

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 XXVI . N. 9-10 . SETTEMBRE-OTTOBRE 1972

SOMMARIO

ATTI DELLA SOCIETÀ

- Il corso di aggiornamento sulle costruzioni metalliche* . . . pag. 153
— G. M. Bo - *Aspetti della ricerca sul campo delle strutture in acciaio* . . . » 155
— *Statistica sulle risposte al sondaggio informativo sul corso di aggiornamento sulle costruzioni metalliche* . . . » 156

RASSEGNA TECNICA

- L. PERETTI - *Proposta di nuovo tracciato funzionale per l'autostrada tangenziale est di Torino* . . . » 157
Dagli Atti del Convegno A.I.D.A.A. del giugno 1972:
G. MAOLI - *Una possibile politica nel campo dei motori aeronautici* . . . » 166
G. FEO - *Un moderno laboratorio meccanico a supporto della progettazione di motori aeronautici* . . . » 168
G. CALIRI - *Determinazione del rendimento di combustione mediante analisi continua dei prodotti della combustione* . . . » 171
A. GERANZANI - *Analisi grafico-interattiva del campo di velocità intorno a profili di schiere per turbomacchine* . . . » 174
B. COCKSHUTT, G. VALLINI - *Ugelli propulsori-analisi sperimentale su modelli* . . . » 176
S. BRIGNONE - *Condition monitoring. Una nuova tecnologia per la manutenzione dei motori aeronautici* . . . » 178
M. PORRU - *Evoluzione degli studi concernenti lo Space Tug Europeo* . . . » 182
M. MARINI - *Riduzione della rumorosità dei getti* . . . » 185

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.

Publicazione 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.

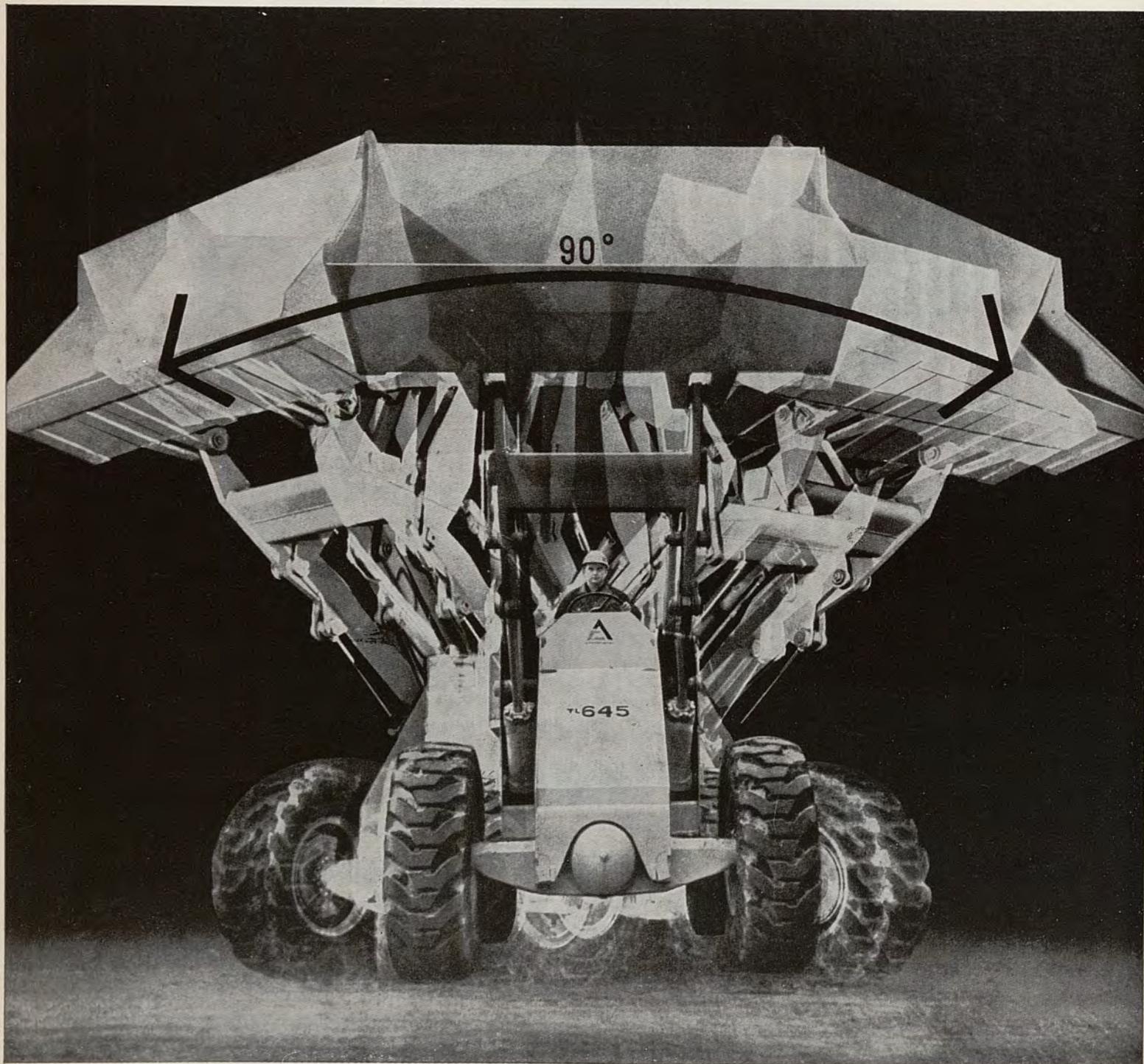
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III/70

macchine per movimenti di terra



la Loro & Parisini presenta le nuove pale gommate articolate Allis-Chalmers con angolazione di 90°!

545 - 105 HP - capacità benna 1,35 mc
645 - 165 HP - capacità benna 1,90 mc
745 - 210 HP - capacità benna 2,70 mc



Distributori **LORO & PARISINI**

20144 Milano, Via Savona 129 - tel. 470101/470134
35010 Padova (Limena) Zona industriale, Via Unità d'Italia - tel. 67610
00162 Roma, Via della Lega Lombarda 34/36 - tel. 4952651/2/3
80143 Napoli, Via Santa Maria del Pianto, 80 - tel. 590.122



Il corso di aggiornamento sulle costruzioni metalliche

Si è svolto dal 7 marzo al 4 maggio 1972 il secondo dei Corsi di aggiornamento predisposti dalla nostra Società, cui hanno partecipato 120 Soci.

Esso si è svolto secondo il programma seguente:

martedì 7 marzo: Introduzione al Corso del Prof. Vittorino Zignoli, del Politecnico di Torino.

Problemi generali (Prof. Leo Finzi del Politecnico di Milano);

giovedì 9 marzo: Problemi di stabilità (Prof. Riccardo Baldacci dell'Università di Genova);

martedì 14 marzo: Piastre ortotrope a pareti nervate (Prof. Ing. Vittorio Nascé, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino);

giovedì 16 marzo: Evoluzione e situazione attuale della normativa sulle costruzioni in acciaio (Prof. Luca Sanpaolesi dell'Università di Pisa);

martedì 21 marzo: La torsione non uniforme nelle sezioni sottili aperte (Prof. Federico Mazzolani dell'Università di Napoli);

giovedì 23 marzo: Aspetti progettuali delle costruzioni in acciaio (Prof. Giovanni Morabito dell'Università di Roma);

martedì 28 marzo: Materiali complementari nelle strutture metalliche (Prof. Giacomo Donato dell'Università di Pisa);

giovedì 6 aprile: Sistemi acciaio-calcestruzzo (Prof. Ing. Giuseppe Guarnieri della Facoltà d'Ingegneria del Politecnico di Torino);

martedì 11 aprile: Problemi costruttivi nelle strutture da ponte (Prof. Ing. Vittorio Nascé della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino);

venerdì 14 aprile: Evoluzione degli edifici con struttura d'acciaio come conseguenza degli sviluppi tecnologici (Ing. Giorgio Romaro, Libero Professionista, Padova);

martedì 18 aprile: Metodi di calcolo delle strutture spaziali (Prof. Arch. Salvatore Di Pasquale dell'Università di Firenze);

giovedì 20 aprile: Giunzioni bullonate e nuove soluzioni per impalcati da ponte (Prof. Ing. Gianmario Bo della Facoltà d'Ingegneria del Politecnico di Torino);

venerdì 28 aprile: Proiezione di documentari sul montaggio di fabbricati industriali realizzati dalla Divisione Costruzioni e Impianti Fiat - Discussione.

martedì 2 maggio: Problemi di progettazione delle grandi strutture (Prof. Ing. Fabrizio De Miranda, Presidente del Collegio Tecnici dell'Acciaio).

giovedì 4 maggio: Tavola rotonda conclusiva. Discussione dei quesiti posti dai partecipanti.

Le conferenze 1, 2, 3 e 4 hanno avuto luogo presso la Sala dei duecento all'Unione Industriale - Via Fanti 17. Le successive presso la Sede sociale.

Durante il Corso è stata distribuita agli iscritti l'annunciata documentazione, tra cui il testo integrale delle nuove Norme, le dispense relative a numerose conferenze, i testi della collana «progettare Acciaio», a cura dell'Italsider, oltre a materiale informativo a cura dell'UISAA e di costruttori in acciaio.

La tavola rotonda conclusiva

Il 4 maggio, alle ore 21, si è tenuta presso la Sede sociale la Tavola Rotonda conclusiva, cui hanno partecipato i relatori Prof. Giacomo Donato, Prof. Gianmario Bo, Prof. Giuseppe Guarnieri, Ing. Giorgio Romaro, Ing. Ivo Daddi.

Il Presidente Bonicelli ha porto il saluto della Società ai conferenzieri ed ai partecipanti, rin-

graziando in particolare l'Italsider per la collaborazione alla realizzazione del Corso.

Il Vice Presidente Rossetti, moderatore della Tavola Rotonda, ha anzitutto portato il saluto dei professori Letterio Donato e Guido Oberti, impossibilitati ad intervenire, ha esposto il programma della seduta e dato la parola al Dr. Mezzadri dell'Italsider, che ha ringraziato la Società per l'iniziativa e sottolineato l'interesse di questi Corsi di aggiornamento.

Successivamente il Prof. Gianmario Bo ha esposto la sua relazione: «Aspetti della ricerca nel campo delle strutture in acciaio», il cui testo è riportato qui appresso.

L'Ing. Ivo Daddi ha poi illustrato sinteticamente il tema: «Caratteristiche dei tipi di acciaio attualmente disponibili», mettendo in luce il costante progresso delle caratteristiche fisico-meccaniche degli acciai anche in rapporto al loro costo.

Si è aperta la discussione su di un quesito posto in precedenza da alcuni Soci: settori di competi-

tività della costruzione metallica in rapporto alle altre tecniche costruttive. Hanno risposto nell'ordine il Prof. Giacomo Donato e l'Ing. Giorgio Romaro.

Il Prof. Giacomo Donato ha sottolineato vari aspetti. In primo luogo vi sono opere che non possono essere realizzate che con l'impiego dell'acciaio, ha detto, ed ha fatto vari esempi; ritiene che è possibile certamente una convivenza tra acciaio e costruzioni in cemento armato e cemento armato precompresso, come è sempre più impiegata la soluzione mista in acciaio e calcestruzzo in diverse opere.

Ha sottolineato, di seguito, l'affinità della costruzione metallica ai processi di industrializzazione e pertanto il suo avvenire più sicuro in relazione alla tendenza delle maestranze a preferire il lavoro in stabilimento, con susseguente montaggio demandato ad altri specialisti, che non la vita del cantiere tradizionale. Pertanto maggiore facilità per il futuro anche immediato a reperire maestranze per tali attività.

Da non sottovalutare poi la tendenza alla concezione dei progetti con regia globale fino all'esecuzione mediante la fornitura di opere finite chiavi in mano, tendenza che va confermandosi sempre maggiormente.

L'Ing. Giorgio Romaro, da parte sua, ha così risposto:

Le strutture in acciaio sono per natura costituite essenzialmente da prefabbricati costruiti industrialmente in officina e di rapido montaggio in opera.

Poichè la tendenza del mercato è verso la prefabbricazione, la tendenza è anche verso le strutture in acciaio.

Questa tendenza è dovuta al fatto che il costo del manufatto prefabbricato e quindi industrializzato, resta praticamente invariato nel tempo se non oggettivamente ridotto (ad esempio le automobili) il prezzo dei manufatti costruiti più o meno artigianalmente in opera, hanno la tendenza a crescere con il crescere del livello di vita (e quindi delle retribuzioni degli operatori) e quindi la tendenza di un paese ad elevare il livello di vita è di conseguenza, nel campo edilizio, la tendenza a costruire in acciaio.

Sugli aspetti architettonici e sui materiali complementari è stato posto un quesito sui problemi derivanti dall'accostamento dell'opera in acciaio alle architetture dei centri storici, con riferimento al progetto illustrato dal Prof. Giacomo Donato nel corso della sua conferenza, relativo alla Mensa universitaria di Pisa.

In proposito il Prof. Donato, con molta vivacità e calore, ha detto che, poichè noi viviamo la nostra epoca, dobbiamo esprimerci con il linguaggio che la caratterizza. Non ci deve essere più posto per concezioni che degradano le nostre città, accentuandone aspetti di moda da riviste femminili, meglio sbagliare ma con i mezzi di oggi. Salvare gli edifici di vero valore architettonico di altre epoche ed anche salvare i valori connessi al con-

tinuum di ambiente, restaurare, ma non costruire ex-novo edifici con facciate antiche e all'interno moderni congegni dell'architettura contemporanea.

Una lastra di vetro continua, espressione al limite di un'architettura di oggi, può meglio fare riflettere e specchiare i veri valori di architetture limitrofe di epoche remote.

Circa la difficoltà d'approvazione da parte delle Autorità comunali e Sovrintendenza per la costruzione della Nuova Mensa Universitaria per 30.000 posti, in prossimità della notissima piazza dei Cavalieri, nel Centro Storico di Pisa, il Prof. Donato ha sottolineato che, proprio in virtù dei concetti esposti al punto precedente, detta architettura di vetro e metallo è stata accolta con entusiasmo al punto che, in proposito, sui giornali « La Nazione » del 28 aprile 1972 e « Il Telegrafo », il Rettore Magnifico Prof. A. Faedo, attuale Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ha sottolineato con il Sovrintendente, in una riunione del Consiglio di Amministrazione dell'Università di Pisa, che come oggi vengono a vedere la piazza dei Cavalieri, campus universitario della Città-Università, in seguito verranno anche per vedere la nuova realizzazione dell'Università di Pisa nel campo delle iniziative di carattere sociale.

Sui problemi della protezione antincendio e su altri aspetti tecnologici delle strutture metalliche e delle strutture miste in acciaio calcestruzzo, si apre la fase finale della discussione con interventi di numerosi Soci e dei relatori Guarnieri, Bo e Daddi. L'Ing. Giorgio Romaro riepiloga e conclude così la discussione sui vari punti trattati:

a) problema incendio.

Gli interventi di altri oratori mi sono sembrati più documentati dei miei, comunque a mio avviso il problema non è così diverso nell'acciaio dal cemento armato, poichè anche le strutture in cemento armato non resistono bene agli incendi. Mi sembrerebbe giusto che il legislatore curasse più la sicurezza delle persone che non il fatto che l'edificio non crolli, poichè, anche dalla sola lettura dei giornali, è acquisito che le morti conseguenti ad un incendio sono nella stragrande maggioranza dovute ad asfissia ed ustioni e non al crollo dell'edificio.

b) questione montaggio-smontaggio ricupero.

L'edificio in acciaio è senz'altro l'edificio dell'avvenire poichè possiamo senz'altro affermare che l'acciaio è un materiale riciclabile, mentre edifici in cemento armato, così come contenitori in plastica non biodegradabili, saranno un grosso problema per il futuro che dovrà rinnovarsi in continuazione.

c) aspetti tecnologici (giunti, moduli unificati) ed indirizzi futuri.

Come è stato detto le tecnologie sono in continua evoluzione. Ritengo che le più grandi trasformazioni siano funzione degli sviluppi tecnologici che incidono sulle giunzioni dei pezzi e quindi sul loro montaggio in opera, perchè, come ho

detto al punto a), l'incidenza sul costo in avvenire sarà data sempre più dai tempi di montaggio.

d) strutture miste.

Le strutture miste, per quanto detto al punto c) sono caratteristiche di un periodo di transizione,

e, se pure in certi casi, convenienti, lo saranno sempre meno in avvenire.

Infine, sull'evoluzione della ricerca nel settore delle strutture in acciaio, il Prof. Gian Mario Bo ha tenuto la relazione che segue:

Aspetti della ricerca sul campo delle strutture in acciaio

La costruzione metallica ha avuto nel recente passato, uno sviluppo molto rapido, legato alla introduzione di nuove tecnologie di costruzione, all'estensione dei settori di impiego tradizionali, all'apertura di nuovi campi di impiego dell'acciaio.

La gamma degli acciai da costruzione disponibili per il progettista si è considerevolmente allargata agli acciai con resistenze meccaniche molto elevate, resistenti alla corrosione e all'usura. Esempi tipici, ormai già a larga diffusione, i T1, il Corten, l'It-Acor.

Le lavorazioni di officina sono diventate molto più automatiche: sono ormai di corrente impiego linee continue di ossitaglio e di saldatura, apparecchiature automatiche di tracciamento, taglio e foratura. La profilatura a freddo ha enormemente aumentato la gamma di profili leggeri disponibili per le costruzioni.

Le tipologie costruttive odierne rivelano chiaramente lo sviluppo della costruzione metallica.

Si sono rese oggi possibili costruzioni di notevole ardire, nel campo dei fabbricati a grande numero di piani, delle coperture di grandi luci, sia a struttura reticolare spaziale, sia a tensostruttura, dei ponti stradali, a struttura mista, strallati, sospesi.

Realizzazioni di notevole impegno sono state rese possibili non solo dalla disponibilità di acciai di qualità e dall'introduzione di tecniche più scaltrite di lavorazione. Si è reso e si rende tuttora necessario un poderoso sforzo di ricerca sia teorica, sia sperimentale sulle costruzioni metalliche.

Compito di questa ricerca è di conoscere le possibilità di impiego del materiale base: si pensi per esempio all'importanza e alla complessità di studio dei fenomeni di fatica negli acciai, soprattutto se di elevata resistenza, fortemente sollecitati.

È necessario affinare la conoscenza degli effetti dovuti alle operazioni tecnologiche, in vista di stabilire le corrette modalità di impiego del materiale.

Le maggiori prestazioni degli acciai ad elevate caratteristiche meccaniche, richiedono una più esatta conoscenza dei carichi d'esercizio, sia statici, sia variabili nel tempo.

Strutture di nuovo tipo richiedono indagini approfondite particolari: ad esempio l'introduzione nelle travi a cassone delle lamiere di piccolo spessore irrigidite, comporta la soluzione di problemi di instabilità e di fatica ancor oggi non completamente chiariti.

Un riflesso abbastanza significativo dell'esten-

sione della ricerca nel campo delle costruzioni metalliche è fornito dall'aumento sia in mole sia in complessità dei regolamenti sulle costruzioni metalliche. A questa tendenza non fanno eccezione neanche le norme italiane CNR - UNI 10.011.

Il progettista di strutture metalliche si trova bensì di fronte a nuove possibilità molto ampie e spesso insospetate; è però frenato nell'utilizzazione dalla esigenza di una maggior preparazione e dal maggior onere di calcolo che la redazione di un progetto comporta.

Un interessante indirizzo di ricerca tecnologica, che il « Servizio Studi e Ricerche » della Soc. Italsider, ha recentemente intrapreso, è volto a facilitare la progettazione delle strutture metalliche.

La ricerca si propone di fornire la tipizzazione dei particolari costruttivi che ricorrono più frequentemente nelle strutture metalliche: un esempio tipico è rappresentato dalle giunzioni trave-colonna e trave-trave realizzate con squadrette bullonate.

Altro indirizzo di studio è l'ordinamento dei diversi metodi di calcolo degli elementi strutturali, fissandone i procedimenti di verifica ed i limiti di validità di ciascuno: in questo campo riveste particolare interesse, ad esempio, il problema della stabilità delle anime sottili di travi alte ad I, con o senza irrigidimenti.

Lo scopo di queste ricerche, a somiglianza di quanto già disponibile per il progettista di altri paesi, è di fornire serie precalcolate degli elementi costruttivi correnti sì da renderne automatica la progettazione e permettere al progettista di dedicarsi ai problemi più importanti riguardanti il progetto generale delle strutture.

La ricerca tecnologica non può però limitarsi all'organizzazione delle conoscenze attuali della tecnica nel campo delle costruzioni metalliche. È essenziale l'attenzione continua a soluzioni costruttive che si presentino interessanti sia per nuovi campi d'impiego dell'acciaio, sia per un miglioramento delle tecniche costruttive attuali.

Nella fotografia di fig. 1 è visibile un modello di piastra ortotropa, adatta per impalcati da ponte, costituita da due lamiere, una piana superiore, una piegata inferiore, collegate con bulloni ad alta resistenza. La piastra può essere ottenuta con procedimento continuo in elementi standard, riducendo l'onere di saldatura delle ordinarie piastre ortotrope.

Attualmente il prototipo è in prova presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma.

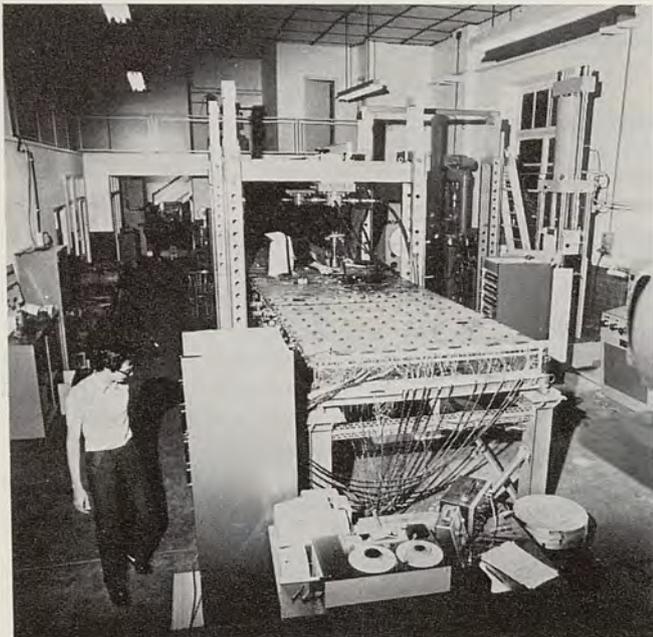


Fig. 1

Un altro modello di impalcato, formato da tubi sagomati, brevettati dalla Soc. Dalmine, è illustrato nella fotografia di fig. 2. Nella fotografia è nettamente visibile l'impalcato di tubi affiancati, gli spinatti d'estremità per il collegamento assiale dei tubi, le attrezzature di applicazione dei carichi statici, ottenuti con martinetti oleodinamici contrastanti su un telaio.

Le prove, statiche e a fatica, su impalcato nudo e rivestito, sono state condotte presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni del Politecnico di Torino, Facoltà d'Ingegneria.

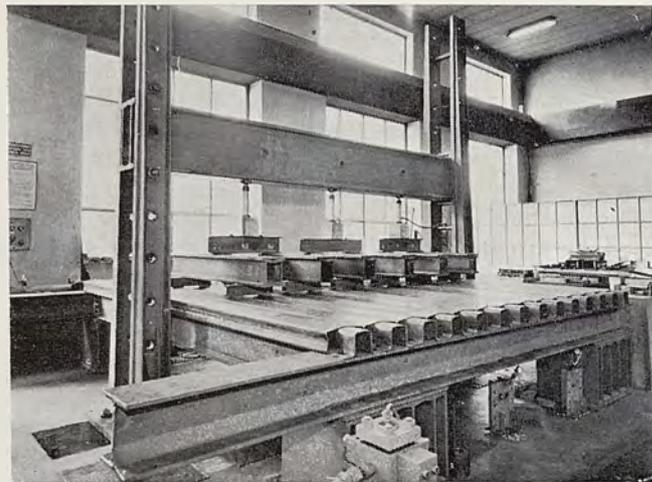


Fig. 2

Lo studio di nuovi tipi o procedimenti di costruzione non esaurisce il problema della ricerca tecnologica della costruzione metallica. Poichè si tratta di tipologie costruttive tipicamente prefabbricate, risulta estremamente importante l'accuratezza e completezza di progettazione, la scelta preventiva delle strutture di completamento e degli impianti, il coordinamento completo dei tempi di esecuzione. Alla soluzione dei problemi derivanti da queste esigenze è strettamente legato lo sviluppo delle costruzioni metalliche. Essi rappresentano quindi il più notevole campo di ricerca tecnologica, molto vasto perchè coinvolge settori costruttivi molto diversi fra loro, epperò di importanza fondamentale per una maggior diffusione della costruzione di acciaio.

Gian Mario Bo

Statistica sulle risposte al sondaggio informativo sul corso di aggiornamento sulle costruzioni metalliche

Come per il precedente Corso, è stato anche ora proposto un questionario, a cui ha risposto circa il 30 % dei partecipanti, essendo il medesimo stato distribuito durante l'ultima seduta. Ecco le risposte:

Tema del Corso

Nel Corso è stato presentato un panorama di diversi argomenti: Le è parso opportuno?

Sì 56 % NO 4 % Astenuti 39 %

Oppure avrebbe preferito un Corso monografico?

Sì 30 % No 4 % Astenuti 65 %

Durata ed impegno

La durata di circa due mesi secondo Lei è:

giusta 60 %; troppo breve 13 %;
troppo lunga 26 %.

L'impegno di due sere settimanali è:

ragionevole 86 %; eccessivo 13 %;
scarso —.

Esposizione delle materia

L'esposizione dei conferenzieri, in generale, Le è sembrata:

chiara ed esauriente 60 %;
troppo semplice 17 %;
troppo accademica 17 %; astenuti 4 %.

Dispense e materiale documentario

Le dispense ed il materiale di documentazione distribuito sono stati, a Suo avviso:

sufficienti 60 %; scarsi 26 %;
abbondanti 6 %; astenuti 8 %.

Costo del Corso

La quota di iscrizione ha potuto essere contenuta grazie al contributo della Società e dell'Ital sider.

Parteciperebbe a futuri Corsi qualora la quota fosse sensibilmente più elevata e cioè corrispondente al reale costo complessivo del Corso?

Sì 47 %; No 13 %.

Se la somma supera L. 20.000 - No 17 %
Astenuti 19 %

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.

Proposta di nuovo tracciato funzionale per l'Autostrada tangenziale Est di Torino

LUIGI PERETTI propone un nuovo, finora inedito, tracciato di massima per l'Autostrada tangenziale Est di Torino, che procede lungo il margine orientale della zona urbana edificata, con un tronco di 6,4 km in galleria sotto i rilievi delle colline oltre il fiume Po.

Dal confronto con altri tracciati — già resi noti dai progettisti — correnti all'aperto o in galleria artificiale sulle sponde del fiume, oppure sviluppati attraverso ed oltre la collina torinese, risalta l'ottimale funzionalità del nuovo percorso proposto, agibile sia dal traffico extrametropolitano, sia per un rapido accesso al centro urbano da Est.

Le condizioni geolitologiche delle formazioni collinari, interessate dalle gallerie, sono specificamente favorevoli alla rapida esecuzione dei lavori in sotterraneo mediante attrezzature ordinarie; ne conseguirebbe un costo globale per la realizzazione della Tangenziale Est non superiore a quelli prevedibili per gli altri tracciati.

1. Funzione viabile della Tangenziale Est.

La Tangenziale Est della Città di Torino, di esecuzione indilazionabile e ormai molto prossima, concluderà l'anello autostradale in parte ultimato, in parte in corso di costruzione, nel tratto circostante da tre alti all'area urbana entro il territorio della prima cintura. La Tangenziale Est assolverà tuttavia una funzione viabile differente da quella delle Tangenziali Sud e Nord.

Di fatto, la grande viabilità extraurbana nella regione torinese, da sempre e tuttora, è stata strettamente condizionata — così come tutti gli altri aspetti urbanistici — dalle condizioni geologiche e dal conseguente assetto geomorfologico. Si svolge per due terzi del cerchio d'orizzonte nella pianura padana, più precisamente sulla piatta conoide d'alluvione fluvio-glaciale accumulata e rielaborata dalle acque del F. Dora Riparia durante l'Era Quaternaria. Con pendenza uniforme, quasi insensibile, dalle colline dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli al corso collettore del F. Po, delimitata lateralmente dai solchi erosivi del F. Stura di Lanzo e del T. Sangone, la conoide è contestata da terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi incoerenti, in letti suborizzontali, agevolmente escavabili all'aperto su fronti stabili. Ciò ha consentito una facile e rapida costruzione delle Tangenziali Sud e Nord, opportunamente avviate all'esterno e a discreta distanza dall'area urbana.

Al contrario, l'altro terzo dell'orizzonte a ridosso della città, da Moncalieri a San Mauro, è chiuso dai rilievi della Collina Torinese. Costituita da una potente pila di formazioni cenozoiche di deposito marino, sollevate e ripiegate in un'ampia

anticlinale, l'esogenia recente l'ha modellata a versanti accidentati e mediamente ripidi, cui corrisponde una viabilità rada e difficoltosa.

Ne consegue che la regione collinare ad Est di Torino, estesa fino al Monferrato ed alle Langhe, devia ai due lati le direttrici delle grandi linee di comunicazione: ferrovie, strade ordinarie, autostrade in esercizio o in progetto. Ma la forte riduzione locale del traffico non basta ad eliminare la necessità d'una grande e rapida via di scorrimento a levante della città, dove d'altra parte lo sviluppo dell'edilizia urbana, che ha occupato oltrepò la ristretta fascia pianeggiante in destra del fiume, ha saldato alla collina l'altro ostacolo al transito, rappresentato dall'area densamente edificata del centro civico.

La Tangenziale Est dovrebbe provvedere sostanzialmente all'allacciamento diretto e più breve delle autostrade provenienti dai trafori alpini, dal Piemonte nordorientale e dalla Lombardia con le autostrade per il litorale ligure (ai terminali di Genova, Savona, Albenga, ecc.), il Traforo del Ciriegia, il Piemonte sudorientale, evitando al flusso dei veicoli commerciali e turistici il periplo del semianello autostradale ad Ovest di Torino (Tangenziali Nord e Sud), per una lunghezza globale di circa 50 Km dal terminale Nord di Abbadia di Stura al terminale Sud di Tetti Bauducchi (Fig. 1).

È però da tenere in conto che il traffico sulla Tangenziale Est sarà alleggerito per il fatto che taluni collegamenti autostradali fra le località sopracitate possono escludere Torino, seguendo altri percorsi vicarianti più vantaggiosi: per esempio fra la Lombardia e la Liguria occidentale, fra la Valle d'Aosta e l'Emilia. Un ulteriore drenaggio

del traffico in questo settore verrà poi attivato, attirandolo verso Est, dall'Autostrada Voltri-Sempione, già in fase preesecutiva. Si può prevedere, in conclusione, che *il traffico sarà mediamente meno intenso sulla Tangenziale Est che lungo il semianello tangenziale Ovest.*

Funzione subordinata, ma di crescente importanza in un tempo avvenire prossimo — in rapporto con l'ulteriore incremento demografico e con l'espansione dell'area metropolitana — dovrebbe assumere inoltre la Tangenziale Est per l'inserimento del traffico proveniente dalle regioni sopra

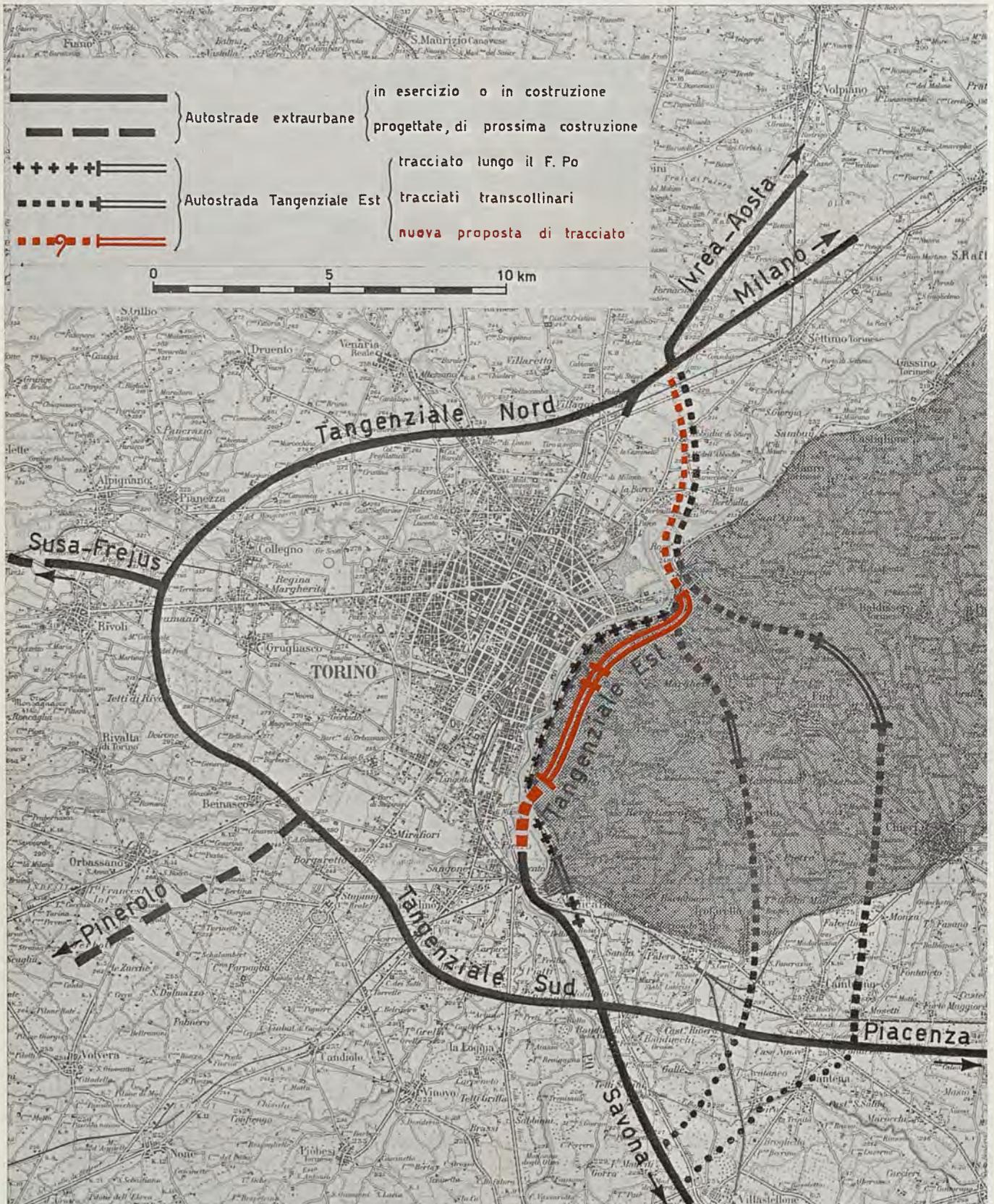


Fig. 1 - L'anello delle autostrade tangenziali intorno a Torino e i suoi raccordi con le autostrade estrametropolitane. (È rappresentata punteggiata l'area dei rilievi della Collina Torinese).

citare direttamente nei quartieri orientali di Torino e viceversa, nonché per l'agevolazione del traffico nell'interno della città secondo la direzione Nord-Sud, per la quale mancano rapidi collegamenti viabili.

Il nuovo tracciato illustrato nella presente nota, proposto in alternativa ad altri tracciati già resi noti e discussi, è stato elaborato dall'A. da alcuni anni, in connessione agli studi geologico-geoapplicativi compiuti per le altre autostrade interessanti la regione torinese (1). Finora inedito, lo schema del suo sviluppo planimetrico fu tuttavia accennato in note a stampa fin dal 1970, discusso con Colleghi del Politecnico di Torino e sottoposto infine all'attenzione di Autorità politiche e amministrative della Regione, della Provincia e del Comune.

È probabile, del resto, che consimili soluzioni di massima siano state pensate più tardi anche da altri, seppure con una minore scorta di dati.

2. Altri tracciati finora progettati per la Tangenziale Est.

Sono stati proposti numerosi in questi ultimi tempi da Enti, Società e privati e ampiamente dibattuti, soprattutto in sede politica e urbanistica, piuttosto che in sede tecnica (2). Se ne citano qui i più rappresentativi — che comportano diverse varianti — accennandone succintamente le principali caratteristiche, in rapporto alla loro funzione viabile.

2.1 Tracciati contigui al letto del fiume Po.

a) Nel Piano Regolatore Intercomunale (P. G.I.) del 1962 era prevista una *strada(asse) di scorrimento veloce*, corrente con sede a piano terra sulla sponda destra, e subito a lato dell'alveo, del fiume Po. Una tale soluzione non pone problemi di natura geoapplicativa, ma è manifestamente irrealizzabile per l'autostrada tangenziale, *larga non meno di 24 m* (n. 3 corsie per ogni direzione, più lo spartitraffico di 2 m), in quanto non è possibile l'allargamento di Corso Casale-Corso Moncalieri. Nè è pensabile, per creare altra sede, la distruzione del Parco Michelotti e delle altre limitate zone a verde pubblico e privato fra Madonna del Pilone e Ponte Balbis.

(1) Durante l'ultimo decennio l'A. ha redatto le relazioni geognostiche-geoapplicative originali, costituenti parti integranti dei progetti ufficiali, preliminari o esecutivi, delle Tangenziali Nord e Sud e dell'Autostrada di penetrazione da Moncalieri (per incarico dell'Amministrazione Provinciale Torinese), nonché delle Autostrade Torino-Piacenza (per la stessa Amministrazione), Torino-Oulx (per la S.I. T.A.F.); Torino-Fossano-Savona (S.p.a. Autostrada Torino-Savona).

(2) Riferimenti frequenti, in qualche caso abbastanza pertinenti, ne hanno fornito i giornali torinesi; altre note d'inquadramento orientativo sono comparse su riviste tecniche da parte di vari Autori.

b) Il medesimo tracciato planimetrico è stato testè riproposto *con sede interrata in galleria artificiale* fra Sassi e Ponte Duchessa Isabella, immediatamente adiacente all'alveo del fiume. Il letto di piena ordinaria, da tempo regolarizzato e stabilizzato, largo fra 50 e 100 m, corre fra sponde naturali o artificiali aperte nell'alluvione sciolta e permeabile, terrazzate sul lato sinistro per lunghi tratti, sulla destra alte soltanto pochi metri.

Ne verrebbe pur sempre irreparabilmente menomata la fascia di parco alberato, fra le più pittoresche e rinomate della città, una delle poche finora quasi intatta. Sussistono inoltre gravi difficoltà tecniche esecutive per la contiguità del fiume, il cui livello nelle grandi piene sovrasterebbe il piano viabile dell'autostrada per alcuni metri. Secondo una delle varianti, nel suo tratto terminale verso Sud il tracciato sottopasserebbe in galleria la dorsale del Castello di Moncalieri, con una copertura piuttosto ridotta.

c) Ancora in rapporto alla larghezza della doppia carreggiata — e anche per considerazioni di estetica ambientale — non è neppure realizzabile un'autostrada *soprelevata*, sovrapposta a Corso Casale - Corso Moncalieri; né, per gli stessi motivi, un'autostrada sviluppata su viadotto *nell'alveo del F. Po*.

d) È stato pure ventilato in prima istanza un tracciato ravvicinato alla *sponda sinistra del F. Po, corrente in sotterraneo*: riproporrebbe tutti i complessi problemi esecutivi d'una linea metropolitana sviluppata in un'area per buona parte edificata, aggravati dalle grandi sezioni dell'unica galleria o delle due distinte gallerie.

2.2. Tracciati transcollinari.

e) Un primo gruppo di tracciati prevedeva l'attraversamento autostradale della Collina Torinese all'incirca in direzione Nord-Sud, a partire dalla sponda destra del F. Po, alcuni chilometri a valle (a NE) di Torino. I tracciati risalgono i valloni di R. Cordova o di Rivodora, l'uno già percorso dalla Strada provinciale Castiglione-Baldissero, l'altro dalla S. p. San Mauro-Baldissero, e ridiscendono il versante chierese fino a Riva di Chieri.

Altri più recenti tracciati, notevolmente più raccorciati e pertanto già più vantaggiosi, dall'innesto della Tangenziale Nord con le Autostrade per Milano e per la Valle d'Aosta, procedono in direzione Sud attraverso la pianura in sinistra del F. Stura di Lanzo per Abbadia di Stura e Baraccone, sovrappassando la linea ferroviaria Torino-Milano, la SS. n. 11, ecc., fino al ponte-diga (eventualmente da raddoppiarsi) sul F. Po, subito a valle della confluenza con il F. Stura di Lanzo.

Oltre il ponte tagliano per circa 2 Km il bassopiano d'una grande ansa in destra del fiume fino a Sassi. Scavalcano la collina:

f) a partire da presso Sassi: procedendo dapprima verso SE nel Vallone di Mongreno, con

sottopasso della dorsale collinare presso Bric Aman mediante *galleria lunga 3 Km* e successiva discesa in rettilineo verso Sud fino all'allacciamento con l'Autostrada Torino-Piacenza a Ponticelli, fra Santena e Cambiano (lunghezza Sassi-Ponticelli: circa 17 Km);

oppure:

g) da Sassi in piano a Madonna del Pilone; risalendo poi la Valle di Reagle quasi in direzione Sud, con sottopasso della dorsale dell'Osservatorio Astronomico di Pino *in galleria di 1,5 Km*, discesa verso Sud e allacciamento con l'A. Torino-Piacenza presso C. Rivera (lunghezza da Madonna del Pilone a C. Rivera: circa 14 Km).

Questi e gli altri tracciati transcollinari comportano il superamento di forti dislivelli, dell'ordine di 150 ÷ 250 m, lunghe tratte su viadotti, cospicui movimenti di terra, stante la morfologia molto movimentata e accidentata, specie sul versante torinese. Problemi tecnici non sempre facili si presentano per le fondazioni e per gli scavi di notevoli dimensioni, che tenderebbero ad innescare vasti scosscendimenti nei terreni di copertura franosi.

Dal punto di vista della funzionalità viabile, nessuno di essi raggiunge il centro urbano di Torino, nè vi si allaccia agevolmente, anzi interpone verso la città l'arduo diaframma della collina. Tutti richiederebbero poi un ulteriore tratto di nuova autostrada per un efficiente, diretto collegamento con l'Autostrada per Ceva-Savona.

Infine tutti i loro percorsi, sul versante collinare torinese esposto a Nord, NE, risentono di vicissitudini meteorologiche (nebbia, innervamento, « verglass »), che ne riducono ulteriormente la funzionalità durante alcuni mesi dell'anno e importano rilevanti spese di gestione.

3. Sviluppo topografico del nuovo tracciato proposto per la Tangenziale Est.

3.1. Fra i criteri orientativi per l'impostazione topografica del nuovo tracciato — oltrechè, ovviamente, *il conseguimento d'un'ottimale funzionalità viaria (n. 3 corsie per ogni carreggiata; larghezza totale: 24 m; raggi minimi delle curve orizzontali: 500 m) e la possibilità d'impiego di tecniche esecutive del tutto normali*, adeguate alle particolari condizioni naturali (geologiche) del suolo — sono stati posti:

— il suo *avvicinamento al centro urbano torinese*, senza peraltro incidere con le strutture e le infrastrutture dell'area normalmente edificata. Tale avvicinamento non risulta affatto pregiudizievole dal punto di vista urbanistico, in quanto è escluso un ulteriore sviluppo dell'area urbana edificata sul versante torinese della regione collinare. Correlatamente diviene più agevole, immediato, l'accesso al centro stesso dall'autostrada, che assume così anche la funzione subordinata di via diretta di collegamento e di penetrazione per i quartieri orientali della città;

— la *conservazione integrale dell'ambiente naturale e antropologico* lungo il tracciato;

— la *minima lunghezza del percorso reale e virtuale* (§ 4).

3.2. A partire dal suo innesto con la Tangenziale Nord, il nuovo tracciato non si discosta da quello previsto per i tracciati dei progetti a), f), g) (§2), in piano fino a Sassi: dapprima sulla pianura alluvionale suborizzontale, a bassi terrazzi olocenici, in sinistra del F. Stura di Lanzo; quindi nel bassopiano alluvionale oltre il letto di piena del F. Po. L'alluvione, di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con sottili intercalazioni limose o ciottolose, non propone problemi di fondazione per il rilevato autostradale. La lunghezza di questo primo tronco della Tangenziale Est, corrente all'aperto, è poco meno di 8 Km. Scavalcato su viadotto il nodo stradale all'ex-Barriera di Casale, presso alla spalla destra del Ponte di Sassi sul F. Po, il tracciato *s'intesta nella collina al piede del ripido versante rivolto a NE, circa 1 Km a Sud della Chiesa parrocchiale di Sassi, intorno a 230 m s.m.* (Fig. 2).

Di qui il tronco del tracciato, di concezione originale, si sviluppa in galleria sotto la Collina Torinese, orientato subparallelo al corso del F. Po, a distanza di alcune centinaia di metri (in media intorno a 700 m) dalla sponda destra, entro formazioni di cui sono accennati i requisiti geoapplicativi al § 6.

L'andamento planimetrico della galleria segue una doppia curva di larghissimo raggio, quindi un tratto subrettilineo di oltre 3 Km, fino all'*imbocco Sud, al piede del versante rivolto a Est e localmente ripido sotto Cavoretto, intorno a 230 m s.m.* (Fig. 3). La lunghezza di questo tronco misura 6,8 Km. Tenendo conto dell'interruzione per lo svincolo in Val Salice, la lunghezza della doppia galleria è circa 6,4 Km.

Con un terzo tronco daccapo all'aperto, di nuova costruzione, lungo circa 1,6 Km, la Tangenziale Est correrà lungo la fascia di alluvione recente in destra del F. Po, attraverserà il letto del fiume su un nuovo ponte, quindi il bassopiano alluvionale fra il F. Po e il T. Sangone fin presso C. Valere (ex-Barriera di Nizza) (Fig. 4), dove si raccorderà con l'autostrada di penetrazione (sopraelevata) da Moncalieri. Questa diverrebbe *elemento integrante della Tangenziale Est*, che si collegherà perciò direttamente presso Tetti Bauducchi alla Tangenziale Sud e alle Autostrade per Savona e per Piacenza.

L'alluvione recente e attuale del P. Po, con notevole porzione di sabbie sciolte, acquifera, richiederà il drenaggio dei rilevati e fondazioni palificate per i ponti ed i viadotti.

Dei 17 Km della Tangenziale Est di nuova costruzione, *circa 15 Km si sviluppano nel territorio del Comune di Torino*, circa 1 km nel Comune di San Mauro, 1 Km nel Comune di Moncalieri.

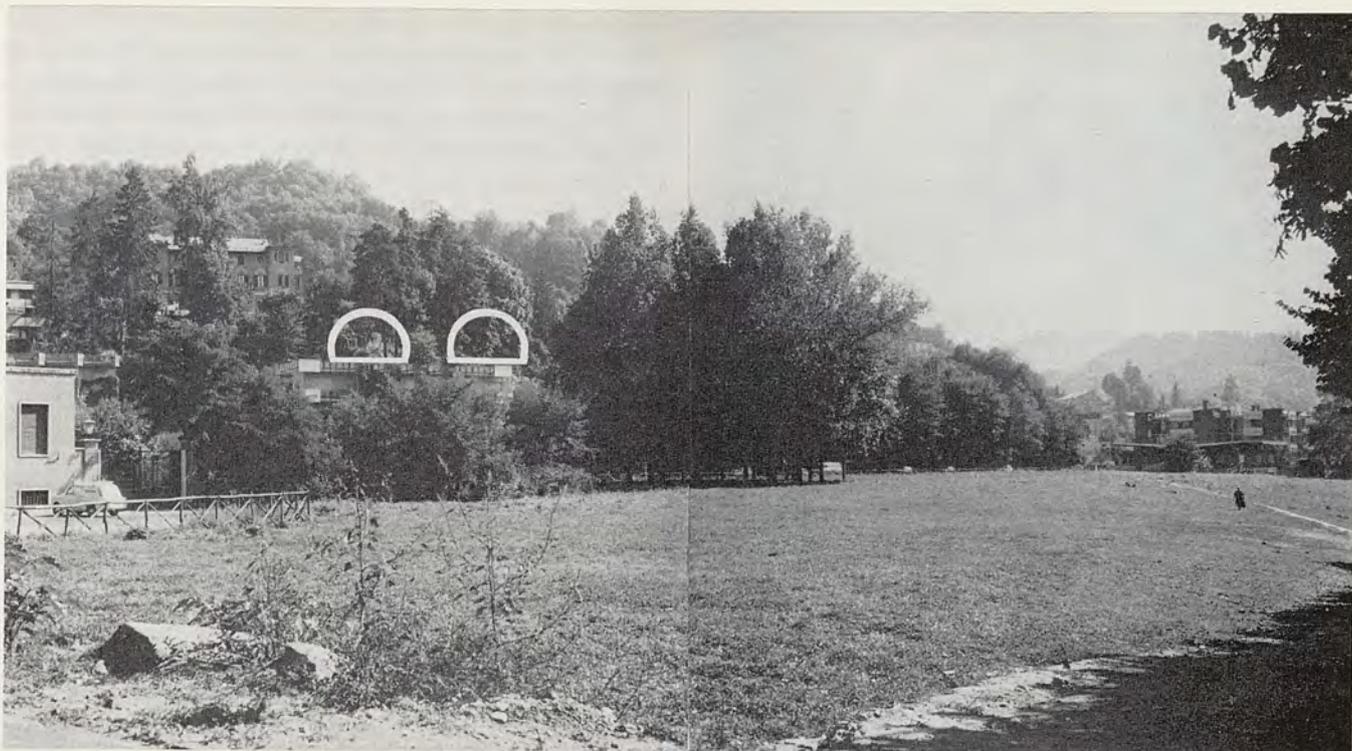


Fig. 2 - Versante occidentale della Collina Torinese fra Sassi e Madonna del Pilone, visto dalla spalla destra del Ponte di Sassi (da Nord-Ovest), con indicazione approssimativa dell'imbocco Nord della doppia galleria autostradale. In basso: terrazzo alluvionale in destra del F. Po, utilizzabile per lo svincolo verso Torino Nord-Est.

3.3. Il tracciato planimetrico del tronco in galleria soprariferito oltreché di qualche variante non sostanziale è suscettibile d'una variante sostanziale nel tratto più a Sud, dove dovrebbe prolungarsi di circa 1 Km, uscendo dalla collina, presso allo sbocco di Val Sappone. Il raccordo fra la galleria e il successivo tronco a giorno ne risulterebbe strutturalmente migliorato, ma con un costo notevolmente maggiorato.

Lo sviluppo planimetrico adottato per la galleria è stato definito tenendo conto:

— dell'opportunità di procedere sotto una copertura di roccia in calotta di discreto spessore, che concorra ad assicurare la stabilità del sottterraneo e del suolo sulla verticale della galleria;

— della necessità, in particolare, di non sotto-passare, con ridottissima copertura, la fascia con-

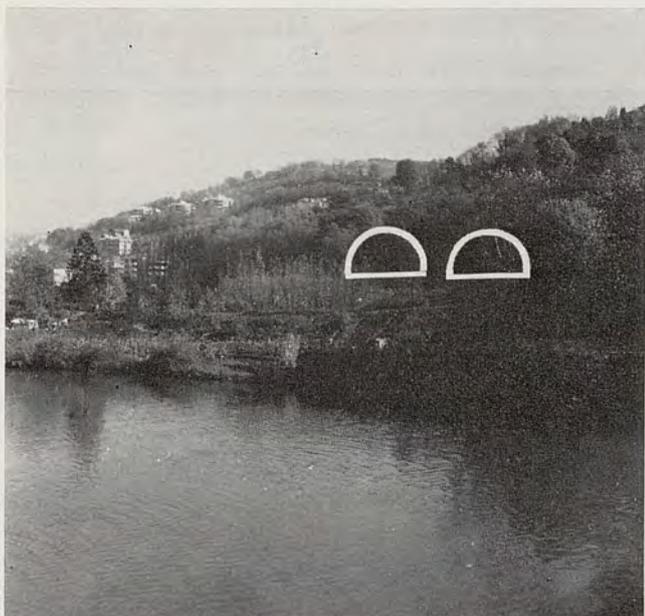


Fig. 3 - Versante occidentale della Collina sotto Cavoretto, visto dalla passerella sul F. Po (da Sud-Ovest), con indicazione approssimativa dell'imbocco Sud della doppia galleria autostradale sulla destra del fiume, in una zona non edificata.



Fig. 4 - Versante torinese della collina sotto Cavoretto, visto da C. Valere (da Sud-Ovest). In primo piano: il bassopiano alluvionale fra il F. Po e il T. Sangone, dove il nuovo tracciato si inserirebbe nell'Autostrada penetrata da Moncalieri, con uno svincolo per Torino Sud.

tinuamente edificata lungo il F. Po, per ovvie e impegnative considerazioni di statica del terreno;

— ancora per considerazioni di eseguibilità, della convenienza di evitare, come regola, che l'autostrada esca dall'aperto nel fondo dei valloni affluenti al F. Po — dove sono inoltre più frequenti gl'insediamenti — salvo che in un caso, per lo svincolo situato verso la metà del percorso in galleria.

L'andamento altimetrico del tronco in galleria si svolge con minima pendenza media (0,4 %) fra i due imbocchi terminali situati circa alla medesima quota, condizionato soltanto dal sorpasso del fondo della Val Salice, in corrispondenza dello svincolo.

3.4. Oltre agli svincoli presso gl'imbocchi Nord e Sud, è infatti previsto all'aperto (più opportuno che non uno svincolo in sotterraneo) uno

punto abbastanza particolareggiato e definitivo, ha sinora soltanto carattere di massima e all'infuori di ogni finalità professionale. La sua trasformazione in un progetto esecutivo vorrebbe, come di norma, — nell'ambito del giudizio e dei suggerimenti di Urbanisti e di Esperti dei trasporti la collaborazione di Tecnici qualificati nei vari campi della topografia, delle costruzioni stradali, della geomeccanica e geotecnica della fisica tecnica e infine ancora della geologia applicata.

4. Caratteristiche viabili del nuovo tracciato in confronto agli altri tracciati progettati.

4.1. A sintesi dell'illustrazione topografica del paragrafo precedente, taluni dati dimensionali del nuovo tracciato proposto sono confrontati con quelli corrispondenti degli altri principali tracciati progettati nella tabella seguente:

	TRACCIATI			
	lungo il F. Po a)	transcollinari		nuovo tracciato
		V. Mongreno f)	V. Reaglie g)	
<i>Lunghezza dei percorsi reali (Km):</i>				
— del tronco da costruire	19	24	22	17
— dei tratti in galleria	6,5*	3	1,5	6,4
— della Tangenziale Est	21	24	22	22
— dell'anello tangenziale torinese	66	74	71	67
<i>Pendenze medie:</i>				
— del percorso collinare		2,2%	4%	
— id., su versante torinese	0,1 %	4%	8%	0,5%

(* di cui: 5,5 Km in galleria artificiale.

svincolo stradale, nel tratto terminale della Val Salice, circa 1 Km ad Est del F. Po.

L'autostrada uscirebbe a giorno scavalcando con un viadotto, sopraelevato d'una decina di metri, Corso E. Thovez (a 260 m s.m.); dal lato Ovest se ne dipartirebbero le rampe d'accesso da e verso il centro di Torino (Fig. 5).

Parte del traffico dalla Tangenziale Est vi sarebbe avviato lungo la direttrice di Corso Vittorio Emanuele II, incrociando, in destra del Ponte Umberto I, il Corso Moncalieri, trasferito in sottopassaggio.

3.5. È bene tener presente che il nuovo tracciato sopradescritto, impostato secondo una visione panoramica sostanzialmente geoapplicativa (§ 3 e 6), seppure organicamente articolato e in qualche

Ne risultano evidenti:

— la minima lunghezza del tronco da costruirsi in confronto ad ogni tracciato transcollinare, taluno dei quali richiederebbe inoltre altri tratti di 4÷6 Km per un collegamento diretto e funzionale con l'Autostrada per Savona.

— la conseguente minima lunghezza totale dell'anello autostradale tangenziale;

— minimo dislivello, di circa 40 m, imposto dallo sbocco intermedio in Val Salice, e di conseguenza minime pendenze, che rendono il percorso virtuale praticamente equivalente a quello reale, mentre per i tracciati transcollinari i percorsi virtuali sono più lunghi di alcuni chilometri rispetto a quelli reali.

Le medesime caratteristiche metriche, favore-

voli in senso assoluto, condividerebbero in linea teorica anche i tracciati previsti lungo la sponda destra del F. Po: a piano terra *a*), o in galleria artificiale *b*), o in sopraelevata *c*), però non realizzabili concretamente per le considerazioni esposte al § 2.1.).

4.2. Sia in confronto a questi tracciati lungo-fiume soltanto ipotetici, che a quelli transcollinari, il nuovo tracciato — nell'insieme e specie nel tronco in galleria — si differenzia inoltre per le altre seguenti vantaggiose *caratteristiche viabili e urbanistiche*, rispondenti ai criteri orientativi assunti fin da principio (§ 3.1.) quali direttive per lo studio d'un tracciato ottimale:

— in funzione dell'agevole inserimento del traffico extraurbano nella trama della viabilità urbana: l'efficace contributo allo smaltimento dell'intenso *traffico turistico festivo*, da e verso la città e, ancor più, al *trasferimento pendolare massivo di lavoratori residenti* nei quartieri-dormitorio a Sud di Torino (Nichelino, Moncalieri) verso i complessi industriali della zona a NE della città, e viceversa. La Tangenziale Est si affiancherebbe così funzionalmente alla futura direttrice stradale circonferenziale urbana (Tangenziale Interna di Corso Grosseto-Corso Unità d'Italia) e alla futura Linea 1 della Metropolitana, coadiuvandole con l'alleggerimento del traffico giornaliero penetrante;

— *nessuna interferenza negativa con le aree edificate nè con la viabilità attuale* nel settore orientale dell'area urbana, dall'ex-Barriera di Casale all'ex-Barriera di Nizza, eccetto che per il brevissimo attraversamento del fondovalle in Val Salice (3);

— *nessuna interferenza con lo sviluppo futuro della rete viaria secondaria*, che dovrebbe rendere agibile la zona collinare a verde pubblico attrezzato;

— *il rispetto quasi integrale dell'ambiente, del paesaggio, della vegetazione, ecc.*, nella zona lungo il F. Po e nella fascia collinare sottopassata in galleria;

— *l'eliminazione del rischio di dissesti idrogeologici* nei pendii collinari, quali verrebbero provocati da grandi scavi e movimenti di terra a giorno;

— *l'assenza quasi totale d'ingombri, deviazioni viarie, rumori, ecc.* durante la costruzione della galleria, nella zona da essa percorsa;

— infine *l'indipendenza, nel tronco in galleria, da ogni vicissitudine meteorologica* (e pertanto la possibilità d'una *continua e uniforme elevata velocità media* dei veicoli);

(3) Si osserva che l'avviamento del traffico proveniente da Nord lungo la Tangenziale Est nella sopraelevata per Moncalieri, e viceversa, non provocherà rallentamenti locali, stante la recente apertura dell'altro nuovo ponte sul F. Po a Moncalieri e il graduale incremento del transito circumurbano lungo il semianello della Tangenziale ad Ovest della città.

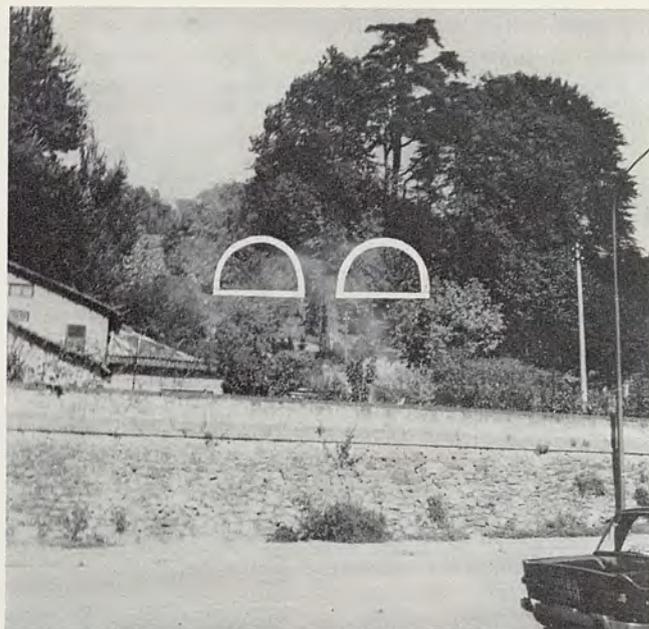


Fig. 5 - Versante destro della bassa Val Salice, lungo Via E. Thovez, a circa 1 km dal F. Po, nel tratto soprapassato dall'Autostrada tangenziale Est su viadotto (visto da Sud-Est).

5. Dimensionamento e struttura di massima delle gallerie del tronco in sotterraneo.

5.1. Per considerazioni geomeccaniche non è consigliabile l'avvio dell'autostrada entro una sola galleria su due carreggiate di due corsie caduna (4), con una larghezza di circa 18 m, corrispondente ad una larghezza della sezione di scavo d'oltre 20 m, che richiederebbe tecniche esecutive complesse e notevolmente onerose.

Si prevedono pertanto due gallerie affiancate di due corsie caduna con larghezza singola di 10 m e con in più frequenti slarghi laterali per soste di emergenza, a distanza interasse normale di 20 m, ridotta presso gli imbocchi. Lo spessore medio del loro rivestimento definitivo in calcestruzzo è stato prevalutato in 1 m (larghezza, alla base, della sezione di scavo: circa 12 m; area di scavo: circa 70 m²).

5.2. La buona scorrevolezza della sede autostradale in galleria vi consentirà *velocità normali dei veicoli* di almeno 80 e 60 Km/h, rispettivamente per le corsie a traffico veloce e lento (tempi del percorso in galleria circa 5' e 6,5'). Distanziando, ad esempio, gli autoveicoli di 100 m, ne risulterebbe un *transito massimo orario regolato di 1400 veicoli*

(4) Non sembra necessario proseguire in galleria la sede autostradale su tre corsie per ognuna delle due direzioni: sia perchè si giudica superflua la corsia di sorpasso; sia perchè si tratterebbe d'un unico tollerabile tratto a sede ristretta (come è norma per le gallerie di rilevante lunghezza inserite nei tracciati autostradali); sia infine per adeguarla alla nuova Autostrada di penetrazione da Moncalieri, che nel tratto sopraelevato è anch'essa strutturata appunto su due carreggiate di due corsie cadauna. Si ricordano in proposito anche le considerazioni sul traffico futuro relativamente alleggerito lungo il settore Est dell'anello tangenziale (§ 1).

per ogni galleria, nell'ipotesi di ognuna delle due corsie al massimo di transito. Col transito libero, il numero di veicoli/ora potrebbe agevolmente aumentare fino al doppio.

5.3. La sufficiente, ma ridotta copertura al tetto della galleria (in media: circa 70 m; massima: circa 110 m) favorisce l'apertura di brevi pozzi verticali, anche molto ravvicinati, per la *ventilazione naturale*. È tuttavia da prevedersi la necessità d'un impianto per la *ventilazione artificiale*, secondo i metodi di calcolo correnti e con il tipo d'installazioni già collaudate altrove, nel caso specifico non molto costose.

6. Condizioni geolitologico-geoapplicative e loro influenza sull'esecuzione delle gallerie.

6.1. La concezione del nuovo tracciato è stata suggerita all'A., come già fu accennato, dalle *condizioni naturali locali* (geomorfologiche, geolitologiche) e dalle *conseguenti condizioni geoapplicative* (geoidrologiche, geomeccaniche, geotecniche), *singolarmente favorevoli all'apertura delle gallerie*.

È sufficiente in questa sede precisare che il tracciato in sottterraneo a partire dall'inimbocco Nord si sviluppa per circa 7 Km nelle formazioni terrigene dell'Era Terziaria (nell'Aquitano per circa 2 Km; nel Langhiano per circa 1 Km; nell'Elveziano per circa 4 Km), costituite da alternanze di banchi marnosi, siltosi e sabbioso-arenacei, questi ultimi statisticamente prevalenti, con frequenti passaggi a conglomerati. Nel complesso, queste formazioni sono solo inizialmente lapidificate (da mediamente a debolmente coerenti), non dure, a comportamento plastico, facilmente abbattibili con o senza impiego di esplosivi, genericamente idonee all'escavazione con mezzi meccanici ad azione continua.

I banchi s'immergono con media pendenza verso Ovest, SO, diretti subortogonali o di sghembo rispetto all'asse delle gallerie, giacitura stratimetrica non sfavorevole ai lavori in sottterraneo.

6.2. A causa della facile, notoria franosità della coltre di terreno eluviale, formatasi per alterazione e disintegrazione superficiale della roccia, le formazioni collinari sono ritenute a torto dai costruttori, in genere e nel loro insieme, poco stabili anche in sottterraneo. In realtà dove, a sufficiente profondità dal suolo, *le rocce in posto* si ritrovano inalterate, esse per lo più *si mantengono temporaneamente stabili* al contorno degli scavi.

Pur riservando ai Tecnici specializzati nella costruzione di gallerie lo studio e la scelta delle modalità esecutive e delle relative attrezzature meglio appropriate al caso, si può in prima istanza prevedere l'apertura d'una galleria di grande sezione — quale quella richiesta dall'autostrada in esame — procedendo nell'escavazione a piena se-

zione o a mezza sezione in calotta. Talora lo scavo non richiederà armature provvisorie, altrimenti basteranno armature leggere: chiodatura o centinatura rada; non è prevedibile la necessità dell'arco rovescio di base, cosicché si può assegnare alla roccia « sana » in posto (r. « ordinaria ») lungo il tracciato della galleria un *elevato indice geoapplicativo di eseguibilità tecnica*.

Il tracciato sottopassa a poca profondità (una quindicina di metri) il fondo della breve Valle di Reagle: è un punto del percorso in cui si possono prevedere limitate venute d'acque in sottterraneo. Altrove a maggior profondità, per l'impermeabilità complessiva delle rocce, non sussistono problemi di eduazione.

La conferma di questi requisiti geoapplicativi, specificamente favorevoli, è stata acquisita dall'A. soprattutto nel controllo dei lavori per la Galleria idraulica Bertoulla-Cimena della S.I.P., di grande sezione, escavata nelle medesime formazioni un trentennio addietro e perdurata stabile per un notevole intervallo di tempo, fino a quando fu definitivamente rivestita.

Ciò non toglie che sussistano tuttora tenaci, ma non giustificati, pregiudizi contro l'apertura di gallerie nella zona collinare, alimentati anche dalle effettive difficoltà incontrate nell'esecuzione della galleria per la SS. n. 10 presso Pino Torinese, che oggi si sarebbero superate mediante provvedimenti tecnici divenuti correnti.

Una certa ovvia ostilità si manifesta poi da parte delle numerose Imprese di costruzioni stradali, non specialmente esperte nè attrezzate per grandi lavori in sottterraneo.

In altre grandi città (Napoli, Genova) le autostrade tangenziali in costruzione o in progetto si sviluppano parzialmente in galleria senza prevenzioni aprioristiche, né gravi inconvenienti in sede esecutiva.

7. Preventivo di grande massima dei costi e tempi esecutivi per le gallerie e per la Tangenziale Est.

7.1. Con le dimensioni orientativamente previste per la sede autostradale, e sulla base di numerosi recenti dati di confronto, seppure assai largamente approssimati, le molto favorevoli condizioni geologico-geoapplicative dovrebbero consentire di contenere il costo unitario d'ogni galleria ultimata nell'ordine di 2,5 miliardi di lire/Km (ai prezzi attuali). L'importo per la costruzione delle due gallerie, per una lunghezza globale di circa 12,8 Km, ammonterebbe a circa 32 miliardi di lire.

Si può ragionevolmente assumere, secondo esperienze probanti, la *velocità media di avanzamento dello scavo della galleria in 10 m/d* (con tre turni lavorativi giornalieri). Procedendo contemporaneamente dai due imbocchi Nord e Sud per ognuna delle due gallerie (sembra meno opportuno un

contemporaneo attacco intermedio dalla Val Salice), la contemporanea apertura delle n. 4 tratte di 3,2 Km caduna richiederebbe 320 giornate lavorative, da aumentarsi prudenzialmente a 16 mesi. Incluso il tempo richiesto dal rivestimento definitivo e dall'installazione degli impianti di ventilazione, segnalazione, illuminazione, ecc., le gallerie potrebbero venire rese disponibili per l'esercizio in un tempo prevedibile di 30 mesi.

7.2. Sulla base inoltre d'un costo unitario medio sommariamente stimato in 1,5 miliardi di lire/Km per i tronchi sviluppati all'aperto in pianura (inclusi gli svincoli e il ponte sul F. Po), il costo totale per la costruzione della Tangenziale Est secondo il nuovo tracciato ai prezzi attuali è valutabile, con larga approssimazione, intorno a 48 miliardi di lire. Di quest'importo il costo delle gallerie (40 % del percorso) rappresenterebbe quasi 75 %.

Sulla base dei medesimi costi unitari, l'autostrada secondo il progettato tracciato transcollinare f) per Sassi-Bric-Aman-Ponticelli, di 24 Km — dei quali 3 Km di doppia galleria ed altri 7 Km in territorio collinare molto accidentato e poco stabile, richiedente numerose opere d'arte (costo unitario 2 miliardi di lire/Km) — verrebbe a costare verisimilmente intorno a 50 miliardi di lire.

Alquanto inferiore, intorno a 42 miliardi di lire, sarebbe il costo dell'autostrada secondo l'altro tracciato transcollinare g) per Madonna del Pilone-Osservatorio di Pino-C. Rivera, di 22 Km, con 1,5 Km di doppia galleria e circa 7 Km in territorio collinare morfologicamente e geotecnicamente sfavorevole.

Ancora più costosa si prevede la realizzazione degli altri tracciati attraversanti la Collina più verso Est (⁵).

7.3. L'importo globale preventivato per la realizzazione della presente nuova soluzione proposta per la Tangenziale Est risulta pertanto, con buon fondamento dei computi metrici, dello stesso ordine che per i due tracciati transcollinari presi in considerazione.

Il relativamente limitato importo addizionale per l'esercizio della galleria è più che largamente compensato dalle minori spese di manutenzione per i tronchi all'aperto, ma soprattutto dal beneficio diretto degli utenti: per il percorso virtuale (o anche reale) più breve, più sicuro, più riparato: in conclusione, di gran lunga il meglio funzionale fra quelli finora proposti e presi in considerazione da altri.

Luigi Peretti

(Testo consegnato per la stampa il 22 ottobre 1972).

(⁵) È sottinteso che tutti i costi unitari e totali preventivati verrebbero proporzionalmente maggiorati per ogni tracciato, qualora in progetto venisse aumentata la larghezza della sede autostradale all'aperto e/o in galleria.

- AUTORI VARI (1962): *Il Piano regolatore intercomunale di Torino*, Soc. Ing. Arch. (a cura del Comune di Torino).
- AUTORI VARI (1967): *Il piano intercomunale torinese*, in « Urbanistica », 50-51.
- AUTORI VARI (1962-1972): Note varie sul *Sistema autostradale torinese e sulla Tangenziale Est*, in « Torino Municipalizzate ».
- BONSIGNORE G., BORTOLAMI G., ELTER G., MONTRASIO A., PETRUCCI F., RAGNI U., SACCHI R., STURANI C., ZANELLA E. (1970): *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 56 e 57: Torino-Vercelli*, Serv. Geol. d'Italia.
- BORTOLAMI G., CREMA G., PETRUCCI F., SACCHI F., STURANI C., ZANELLA E. (MALARODA R. coord.) (1969): *Foglio 56 Torino della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, 2ª ed.*, Serv. Geol. d'Italia.
- CARRARO F., PETRUCCI F., TAGLIAVINI S. (MALARODA R. coord.) (1969): *Foglio 68 Carmagnola della Carta geologica d'Italia, 2ª ed.*, Serv. Geol. d'Italia.
- CARRARO F., PETRUCCI F., TAGLIAVINI S. (1969): *Note illustrative della Carta geologica d'Italia 1:100.000. Foglio 68: Carmagnola*, Serv. Geol. d'Italia.
- CITTÀ DI TORINO (1940): *Rilevamento della zona collinare 1:1500*.
- CITTÀ DI TORINO (1960): *Il piano regolatore generale di Torino, 1959*, in « Atti e Rassegna Tecn. », n. s., 14.
- PERETTI L. (1944): *Relazione geotecnica sulla galleria del canale derivatore per l'impianto di Cimena della S.I.P.* — Id., *Relazione geotecnica sulle permeazioni d'acqua nella Galleria di Cimena*, Rel. alla FIAT S.p.a. (inedite).
- PERETTI L. (1947): *Geologia della Regione Torinese: geomorfologia e urbanistica*, in « Atti e Rass. Tecn. », n.s., 1.
- PERETTI L. (1962): *Le direttrici naturali delle linee di grande comunicazione nella Regione Torinese*, in « Atti Conv.: La Provincia di Torino nel quadro dello sviluppo regionale », Torino, 1961.
- PERETTI L. (1968): *Sistema Autostradale Tangenziale di Torino. Tangenziale Sud e diramazione per Moncalieri - Progetto esecutivo. Relazione geognostica e geoapplicativa.* - Id. (1969): *Id., Tangenziale Nord. Progetto esecutivo. Relazione geognostica e geoapplicativa*, Rel. all'A.T.I.V.A. S.p.a. (inedite).
- PERETTI L. (1969): *Valutazione preventiva, su basi geologiche e geoapplicative, d'un indice di eseguibilità tecnica per i tracciati delle lunghe gallerie*, in « Atti del 1º Conv. int. sui Problemi Tecnici nella costruzione di gallerie », Torino, 1969.
- PERETTI L. (1970): *Considerazioni di geologia applicata sulla Collina Torinese: la stabilità dei versanti*, in « Boll. Ass. Mineraria Subalpina », 8.
- PERETTI L. (1971): *Considerazioni geoapplicative sulla pianificazione territoriale della Regione Torinese*, in « Atti 2º Conv. Naz. A.N.G.I. sui Problemi della Geologia Applicata », Genova, 1971.
- UNIONE REGIONALE PROVINCE PIEMONTESE - Ist. Ricerche Economiche Sociali (I.R.E.S.) (1963-1968): *Piano di sviluppo del Piemonte, Studi e documenti. Quad. 1-20/D*.
- ZUFFARDI P. (1916): *Geomorfologia della Collina di Torino*, in « Mem. R. Acc. Scienze Torino », 65.

Proseguendo la pubblicazione delle memorie presentate al Convegno dell'Associazione Italiana di Aeronautica ed Astronautica A.I.D.A.A. tenutosi a Torino nel giugno scorso, si riporta un gruppo di memorie illustrative di problemi connessi ad alcune attività motoristiche italiane.

Una possibile politica nel campo dei motori aeronautici

G. MAOLI della Fiat, Divisione Aviazione, Direttore della Progettazione, suggerisce sulla base dell'attuale stato dell'industria aeronautica dei motori, una possibile politica da perseguirsi nel settore dei motori per impiego aeronautico negli anni 1970.

L'A., dopo aver ricordato brevemente la storia del motore in Italia, la nascita del turbogetto e i progressi conseguiti su questo ultimo, esamina dettagliatamente l'inserimento dell'Italia nello sviluppo del motore d'aviazione, sia nel periodo anteguerra sia nel dopoguerra. La tavola 1 riporta dati relativi alla produzione nel mondo di motori per impiego aeronautico nell'immediato anteguerra, ed elenca alcuni dei risultati più significativi conseguiti dall'industria italiana. Le tavole n. 2 e n. 3, che danno un'idea quantitativa della posizione dell'industria italiana negli anni '60 e '70, devono essere esaminate alla luce delle due considerazioni fatte dall'A.:

A) L'industria aeronautica è una industria strategica, è di avanguardia, genera « fall out »

1939 - PRODUZIONE MOTORI		RECORDS E RAIDS ITALIANI DEL PERIODO ANTEGUERRA
GERMANIA	14.000	1920- RAID ROMA-TOKIO (18.000 Km) MOTORE SPA 6A SU SVA 10
U.S.A.	11.172	1928- RECORDS MONDIALI DI DURATA (58 h 37') E DI DISTANZA (1.666 Km) MOTORE A 22T SU SM 64
GRAN BRETAGNA	8.000	1930- TRASVOLATA DELL'ATLANTICO DEL SUD (10.350 Km.) MOTORE A 22R SU SM 55
ITALIA	4.191	1934- RECORD MONDIALE DI VELOCITÀ (709,292 Km/h) MOTORE AS 6 SU IDROVOLANTE MC 72
		1938- RECORD MONDIALE D'ALTEZZA PER VELIVOLI AD ELICA (m17.087) MOTORE PIAGGIO XIRc 100/2V SU CAPRONI 161 bis.

Tavola 1

zioni nei nuovi sistemi di fabbricazione e nel campo della progettazione e dello sviluppo dei componenti, sottolineando quanto fosse difficile, nelle condizioni in cui si è trovato il nostro paese dopo il conflitto mondiale, fare immediatamente questo grande salto tecnologico. L'A. quindi continua: « Trovo giusto che si siano affrontati prima altri problemi, ma nonostante ciò, con l'entusiasmo e la tenacia, con l'interessamento avveduto e preveggenze dei più alti responsabili delle nostre industrie e del Ministero della Difesa Aeronautica, abbiamo, come in seguito vedremo, risolto una parte decisiva di questi problemi: la inversione della tendenza si può osservare già con la partecipazione al progetto del motore RB199 e presto, auguriamoci, con quella ad altri prestigiosi progetti ».

ANNI 1960		IN ITALIA
FATTURATO MOTORI (1968)		FINO AL 1968, TUTTA LA PRODUZIONE MOTORISTICA È SU LICENZA
U.S.A.	3000 M \$	
EUROPA	720 M \$	
ITALIA	40 M \$	NEL 1969, HANNO INIZIO COLLABORAZIONI PER LO SVILUPPO DEI MOTORI DELLA SERIE VIPER 600, E DEL MOTORE RB 199 PER L'MRCA PANAVIA 200

Tavola 2

per le altre industrie meccaniche, quindi può essere sostenuta per motivi di prestigio, di difesa nazionale per una lungimirante azione promozionale delle industrie meccaniche; nel periodo prebellico alcuni di questi motivi permisero di conseguire gli ottimi risultati illustrati in precedenza; in questi ultimi anni l'ultimo motivo, quello promozionale, ha permesso l'attuale interesse a progetti internazionali.

B) L'altra considerazione è costituita dal grande salto avvenuto nella progettazione, nelle prove, nelle tecnologie dei materiali e in quelle di fabbricazione.

L'A. esamina in dettaglio i progressi compiuti nell'ultimo lustro, presentando le acquisi-

Esaminando l'attuale posizione dell'industria dei motori d'aviazione nel mondo, ad eccezione di quella del mondo orientale della quale esistono poche conoscenze, l'A., mostrando i dati riportati nella tav. 3, sottolinea che « negli Stati Uniti d'America gli ordinativi militari e un elevatissimo volume di ricerca fatta da o per enti governativi hanno permesso di creare dei giganti che praticamente dettano la loro legge nel mondo, cui ha contrastato la R. R. e in parte l'industria francese ».

« A questa rappresentazione che dà l'idea schiacciante delle posizioni raggiunte dalle maggiori ditte motoristiche, si contrappone un nuovo stato di fatto che è emerso dopo la lotta per il motore del jumbo-jet.

È opportuno infatti esaminare la lezione che si può trarre dal progetto di questo motore; gli antagonisti sono stati e sono attualmente tre, la P. & W. con il JT9D che è arrivata prima alla commercializzazione (B 747) e trae i vantaggi di questa posizione anche se la realizzazione l'ha lasciata esausta; la G. E. che utilizzando la esperienza del motore militare TF 39 ha realizzato, certo con un minor impegno economico diretto, il CF 6; la R. R. che è arrivata alla amministrazione controllata per realizzare l'RB211; se la competizione fosse avvenuta in regime liberistico, l'impegno delle prime due ditte avrebbe ottenuto il positivo, per loro, risultato di estromettere dal mercato mondiale una grande ditta motoristica quale la R. R.; però questo regime si è dimostrato non applicabile alla industria dei motori d'aviazione, come pure a quella del velivolo, quando queste hanno nel contesto industriale di una nazione un valore tale che l'intervento governativo è immancabile (R. R. nazionalizzazione e Lockheed prestito garantito per 250 milioni di dollari).

Quindi in futuro è necessario esercitare anche per le grandi industrie un autocontrollo in modo da fruire del mercato in maniera razionale e senza causare vittime impossibili. Ci sembra che questo stia ora avvenendo per il motore da 10 tonn. di spinta e, almeno per i motori al di sopra di certe dimensioni questa legge permette oggi un'atmosfera collaborativa nell'industria motoristica.

OGGI (1971)			
FATTURATO DI ALCUNE IMPORTANTI DITTE MOTORISTICHE			
		MILIONI	DI \$
PRATT & WHITNEY	1.440	"	"
* GENERAL ELECTRIC	800	"	"
ROLLS-ROYCE	723	"	"
GARRETT	372	"	"
SNECMA	235	"	"
M.T.U.	113	"	"
ITALIA	40	"	"

* Stimato 50% del fatt. aerospaziale

Tavola 3

Incidentalmente ritengo di dover dire che il minore impegno per i motori di spinta o potenza inferiori potrebbe influenzare in maniera diversa il comportamento delle varie industrie ad essi interessate, potrebbe esistere una possibilità di più aperta competizione ».

Prendendo le mosse dalla osservazione che nessuna nazione può oggi offrire un mercato sufficiente per sviluppare un nuovo progetto, l'A. sottolinea la necessità e la tendenza delle ditte moto-

ristiche a cercare delle forme collaborative; queste devono ovviamente tener conto del fatto che il mercato militare nel futuro avrà un minor gradiente di sviluppo di quello avuto in passato. Nell'esaminare come l'Italia possa partecipare a questo « pool », l'A. sottolinea come dal punto di vista qualitativo non esistano problemi, mentre dal punto di vista quantitativo la dimensione globale dell'industria motoristica potrà essere stabilita in futuro quando entreranno in produzione i motori allo sviluppo dei quali partecipiamo o potremo partecipare. In particolare, per quanto riguarda progettazione e sviluppo, l'A. sottolinea: « Le capacità progettative e di sviluppo impiegate in questi ultimi anni, in particolare per il motore RB199, si sono mostrate all'altezza del compito assunto, per constatazione degli enti di controllo ed ammissione dei partners stranieri. Per lo sviluppo sarà completata entro l'anno l'installazione di un modernissimo laboratorio meccanico (2400 mq coperti), di mezzi recentemente acquistati dalla nostra ditta o già ordinati e in arrivo. In questo laboratorio si potrà simulare il comportamento in funzionamento dei componenti di un motore, modulando opportunamente le sollecitazioni meccaniche e termiche dei componenti in prova; esso qualitativamente non ha nulla da invidiare a quelli delle più importanti industrie del settore, la quantità dei banchi è sufficiente peraltro a soddisfare un qualsiasi ragionevole impegno nello sviluppo di futuri motori; i laboratori fluidodinamici « sono stati costruiti non per risolvere il problema globalmente, ma per soddisfare le varie necessità che si sono incontrate durante le collaborazioni sin qui fatte ».

« Le tecnologie produttive sono qualitativamente sviluppate come è dimostrato dalla fornitura dei motori militari, in particolare il J79-19, e la fabbricazione di sviluppo dei componenti del motore per il velivolo MRCA; ho indicato già come esempi macchinari e controlli significativi usati dalla ditta cui appartengo, ulteriori ne esistono presso le altre ditte motoristiche ».

L'A. concludendo auspica che: « si riaffermi la conoscenza della importanza di questa industria, come avanguardia delle industrie meccaniche, si dia ad essa la stessa considerazione che le nazioni più evolute in Europa danno, si approfitti del momento opportuno che permette questa collaborazione, essendo sicuramente presenti nei nuovi programmi che stanno partendo; si ritiene che l'appoggio su questi temi possa far completare il decollo di questa industria, permettere di occupare con la giusta autorità il posto in Europa fra le industrie consorelle, assicurare lavoro altamente qualificato in un periodo critico anche se di rilancio e porre le basi per un maggior lavoro negli anni futuri, quando cioè questi sviluppi saranno terminati, in accordo con la prevista immancabile ripresa della industria aeronautica ».

Giuseppe Maoli

Un moderno laboratorio meccanico a supporto della progettazione di motori aeronautici

G. FEO, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, illustra lo sforzo compiuto dalla Fiat per realizzare un completo e moderno laboratorio per prove meccaniche.

Sommario.

Un elemento vitale nella progettazione dei motori aeronautici risiede nella verifica dell'integrità strutturale e della vita dei vari componenti in tutte le loro condizioni di esercizio.

Il conseguimento di questo obiettivo non sempre è possibile attraverso l'analisi teorica anche se condotta con mezzi sofisticati, in quanto elementi di incertezza che vengono introdotti durante la esecuzione dei calcoli non garantiscono l'elevato grado di sicurezza richiesto da questo prodotto.

Per evitare l'esecuzione di lunghe e costose analisi sul motore funzionante è normale pratica ricorrere alla esecuzione di prove sui componenti isolati; le macchine che eseguono queste prove risultano essere complesse e di elevata precisione per consentire una fedele simulazione delle condizioni di esercizio.

L'A. illustra in questa memoria le principali macchine di prova delle quali è dotato il Laboratorio Meccanico della Fiat per rispondere alle rigorose e particolari esigenze della progettazione dei motori di aviazione ed i risultati di alcune prove effettuate con esse.

1. Introduzione.

Una turbina a gas per applicazioni aeronautiche deve oggi operare, per essere competitiva, con elevate temperature di ingresso in turbina e con alte velocità di rotazione del generatore di gas.

I carichi di funzionamento che agiscono sui componenti e i severi processi termogasdinamici cui viene sottoposto il fluido lavorante danno origine a gravi processi di fatica che è stato necessario studiare con sempre maggiore attenzione.

La utilizzazione di criteri di disegno già verificati su motori in esercizio, può fornirci buoni indirizzi qualitativi, di carattere generale, per giudicare un nuovo progetto, ma normalmente una previsione di vita è possibile solo con grossolana approssimazione.

Di fronte alla grande complessità delle strutture si è quindi sempre più affermata, in tutte le principali ditte motoristiche, la tendenza all'indagine sperimentale che entra così in modo diretto, nell'intero ciclo progettuale integrandosi con il calcolo e la realizzazione costruttiva.

La presente memoria illustra le principali apparecchiature di prova di cui è dotato il nostro

nuovo laboratorio meccanico; queste apparecchiature sono atte ad affrontare i numerosi problemi che nascono nel disegno di involucri, pale, dischi, alberi e generalmente di tutti quei componenti sui quali si verificano spesso i casi più frequenti di rotture catastrofiche o comunque non accettabili; con le apparecchiature che descriveremo si può infatti verificare, in modo efficace e molto più economico che non con prove dirette sul motore, la resistenza dei vari componenti alle più gravose condizioni di lavoro e quindi stabilire il periodo di funzionamento entro il quale essi possono essere mantenuti in esercizio in condizioni di assoluta sicurezza.

2. Banco per prove di fatica su involucri motore (« Cyclic pressure rig. »).

Questo banco consente di verificare la resistenza e la durata degli involucri motore, cioè involucri compressore e turbina, camere di combustione, tubi del getto, ecc.

I componenti da provare vengono supportati da un robusto basamento che consente lo staffaggio di particolari di dimensioni e forme molto diverse. Un gruppo elettro-oleodinamico fornisce la potenza necessaria alla simulazione dei carichi di

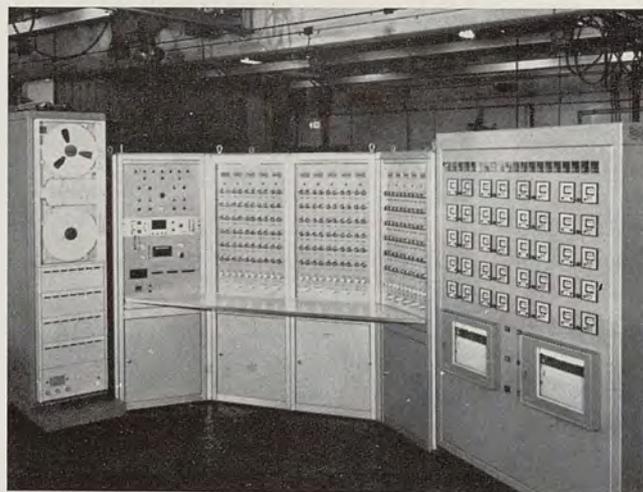


Fig. 1 - Pannello di comando del banco per prove di fatica.

esercizio. Questi vengono applicati sul componente in prova mediante attuatori e regolati dalla centralina elettronica il cui pannello di comando è visibile in figura 1; sono disponibili 12 canali indipendenti ciascuno dei quali può pilotare una servovalvola e essere programmato per un massimo di 15 successivi livelli di carico.

Per ognuno di questi canali e livelli di carico è possibile imporre, oltre al numero di cicli, la frequenza e la forma d'onda del segnale di comando (quadra, triangolare, sinusoidale, ecc.).

Il banco è dotato di numerosi trasduttori che consentono di trasformare le grandezze fisiche (forze, spostamenti, coppie) in segnali elettrici o elettricamente valutabili.

I segnali, registrati su nastro magnetico, vengono inviati per elaborazione al calcolatore centrale e quindi direttamente acquisiti presso gli uffici tecnici, collegati a quest'ultimo mediante terminale.

3. Banco per prove cicliche di torsione.

Il banco, mostrato in fig. 2, consente di sollecitare contemporaneamente a torsione, compressione e trazione assiale con simulazione del profilo delle temperature di funzionamento gli alberi di collegamento tra turbina e compressore.

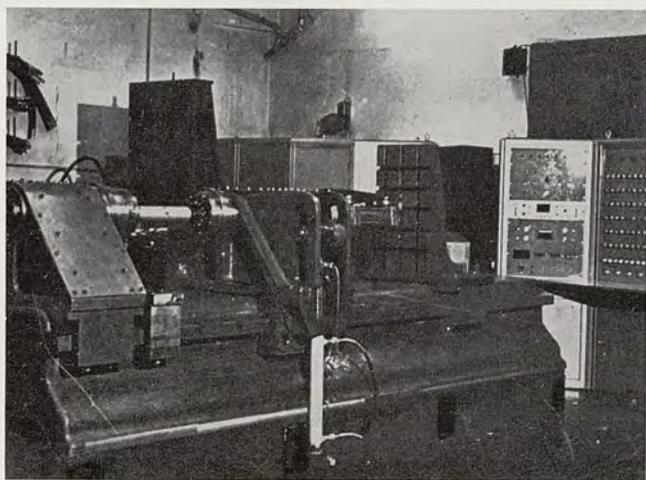


Fig. 2 - Banco per prove cicliche di torsione.

Il suo principio di funzionamento è simile a quello del banco per prove su involucri; su di esso sono state però introdotte alcune importanti varianti nel gruppo elettro-oleodinamico per effetto delle quali è possibile sovrainporre, per meglio simulare le reali condizioni di funzionamento di questi componenti, alle sollecitazioni variabili con bassa frequenza, sollecitazioni variabili con alta frequenza.

Il forno elettrico impiegato per simulare il voluto profilo delle temperature di funzionamento è composto da vari settori, controllati in modo indipendente l'uno dall'altro, per ottenere una corretta simulazione del profilo stesso.

4. Banco per prove di rotazione ciclica (« Cyclic Spinning »).

Un'altra apparecchiatura basilare è il banco per prove di rotazione ciclica. Esso consente di determinare su dischi compressore e turbina la resistenza a fatica con simulazione delle temperature di funzionamento.

Il banco prova consente di imprimere al complesso dei dischi una velocità di rotazione variabile in modo prescelto così da simulare le sollecitazioni che si producono, durante una missione tipo, per effetto combinato di forza centrifuga e temperatura. I dischi vengono posti in rotazione mediante due motori elettrici da 500 CV, all'interno di una cella del peso a vuoto di 53 t, nella quale, allo scopo di diminuire le perdite di potenza dovute all'effetto ventilante, viene operato un alto grado di vuoto; uno speciale giunto meccanico permette di accoppiare o disaccoppiare facilmente e in tempi estremamente ridotti i due motori, ciascuno dei quali ha un sistema di controllo indipendente.

I motori sono controllati mediante un sistema a thyristor che consente di mantenere, con elevatissima precisione, la voluta velocità di rotazione. Questa può essere variata, in un campo che va da 0 a oltre 40.000 giri/l', mediante un gruppo di moltiplicazione realizzato con dentature a doppia elica per avere un funzionamento silenzioso e privo di vibrazioni.

La velocità di rotazione può essere fissata ad un qualsiasi valore o programmata come variabile fra due livelli di velocità da ripetere per un prefissato numero di cicli; con legge prefissata è possibile imporre anche l'entità delle accelerazioni e decelerazioni angolari.

I motori elettrici del banco, data l'accuratezza del sistema di controllo, vengono anche impiegati per l'effettuazione di prove meccaniche su labirinti.

5. Banco per prove di sovravelocità.

Un altro tipo di prova necessaria ai fini di un completo giudizio sulla rispondenza ai requisiti di progetto di un disco è la prova di sovravelocità che consente un immediato controllo delle deformazioni dei dischi nelle condizioni più severe di funzionamento permettendo la verifica dell'adeguatezza dei giochi radiali sulle tenute e il controllo degli eventuali effetti delle deformazioni plastiche sul bilanciamento del rotore.

Data la severità della prova, con possibilità di esplosione del disco, questa viene condotta entro un pozzo.

La fig. 3 mostra l'apparecchiatura di prova; il disco è posto in rapida rotazione mediante una piccola turbina e per diminuire la potenza necessaria alla rotazione e prevenire un eccessivo aumento di temperatura nel pozzo, anche questa prova è condotta in aria rarefatta.

Durante la prova vengono impiegate pale speciali calcolate in modo da produrre sul disco una distribuzione di tensione simile a quella prodotta durante le condizioni di funzionamento maggiormente critiche; esse sono costruite in modo da

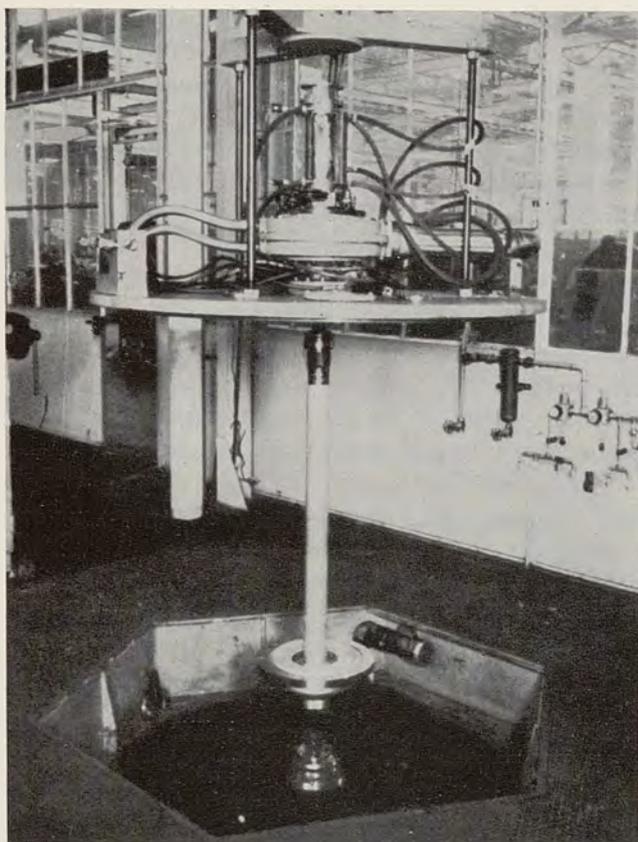


Fig. 3 - Banco per prove di sovravelocità.

presentare una superficie liscia e continua che rende possibile durante la prova un accurato rilievo della entità delle deformazioni elastiche. Per effettuare i rilievi viene impiegato un collettore rotante, di recente acquisto, che permette la registrazione contemporanea e continua di 40 parametri.

6. Banchi per rilievo di frequenza e prove di fatica su pale compressore e turbina.

La fig. 4 mostra un banco per determinare la vita a fatica di pale compressore a turbina. La pala in prova è vincolata ad un supporto avente una massa molto più grande di quella della pala

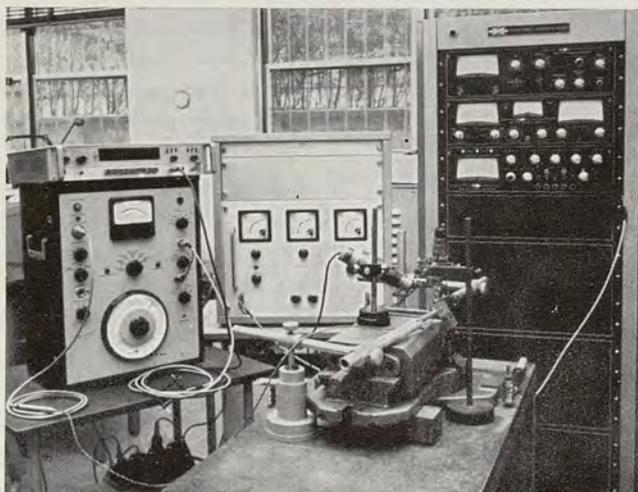


Fig. 4 - Banco per rilievi di frequenze e per prove di fatica su pale.

stessa; il blocco di supporto è accoppiato ad un eccitatore elettrodinamico mediante un risonatore meccanico che consente di sintonizzare il sistema sulla frequenza propria della pala in modo da condurre la prova con il minimo assorbimento di energia.

Un sistema di controreazione consente di mantenere la frequenza di vibrazione del sistema sintonizzata su quella della pala. L'ampiezza di vibrazione viene misurata con sistemi ottici rilevando lo spostamento del bordo di uscita al vertice della pala stessa.

Apparecchiature analoghe vengono impiegate per rilevare le frequenze di vibrazione di dischi e alberi. Per questi componenti si preferisce solitamente determinare le frequenze di vibrazione nel loro effettivo collegamento. Infatti si è trovato che i modi di vibrazione di ordine più basso del disco sono fortemente influenzati dal sistema di accoppiamento con l'albero, mentre quelli di ordine più elevato sono influenzati dalla geometria del vincolo delle pale al disco stesso.

Per questo motivo l'eccitatore elettrodinamico impiegato per effettuare questi rilievi deve essere di grande potenza: il laboratorio ne possiede uno con forza eccitante di 3000 lbs.

Il laboratorio è anche attrezzato per condurre prove per verificare l'efficacia della lubrificazione dei cuscinetti e l'ottimizzazione della configurazione dei getti di adduzione del lubrificante. Questa prova viene eseguita con una particolare tecnica mediante la quale è possibile filmare, con una macchina da presa ad alta velocità, le traiettorie dei getti del lubrificante e le loro variazioni al variare dei giri e della portata olio.

7. Conclusioni.

Abbiamo presentato, anche se in modo sommario, le apparecchiature necessarie per effettuare i principali tipi di prove meccaniche richieste durante le fasi di progettazione e sviluppo di una turbina a gas.

Non è stato possibile esporre ampiamente, come l'argomento merita, molti aspetti delle prove stesse, quali ad esempio i metodi che vengono impiegati per determinare i cicli di carico, per l'analisi dei risultati di prova, per il calcolo della vita di un componente, e così via.

Inoltre i risultati raccolti da queste prove, per avere la massima validità, devono sempre essere correlati con rilievi effettuati sul motore funzionante al banco; quando queste correlazioni sono state determinate esse rappresentano indubbiamente il mezzo più efficace e meno costoso per giudicare, fin dai primi stati dello sviluppo, la rispondenza del progetto alle condizioni di esercizio.

Giorgio Feo

Determinazione del rendimento di combustione mediante analisi continua dei prodotti della combustione

G. CALIRI, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, presenta il frutto dell'esperienza maturata quale responsabile del settore combustione, attraverso programmi di collaborazione con le Ditte General Electric e Rolls Royce.

Sommario.

Il rendimento di combustione è una grandezza che indica il grado di completezza del processo di combustione e la sua determinazione è perciò di fondamentale importanza per la valutazione delle prestazioni di un combustore.

Esiste una varietà di metodi per la determinazione del rendimento: misure dirette del salto di temperatura, rilievo di alcuni parametri fluidodinamici, metodi gravimetrici, analisi chimica dei prodotti della combustione.

I primi tre metodi danno risultati imprecisi per la difficoltà di valutare con grande accuratezza i parametri interessati.

L'ultimo metodo è il più sicuro ed è quello che è stato maggiormente sviluppato in questi ultimi anni soprattutto nella tecnica di prelievo dei campioni.

1. Definizione del rendimento di combustione e sua misura.

Il rendimento di combustione è per definizione il rapporto tra la effettiva quantità di calore liberata dalla miscela combustibile/aria in camera di combustione e quella teorica prevedibile.

Generalmente, però, nell'ipotesi di miscele non molto ricche, cioè di temperature di uscita dal combustore non molto elevate, può considerarsi più semplicemente come rapporto tra il salto effettivo di temperatura all'interno del combustore e quello teorico.

Analiticamente è definito da:

$$\eta_c = \frac{(1 + f)h_{t4} - (1 + f)h_{t3}}{(1 + f)q''} \quad (1)$$

con:

$1 + f$ = la quantità di miscela, assunta 1 la quantità di aria ed essendo f il rapporto combustibile/aria;

h_{t4} = l'entalpia dell'unità di peso di miscela all'uscita del combustore;

h_{t3} = l'entalpia dell'unità di peso di miscela all'ingresso del combustore;

q'' = la quantità teorica di calore liberata dall'unità di peso di miscela.

La valutazione per tale via del rendimento di combustione, involge la misura di un certo numero di grandezze, la cui determinazione è alquanto imprecisa.

Il salto teorico si può ricavare dalle tabelle dei gas di Keenan e Kay o da altri reports similari: pertanto non resta che valutare il salto effettivo di temperatura.

A parte le ipotesi un po' restrittive, un altro elemento di imprecisione nella determinazione per questa via del rendimento di combustione è costituito dalla non sufficiente accuratezza della misura della temperatura di fine combustione.

Vengono infatti generalmente usate termocopie che, ai livelli di temperatura da misurare, presentano perdite per radiazione e conduzione.

È per questo motivo che è stato sviluppato il metodo di analisi chimica dei gas prodotti dalla combustione, quale metodo indiretto di misura della temperatura di fine combustione.

Il metodo è basato sulla ovvia considerazione che il grado di completezza del processo di combustione può essere rilevato attraverso la determinazione delle percentuali di anidride carbonica CO_2 , di ossido di carbonio CO e di incombusti HC , presenti nei prodotti della combustione.

L'analisi chimica per la determinazione del rendimento di combustione, conta una lunga applicazione nel campo della combustione in impianti fissi (centrali, fornaci, ecc.) e nei motori a combustione interna.

La stessa metodologia non si presta tuttavia all'impiego aeronautico per la scarsa flessibilità di impiego, per la non immediatezza dei risultati e per l'impossibilità di una esplorazione approfondita e completa della sezione esaminata.

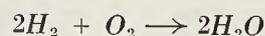
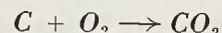
Il metodo che presentiamo consente invece di poter effettuare il trasporto continuo del campione di gas prelevato all'apparecchiatura di analisi (analisi « on line ») e di poter esplorare con continuità mediante un sistema rotante (« traverse »), la sezione anulare del combustore, tanto all'uscita della zona primaria che all'uscita del combustore.

2. Chimica della combustione.

Senza entrare in dettagli specifici, ci limiteremo qui a riassumere brevemente l'aspetto chimico della combustione.

Si considera un combustibile di composizione media $C_n H_{2n}$ (base olefinica-naftenica); tipico è il JP4 o comune kerosene.

La combustione completa dovrebbe portare alla completa ossidazione del carbonio e dell'idrogeno secondo le seguenti reazioni:



Questo semplice modello chimico tuttavia non sussiste per molteplici ragioni, quali l'incompletezza del processo di combustione, lo svolgersi di reazioni secondarie di decomposizione che hanno luogo alle alte temperature sviluppate, la presenza

nel combustibile di altri elementi oltre a carbonio e idrogeno, quali azoto (N_2), ecc.

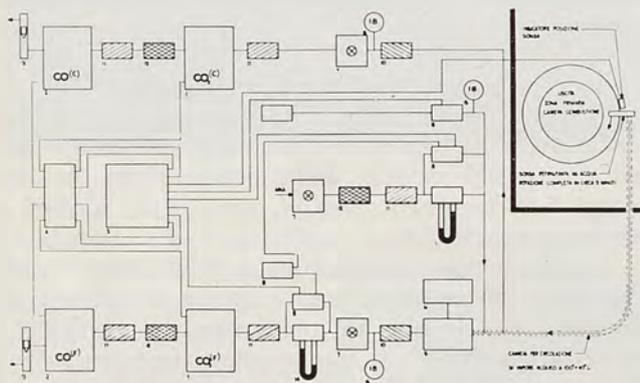
Pertanto in generale tra i prodotti della combustione figurano:

CO	ossido di carbonio	O	ossigeno atomico
CO_2	anidride carbonica	OH	ossidrile
H_2	idrogeno	H	idrogeno atomico
H_2O	vapore acqueo	NO	ossido di azoto
N_2	azoto	NH_3	ammoniaca
O_2	ossigeno	CH_4	metano

Ai fini della valutazione del rendimento, i prodotti della combustione vengono considerati in termini di CO_2 , CO , HC , indicando genericamente con HC gli incombusti.

3. Descrizione dell'apparecchiatura.

La tav. 1 mostra schematicamente l'apparecchiatura usata per l'analisi continua dei prodotti della combustione all'uscita della zona primaria del combustore.



Tav. 1 - Schema di apparecchiatura di analisi dei gas all'uscita della zona primaria.

La notevole compattezza consente l'installazione dell'apparato su una unità mobile (carrello o addirittura furgone), con facilità quindi di trasporto per esempio, all'uscita della cella di prova. Ciò permette di inviare il campione prelevato direttamente all'apparecchiatura di analisi con una determinazione praticamente immediata della composizione dei gas di combustione.

Il campione viene prelevato per mezzo di una sonda rotante.

La fig. 1 mostra il sistema di azionamento (traverse system): un motore elettrico, tramite riduttore, comanda un pignoncino che ingrana con una catena solidale ad un anello, al quale è fissata la sonda.

Il motore elettrico compie 1420 giri al minuto, la sonda effettua una rotazione completa in 9 minuti circa.

La fig. 2 rappresenta la sonda di prelievo del campione di gas. Essa è di acciaio inossidabile e viene refrigerata mediante circolazione di acqua che ha anche la funzione di bloccare ogni ulteriore combustione del campione dentro la sonda stessa (quenching).

Il posizionamento della sonda è registrabile in modo tale da poter coprire per ogni raggio sette

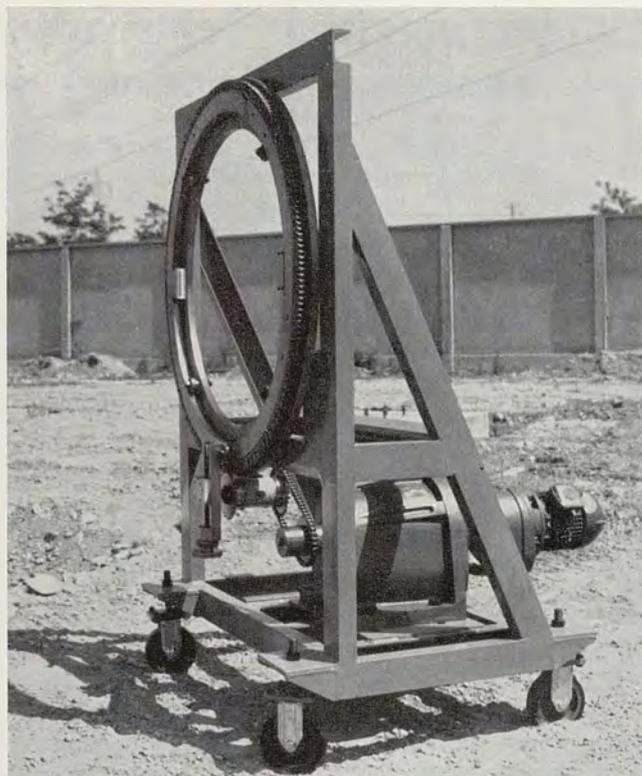


Fig. 1 - Dispositivo per il posizionamento angolare della sonda di prelievo del campione.

diverse posizioni, ciò che consente una accurata indagine locale (on the spot).

Per motivi di ingombro viene adoperata una sonda a posizionamento registrabile anziché un pettine a più prese.

Il campione viene quindi trasferito dalla sonda all'apparecchiatura di analisi mediante una linea di acciaio inossidabile o teflon, riscaldata per mezzo di vapore acqueo a $100 \div 110^\circ C$ per evitare la condensazione del vapore acqueo e degli incombusti contenuti nel campione stesso, che, oltre a falsare i risultati, potrebbe causare l'occlusione della linea di trasmissione.

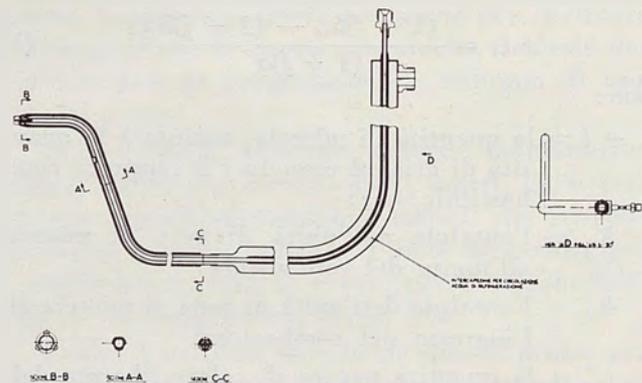


Fig. 2 - Sonda prelievo campione in zona primaria.

L'apparecchiatura della tav. 1 comprende due linee di analisi: quella superiore per il CO_2 e il CO provenienti dalla combustione diretta, quella inferiore per gli incombusti.

Opportuni essiccatori — a base di $CaCl_2$ e $Mg(ClO_4)_2$ — provvedono ad eliminare il vapore acqueo condensatosi.

Nella linea inferiore, il campione viene fatto passare all'interno di un forno dove viene insufflata dell'aria secca e non contenente CO₂ per effettuare la combustione degli incombusti.

La fig. 3 rappresenta il forno con relativo schema elettrico della centralina di controllo che provvede a mantenere la temperatura ad un valore costante di 1100 °C.

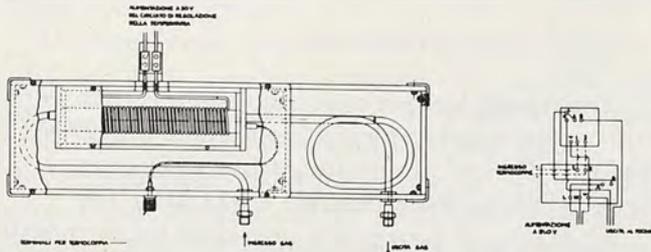


Fig. 3 - Fornetto per combustione degli incombusti e relativo circuito elettrico di regolazione della temperatura.

Il riscaldamento viene ottenuto mediante una spirale alimentata a 30 V e avvolta su un cilindro di porcellana all'interno del quale avviene l'ulteriore combustione del campione di gas prelevato.

Gli elementi principali dell'apparecchiatura di analisi sono quattro analizzatori a raggi infrarossi. Questi operano sul principio di assorbimento differenziale dell'energia contenuta in un fascio di raggi infrarossi paralleli.

L'energia è trasmessa a un rivelatore differenziale, attraverso 2 celle parallele contenenti rispettivamente un gas di riferimento e il gas in esame.

Il rivelatore avverte la differenza di composizione dei due gas e traduce il segnale ottico in uno elettrico, che, opportunamente amplificato, viene registrato con continuità su carta.

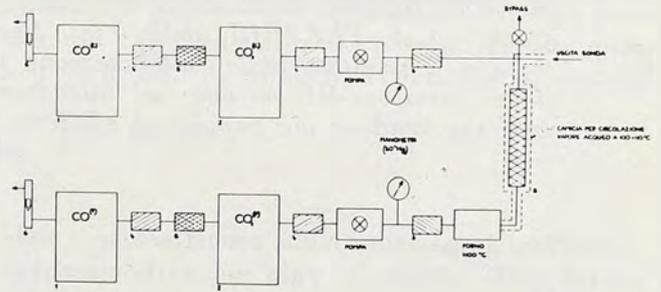
Praticamente, poichè l'analizzatore di CO della linea degli incombusti darà indicazione nulla, si ottengono in uscita tre curve — CO₂ e CO dalla combustione diretta e CO₂ dalla linea degli incombusti (questo valore di CO₂ è quello totale somma del CO₂ prodotto dalla combustione diretta e del CO₂ proveniente dalla combustione degli incombusti), che danno la percentuale dei gas in funzione della posizione angolare della sonda.

La tav. 2 mostra schematicamente l'apparecchiatura di analisi dei prodotti della combustione adattata per la sezione di uscita del combustore.

In questo caso, nel campione che è inviato alla linea degli incombusti viene eliminata ogni traccia di anidride carbonica proveniente dalla combustione diretta. Ciò in quanto, essendo notevolmente bassa la percentuale degli incombusti, è necessario misurare con maggiore precisione la percentuale di CO₂ proveniente dalla combustione degli incombusti stessi, e quindi si realizza una maggiore accuratezza nella determinazione del rendimento.

Inoltre, manca la linea supplementare di insufflazione di aria in quanto quella contenuta nei gas stessi è sufficiente (il rapporto aria/combustibile all'uscita del combustore è infatti 50 ÷ 60:1).

Per il prelievo del campione viene adoperato un pettine a 5 elementi confluenti in un polmone; infatti nella sezione di uscita del combustore interessa un campione « medio » e non « locale ».



Tav. 2 - Schema di apparecchiatura di analisi dei gas all'uscita della camera di combustione.

La fig. 4 mostra lo schema del pettine di prelievo.

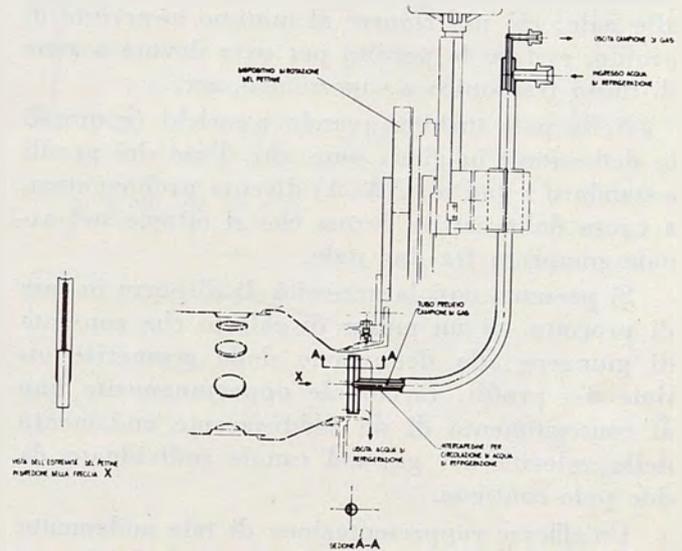


Fig. 4 - Schema del pettine di prelievo del campione all'uscita del combustore.

4. Determinazione del rendimento di combustione.

A) Uscita zona primaria.

Calcolando separatamente il rapporto combustibile/aria per le due linee di analisi, il rendimento di combustione è espresso da:

$$\eta = 100 \frac{(\text{Combustibile/aria}) \text{ linea comb. diretta}}{(\text{Combustibile/aria}) \text{ linea incombusti}}$$

B) Uscita camera di combustione.

Dalla determinazione delle percentuali di CO₂, CO, HC, si ricava la perdita di rendimento determinata da CO e HC e si risale al rendimento di combustione mediante la formula:

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{\text{Perdite per CO e HC}}{\text{Quantità totale di CO}_2} \right)$$

Giuseppe Caliri

BIBLIOGRAFIA

- S.A.E. 670945 - 1967.
- S.A.E. 690433 - 1969.
- S.A.E. ARP 1256 - 1971.
- Reports Rolls Royce, 1971-1972.

Analisi grafico-interattiva del campo di velocità intorno a profili di schiere per turbomacchine

A. GERANZANI, della Fiat, Direzione Sistemi e Informatica, Servizio Tecniche Interattive, ed A. PERARDI, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, presentano il risultato della collaborazione in atto tra la Direzione Sistemi-STI e la Divisione Aviazione-DP mirante ad introdurre e sviluppare nuove tecniche e mezzi di calcolo per rendere più rapida ed efficiente la progettazione dei motori a turbina aeronautici.

Una fase importante nella progettazione e nell'analisi delle schiere di pale per turbomacchine è costituita dallo studio del comportamento aerodinamico dei profili. La possibilità di aumentare il fattore di carico di stadio, conservando alti valori di rendimento isentropico, è legata alla realizzazione di un buon campo aerodinamico intorno alle pale: ciò per ridurre al minimo le perdite di profilo, evitare le perdite per urto dovute a zone di flusso transonico o supersonico, ecc.

Nelle pale turbina quando i carichi (e quindi le deflessioni) in gioco sono alti, l'uso dei profili « standard » (ad es. NACA) diventa problematico, a causa della cattiva forma che si ottiene nel canale compreso fra due pale.

Si presenta così la necessità di disporre in fase di progetto, di un mezzo di calcolo che consenta di giungere alla definizione delle geometrie ottime dei profili, variandole opportunamente fino al conseguimento di un soddisfacente andamento delle velocità del gas nel canale individuato da due pale contigue.

Un'efficace rappresentazione di tale andamento è fornita dal grafico delle velocità superficiali realizzate sui profili.

Esistono vari metodi di calcolo suggeriti dall'aerodinamica per ricavare tale diagramma delle velocità, e uno di questi, basato sull'analisi della funzione di corrente ed opportunamente programmato in FORTRAN V, viene correntemente impiegato su calcolatore [1].

Tuttavia l'uso di detto programma per giungere ad una definizione soddisfacente dei profili, seguendo ciclicamente le varie operazioni di input dei dati, elaborazione, conversione ed esame dei risultati in forma grafica, modifica dei dati di input ecc., comporta inevitabili e spesso lunghi tempi di attesa.

Per eliminare tali inconvenienti si è realizzato un nuovo programma di calcolo [2] così da utilizzarlo ancora sul calcolatore ma in modo colloquiale e diretto da parte del progettista.

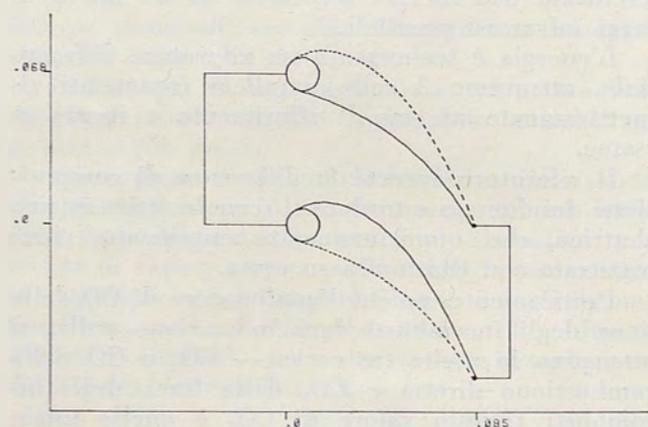
Questo può intervenire nelle varie fasi del calcolo, controllare e modificare i dati di partenza, ottenere la rappresentazione di grafici parziali e finali e operare tutte le scelte ritenute necessarie per arrivare ad un risultato soddisfacente.

Per questa tecnica conversazionale è stato adottato un terminale video a memoria TEKTRONIX T4002A di tipo grafico-interattivo con accesso remoto all'elaboratore centrale UNIVAC 1108.

In pratica il progettista operando sul terminale video è in grado — con opportuni comandi — di operare un vero e proprio colloquio con il calcolatore centrale, scegliendo le vie e ripetendo i passi elaborativi previsti nel programma.

Inoltre può gestire dalla tastiera del terminale video un archivio di dati geometrici e aerodinamici relativi ai profili da studiare, modificandoli

BLADE TO BLADE AREA



MODIFICA PROFILI

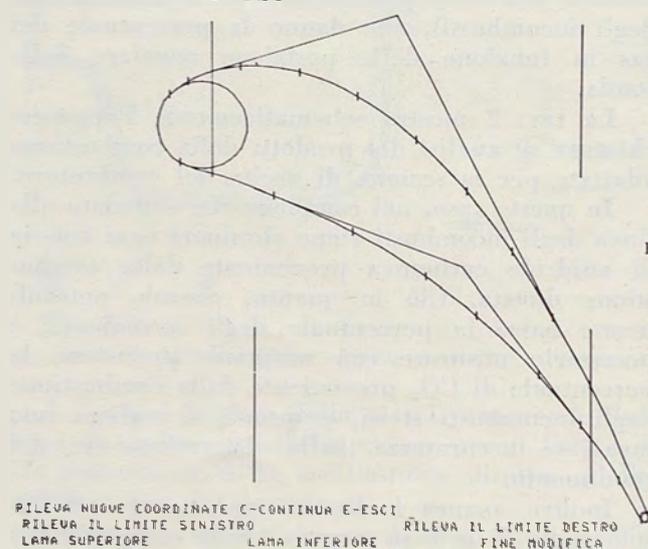


Fig. 1 - a) campo di flusso fra due pale contigue; b) profilo di una singola pala.

e memorizzandoli temporaneamente sulla memoria di massa del calcolatore centrale, registrandoli poi in modo permanente — ad ottimizzazione avvenuta — su un nastro magnetico in vista di futuri controlli e utilizzazioni.

Sempre dalla stessa tastiera si può dare l'avvio al programma interattivo e fornirgli il nominativo dei dati di ingresso da reperire nella memoria di massa dell'elaboratore.

Il programma poi risponde facendo apparire sullo schermo i valori numerici dei dati di ingresso: fra essi i punti che definiscono le due superfici di aspirazione e pressione del profilo e i dati aerodinamici con i parametri necessari al calcolo. I dati possono essere modificati a richiesta dell'operatore, in questa fase o in una successiva, semplicemente « puntando » sullo schermo il dato interessato con un apposito strumento (« Joystick ») ed impostando da tastiera il nuovo valore.

Il successivo apparire sullo schermo del campo aerodinamico fra due profili (fig. 1.a) permette un utile controllo visivo sulla convergenza del canale compreso fra due pale, mentre, con la comparsa del singolo profilo, è possibile accedere a discrezione dell'operatore alla modifica grafica dello stesso (fig. 1.b).

Prima di passare alla fase di calcolo vera e propria, l'operatore esamina il diagramma dello spessore e del raggio medio assegnato al canale di flusso e controlla l'avviatezza delle superfici della pala, tramite il diagramma delle tangenti al profilo.

Sempre su comando il programma esegue il calcolo della funzione di corrente nel campo aerodinamico di fig. 1.a, ricava la velocità all'interno di esso e sulle superfici della pala e ne mostra il diagramma (fig. 2.a) che al primo tentativo non sarà generalmente soddisfacente; occorrerà quindi modificarlo in qualche zona variando la corrispondente geometria del profilo.

Il calcolo eseguito è iterativo e compaiono nello schermo i diagrammi di velocità delle iterazioni intermedie. L'operatore fin dalla prima iterazione può giudicare della bontà o meno del risultato finale e risparmiare tempo di macchina interrompendo il calcolo, per apportare subito le necessarie modifiche.

Il profilo può essere modificato richiamando il sottoprogramma apposito, che permette di acquisire i nuovi punti assegnati graficamente direttamente sullo schermo con il « Joystick ». Ottenuto un nuovo diagramma delle velocità, se questo non è ancora soddisfacente, si possono ripetere ciclicamente le operazioni descritte fino ad ottenerlo nella forma voluta.

Calcolato il diagramma finale delle velocità superficiali si può richiedere la rappresentazione delle linee di corrente nel canale di flusso

(fig. 2.b) e chiudere così il colloquio con il calcolatore centrale, oppure ritornare all'inizio per studiare soluzioni alternative o modifiche o il comportamento fuori progetto della soluzione raggiunta. Si possono così soddisfare in tempi brevi tutte le varie esigenze che necessariamente porta con sé la fase di progetto di una turbomacchina.

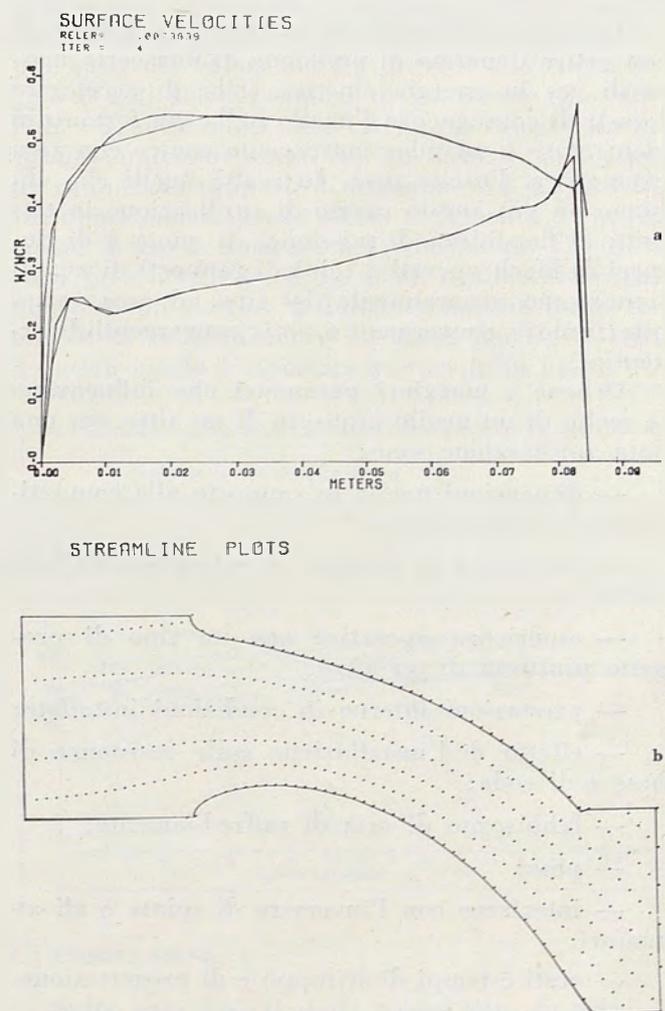


Fig. 2 - a) diagramma della velocità del gas sulla superficie di aspirazione e pressione della pala; b) linee di corrente nel campo fra due pale.

Il sistema messo a punto ha mostrato la possibilità di giungere con le tecniche grafico-interattive ad un più razionale utilizzo, rispetto ai metodi tradizionali, del calcolatore ed allo stabilirsi dell'auspicato colloquio diretto progettista-calcolatore nella soluzione dei problemi connessi con la progettazione.

Anna Geranzani - Adriano Perardi

RIFERIMENTI

- [1] KATSANIS, THEODORE, *Computer program for calculating velocities and streamlines on blade-to-blade stream surface of a turbomachine*, NASA TN D-4525, 1968.
- [2] A. GERANZANI, A. PERARDI, *Analisi grafico-interattiva del campo di velocità intorno a profili di schiere per turbomacchine*, Fiat, Direzione Sistemi, Divisione Aviazione, Relazione CAD 71-05, dicembre 1971.

Ugelli propulsori-analisi sperimentale su modelli

B. COCKSHUTT e G. VALLINI, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, riportano i risultati di prove sperimentali su modelli in scala di un ugello propulsivo a geometria variabile per caccia supersonico polivalente.

A) VARI TIPI DI UGELLI E LORO SCELTA.

Lo scopo dell'ugello in un motore a getto è di convertire l'energia di pressione di una certa massa di gas in energia cinetica (cioè di accelerare i gas); di conseguenza l'ugello nella sua forma più elementare è un tubo convergente conico con area geometrica d'uscita fissa. In realtà ugelli che abbiano un più ampio raggio di applicazione in termini di flessibilità di missione, di quota e di numeri di Mach operativi (cioè di rapporti di espansione) sono generalmente del tipo ad area variabile: solo « convergenti », o « convergenti-divergenti ».

Orbene i maggiori parametri che influenzano la scelta di un ugello piuttosto di un altro per una data applicazione sono:

- dimensioni ugello in rapporto alla compatibilità di installazione;
- semplicità di disegno in rapporto all'affidabilità;
- esperienza operativa con un tipo di progetto piuttosto di un altro;
- prestazioni interne in condizioni installate;
- effetto dell'installazione sulle resistenze di base e di coda;
- fabbisogno di aria di raffreddamento;
- peso;
- interfacce con l'inversore di spinta e gli attuatori;
- costi e tempi di sviluppo e di progettazione.

Come si può facilmente intendere quindi, mentre una certa prassi teorica di scelta può essere effettuata per quel che riguarda le « prestazioni », sulla base del raggio di azione, del peso, dei coefficienti di spinta dell'ugello, del consumo specifico del motore, molti altri aspetti non meno importanti e non riducibili ad uno schema preciso, vengono ad interferire nella scelta di un ugello propulsore.

Di conseguenza, nell'ambito dello sviluppo di un motore per velivolo supersonico a vasto raggio di azione, con gran parte delle missioni previste in regime subsonico si è scelto un ugello conico a geometria variabile a petali corti, con attuatore ad involucro traslato.

B) ANALISI SPERIMENTALE SU MODELLI.

1. Descrizione delle prove.

Per studiare le prestazioni aerodinamiche interne di questo ugello conico a geometria variabile, si sono effettuate una serie di prove su mo-

delli in scala lineare con rapporto 1:6,88 (la scala è stata scelta unicamente in base alle preesistenti attrezzature di prova). Le varie configurazioni di prova adottate coprono tutto il campo di variazione degli angoli assunti dai petali dell'ugello al vero e dei salti di pressione. Le prove sono state effettuate a freddo in similitudine di Mach. I risultati sono stati elaborati in termini di coefficienti di spinta C_F , C_X e di scarico C_D che definiremo meglio in seguito. I valori ottenuti sono stati poi direttamente confrontati con dei valori previsti basati su una correlazione ed estrapolazione di dati sperimentali ottenuti da altri sperimentatori per angoli solo fino a 35° .

La serie dei modellini usati, comprende 5 modellini conici con semiangoli di uscita di ($7^\circ 2'$, $16^\circ 43'$, $31^\circ 16'$, $40^\circ 55'$, $50^\circ 30'$). Inoltre vi è un modellino poligonale con un semiangolo di conicità di 50° per poter effettuare un confronto tra ugello conico e quello poligonale che più si avvicina nella forma a quello reale costituito da un certo numero di petali; e un « faired entry » cioè un ugello di geometria determinata di cui si conoscono perfettamente le caratteristiche aerodinamiche interne e che serve per la calibratura di tutto il banco.

Tutti i modelli provati sono stati strumentati per misurare le pressioni sulla superficie esterna della parte convergente e dell'involucro esterno, che simula l'apparato attuatore dell'ugello.

L'impianto di prova è di tipo oscillante. L'aria è fornita a temperatura ambiente ad una pressione, nella sezione di misura del modello, di 2,5 atm. A monte della sezione di prova vi è un venturimetro usato per misurare la portata d'aria; la calibratura del venturimetro è effettuata mediante un ugello calibrato di tipo « Stratford standard package » (rif. 1). Il sistema di misura della spinta, di tipo Statham opera sul principio dello Strain Gauges. L'ugello scarica in una camera di depressione in cui si può abbassare la pressione fino a 0,3 atm assolute; con questo sistema è stato possibile ottenere rapporti di espansione negli ugelli di $2,5/0,3 = 8,33$.

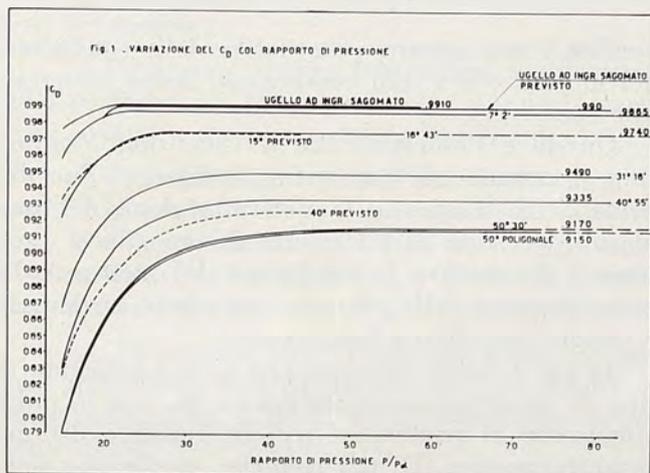
In base alla precisione delle letture delle varie grandezze, portate, pressioni, temperature, il valore di C_D calcolato presenta un errore del +0,3 % e del C_X un errore compreso tra lo 0,306 % e lo 0,315 % rispettivamente per semiangoli di uscita più piccoli e più grandi.

2. Discussione dei risultati.

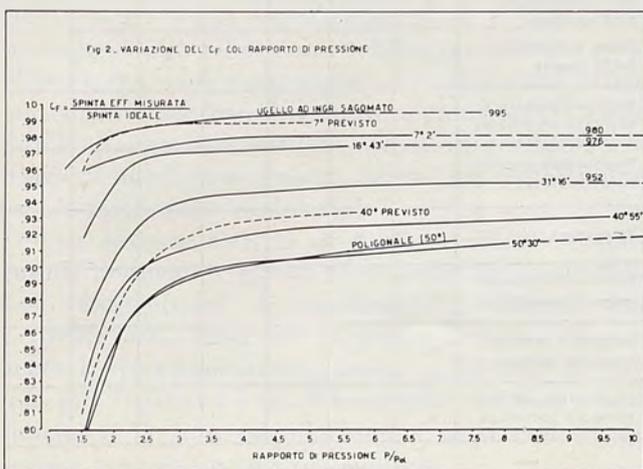
Il coefficiente di scarico $C_D = A^*/A_2$ definito come rapporto della aera attraverso cui passerebbe la portata G in condizioni ideali isentropiche e

l'area ristretta effettiva è rappresentato nella figura 1.

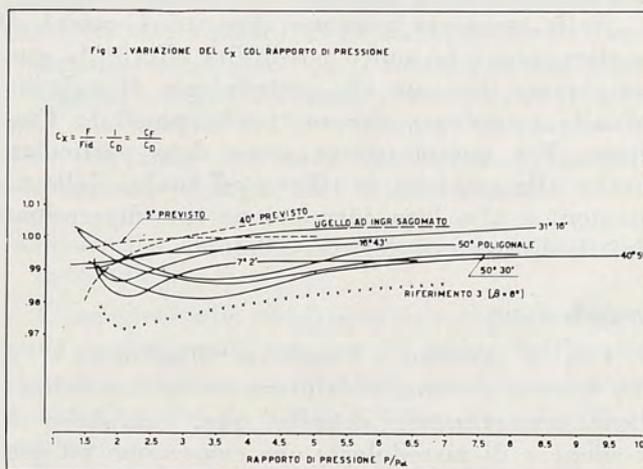
In generale come si vede dal confronto con le curve tratteggiate per $\beta = 15^\circ$ e $\beta = 40^\circ$ previste, si è trovato che i modelli conici presentano dei valori di C_D uguali o leggermente più alti (0,8 %) di quelli previsti da altre esperienze.



Esaminando poi le prestazioni in termini di spinta dei modelli provati, le conclusioni non sono tanto semplici da trarre, specialmente per le differenti definizioni che si possono avere del coefficiente di spinta. Un coefficiente usato è quello indicato con C_X che sarebbe il rapporto tra la spinta misurata e il prodotto della spinta ideale per il valore di C_D ($C_X = F/F_{ID} \cdot 1/C_D$). Questo fattore dovrebbe essere più esattamente chiamato « coefficiente di spinta specifica » poichè esso è ottenuto sulla base della spinta che ci si aspetta da un ugello che ha la stessa densità di portata specifica di un ugello ideale. Infatti per ottenere la spinta lorda bisogna moltiplicare la spinta ideale per C_X e C_D . Un altro coefficiente di uso comune è il cosiddetto C_F che può essere definito come semplice rapporto di spinta ed è calcolato come rapporto tra la spinta misurata divisa per la spinta ideale calcolata. Le curve dei C_F presentano l'andamento indicato nella fig. 2 dove per confronto sono riportate tratteggiate le due curve previste per $\beta = 40^\circ$ e $\beta = 7^\circ$.



Nella fig. 3 si sono analizzati i valori dei C_X in confronto sempre con i dati previsti. I risultati previsti indicano una famiglia di curve aventi la caratteristica di passare tutte per un valore di $C_X=1$ per $P_j/P=3$ di cui riportiamo quelle per $\beta = 5^\circ$ e $\beta = 40^\circ$. Al contrario i valori di C_X ottenuti sperimentalmente non presentano un andamento così ordinato come quelli previsti. In questo caso i valori di C_X massimo, ottenuti ai più alti valori di pressione provata, sono generalmente più bassi dei valori dei C_X previsti allo stesso angolo e agli stessi rapporti di pressione ($\beta = 40^\circ$; $P_j/P=5$; differenza dell'1,3 %). I valori ricavati sperimentalmente mostrano un minimo di C_X per un campo dei rapporti di pressione tra 1,25 e 3,35. Incidentalmente questo stesso andamento è visibile anche in curve ricavate nel riferimento [3] dove sono presentati i C_F e C_D di un ugello conico primario di un eiettore a flusso secondario nullo con angolo di conicità di 8° . La curva dei C_X relativa a questo ugello è riportata a crocette in fig. 3.



C) CONCLUSIONI.

Sulla base quindi delle prove fatte in tutto il campo di esercizio di questo ugello conico cosiddetto a petali corti, si sono trovati coefficienti di portata C_D generalmente più alti e di spinta C_X generalmente più bassi di quelli previsti. La spinta lorda però considerata proporzionale a $C_X \cdot C_D$ paragonata a quella ottenuta con valori previsti di C_X e C_D risulta generalmente più piccola. Si tratterà quindi di ritoccare i parametri del motore per ottenere la spinta desiderata.

B. Cockshutt - G. Vallini

BIBLIOGRAFIA

- [1] Stratford Standard Package, Rolls Royce, october 1966.
- [2] M. V. HERBERT, D. L. MARTLOW, R. A. PINKER, *The Design Point Performance of Model Internal-Expansion Propelling Nozzles with Area Ratios up to 4*, Ministry of Aviation Reports and Memoranda N. 3477, december 1963.
- [3] W. K. GREATHOUSE, D. P. HOLLISTER, *Air Flow and Thrust Characteristics of several Cylindrical Cooling Air Ejectors with a Primary to Secondary Temperature Ratio of 1.0*, NACA Rm E 52L24, march, 6, 1953.

Condition monitoring - Una nuova tecnologia per la manutenzione dei motori aeronautici

S. BRIGNONE, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, espone l'esperienza acquisita nel campo dell'analisi delle vibrazioni e le sue applicazioni ai motori aeronautici, in vari programmi svolti in collaborazione con industrie motoristiche straniere.

Sommario.

L'autore si propone di illustrare una nuova tecnica informatrice dei sistemi e dei programmi di manutenzione verso cui ormai si orientano tutte le case costruttrici di motori aeronautici e le maggiori compagnie aeree utilizzatrici.

Questa nuova tecnica, nota come « Condition Monitoring », mira a una maggiore economicità di esercizio e una migliore applicabilità, sostituendo al concetto di manutenzione a tempo determinato quello di manutenzione basata sulle effettive condizioni del motore.

Nella memoria vengono descritti i campi di applicazione e le nuove possibilità offerte da questo sistema, insieme alle metodologie di indagine ed alla tecnologia che ne rende possibile l'impiego. Fra queste ultime viene dato particolare risalto alle tecniche di rilievo ed analisi delle vibrazioni e alla loro correlazione con determinati tipi di disfunzioni dei turbomotori.

Introduzione.

Con il termine « Condition Monitoring », o, con diversa dizione, « Maintenance on Condition », viene generalmente definito quel complesso di tecniche e di metodologie che consentono un controllo preventivo dello stato di efficienza dei turbomotori aeronautici, fornendo i mezzi per una diagnosi precoce dei problemi incipienti.

Questa tecnologia segna il passaggio ad un orientamento nuovo nei sistemi di manutenzione dei turbomotori, sostituendo al concetto di manutenzione periodica a tempo determinato, quello di manutenzione basata sulle effettive condizioni del motore.

Tale sistema consente di conseguire una maggiore economicità di esercizio insieme ad una migliore affidabilità e verso di esso ormai si orientano tutte le case costruttrici di turbomotori e le principali Compagnie Aeree utilizzatrici.

Obiettivi e tecniche.

Il concetto di manutenzione basata su ispezioni periodiche a tempo determinato delle parti del motore, non si è dimostrato molto efficiente agli effetti del costo. Infatti esso comporta un periodico smontaggio del motore in ogni caso, anche quando non vi siano motivi che facciano ritenere l'esistenza di guasti.

La soluzione del problema sarebbe rappresentata da un sistema che consentisse una continua

verifica e una misura quantitativa delle condizioni del motore o dei suoi componenti senza ricorrere allo smontaggio.

Questo è l'obiettivo che il Condition Monitoring si propone di conseguire, attraverso due distinte linee d'azione; la determinazione del numero e del tipo di parametri che meglio si prestino a denunciare le condizioni del motore e la messa a punto delle tecniche più adatte a rilevarli a motore installato e funzionante.

In fig. 1 viene riportata una tavola indicante il tipo di tecniche impiegate dal C. M. per la individuazione di particolari tipi di guasti o disfunzioni del motore. Di tali tecniche, quelle che vengono più largamente usate e che forniscono al presente i risultati più promettenti si possono brevemente descrivere come segue:

a) il rilievo continuo di alcuni parametri correlati alle prestazioni meccaniche e termodina-

	Controllo parametri	Analisi vibrazioni e del suono	Sonde ottiche	Radiografia	Analisi dell'olio	Pirometria	Analisi della Impedenza Meccanica
Danni alle pale	x	x	x	x		x	
Degradazione delle prestazioni	x						
Danni da oggetti esterni	x	x	x	x			
Difetti dei cuscinetti		x			x		
Difetti degli ingranaggi		x			x		
Usura o disfunzioni pompe lubrificante	x	x			x		
Rotture e perdite nel circuito lubrificazione	x						x
Usura o difetti delle tenute	x				x		
Surriscaldamento o sovrasollecitazioni dei combustori	x		x	x			
Incrustazioni strutturali e involucri				x			x
Vibrazioni	x	x					
Usura o disfunzioni pompe combustibile	x	x					
Rotture e perdite circuito combustibile	x						x
Disfunzioni del sistema di controllo e regolazione	x						

Fig. 1

miche del motore (quali pressioni, temperature, numero di giri, portate) e la interpretazione delle loro variazioni. Questo sistema viene oggi sempre più sofisticato, con l'impiego di programmi di analisi computerizzati;

b) l'analisi delle vibrazioni del motore e dei suoi componenti, e la correlazione delle informazioni in esse contenute con particolari tipi di difetti del motore;

c) l'indagine visiva, fotografica o televisiva sulle parti interne del motore, e in specie le parti calde, tramite sonde ottiche (« Boroscopy »);

d) l'analisi continua dell'olio lubrificante il quale è in grado di fornire parecchie informazioni sulle condizioni delle parti lubrificate attraverso l'esame delle sue caratteristiche, della sua temperatura e del suo contenuto di particelle metalliche;

e) l'ispezione radiografica per mezzo di isotopi radioattivi inseriti all'interno del motore e films radiografici disposti sulla superficie esterna dello stesso;

f) la pirometria a raggi infrarossi, specialmente usata per il controllo delle temperature delle pale turbina.

Il controllo del motore mediante le tecniche di ispezione descritte si può svolgere sia periodicamente con attrezzatura di terra, sia in modo continuo durante il funzionamento in volo, con apparecchiature di rilievo e registrazione installate a bordo.

Oltre alla identificazione di difetti e guasti già in atto è così possibile avere anche un mezzo di previsione circa il futuro stato di efficienza del motore.

Ciò viene ottenuto tramite una interpretazione dei parametri rilevati che guarda alla loro variazione relativa nel tempo, definendone l'andamento e la tendenza a confronto con l'andamento che l'esperienza indica come normale. Da una anormale variazione si può desumere una disfunzione incipiente e si può seguirla nel suo progredire fino a valori limite che impongano un intervento correttivo.

Uno degli strumenti più validi per il conseguimento degli scopi sopra descritti si è dimostrata la analisi delle vibrazioni del motore nel suo complesso e dei suoi componenti. Le vibrazioni infatti contengono intrinseche informazioni sulle cause che le hanno determinate, ed inoltre è possibile rilevarle mediante sensori interni di installazione fissa e facilmente realizzabile.

Una intensa attività di studio e ricerca è stata quindi dedicata a questa tecnologia da parte delle Case Costruttrici di turbomotori; attività che ha avuto come risultato la messa a punto di particolari apparecchiature, teorie e metodi di calcolo per il rilievo e la elaborazione dei dati vibrometrici e la loro correlazione a certi tipi di difettoso funzionamento del motore.

La seconda parte di questo scritto si propone di descrivere a grandi linee alcuni degli aspetti più interessanti di questa tecnologia e dei risultati conseguiti in questo campo.

L'analisi delle vibrazioni.

L'analisi sonica e delle vibrazioni come mezzo di indagine sulle condizioni di organi meccanici in movimento è una tecnica applicata da tempo e ben conosciuta.

L'impiego di questa tecnica per la diagnosi delle condizioni di efficienza dei turbomotori ha richiesto però una ulteriore sofisticazione dei mezzi di rilievo e di elaborazione dei dati e la messa a punto di varie teorie che correlino più esattamente le caratteristiche vibrometriche rilevate a determinati difetti, disfunzioni, usure tipiche di tali motori.

L'analisi delle vibrazioni viene generalmente impiegata quando si tratta di indagare sulle condizioni di organi meccanici quali cuscinetti, ingranaggi, pompe, ecc. Ma essa è in grado di fornire utili informazioni anche in altri campi, quali lo sbilanciamento delle parti rotanti, la ingestione di oggetti esterni ed infine, non meno importante, lo studio delle frequenze caratteristiche della intrazione fra stadi compressore e turbina e la corrente dei gas che li attraversano.

Controllo dei componenti meccanici - La « signature analysis ».

L'indagine sulle condizioni di componenti meccanici in movimento relativo per mezzo dell'analisi vibratoria, si basa su una più vasta metodologia di indagine che va sotto il nome di « Signature Analysis ».

Un complesso meccanico in funzionamento genera delle vibrazioni che vengono trasmesse a tutte le sue strutture e sono quindi rilevabili per mezzo di sensori quali accelerometri, opportunamente dislocati.

Un qualsiasi difetto, come potrebbe essere una scheggiatura per un cuscinetto o un dente difettoso o un sopporto eccentrico per un ingranaggio, causeranno una variazione del segnale vibratorio trasmesso dal componente; tale segnale conterrà quindi intrinsecamente l'informazione del difetto, la « firma » che questo gli imprime.

Il problema a questo punto è di individuare caso per caso quale è il tipo di « firma » generato da ciascun tipo di difetto e studiare il modo di evidenziare questa caratteristica che in genere è sommersa in un ampio rumore di fondo e confusa dalla coesistenza di svariati altri fenomeni vibratorii collaterali.

Segue quindi un processo di interpretazione del significato della caratteristica rilevata e di decisione sulla entità del guasto rappresentato.

Il discriminante può manifestarsi, secondo il tipo di guasto che lo genera, come una periodica modulazione della vibrazione di base, quando a causarlo sia un difetto concentrato su un compo-

nente in rotazione; ovvero come una modificazione permanente del segnale rilevabile in condizioni normali, quando il difetto sia distribuito su tutta la superficie attiva del componente. In questo secondo caso la interpretazione del discriminante comporta evidentemente il confronto con la forma d'onda di riferimento, tipica del funzionamento normale.

Esistono diversi metodi di elaborazione elettronica dei segnali, atti ad evidenziare particolari caratteristiche ripetitive o transitorie non immediatamente riconoscibili. Caso per caso occorre scegliere il metodo che più si presta, secondo il tipo di discriminante generato dal difetto.

Se il segnale prodotto dal difetto è caratterizzato dall'essere concentrato intorno ad una certa frequenza (modulazione d'ampiezza), l'analisi spettrografica ed un complesso di filtri è il sistema di individuazione più adatto.

Se invece il difetto produce un segnale del tipo concentrato nel tempo (transitorio rapido) ed avente quindi un ampio spettro di frequenza, la analisi spettrografica non fornisce più utili informazioni. Bisogna allora riferirsi alla esistenza o meno di un andamento ripetitivo (periodico) dei transitori.

Se un tale andamento non esiste, si tratta allora di rilevare la semplice presenza di picchi nel segnale, e ciò può essere fatto rilevando il manifestarsi di transitori di un certo livello, o meglio calcolando il « fattore di forma » del segnale, come rapporto tra valore di picco e valore efficace.

Una indagine più efficace può condursi invece quando esista un andamento ricorrente del discriminante, attraverso l'impiego di moderne tecniche ed apparecchiature elettroniche. Tra queste ricorderemo:

a) Il « Time Averaging » o « Summation Analysis ».

Il segnale in esame viene suddiviso in porzioni di durata pari al periodo di ripetizione previsto, ed ogni porzione viene esemplificata un certo numero di volte al secondo. Gli esempi vengono memorizzati e quindi sommati. In tal modo viene attenuato il rumore di fondo ed ogni altro segnale di natura non periodica, mentre viene esaltata la componente della periodicità voluta.

b) « Correlation » ed « Auto Correlation ».

Col metodo di correlazione il segnale $S(t)$ viene comparato con una forma d'onda di riferimento nota $R(t)$ e viene calcolato il fattore di correlazione $P(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} R(t) S(t+T) dt$ dove T è un fattore di ritardo variabile, introdotto per controllare i relativi punti di confronto tra il segnale e il riferimento. Il fattore di correlazione dà una misura della similitudine di $S(t)$ col riferimento noto.

Nell'auto-correlazione porzioni dello stesso segnale $S(t)$ vengono paragonate tra di loro. Se il segnale possiede spiccate caratteristiche ripetitive, il fattore di correlazione $P(t)$ presenterà dei massimi della stessa periodicità.

c) « Frequency of Binary Word ».

È questo un moderno e complesso sistema che prevede la trasduzione del segnale in forma digitale binaria e la successiva analisi mediante elaboratore elettronico.

La tavola riportata in figura n. 2, riassume quanto sopra esposto indicando i metodi generali di indagine, i sistemi di estrazione e i discriminanti impiegati, secondo la natura del difetto da analizzare.

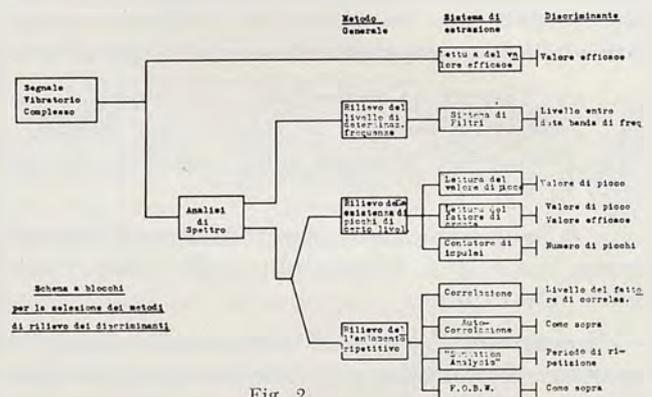


Fig. 2

In fig. 3 è rappresentata una apparecchiatura elettronica della General Radio, disponibile in Fiat per condurre tutti i tipi di analisi finora descritti. Si tratta di un apparecchio programmabile ed in grado di eseguire automaticamente la elaborazione dei dati vibrometrici preventivamente registrati su nastro magnetico.

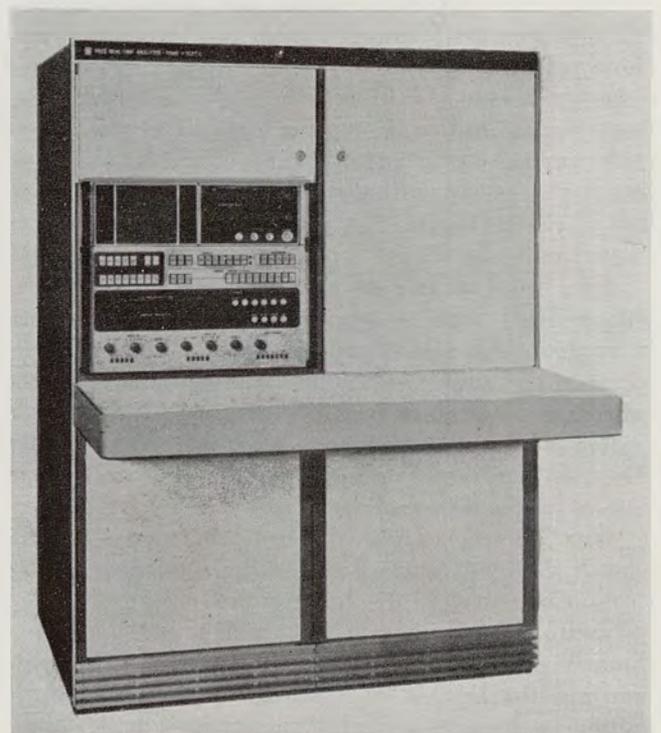


Fig. 3

I concetti esaminati trovano applicazione in una serie di apparecchiature e associate tecnologie messe a punto da varie Case Costruttrici. Tra queste ricorderemo, per i risultati particolarmente promettenti forniti, quelle destinate al controllo delle condizioni dei cuscinetti e degli ingranaggi.

— *cuscinetti*: una delle tecniche alle quali viene dedicata maggiore attenzione, è quella riguardante l'identificazione di scheggiature che si verificano sulle piste o sulle sfere dei cuscinetti.

Gli studi condotti in merito mirano a stabilire se esista una caratteristica invariante nel tipo di vibrazione indotta da un cuscinetto contenente scheggiature e quindi come sia possibile utilizzare questa caratteristica per la indicazione automatica del difetto.

Vari modelli matematici sono stati creati per definire i diversi modi di vibrazione di un cuscinetto scheggiato sulla pista interna, esterna o sulle sfere.

La conclusione generale cui si è pervenuti è che il cuscinetto difettoso dà luogo ad una serie di impulsi transitori la cui frequenza propria è legata in forma complessa alla struttura del cuscinetto stesso e la cui frequenza di ripetizione è proporzionale alla velocità di rotazione di esso.

Tra i discriminanti più usati dalle apparecchiature per la identificazione di questo tipo di difetto, è il fattore di forma del segnale, inteso come rapporto tra valore massimo e valore efficace.

— *ingranaggi*: un sistema di ingranaggi genera durante il funzionamento un segnale vibratorio di natura complessa dovuto al ciclico imbocco dei denti ed alle azioni dinamiche dei vari componenti in rotazione. Questo segnale può essere rilevato dall'esterno mediante accelerometri installati sulla carcassa: si ha quindi un valido mezzo di indagine sulle condizioni degli ingranaggi mediante sensori che non interferiscono con il funzionamento di essi.

Ogni coppia di ingranaggi del complesso è caratterizzata da una propria frequenza di vibrazione (frequenza di contatto fra i denti o Meshing Frequency) legata al numero di denti ed alla velocità di rotazione di una delle ruote della coppia.

Questa vibrazione di base, che possiede una determinata forma in condizioni normali, viene differentemente modificata dalla presenza di difetti localizzati o distribuiti sulla superficie di imbocco dei denti o dalla disuniforme distribuzione del carico (eccentricità dei supporti, ecc.).

Bisogna allora distinguere due categorie di difetti:

a) Difetti non simmetrici: quali scheggiature o rottura di un dente, eccentricità dell'ingranaggio, imperfetto allineamento degli ingranaggi o degli alberi.

Questi difetti causano una modulazione della vibrazione di base, di frequenza pari a quella di

rotazione dell'albero relativo (un periodo per rivoluzione).

b) Difetti simmetrici: quali uniforme logoramento dei denti.

Essi non generano una caratteristica periodica, ma modificano in modo vario e non prevedibile con precisione il segnale portante.

Nel primo caso è possibile evidenziare il difetto senza che occorra conoscere in dettaglio la forma d'onda della « meshing frequency ».

Nel secondo caso occorre invece confrontare la forma d'onda generata dal difetto con una di riferimento rilevata in condizioni normali.

Il problema a questo punto si riconduce a quello di estrarre dalla vibrazione complessa rilevata dall'accelerometro, la meshing frequency dell'ingranaggio che si vuol controllare, la quale contiene intrinsecamente le informazioni circa le condizioni di questo.

Ciò può essere ottenuto per mezzo di un sistema di filtri centrato su tale frequenza. Il segnale risultante viene quindi elaborato con uno dei metodi precedentemente descritti (Summation Analysis o Correlation, ecc.) in modo da eliminare il rumore di fondo ed evidenziare la periodicità della forma d'onda.

A processo ultimato, questo si presenta come una onda pressochè sinusoidale, dove ogni periodo rappresenta il tempo di contatto tra una coppia di denti.

La deformazione o la modulazione eventualmente presenti in questa forma d'onda consentono nella maggior parte dei casi di risalire al difetto che le ha provocate.

Conclusioni.

Per concludere, occorre ricordare che la realizzazione di un efficiente programma di manutenzione basato sul C. M., è condizionata dal progetto costruttivo dei motori cui esso è destinato.

Occorre infatti che l'applicazione delle tecniche di indagine descritte e delle apparecchiature necessarie, venga prevista fin dalla fase di progettazione del motore.

Ciò ha costituito finora un ostacolo alla introduzione di questo sistema di manutenzione ai motori già esistenti in servizio.

Ma è già in atto per i motori della nuova generazione una estensiva integrazione delle caratteristiche progettative con la possibilità di applicazione dei sistemi del C. M.

È quindi legittima la previsione che per il futuro la manutenzione basata sulle condizioni si sostituirà completamente ai tradizionali sistemi basati su un fisso TBO.

Stefano Brignone

BIBLIOGRAFIA

- [1] K. B. KOCHANSSKI, *Condition Monitoring*, ASME Publ.
- [2] B. WEICHBRODT, *Scritti vari sulla Signature Analysis per la G. E. Company*.

Evoluzione degli studi concernenti lo Space Tug Europeo

M. PORRU, Dirigente Capo Ufficio della Fiat, Divisione Aviazione, riassume l'evoluzione concettuale dello Space Tug europeo ed illustra in particolare i contributi degli Studi Fiat.

1. Introduzione.

Quando nel 1969 si definì in concreto l'invito americano all'Europa per una partecipazione ai programmi Post-Apollo per la conquista e l'esplorazione dello spazio, l'Europa si trovò davanti ad una situazione ormai di fatto.

In effetti gli americani avevano già definito i modelli dei sistemi di traffico orbitale dagli anni 80 in poi indicando le direttive ed i mezzi principali atti a realizzare tali modelli di traffico.

Come è noto il programma Post-Apollo si diversifica su tre direttive principali, e cioè:

- lo Space Shuttle, o navetta recuperabile;
- il rimorchiatore interorbitale con equipaggio a bordo (Space Tug);
- la stazione modulare orbitante.

Non torneremo in questa sede sulle ragioni economiche e politiche che spinsero gli USA ad un tale invito contro i desideri delle ditte americane stesse.

Ricordiamo piuttosto che tutta l'Europa spaziale fu scossa da un fremito d'interesse, essendo balenata la possibilità di acquisire cognizioni e tecnologie avanzate lavorando direttamente con i « maestri » d'Oltreoceano. Si pensò in un primo tempo che con pochi spiccioli gli USA ci avrebbero permesso di lavorare su tutta la gamma dei programmi Post-Apollo, riversandoci in totale o quasi il loro know-how. Come queste speranze siano poi miseramente naufragate davanti ai molti zeri delle quote di partecipazione richieste dagli americani è storia troppo nota e recente.

Diciamo soltanto che l'Europa Spaziale si trovò costretta a riesaminare, con maggiore concretezza e senso realistico i limiti della sua partecipazione.

Soprattutto Eurospace si fece promotrice di iniziative e riunioni miste Europa-USA con l'intento di facilitare la definizione di detti limiti.

Da questo lavoro fu messo in evidenza che lo studio e la realizzazione di uno Space-Tug senza uomini a bordo, capace di compiere missioni solo con sistemi automatici ed in grado poi di essere recuperato, era compatibile con le possibilità europee, economiche e tecnologiche, e poneva ugualmente l'Europa nel cuore del progetto Post-Apollo.

In effetti la necessità di uno speciale veicolo, quale lo Space Tug, nasce da precise esigenze operative.

Infatti lo Shuttle o meglio il suo secondo stadio « orbiter » è in grado di porre circa 30 tonnellate di carico nell'orbita nominale di 185 km e 28° circa di inclinazione, ma questa sua capacità de-

crece rapidamente al crescere dell'altezza dell'orbita.

Risulta così (Ref. 1) che se anche la zona cargo (4,5 m di diametro e 18 m di lunghezza) fosse riempita di propellente l'orbiter non riuscirebbe più a porre alcun carico già su un'orbita di 1000 km, qualunque fosse l'inclinazione di quest'orbita.

Ora un numero sempre più grande di missioni richiede altezze orbitali ben più elevate come ad esempio quasi tutti i satelliti di applicazione per i quali è necessario raggiungere altezze di 36.000 km (orbita geostazionaria).

Si è così visto che quasi i 3/4 delle missioni previste per gli anni 80 richiederanno una forma di veicolo ausiliario, quale appunto lo Space Tug, che diviene quindi un elemento basilare del programma Post-Apollo.

Da queste considerazioni e dall'analisi del programma generale e della particolare situazione finanziaria americana, si potrebbero così riassumere le ragioni che hanno indotto l'Europa Spaziale ad indirizzare i propri interessi soprattutto sullo Space Tug:

1) Lo Space Tug è un sistema autonomo del programma e permette una certa indifferenza nei tempi di sviluppo rispetto al programma dello Shuttle.

2) L'Europa avrebbe la « leadership » di un tale progetto.

3) I problemi tecnici connessi ad un tale tipo di veicolo aprono una vasta gamma di aree investigative e spingerebbero i livelli tecnologici europei ben oltre i limiti attuali.

4) L'indispensabilità del Tug quale elemento intermedio tra i satelliti e lo Shuttle garantirebbe la effettiva partecipazione europea ad un gran numero di missioni americane, dagli anni 80 in poi.

5) Il rifornimento di strutture di ricambio tra i voli o di veicoli completi, sembra rappresentare un valido mercato finanziario; si prevede infatti la necessità di fornire tre tug per anno a partire dal 1980.

6) La NASA ha recentemente confermato che non vi saranno, negli USA, fondi disponibili per lo Space Tug fino agli anni 1977 in cui comincerà a decrescere l'impegno finanziario per lo Shuttle.

Pertanto senza la collaborazione europea la NASA potrebbe vedersi costretta, per quel periodo, a modificare rapidamente degli stadi esistenti (quale l'Agenda, Delta, Centaur, ecc.) per avere subito un surrogato dello Space Tug. Ma da stima della stessa NASA è apparso che per adattare un

Centaur a veicolo recuperabile, si richiederebbero spese simili a quelle necessarie per la realizzazione del Tug ma si otterrebbero prestazioni nettamente inferiori. In ogni caso lo sviluppo di un Tug sarebbe necessario ma la NASA da sola non potrebbe approntarlo prima del 1985, mentre l'Europa potrebbe averlo operativo già per il 1980.

2. Evoluzione concettuale dello Space Tug.

Alla luce di tutte le considerazioni già fatte, l'Europa spaziale, con molto entusiasmo ma con pochezza di mezzi finanziari, intraprendeva degli studi di pre-fattibilità su detto Space Tug. Il primo di tali studi aveva termine il 31 gennaio 1971 ed il secondo il 31 agosto 1971.

Due consorzi in parallelo sono impegnati in questi studi e precisamente un consorzio capeggiato dalla M.B.B. (Germania) ed uno dalla H.S.D. (Inghilterra) a cui la Fiat aderisce.

A seguito di questi studi sono emersi in dettaglio le principali missioni che lo Space Tug dovrebbe compiere ed i requisiti generali dello Space Tug stesso. Dobbiamo anche dire che gli studi condotti in Europa, con continuo interscambio di informazione con la NASA, hanno giocato un ruolo di primaria importanza nel mantenere inalterata la dimensione dello Shuttle quale appariva nel programma originale. Infatti mentre in Europa ci si occupava del Tug, negli USA vi era tutto un fiorire di soluzioni per lo Shuttle che assumeva di volta in volta le dimensioni e le configurazioni più varie. Tra le altre cose si proponeva di far passare la capacità della « cargo bay » dello Shuttle da 50.000 lbs a 25.000 lbs.

Tra tutta questa ridda di ipotesi e informazioni, spesso contraddittorie, che giungevano dagli USA, si delineava a poco a poco che per un efficiente sistema di trasporto interorbitale, lo Space Tug automatico avrebbe dovuto avere la capacità di portare e recuperare in una sola missione, tra orbita di parcheggio ed orbita geostazionaria, carichi dell'ordine di 1500 kg per l'andata ed altrettanti per il ritorno.

A causa di questo requisito le dimensioni del Tug vengono ad avere limiti ben precisi, come pure quelle della « cargo bay » dello Shuttle, che allo stato attuale ha la capacità di 29,5 ton per lanci da Capo Kennedy verso Est sull'orbita di parcheggio nominale.

Va sottolineato che la configurazione di dettaglio del Tug automatico europeo è ancora in fase di definizione, ma si prevede già che si richiederanno considerevoli progressi tecnologici rispetto a quanto già fatto nel campo dei lanciatori, e non solo a causa della sua riusabilità e capacità automatica di « rendez-vous » ed aggancio con i satelliti, ma anche nell'area delle prestazioni o della propulsione.

Tenendo conto che l'ultimo modello semplificato delle missioni del Tug, quale fornito dal-

l'ELDO, prevede, per gli anni 80, 20 tipi differenti di missioni per un totale di 484 satelliti, è stato logico cercare di definire un veicolo estremamente flessibile dal punto di vista operativo.

Gli studi portati fino ad ora a termine dai due consorzi già indicati, hanno condotto a due diversi concetti di veicolo.

Precisamente la MBB ha suggerito un Tug monostadio, con più di 20 ton di propellente, mentre la HSD propone una configurazione a due stadi di circa 12 ton l'uno, entrambi recuperabili in linea di principio, ed entrambi in grado di compiere la missione a « due vie » con un solo volo dello Shuttle. In questo ultimo caso la complessità operativa è maggiore ma le prestazioni generali richieste sono meno critiche ed il veicolo stesso richiede tecnologie meno avanzate.

In entrambi i casi è comunque previsto l'uso di LOX e LH come propellenti, impiegando motori ad altissima pressione molto più avanti tecnologicamente di quanto finora realizzato in tale campo.

Per particolari missioni richiedenti alti carichi utili, si può prevedere di usare il Tug come uno stadio spendibile, o creare un treno di tugs.

A questo proposito le soluzioni previste dal consorzio HSD offrono maggiori vantaggi per flessibilità e possibilità di combinazioni.

3. Contributi Fiat allo studio del Tug.

Sin dall'inizio la Fiat spazio è stata invitata a dare il suo contributo alla definizione delle possibilità europee nella realizzazione dello Space Tug automatico. La Fiat entrava così a far parte del pannello strutture del consorzio capeggiato dall'HSD.

Di questo stesso pannello fanno parte l'ERNO (Germania), la Fokker VFW (Olanda), la Contraves (Svizzera) e naturalmente la HSD stessa.

In due mie precedenti memorie, presentate a Roma e a Palermo, sono descritte le principali aree di studio della Fiat quale contributo ai primi due stadi di prefase A. Dette aree sono le seguenti:

- 1) configurazione dei serbatoi ausiliari;
- 2) sistemi di aggancio per i serbatoi ausiliari;
- 3) sistemi per il rifornimento dei propellenti in orbita;
- 4) sistemi di docking inter-tugs e satelliti;
- 5) studio delle leggi di guida terminale per il « rendez-vous »;
- 6) sensori laser;
- 7) sistema di controllo d'assetto;
- 8) sistema per spinnare e despinnare i satelliti;
- 9) sistemi di scambio di paccaggio di satelliti;

10) adattatori per la messa in orbita contemporanea di più satelliti;

11) studi di manipolatori automatici e relativi schemi di comando.

Come si può rilevare dal precedente elenco di voci, i campi di studio sono stati piuttosto vari.

Presentemente la Fiat spazio è impegnata negli studi di fase A, che dovrebbero aver termine alla fine del corrente anno.

Le competenze Fiat sono state ora raggruppate in due branche principali e cioè:

a) Le interfacce avioniche tra il Tug e lo Shuttle.

b) I « payload adaptors » e cioè tutti i sistemi di aggancio e trasporto dei satelliti, gli adattatori multipli per satelliti, i sistemi di recupero di satelliti spinnati, ecc.

Mentre lo studio di coordinamento e definizione delle interfacce avioniche viene affrontato dal Centro Elettronico di Caselle dell'Aeritalia, la Fiat spazio cura direttamente gli studi strutturali dei « Payload adaptors ». Daremo qui di seguito un breve cenno delle caratteristiche principali di tali sistemi.

3. Sistema di docking.

Il tipo di sistema di docking che verrà adottato, dovrà avere ovviamente un carattere di universalità, nel senso che dovrà essere il medesimo per ogni tipo di satellite o di veicolo orbitante.

La unificazione di tale sistema è stata addirittura una delle voci del recente accordo di collaborazione spaziale tra gli Stati Uniti e URSS. Questo dà una misura dell'importanza che un tale sistema riveste nell'ambito dei futuri trasporti spaziali.

Da parte Fiat ci si è perciò limitati a studiare alcune modifiche per adattare il noto « Menasco System » alla struttura ed alle esigenze dello Space Tug nella versione HSD.

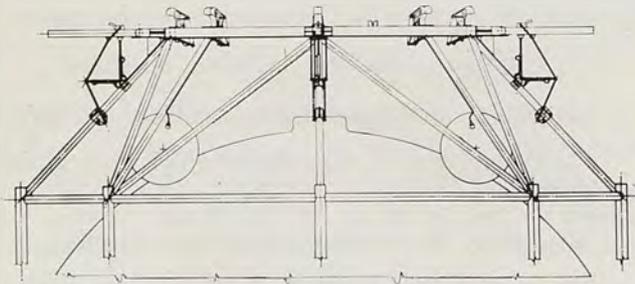


Fig. 1.

Il sistema da noi prescelto assicura una istantanea acquisizione meccanica subito dopo il contatto tra i due veicoli da connettere. Su un veicolo è montata la parte attiva che consiste di quattro braccia incernierate, otto chiavistelli per la connessione rigida, due innesti a V ed un sistema pneumatico, mentre sull'altro veicolo vi è

il sistema passivo che consiste di un anello intero o a settori e due barre di innesto.

Nella fig. 1 è illustrato il sistema e la sua installazione sulla struttura del Tug.

Per quanto riguarda gli adattatori, i sistemi di de-spin e di scambio di paccaggi, rimandiamo alle pubblicazioni già citate precedentemente.

4. Conclusioni.

Alla fine della presente fase A, l'Europa sarà probabilmente in grado di avere elementi di giudizio sufficienti per valutare i termini della propria partecipazione ai programmi Post-Apollo. Allo stato attuale, oltre ai problemi tecnici, vi sono alcuni problemi, diciamo di carattere politico da risolvere quali ad esempio:

— la definizione delle percentuali di partecipazione USA allo Space Tug europeo, per studi in aree di interesse comune;

— la assicurazione USA di adattare realmente lo Space Tug europeo.

È comunque chiaro che stante l'attuale situazione « budgettaria » della NASA, l'Europa ha una buona possibilità di entrare con lo Space Tug nel vivo dei futuri programmi spaziali, purché una decisione venga presa a breve termine.

Pertanto alla prossima conferenza di luglio l'Europa dovrebbe almeno affermare in linea di principio, il proprio interesse a sviluppare lo Space Tug, ed a intraprendere gli studi relativi fino a un certo limite di costi.

La « time schedule » di tali studi dovrebbe essere la seguente:

— Completare la fase A per la fine del 1972.

— Portare a termine la fase B nel 1973.

— Iniziare nel 1973 un programma di investigazione delle aree più critiche dal punto di vista tecnologico, e continuarlo nel 1974 e possibilmente nel 1975.

Questi studi verranno coordinati con la NASA e soprattutto il programma tecnologico dovrà essere strettamente complementare a quello della NASA.

I prossimi mesi pertanto dovrebbero poter chiarire le volontà e le possibilità europee per una concreta politica spaziale in un campo così avanzato.

Marco Porru

REFERENZE

- [1] *European Space Conference*, Report on European Participation in the Post-Apollo Programme, WG/COOP/US (72), 2nd march 1972.
- [2] WOLFGANG WIENSS, *Structural Aspects of the European special Space Tug*, ELDO/ESRO tech. Rev. (1971), 3, 473-506.
- [3] MARCO PORRU, *Contributi allo studio di un rimorchiatore interorbitale Europeo*, Roma, XI Convegno internazionale sullo spazio, aprile 1971.
- [4] MARCO PORRU, *Possibilità di impiego dello Space Tug per il recupero e la manutenzione dei satelliti*, I Congresso nazionale AIDAA, Palermo, 27-29 ottobre 1971.

Riduzione della rumorosità dei getti

M. MARINI, della Fiat, Divisione Aviazione, Direzione Progettazione, e G. RUSPA, della Fiat, Laboratori Centrali, Servizio Ricerche Avanzate, espongono un lavoro che è parte di una più ampia attività svolta nel campo dei motori aeronautici e dell'acustica in generale, con particolare interesse ai problemi di riduzione del rumore.

1. Introduzione.

Benchè l'energia acustica prodotta da un getto rappresenti circa lo 0,1% di quella totale generata da un turboreattore, i livelli di rumore che ne conseguono risultano tuttavia oltre i limiti previsti dalle norme attualmente in vigore negli Stati Uniti (FAR 36) e di prossima introduzione in Europa.

Vengono qui sintetizzati i risultati di una indagine condotta in Fiat attraverso una serie di prove acustiche e fluidodinamiche su vari modelli di silenziatori di scarico multilobati in scala 1:4,35 rispetto al reale.

2. Scopo e metodologia di indagine.

In linea generale ogni tentativo di riduzione della rumorosità di un getto ha come conseguenza una perdita nelle prestazioni del motore, che si può soltanto cercare di mantenere entro limiti accettabili mediante un ragionevole compromesso tra attenuazione del rumore e perdite di spinta che ne conseguono. Infatti nel caso degli ugelli a lobi, qui considerati, il getto viene suddiviso in tanti getti parziali che presentano una regione di miscelamento di lunghezza e spessore ridotti rispetto ad un ugello conico, con conseguente spostamento dello spettro di rumore verso le alte frequenze e riduzione della energia acustica in gioco [1].

D'altra parte la presenza dei lobi è causa delle perdite di prestazioni interne dell'ugello, in quanto il flusso è guidato lungo cammini più tortuosi, ove si manifestano variazioni repentine di forma tali da generare distacchi della vena fluida e quindi un peggioramento delle condizioni di assialità del flusso stesso.

L'indagine è stata condotta col proposito di ottenere 5 PNdB di attenuazione acustica, in fase di decollo (a 1500 ft di distanza) e 2 PNdB in fase di avvicinamento (a 370 ft di distanza) con una perdita di spinta contenuta entro il 2%, facendo riferimento ai livelli sonori ed alle prestazioni di un ugello conico convenzionale.

Stabilita una scelta ottimizzata dei parametri geometrici in gioco [2] si è passati alla costruzione di due modelli di ugelli silenziatori a 6 ed 8 lobi.

Le prove sono state effettuate in campo libero (vedi fig. 1) su modelli metallici nelle condizioni effettive di temperatura e rapporto di espansione e su modelli in materiale plastico a temperatura ambiente. Si è resa pertanto necessaria una correlazione tra i risultati ottenuti con getti caldi e freddi, che è stata sviluppata su basi empiriche,

ricorrendo ad una rappresentazione degli spettri di tipo adimensionale (numero di Strouhal

$S = \frac{f D_j}{V_j}$) e utilizzando la legge di Lighthill [3]

$$I = K \frac{\rho_j^2 D_j^2 V_j^n}{\rho_o a_o^5}$$

ove: I = intensità sonora

a_o = velocità del suono in condizioni standard

D_j = diametro dell'ugello conico equivalente

f = frequenza

ρ_o = densità aria in condizioni standard

ρ_j = densità del getto

v_j = velocità del getto.



Fig. 1 - Impianto di prova.

Per l'esponente n si sono ottenuti i seguenti valori nella direzione di massima propagazione del rumore: 8.2 per ugello conico, 7 per l'ugello a 6 lobi e 6.7 per l'ugello a 8 lobi.

I segnali acustici provenienti da 14 stazioni di rilevamento sono stati registrati simultaneamente su nastro magnetico ed analizzati a 1/3 di ottava; contemporaneamente si sono effettuate le misurazioni di spinta.

I livelli di pressione sonora e le frequenze ricavate su modelli, sono stati riportati alle condizioni reali, utilizzando le leggi di similitudine sonora [4].

In base ai risultati ottenuti dalla serie preliminare di prove, lo studio è proseguito con la definizione e realizzazione di un silenziatore ad 8 lobi modificato rispetto al progetto originale, in modo tale da migliorarne in particolare le caratteristiche aerodinamiche interne. I parametri geometrici fondamentali relativi a tale silenziatore e definiti in fig. 2 sono i seguenti:

N. lobi	D	D _j	AR	TR	TRC
8	21.898	14.112	2.408	0.204	0.425

$$AR = \text{RAPPORTO DI AREA} = \frac{D^2}{D_j^2}$$

$$TR = \text{RAPPORTO DI SPESSORE} = \frac{d}{D_j}$$

$$TRC = \text{RAPPORTO DI SPESSORE CENTRALE} = \frac{D_c}{D_j}$$

D_j = DIAMETRO DELL'UGELLO CONICO EQUIVALENTE

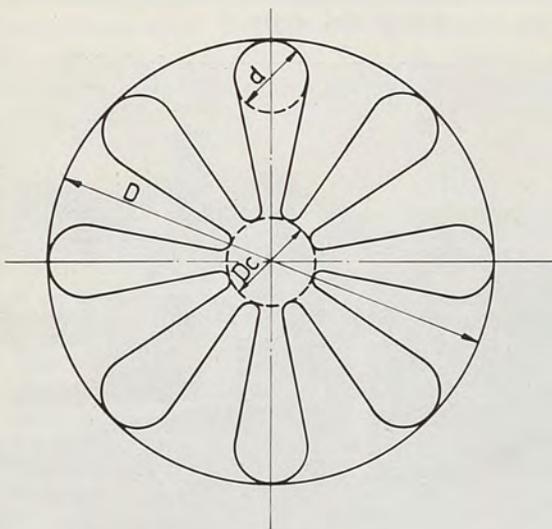


Fig. 2 - Schema del silenziatore ad 8 lobi e definizione dei parametri relativi.

In questo silenziatore ad 8 lobi sono stati inseriti due deflettori all'interno di ciascun lobo, allo scopo di irrigidirlo strutturalmente e migliorarne l'assialità del flusso. La posizione e la curvatura di tali deflettori è stata ottimizzata attraverso prove di visualizzazione condotte su un modello parziale in plastica in scala reale.

3. Conclusioni.

I risultati acustici ottenuti sono rappresentati in fig. 3. La perdita di spinta ad essi relativa è dell'ordine dell'1% ÷ 1,5%, cioè entro il limite prefissato, sia a bassi che ad alti rapporti di espansione.

Come si può notare l'obbiettivo relativo all'attenuazione acustica è stato ampiamente rag-

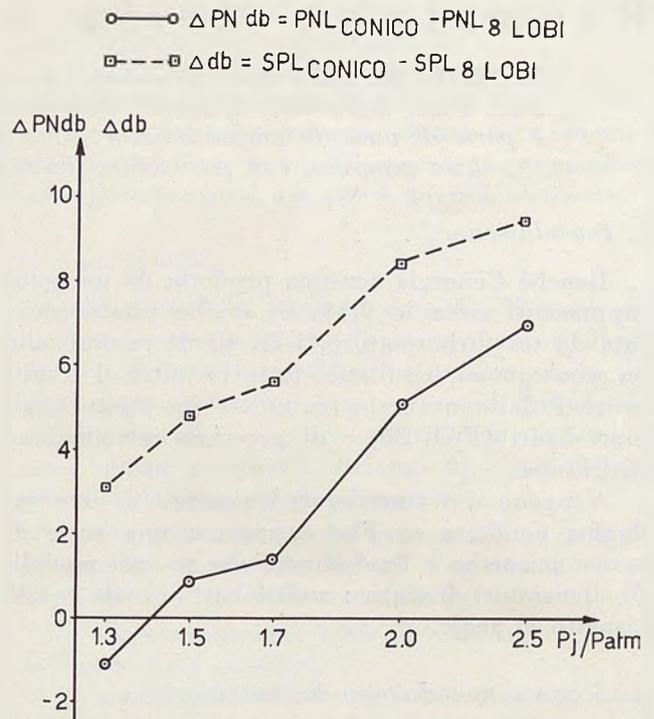


Fig. 3 - Risultati acustici.

giunto in fase di decollo, mentre altrettanto non si può dire per quanto riguarda la fase di avvicinamento. Va comunque osservato a proposito, che questo risultato non è da considerarsi negativo in quanto ottenuto su modelli. Infatti è noto [5] che in condizioni reali di esercizio, ai bassi rapporti di espansione, il rumore del motore non è trascurabile rispetto a quello prodotto dal getto; inoltre, in conseguenza dello spostamento verso le alte frequenze dello spettro acustico prodotto dal silenziatore a lobi, l'effetto del motore incide maggiormente sullo spettro dell'ugello conico. Ne consegue quindi un miglioramento dell'attenuazione sonora dell'ugello a lobi rispetto al conico, in condizioni reali, anche nella fase di avvicinamento.

Massimo Marini - Giacomo Ruspa

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. J. RICHARDS, D. J. MEAD, *Noise and Acoustic fatigue in aeronautic*, J. Wiley & Sons Ltd., London, 1968.
- [2] F. B. GREATREX, D. M. BROWN, *Progress in jet engine noise reduction*, T.C.H.S., Madrid, 1958.
- [3] M. J. LIGHTHILL, *On sound generated aerodynamically - I. General theory*, Proc. Royal Soc., (A) 211, 564 (1952).
- [4] L. C. SUTHERLAND, W. V. MORGAN, *The use of model jets for studying acoustic fields near jet and rocket engines*, WADC tech. rep. 59.
- [5] H. E. VON GIERKE, *Aircraft noise source*, Hand book of Noise Control Cap. 33, Ed. C. F. Harris-M. G. Hill B. C. (1957).



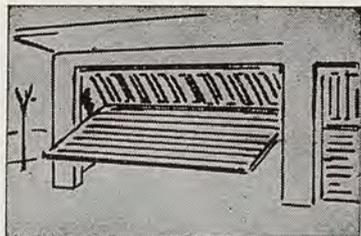
ABBAINO ROTO

per la valorizzazione
del sottotetto

- *Libero accesso e veduta*
- *Grande luminosità*
- *Perfetta tenuta*
- *Facile posa in opera*
- *Sei misure diverse*
- *Faldali perimetrali in acciaio zincato o in rame*
- *Doppio vetro isolante*
- *A richiesta con tenda alla veneziana*

Ditta **FRANCESCO GOFFI**

di Ing. A. Goffi & C. s.a.s. - 10123 TORINO
Via Maria Vittoria, 43 - Telefono 83.13.20

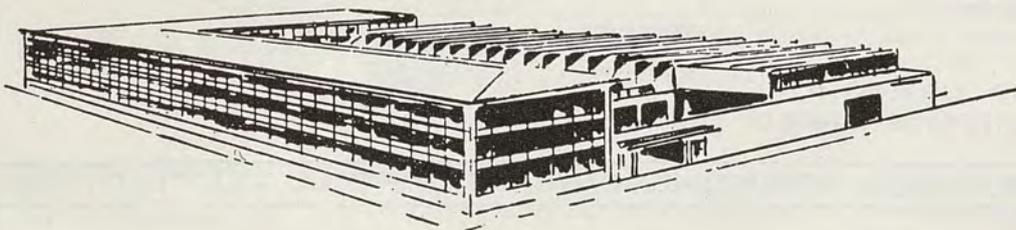


SERRANDE DI SICUREZZA

BENEDETTO PASTORE

S.p.A.
Capitale Sociale L. 425.000.000

ESPORTAZIONE TUTTI I TIPI DI CHIUSURE DI SICUREZZA, AVVOLGIBILI "CORAZZATA" RIDUCIBILI, RIPIEGABILI, SCORREVOLI A BILICO PER ABITAZIONI, NEGOZI, GARAGES, STABILIMENTI



SEDE E STABIL.: 10152 TORINO - C. NOVARA, 112 - TEL. 233.933 (5 linee)



ALLIS-CHALMERS

PALE CINGOLATE

una gamma prestigiosa per soddisfare tutte le esigenze nei lavori di sbanca-
mento, di scavo, di carico.

completamente automatizzate, montano i più moderni dispositivi per rendere mi-
nima la fatica dell'operatore e assicurare la massima produzione in ogni condizio-
ne d'impiego.

7 GB - Compatta, potente, robu-
sta, 117 HP netti al volano - 1,35
mc di benna

12 GB - Nuova grossa pala per
gli impegni più gravosi - 195 HP
netti al volano - 2,70 mc di benna



LORO & PARISINI

20144 Milano, Via Savona 129 - tel. 470101/470134
35010 Padova (Limena) Zona industriale, Via Unità d'Italia - tel. 67610
00162 Roma, Via della Lega Lombarda 34/36 - tel. 4952651/2/3

