito elettrico; rivolgiamo un particolare riconoscimento al signor Mario Costa, la cui opera è stata essenziale al momento del progetto.

C. Cancelli - F. Vatta

Studio sperimentale sul comportamento di un giunto elastico a caratteristica non lineare

Il comportamento statico e dinamico di un giunto elastico a caratteristica non lineare del tipo Bibby è già stato studiato analiticamente (R. Giovannozzi e G. Favretti). Nel presente lavoro GUIDO BONGIOVANNI e MARGHERITA CLERICO espongono i risultati di uno studio sulla caratteristica statica di tali giunti effettuato al fine, sia di completarne lo studio analitico, sia di valutare l'approssimazione dei risultati della letteratura, esaminando nel contempo l'influenza di effetti non tenuti in conto nei lavori precedenti, quali quelli, ad esempio, della torsione e dell'attrito.

1. INTRODUZIONE.

Il comportamento di un giunto elastico a caratteristica non lineare del tipo Bibby (fig. 1) è stato studiato analiticamente in [1] e [2] da R. Giovannozzi e G. Favretti.

R. Giovannozzi [1] determina la caratteristica del giunto (relazione forza-freccia) e ne calcola le frequenze proprie in oscillazioni libere simmetriche ed asimmetriche di diverse ampiezze. Per determinarne la caratteristica l'Autore suppone che al profilo circolare del dente di raggio R (fig. 2) possa essere sostituita la parabola osculatrice di equazione $y = \frac{x'^2}{2R}$, che la molla a lamina sia perfettamente incastrata agli estremi e che, a giunto scarico, essa sia rettilinea e tangente ai denti nelle loro origini A e A' distanti $2l$. Suppone inoltre, per simmetria, che, a giunto carico, la lamina abbia un flesso nel suo punto medio (nel quale è nullo il momento flettente) e che pertanto

le due metà di essa si trasmettano unicamente una forza periferica concentrata P che produce una freccia f .

Con le ipotesi suddette ottiene per la caratteristica statica la relazione adimensionale seguente:

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\varphi}} \quad (1)$$

dove

$$\psi = \frac{P}{P_0}; \quad \varphi = \frac{f}{f_0} \quad (2)$$

$$P_0 = \frac{EJ}{Rl}; \quad f_0 = \frac{l^2}{2R} \quad (3)$$

in cui, E ed J sono rispettivamente il modulo di elasticità della molla ed il momento d'inerzia della sezione retta rispetto all'asse neutro. P_0 è il carico che produrrebbe la curvatura $1/R$ nell'origine

$x = l$ e f_0 è la freccia y del dente supposto prolungato fino alla mezzzeria.

La (1) vale da $P = P_0$, $\psi = 1$, $\varphi = 2/3$ (punto B coincidente con A ; la molla incomincia ad adagiarsi sul dente) fino a $P = k/a$, $\psi = 1/a$ $\varphi = \varphi_0 = 1 - \alpha^{2/3}$ ($\alpha = \frac{a}{l}$) (la molla si è completamente adagiata sul dente).

Per $0 \leq P \leq P_0$, $0 \leq \varphi \leq 2/3$

la lamina si comporta come semplicemente incastrata in A e si ha quindi

$$\psi = \frac{3}{2} \varphi \quad (4)$$

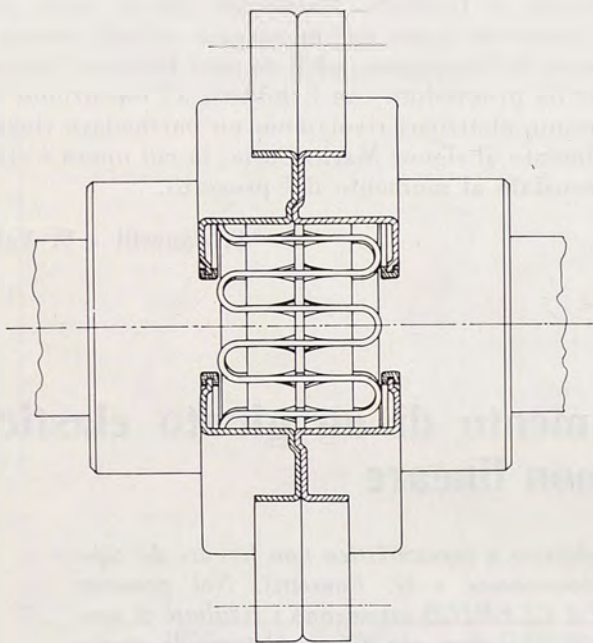


Fig. 1 - Vista laterale parzialmente sezionata di un giunto Bibby di tipo commerciale.

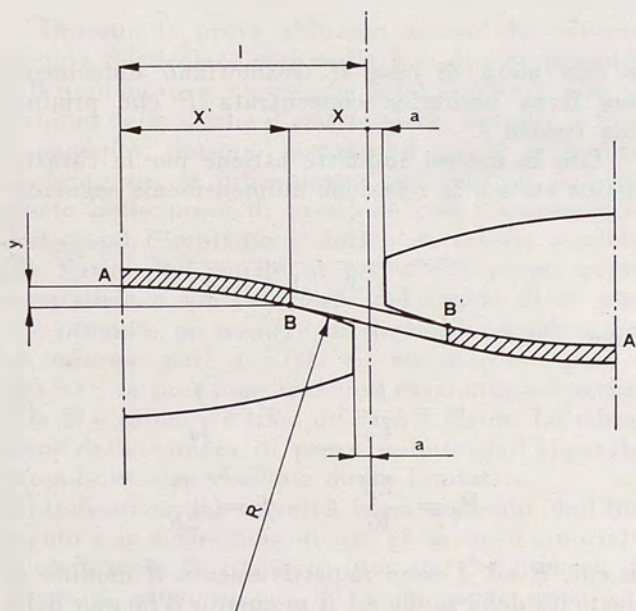


Fig. 2 - Sviluppo in un piano di una coppia di denti di un giunto Bibby e relativa molla a lamina, in una generica posizione deformata.

mentre per $P \geq k/a$ e $\varphi \geq \varphi_0$ si ha:

$$\varphi = (1 - \alpha^2) + \frac{2}{3} \alpha^3 \psi \quad (5)$$

G. Favretti [2] basandosi sui risultati di [1], in particolare sull'espressione (1) della caratteristica statica sotto forma adimensionale, mediante il metodo di Ritz, studia le oscillazioni forzate simmetriche ed asimmetriche del giunto Bibby, giungendo per le stesse a soluzioni approssimate, le quali non sono state verificate sperimentalmente.

Non sembra pertanto privo di interesse studiare sperimentalmente il comportamento statico e dinamico del giunto Bibby, al fine di completarne lo studio analitico già effettuato e nel contempo valutare l'approssimazione dei risultati teorici ottenuti, analizzando l'influenza di grandezze non tenute in conto negli studi precedenti. Tale studio è appunto l'oggetto del presente lavoro.

2. ATTREZZATURA SPERIMENTALE.

L'attrezzatura usata per le prove sui giunti, progettata dagli scriventi, è rappresentata nelle fig. 3, 4 e 5. Essa è stata realizzata anche in previsione di prove dinamiche da effettuarsi sui giunti stessi e consente di effettuare prove, sia su giunti di tipo commerciale, sia su giunti di tipo sperimentale.

Tale attrezzatura è costituita da una piastra 1 fissa (a sinistra nella fig. 5) e da un perno 2 oscillante (a destra nella stessa figura) a ciascuno dei quali è fissato uno dei due semigiunti 3A e 3B di cui è formato il giunto in prova 3. Il perno 2 è sopportato da due cuscinetti volventi che sono alloggiati in fori di altre due piastre 4 e 5. Mediante la leva 6, fissata anch'essa alla testa del perno 2 e opportuni pesi può venire applicato al semigiunto 3B un momento torcente, che genera la rotazione relativa dei due semigiunti.

Un accurato montaggio dei due semigiunti, unitamente ad una notevole facilità di montaggio e smontaggio, è realizzato mediante il perno 7 che si inserisce nel semigiunto 3A e il tratto di estremità del perno 2 che si inserisce nel semigiunto 3B. Differenti distanziali come l'8 consentono di variare la distanza assiale fra i due semigiunti per realizzare prove con diversi valori del parametro a della fig. 2.

I pesi applicati alla leva generano, oltre al momento torcente, una forza radiale sul perno 2, la quale viene, per la maggior parte, assorbita dal cuscinetto che si trova più vicino alla testa del perno stesso, sia a causa della posizione del cuscinetto stesso, sia a causa dell'elevata rigidità del complesso perno-cuscinetto. Soltanto una porzione trascurabile di tale forza può venire trasmessa alle molle del giunto.

La rotazione relativa dei semigiunti, prodotta dal momento applicato come prima indicato, è

stata misurata mediante un clinometro di precisione della ditta Hilger & Watts, che aveva una sensibilità pari a 2".

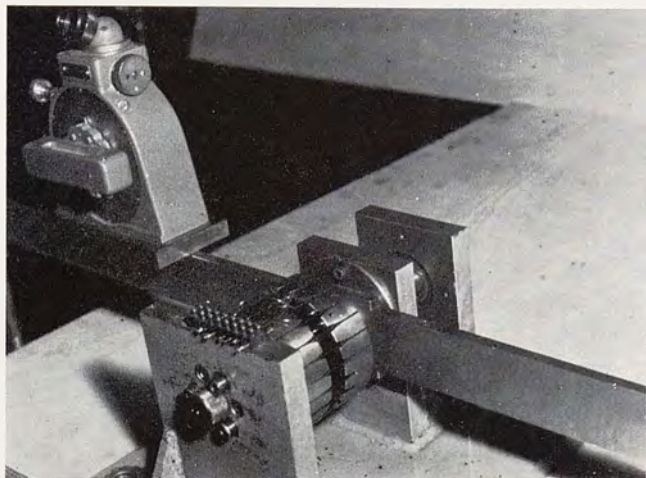


Fig. 3 - Fotografia dell'attrezzatura sperimentale

Le prove sono state eseguite in primo luogo su un giunto di tipo commerciale (fig. 1) ed in seguito su un giunto di tipo sperimentale i cui dettagli costruttivi sono visibili nella fig. 6. Si è proceduto in questo modo poichè, essendo i risultati delle prime prove poco ripetibili e molto diversi da quelli teorici, si è pensato che tali differenze fossero imputabili alla scarsa precisione di esecuzione che in genere si riscontra negli organi di macchine reperibili in commercio.

Il giunto sperimentale comprende due semigiunti perfettamente simmetrici i cui denti sono stati ricavati di sbalzo, affinché i fianchi potessero essere lavorati con notevole precisione mediante fresatura con utensile sagomato.

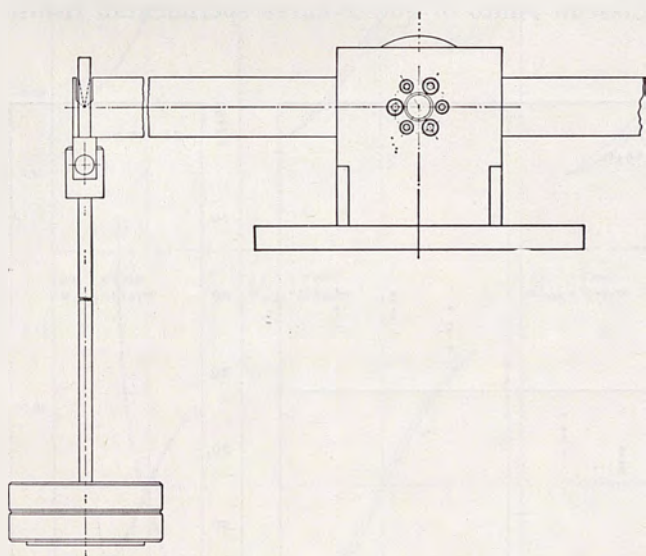


Fig. 4 - Vista laterale dell'attrezzatura sperimentale.

A differenza dei giunti del commercio, tale giunto non ha un'unica molla opportunamente sagomata, ma un numero di molle a lamina, pari al numero dei vani fra i denti. Tali molle, come si

rileva dalle figg. 3 e 6, hanno lunghezza tale da risultare incastrate per 15 mm.

Per poter effettuare prove in diverse condizioni e cioè con diverse distanze $2a$ fra i due semigiunti, sono state realizzate più serie di molle con lunghezze soddisfacenti al requisito già indicato.

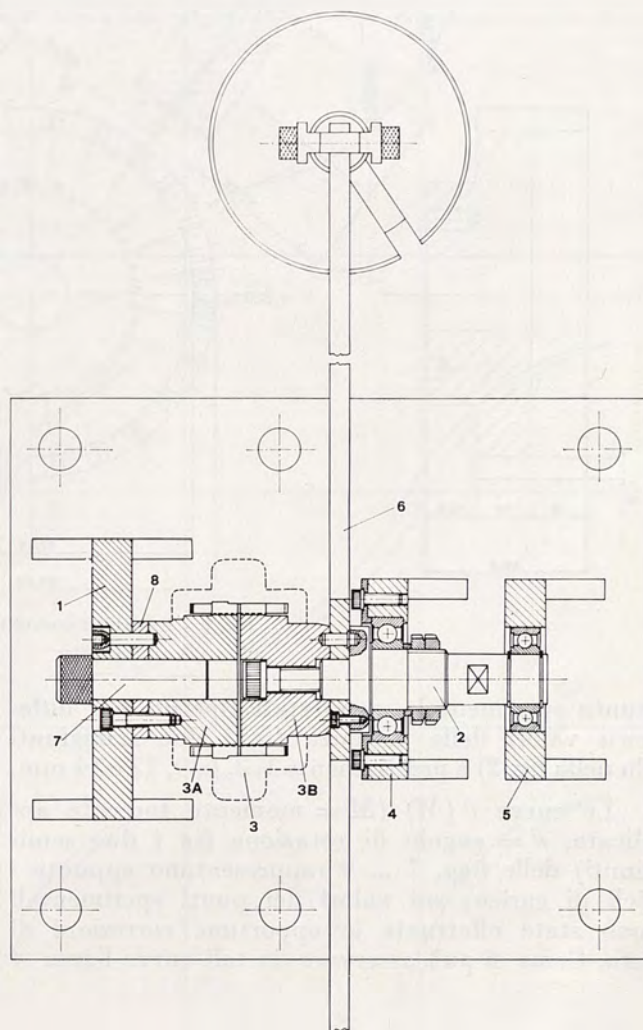


Fig. 5 - Sezione longitudinale dell'attrezzatura sperimentale.

3. MODALITÀ DI PROVA E RISULTATI SPERIMENTALI.

Sono state effettuate prove, sia sul giunto di tipo commerciale, rappresentato nella fig. 1, sia sul giunto sperimentale, rappresentato nella fig. 6.

Le prove sono consistite nel realizzare cicli completi di carico, ottenuti applicando successivamente mediante i due bracci della leva di carico, momenti torcenti di differente valore e misurando, contemporaneamente, mediante il clinometro di precisione, il valore dell'angolo di rotazione fra i due semigiunti. Il valore del momento torcente veniva fatto variare in ciascun ciclo fra $\pm 5 \text{ kgfm}$, $\pm 10 \text{ kgfm}$, $\pm 15 \text{ kgfm}$ e $\pm 20 \text{ kgfm}$. Per ogni valore del momento torcente massimo sono stati effettuati più cicli, sino ad ottenere un ciclo i cui punti sperimentali avessero valori con scostamenti pressochè trascurabili rispetto ai corrispondenti punti del ciclo precedente. Tali cicli, nel caso del

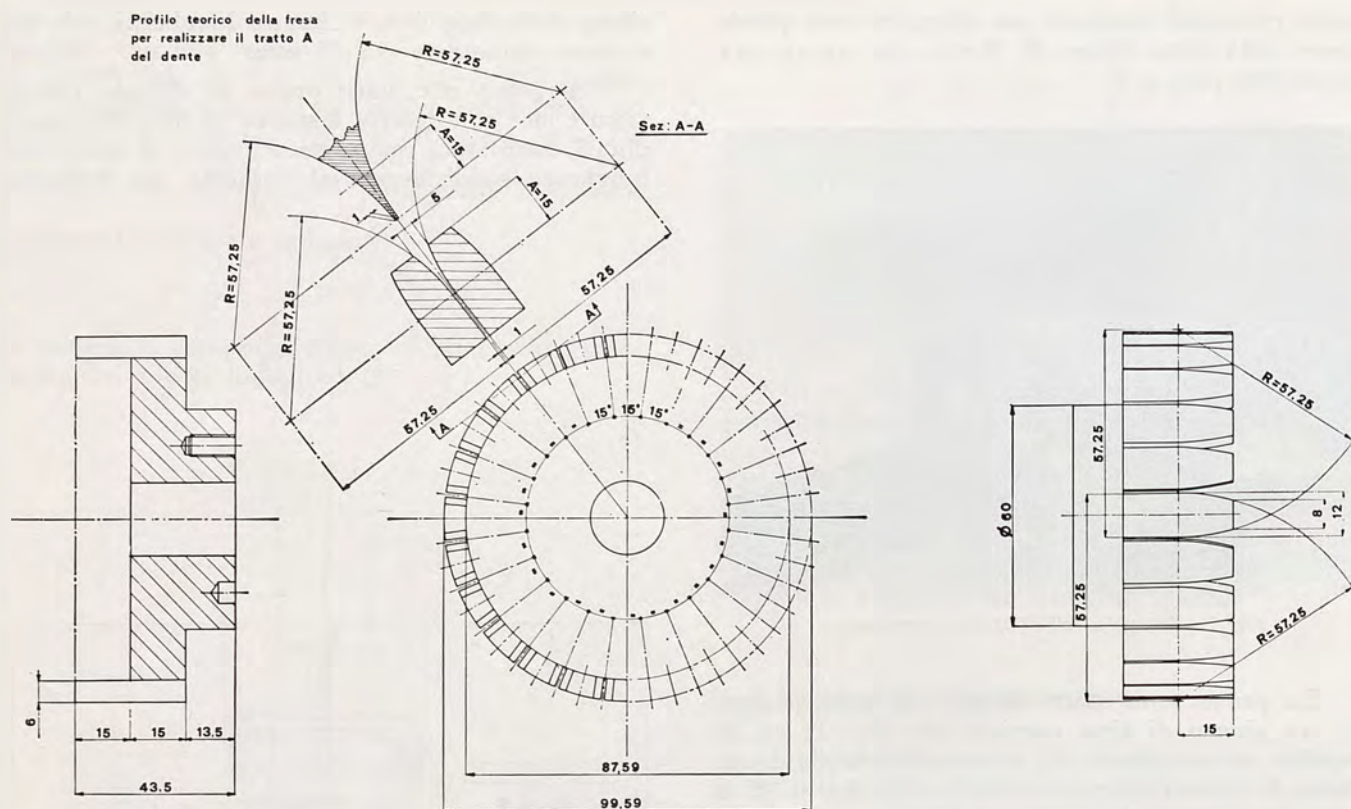


Fig. 6 - Particolari costruttivi del giunto Bibby sperimentale.

giunto sperimentale, sono stati ripetuti per differenti valori della distanza fra i due semigiunti ($2a$ nella fig. 2) e precisamente 1, 3, 6, 9, 12 e 14 mm.

Le curve $\vartheta(M)$ (M = momento torcente applicato, ϑ = angolo di rotazione fra i due semigiunti) delle figg. 7 ... 9 rappresentano appunto i cicli di carico; sui valori dei punti sperimentali sono state effettuate le opportune correzioni di zero. Come si può osservare da tali curve l'area A

della superficie racchiusa da ciascun ciclo aumenta col crescere del momento torcente massimo. La fig. 10 rappresenta l'andamento $A(\vartheta)$ per tutti i valori $2a$ scelti per le prove sul giunto sperimentale.

Per poter effettuare un confronto fra i risultati sperimentali ottenuti e i risultati della teoria di [1] sono state costruite le curve della fig. 11. Ciascun punto di queste curve sperimentali risulta

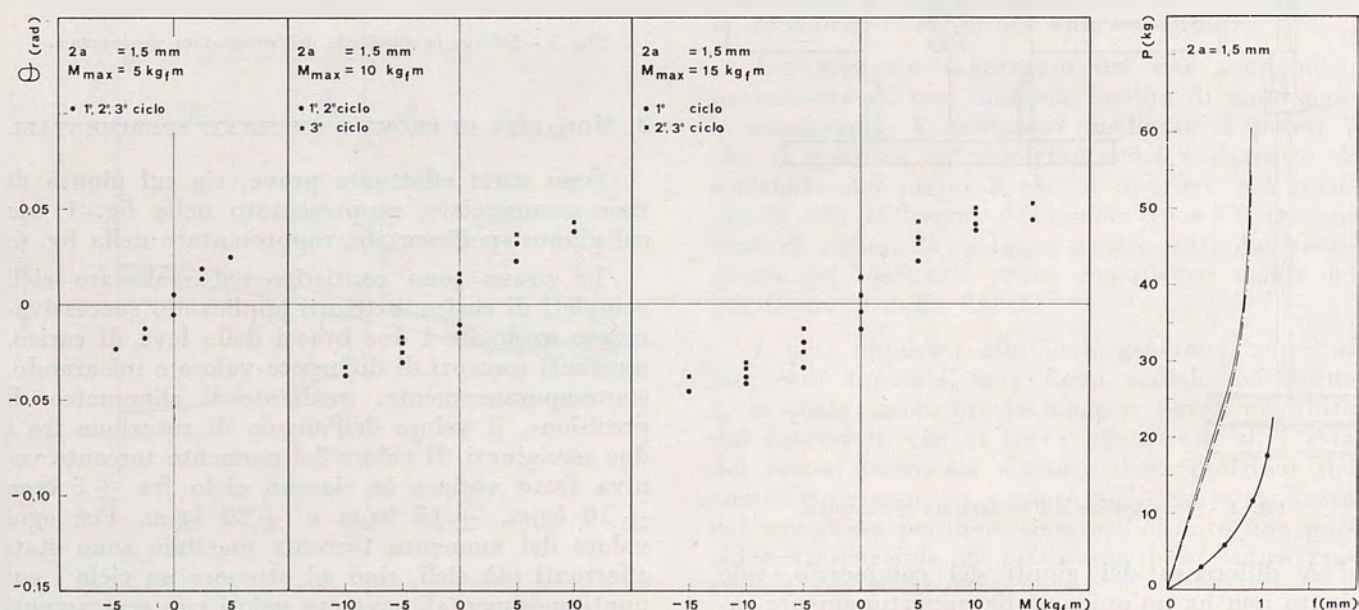


Fig. 7 - Risultati sperimentali sul giunto di tipo commerciale: cicli di carico $M(\vartheta)$ e caratteristica statica $P(f)$ teorica secondo [1], (a), teorica tenendo conto dell'influenza della torsione, (b), e sperimentale, (c).

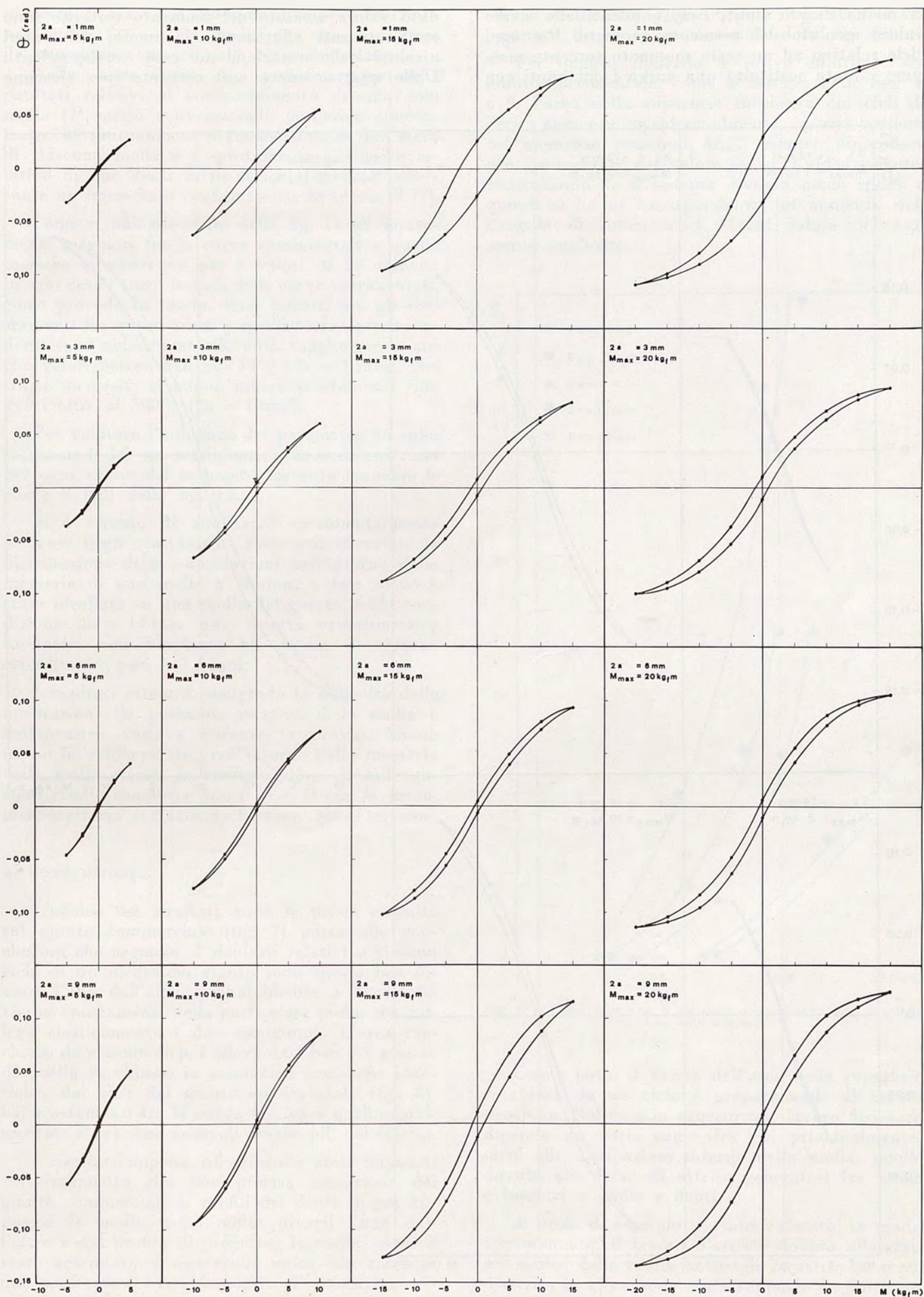


Fig. 8 - Cicli di carico M (ϕ) relativi al giunto sperimentale.

la media di più punti corrispondenti allo stesso valore assoluto del momento torcente. Per ogni ciclo relativo ad un certo momento torcente massimo è stata sostituita una curva i cui punti con

dato valore assoluto del momento torcente sono stati ottenuti effettuando la media dei valori assoluti delle rotazioni ad esso corrispondenti. Dalle quattro curve così ottenute (per ciascuna

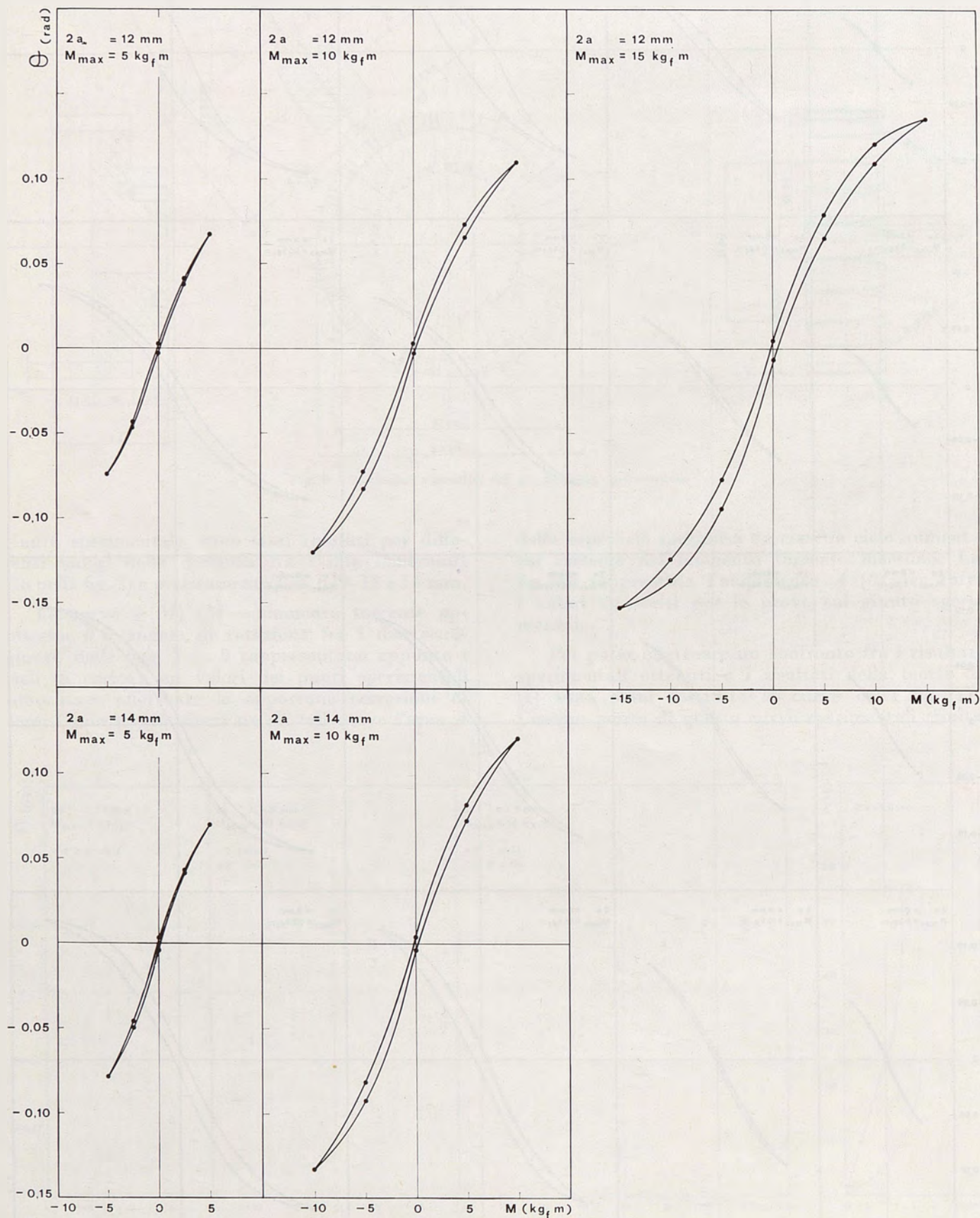


Fig. 9 - Cicli di carico M (ϕ) relativi al giunto sperimentale.

distanza $2a$ fra i due semigiunti) se ne è costruita una unica facendo la media per ciascun valore del momento torcente delle rotazioni relative.

Nella stessa figura si è preferito riportare i risultati relativi al comportamento di una sola molla (P carico convenzionale periferico concentrato che mutuamente si trasmettono le due metà di ciascuna molla e f spostamento periferico relativo di due denti sotto carico) per poter effettuare un immediato confronto con la teoria di [1].

Come si può osservare dalla fig. 11 gli scostamenti maggiori fra le curve sperimentali e quelle teoriche si ritrovano per i valori di $2a$ minori; in ogni caso i tratti iniziali delle curve sperimentali, come prevede la teoria, sono lineari, ma gli scostamenti fra questi tratti e quelli teorici corrispondenti sono abbastanza rilevanti, raggiungendo anche valori percentuali del 40% ($2a = 1$ mm). Nei tratti successivi si hanno invece scostamenti rilevanti oltre al 300% ($2a = 1$ mm).

Per valutare l'influenza del parametro $2a$ sulla rotazione ϑ dei due semigiunti, sono state costruite per ogni valore del momento torcente massimo le curve ϑ (2α) della fig. 12.

Si è cercato di analizzare sperimentalmente le cause degli scostamenti osservati, rilevando la distribuzione delle sollecitazioni nell'intorno della mezzeria di una molla a lamina; a tale scopo è stata incollata su una molla del giunto, nella condizione $2a = 14$ mm una rosetta estensimetrica fotoincisa con lunghezza di griglia di ciascun estensimetro pari a 1,5 mm.

I risultati ottenuti, malgrado la difficoltà delle misurazioni (la posizione relativa della molla e dell'incastro variava durante la prova), hanno messo in evidenza che, nell'intorno della mezzeria della molla stessa, la configurazione di sollecitazioni risulta composta di σ e di τ , il che fa presumere stati, sia di trazione e flessione, sia di torsione.

4. CONCLUSIONI.

L'analisi dei risultati circa le prove eseguite sul giunto commerciale (fig. 7) porta alle conclusioni che seguono. I risultati relativi a ciascun ciclo di un medesimo giunto sono spesso ben diversi l'uno dall'altro probabilmente a causa dei vistosi spostamenti della particolare molla che collega elasticamente i due semigiunti. L'area racchiusa da ciascun ciclo è rilevante e ben più grande di quella racchiusa, in condizioni pressoché identiche, dai cicli del giunto sperimentale (fig. 8). Gli scostamenti fra la curva teorica e quella sperimentale P (f) sono notevoli (anche più del 400%).

I risultati appena riferiti sono stati imputati verosimilmente alla non precisa esecuzione del giunto commerciale (i profili dei denti su cui appoggia la molla, sono molto diversi l'uno dall'altro e dal profilo di progetto; la molla, come è stato accennato, è una molla unica con spessore non uniforme e svergolamenti; gli incastri corrispondenti dei due semigiunti si trovano a di-

stanza differente) e per questa ragione è stato costruito il giunto sperimentale della fig. 6.

Per quanto riguarda le prove effettuate sul giunto sperimentale, come si osserva nelle figg. 8 e 9, l'area della superficie racchiusa dai cicli di carico aumenta considerevolmente, *caeteris paribus*, col momento massimo M_{max} , mentre diminuisce con l'aumentare del valore di $2a$. Evidentemente, aumentando $2a$ il sistema diventa meno rigido e quindi si ha in corrispondenza un aumento dell'angolo di rotazione ϑ a pari valore del momento applicato.

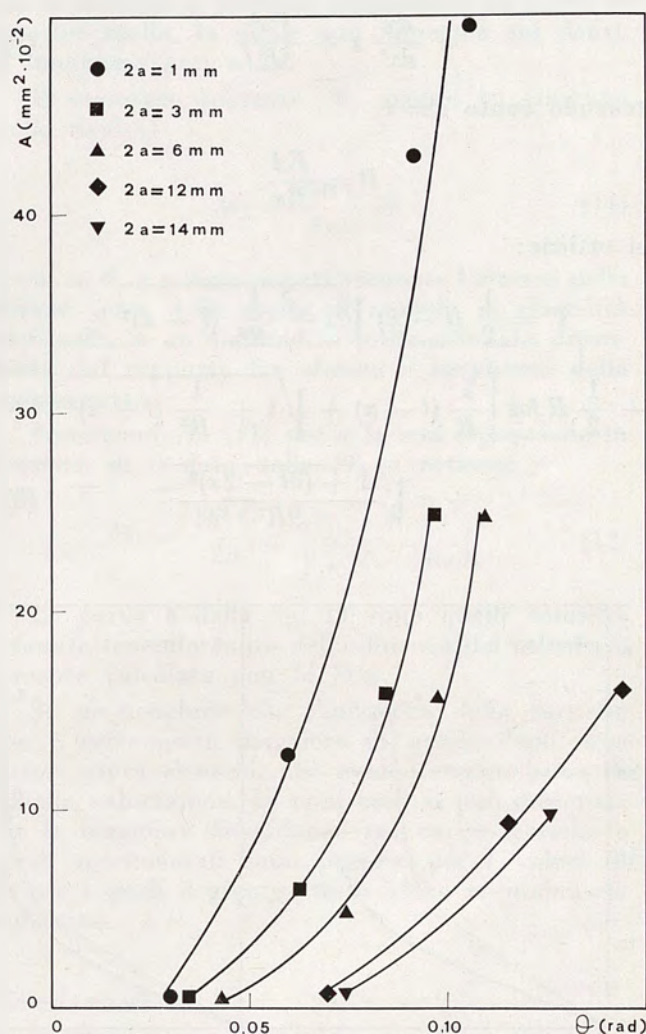


Fig. 10 - Curve delle aree A comprese nei cicli delle figg. 8 e 9 in funzione della rotazione

Com'è noto, il valore dell'area della superficie racchiusa da un ciclo è proporzionale al lavoro dissipato. Nel caso in oggetto tale lavoro dissipato dipende da varie cause fra cui principalmente, oltre alle dissipazioni interne della molla, quelle dovute alle forze di attrito generatesi fra molle e incastri e molle e denti.

A titolo di esempio, è stato valutato, in modo approssimato, il lavoro d'attrito dovuto allo strisciamento della molla entro gli incastri. Le forze d'attrito in gioco sono state supposte costanti per semplificare il problema.

In una posizione generica del giunto definita dall'angolo ϑ , la semilunghezza l' (fig. 2) di una molla deformata, con buona approssimazione, può ritenersi pari alla somma della lunghezza di un arco AB (fig. 2) di parabola:

$$\int_0^{x'} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx'}\right)^2} dx' \quad (6)$$

e della lunghezza dell'ipotenusa di un triangolo rettangolo avente cateti di lunghezza pari a x e a

$$\frac{dy}{dx'} x + \frac{Px^3}{3EJ} \quad (7)$$

tenendo conto che è

$$P = \frac{EJ}{Rx}$$

si ottiene:

$$l' = \frac{1}{2} (l-x) \sqrt{1 + \frac{1}{R^2} (l-x)^2} + \frac{1}{2} R \log \left[\frac{1}{R} (l-x) + \sqrt{1 + \frac{1}{R^2} (l-x)^2} \right] + x \sqrt{\frac{1 + (3l-2x)^2}{9R^2}} \quad (8)$$

Con semplici passaggi che per semplicità si omettono si trova per x l'espressione seguente:

$$x = \sqrt{3(l^2 - Rr\vartheta)} \quad (9)$$

Sostituendo quindi la (9) nella (8) si ricava l' funzione di ϑ .

Quando i due semigiunti rotano l'uno rispetto all'altro di un angolo ϑ si ha uno strisciamento Δl di ciascuna molla fra gli incastrì pari a:

$$\Delta l = 2(l' - l)$$

Tale strisciamento moltiplicato per una forza complessiva supposta costante al variare della rotazione ϑ (in realtà tale forza è la risultante di una distribuzione di pressioni con andamento parabolico moltiplicata per la superficie di contatto a cui sarà da aggiungere la forza che si produce in corrispondenza dello spigolo dal quale ha inizio il dente vero e proprio) darà il lavoro di attrito. Nel caso in esame, non ha tanto importanza il valore numerico della forza di attrito, quanto la sua variazione in funzione di ϑ . La variazione di Δl è stata diagrammata nella fig. 13; se si confronta tale curva con quella della fig. 10 si osserva, sia per $A(\vartheta)$, sia per $\Delta l(\vartheta)$, un andamento analogo.

Gli scostamenti fra curve teoriche e sperimentali della fig. 11, che, come si è detto, aumentano notevolmente col diminuire di $2a$, sono imputabili

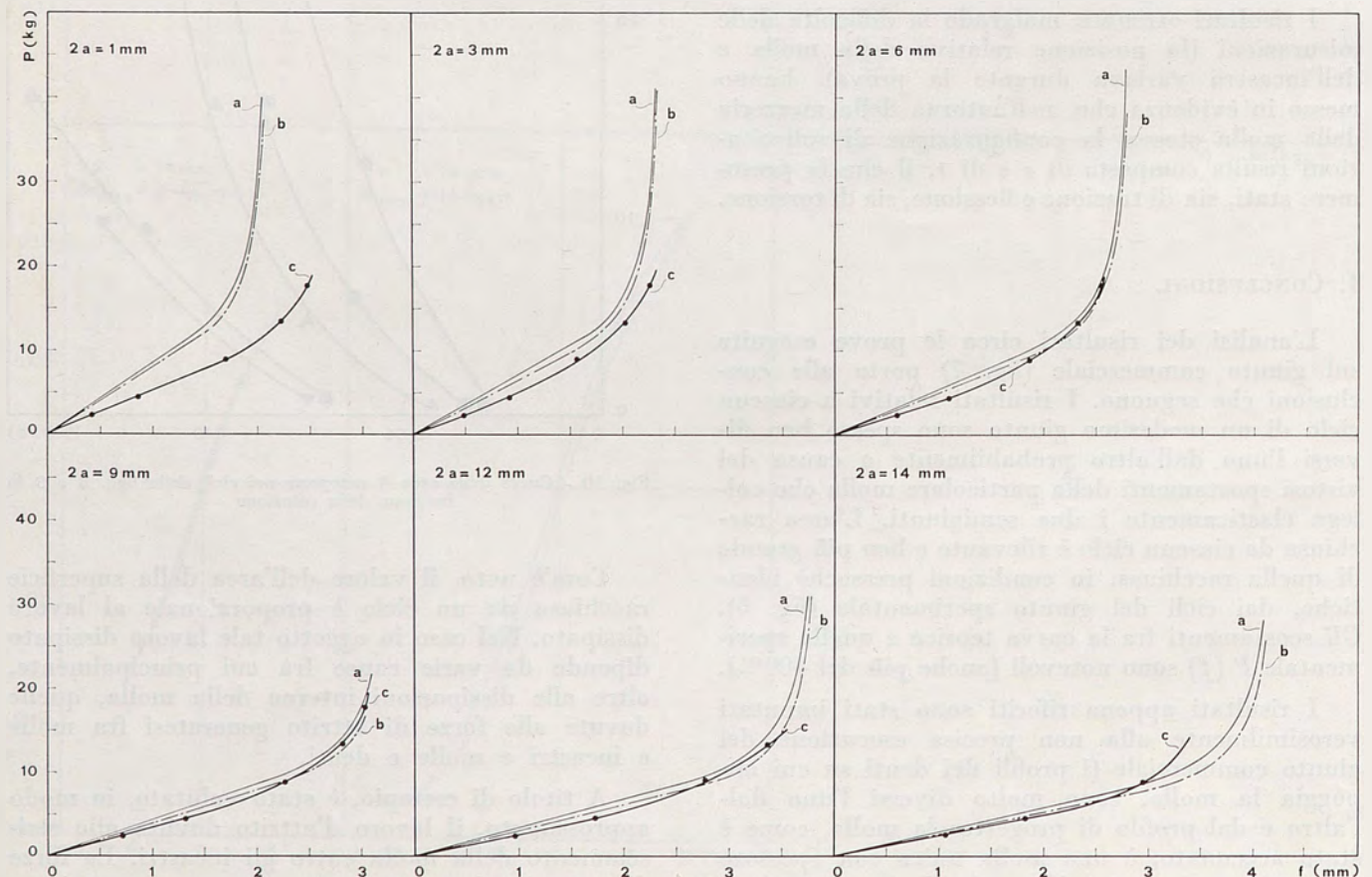


Fig. 11 - Caratteristica statica $P(f)$ teorica secondo [1], (a), teorica tenendo conto della torsione, (b), e sperimentale, (c).

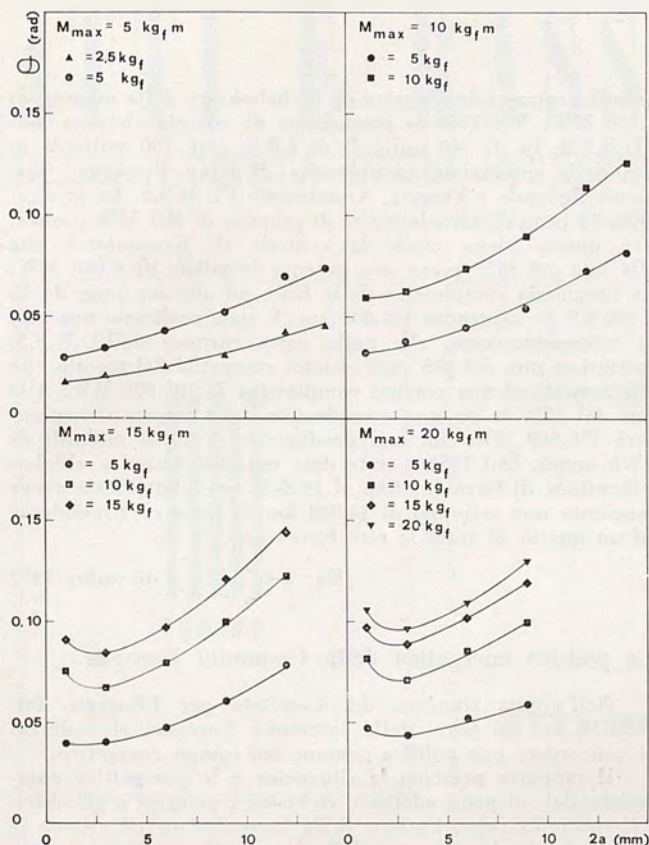


Fig. 12 - Influenza del parametro $2a$ sulla rotazione θ per i vari valori del momento torcente massimo.

ad alcuni fattori che la teoria di [1] non tiene in conto, quali: la torsione della molla, l'attrito fra molla e incastri e fra molla e denti, l'azione di impuntamento della molla sugli spigoli degli incastri, il fatto che le molle non iniziano tutte insieme ad adagiarsi sui relativi denti e il fatto che l'appoggio fra molla e dente non avviene, a causa

della torsione, su tutta la superficie libera della molla, ma soltanto in parte e in prossimità di uno spigolo.

Per quanto riguarda la torsione, si può osservare che l'analisi della distribuzione delle sollecitazioni nell'intorno della mezzeria di una molla ha consentito di rilevare che le molle stesse sono sollecitate a torsione in modo non trascurabile. Questi risultati sperimentali sono stati confermati da un'analisi teorica molto approssimata, che ha però il pregio di risultare semplice e immediata.

In base ad una ipotesi, che sembrerebbe essere confermata dall'analisi sperimentale, si suppone che si deformi a torsione unicamente la parte di ciascuna molla, la quale non appoggia sui denti, di lunghezza pari a $2x$.

Il momento torcente M_t agente su ciascuna molla risulta:

$$M_t = \frac{bh^3 G}{2\mu x} \theta \quad (11)$$

in cui h , G , e μ sono rispettivamente l'altezza della sezione retta della molla, il modulo di elasticità torsionale, e un parametro adimensionale dipendente dal rapporto fra altezza e lunghezza della sezione retta.

Sostituendo in (11) per x la sua espressione in funzione di θ data dalla (9) si ottiene:

$$M_t = \frac{bh^3 G}{2\mu} \cdot \frac{\theta}{\sqrt{3(l^2 - Rr\theta)}} \quad (12)$$

Le curve b della fig. 11 sono quelle teoriche ottenute tenendo conto dell'influenza del momento torcente calcolato con la (12).

Se ne conclude che l'influenza della torsione non è certamente maggiore di quella degli altri fattori sopra elencati, che evidentemente sono di difficile valutazione. In ogni caso si può osservare che le maggiori discordanze tra curve teoriche e curve sperimentali sono proprio per i valori di $2a$ per i quali il giunto stesso viene normalmente utilizzato.

RINGRAZIAMENTO.

Gli autori ringraziano il Prof. Renato Giovannozzi, Direttore dell'Istituto di Costruzione di Macchine del Politecnico di Torino per i consigli di cui è stato ben largo durante la stesura del presente lavoro, che è stato effettuato con il contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (contratto n. 70 0202207/115.697).

G. Bongiovanni - M. Clerico

[1] GIOVANNOZZI R., *Sul comportamento statico e dinamico di un giunto elastico a caratteristica non lineare*, «Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino», vol. 86, 1951-52.

[2] FAVRETTI G., *Comportamento di un giunto elastico a caratteristica non lineare soggetto ad oscillazioni forzate*, «Ingegneria Meccanica», n. 12, dicembre 1966.

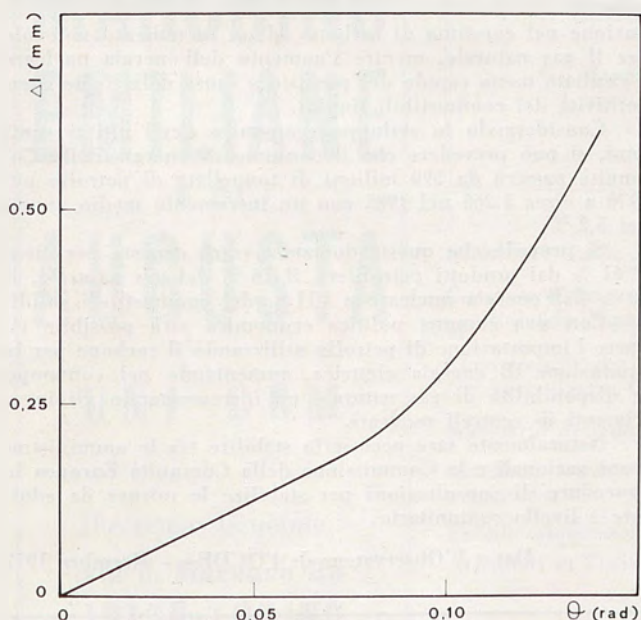


Fig. 13 - Andamento dello strisciamento Δl in funzione della rotazione relativa θ dei semigiunti.