

RASSEGNA TECNICA

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

Come influisce Einstein sui principî della fisica?⁽¹⁾

Il prof. Eligio Perucca, ordinario di Fisica Sperimentale e Direttore del Politecnico di Torino, in questa conferenza tenuta il giorno 13 giugno 1955 presso la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, esamina quali siano le influenze vitali delle teorie einsteiniane sulla fisica teorica, quali le conferme offerte dalla fisica sperimentale; e ne indaga i riflessi didattici.

L'ambizione di parlare alla Società degli Ingegneri, quegli Ingegneri ai quali ormai da più di trenta anni io ho il compito di dedicare le mie cure di insegnante, forse non sarebbe bastata da sola a vincere una certa mia radicata riluttanza alla conferenza.

Ma le cortesi e cordiali parole del Vostro Presidente, ing. Brunetti; le affettuose spavalde insistenze dell'ing. Lapidari mi hanno condotto qui stasera.

(Per chi già non lo sappia, avverto che le « spavalde » insistenze di Lapidari erano care parole di un amico di giovinezza, da quando fummo compagni d'arme durante la prima guerra mondiale).

Fu, comunque, ben chiaro che sarei venuto qui non per « tenere una conferenza », e tanto meno una « lezione », ma soltanto per dirvi di alcune considerazioni elementari sui legami attuali che esistono tra la relatività e la fisica elementare.

Perciò il mio tema è quello del titolo di queste colonne.

Questo e non più.

Perchè (la confessione non dovrebbe farmi del male), dacchè le conobbi, mi risuonano spesso nella mente le parole che Boltzmann assunse a motto del 1° volume della sua opera sulla *Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Lichtes* (1891-93):

So muss ich mit saurem Schweiss

Auch lehren wass ich selbst nicht weiss (1).

Dunque mi terrò prudentemente negli stretti limiti del tema.

* * *

Questo è tutt'altro che arido.

Se esso deriva da un'opera scientifica che a pochi è dato di elaborare quanto occorre per averne sicuramente raggiunto il possesso, è pure un fatto che le basi di quest'opera si trovano in quel livello della conoscenza che costituisce semplicemente la logica naturale.

Con parole prese in prestito dall'inglese, si di-

(1) E così mi tocca, sudando amaramente, insegnare anche ciò che io stesso non so.

rebbe molto bene questo livello della conoscenza è proprio dato dai principî di filosofia naturale.

Succede, però, che non tutti coloro cui è nota la fama di Einstein possono asserire di conoscere le basi del suo pensiero scientifico. Ebbene: di questa ignoranza sono responsabili molti, moltissimi scienziati dei due primi decenni del secolo.

E' paradossale, ma vero: nel commento, nello sviluppo, nell'impiego della teoria, che più ha reso famoso Einstein (la teoria della relatività), si direbbe che costoro abbiano agito in modo da impedire a voi, uomini eminenti nelle attività tecniche sociali più disparate, di comprendere cosa di universale e perenne c'è nell'opera dell'uomo recentemente scomparso.

Credo di poter riassumere i fatti così:

Già dal primo lavoro sulla relatività (relatività detta « ristretta », 1905), e sempre più in quelli successivi che conducono alla relatività generale, i fondamenti della teoria apparvero sostanzialmente discosti da quelli che sono a base della fisica classica.

Eppure ne risultava così ampia la portata, da doverne riconoscere autorità preminente.

Si ritenne, d'accordo con quanto avviene per ogni teoria, che la decisione dovesse essere lasciata all'esperienza; si trattava dunque di trovare l'« *experimentum crucis* » a favore, o meno, della nuova teoria rispetto alle vecchie.

A questa ricerca si dedicò la fisica; mentre i teorici segnalavano tre fenomeni considerati cruciali, in quanto la loro esistenza non era prevista nelle teorie non relativistiche, i fisici sperimentali si appassionarono alla constatazione sperimentale della loro esistenza:

la rotazione del perielio di Mercurio (di $\approx 42''$ al secolo più elevata dei $\approx 600''$ al secolo previsti dalla meccanica celeste newtoniana);

la deviazione dei raggi luminosi per $1,75''$ se passano nei pressi del bordo del Sole, come se questo li attraesse lievemente;

il rallentamento delle frequenze luminose se generate in un intenso campo di gravitazione.

La più elevata rotazione del perielio di Mercurio era già nota ed attribuita a un incognito pianeta intramercurico che sfugge alle osservazioni astro-

nomiche perchè reso invisibile dalla vicinanza del Sole; la spiegazione relativistica dava ben altro significato al fenomeno; ma a quest'ultimo il carattere di experimentum crucis veniva contestato.

La deviazione dei raggi luminosi passanti presso il sole richiese numerose spedizioni di ricerca all'occasione delle eclissi di sole; specialmente famosa fu quella del 1919; e la deviazione fu quantitativamente constatata.

Il rallentamento delle frequenze luminose (« spostamento delle righe spettrali verso il rosso ») fu più difficile a controllare, ma anche per questo si giunse a risultato positivo.

Non credo di sbagliare ritenendo che la storia di questi fenomeni e della conseguente affermazione della teoria della relatività generale, sia di vostra conoscenza già da tempo e che sia stato ciò a divulgare l'opinione che la relatività è una certa teoria astrusa che è forse bene conoscere per far figura di persone colte nei salotti (un po' come saper parlare del tempio di Angkor, sia pure per sentito dire), ma che si può vivere benissimo senza faticare a comprendere una teoria che, in verità, molti venivano indotti a considerare necessaria solo per spiegare quelle quisquiglie dette su.

Da un decennio, o poco più, fatti sono avvenuti di ben altro interesse sociale, fatti previsti dalla teoria della relatività, e decisamente sconcertanti per le teorie prerelativistiche.

Ma per inquadrare logicamente questi fatti, ai quali persino l'uomo della strada dedica la sua attenzione sgomenta, occorre pur sempre conoscere una teoria non elementare della relatività. E, invero, non è mio tema parlarvi nemmeno di questo.

Perchè ancor più profonda è la radice della relatività.

Essa riguarda principî che, entrati da millenni nel dominio intellettuale dell'uomo qualunque, assumono nuove posizioni perchè quelle antiche, euclidee, galileiane, non appaiono più sufficienti.

Orbene: questi principî sono tutti presenti, già nell'opera di Einstein fin dal suo inizio nel 1905.

Dirvi che Einstein aveva allora solo 26 anni può farvi immaginare che Einstein sia stato un caro agli Dei.

No, egli non può dirsi nè un caro agli Dei nè un privilegiato della fortuna.

Nato ad Ulm il 14 marzo 1879, passò la giovinezza a Monaco, dove il padre, piccolo industriale elettrotecnico, svolgeva la sua attività. Mentre questa prendeva cattiva piega, non buona piega prendevano gli studi del ragazzo.

La famiglia emigrò in Italia (1894), e il giovanotto andò alla Scuola cantonale di Aarau in Svizzera, il cui ambiente risultò più accetto al carattere

un po' distaccato, se non proprio ribelle, del giovanotto. Questi seguì i corsi di tale scuola, e non fu vita comoda la sua se si legge che, inaridite le fonti familiari, dovesse far conto sul centinaio di franchi svizzeri mensili che un ricco parente gli faceva pervenire.

Nel 1900, a 21 anni, termina gli studi al Politecnico di Zurigo; per un anno non trova meglio che fare il supplente di scuola media, indi l'« istruttore » per i ragazzi presso una famiglia a Sciafusa. Ma per poco. Il direttore di una scuola privata, imprenditore dell'« affare », se ne disfa.

Per un caso fortunato e felice avvenne che proprio allora si presentasse la possibilità della nomina ad « esaminatore di brevetti » presso l'ufficio di Berna.

Qui l'Einstein, ormai fornito di cittadinanza svizzera, resta fino al 1909, trentenne.

In tale anno è professore straordinario di fisica teorica all'Università di Zurigo, nel 1911 è chiamato a Praga, nel 1912 ritorna a Zurigo professore ordinario, nel 1913 gli vien fatto un posto sui generis a Berlino, qualcosa come un posto di « professore di ricerca ».

Membro delle Accademie Europee più famose, dottore « honoris causa » a Ginevra, Manchester, Boston, Princeton, nel 1921 riceve il Premio Nobel.

La fama mondiale di questo premio mi esime dal continuare.

Cosa era avvenuto al funzionario dell'Ufficio Brevetti di Berna, che sicuramente tra i brevetti da esaminare doveva trovare alimento mentale ben modesto per voli d'aquila?

Gli « Annalen der Physik » del 1905 forniscono il fondamento della soluzione.

Caso unico nella scienza, questi Annalen, costituenti il più importante periodico scientifico di fisica di allora, pubblicano in quell'anno quattro lavori di Einstein e, che io sappia, sono i primi quattro suoi lavori a stampa.

Lavori di un esordiente, dunque, ma avvertiamo che al primo di essi fu conferito il premio Nobel 1921.

Ecco, in italiano, i titoli di quei quattro lavori:

« Sul concetto euristico della generazione e trasformazione della luce » (introduzione del concetto di fotone; premio Nobel 1921);

« Sull'interpretazione cinetico-molecolare del moto browniano »;

« Sulla elettrodinamica dei corpi in moto » (la teoria della relatività ristretta);

« La massa di un corpo dipende dal contenuto energetico di quest'ultimo? » (postilla al lavoro precedente per fissare l'equivalenza fra massa e energia).

Verranno poi numerose altre pubblicazioni scientifiche; mi limito a ricordare quei lavori del 1907 sui calori specifici dei solidi e loro dipendenza

dalla temperatura in base alla teoria dei quanta, ove sono stabiliti risultati divenuti classici ed ormai riportati in ogni trattato di fisica.

Le altre pubblicazioni vertono sostanzialmente tutte sulla generalizzazione della teoria della relatività.

Mi fermerò specialmente sui due lavori di relatività ristretta del 1905 ma, pur restando al tema, non potrò tacere nè dei fotoni nè dei calori specifici.

Allorquando la scuola, a cominciare da quella elementare, inizia sull'allievo la sua opera di coordinamento delle conoscenze di scienza naturale, essa trova già nella mente del ragazzo una somma di nozioni acquisite direttamente dalla vita comune e già soggette a un certo coordinamento logico dalla intelligenza individuale o dall'ambiente familiare più o meno colto nel quale egli vive.

Così avviene che a nessun ragazzo farà specie l'idea di distanza (spazio), l'idea di tempo (intervallo di tempo), l'idea del movimento.

Ben più sconcertante sarà il contatto del ragazzo con la « luce » e non sbaglio ad immaginare che ciò avvenga quando egli sia già in calzoncini lunghi.

Quali compiti svolge l'insegnante nelle scuole primarie e medie intorno a questi concetti?

Segue una strada indicata da secoli, fondata sia sull'intuizione, sia sullo schema di premesse e di logiche conseguenze, stabilite fin da Euclide per la geometria, da Galilei e da Newton per la meccanica, da non so chi per la luce (1).

Richiede il concetto di corpo rigido per dare virtù precisa e duratura ad uno spazio misurabile.

Richiede l'idea di contemporaneità tra due eventi anche se non « vicinissimi » (cioè anche se più lontani di... quanto?).

Richiede l'idea di misurazione del tempo.

Illustra la « conservazione della materia ».

Accetta, anzi si vale di una rovinosa analogia tra suono e luce, talchè si parla allegramente ancora oggi di etere cosmico e di onde luminose.

Non so se ho esaurito l'elenco dei guai dell'antica « intuizione ». Ma ne ho già abbastanza per distinguere in ciò che precede:

per alcuni punti l'accettazione di una intuizione che può considerarsi comune a tutti e che direi « spontanea ».

per altri punti, specialmente l'ultimo, l'imposizione (non l'intuizione) di concetti « imperativi » facilmente scivolanti nel dogma ed è ben noto quanto il rispetto alla scuola, che dobbiamo riconoscere radicato in tutta la nostra società, si muti nel danno di una facile trasmissione dogmatica di posizioni convenzionali non più accettabili.

(1) L'Enciclopedia Britannica si accontenta di informare che Newton si è servito di uno schema di descrizione della luce; credo che esso risalga a non molto dopo la scoperta del vuoto torricelliano e della sua trasparenza alla luce.

Ebbene Einstein ha toccato tutte queste premesse e ha dato alla fisica nuove posizioni di principio.

Non c'è più da accettare gratuitamente nessuna delle premesse su accennate.

Ma bisogna ben avvertire che in loro vece egli propone che se ne accettino delle altre:

la costanza della velocità nel vuoto della luce emessa da una sorgente fissa all'osservatore;

l'inammissibilità del modo assoluto.

Qual'è la reazione dell'uomo colto di fronte a questo mutamento di principî?

Tra gli scienziati, un gruppo accettò subito entusiasta; gli altri maturarono più o meno a lungo il loro consenso.

Certamente l'adesione a ragion veduta alle nuove concezioni non poteva essere immediata per tutti.

Ricorderò soltanto due episodi.

Si racconta che, nel comunicare alla Royal Society di Londra i risultati delle misure astronomiche durante l'eclisse solare del 1919 erano quelli previsti dalla teoria di Einstein, il Presidente di tale Istituzione, che è una delle più autorevoli e antiche del mondo, abbia detto:

« Devo confessare che nessuno è ancor riuscito a dire in un linguaggio chiaro cosa sia realmente la teoria di Einstein ».

Ce n'è abbastanza per sconcertare ogni uomo colto.

Ed avvenne che la relatività cominciasse a diventare di moda in ambienti non proprio ben qualificati; la elaborazione delle idee su di essa scivolava in contrasti deteriori; l'antisemitismo (Einstein era israelita) li fomentava.

Così avvenne che Einstein ebbe il premio Nobel nel 1921 ma non per la sua teoria della relatività, bensì per l'introduzione del fotone nella scienza.

L'adesione non poteva essere immediata per tutti i nuovi concetti.

Era maturo il momento scientifico per asserire l'impossibilità di scoprire quel moto assoluto che per secoli era sembrato concepibile dandogli il significato di « moto rispetto all'etere cosmico ».

Ebbene: dopo un brancolamento secolare tra gli artifici più disparati per mettere ordine nei risultati del crescente numero di esperienze dette di « ottica dei corpi in moto », era ormai generale la convinzione che l'ordine nelle conoscenze scientifiche apportato dall'idea che un ipotetico « etere cosmico » potesse costituire piattaforma di riferimento per i movimenti e per la propagazione della luce, assumesse l'aspetto di un solenne disordine.

Era quindi maturo il momento per enunciare che sia da fenomeni meccanici (Galilei), sia da fenomeni elettromagnetici, quindi anche ottici (Einstein), che avvengono nell'interno di un sistema è impossibile dedurre se una sua parte *A* si muova rispetto ad una sua parte *B* o se sia il viceversa; entra nelle deduzioni dei fenomeni soltanto il moto relativo di *A* rispetto a *B* (e quindi di *B* rispetto

ad A). Non c'è posto per l'etere in questa asserzione.

Ma non era altrettanto maturo il momento per accettare il postulato della costanza della velocità della luce; nè appariva necessaria, come invece appariva sufficiente, la parte positiva della teoria di Einstein, cioè l'asserzione che, col mutare della terna di assi cartesiani ortogonali di riferimento per la descrizione dei fenomeni fisici, in un'altra terna di assi cartesiani di riferimento in moto rettilineo uniforme (relatività ristretta) rispetto alla prima, intervalli di tempo e di spazio dovessero venire misurati con scale differenti secondo la trasformazione detta di Lorentz, e precisamente:

A avrebbe dichiarato che B doveva mutare la scala dei tempi e degli spazi in un certo modo rispetto a quelli di A; ma anche, e con egual diritto, B, avrebbe detto la cosa omologa di A.

Molti anni sono passati dal 1905 e, sebbene forse molti lo attendessero, non è comparso nessun altro scienziato che su altre strade proponesse un altro corpus di dottrina e costituisse un altro edificio positivo per le teorie fisiche, atto a rispettare i divieti al moto assoluto e all'intervento di un etere cosmico, divieto sui quali ormai convergeva il consenso universale.

Accadde invece che il fotone e la sua dinamica come « particella elementare di energia elettromagnetica in propagazione » potessero essere assunti a base di una teoria di cui quella antica della propagazione per onde è la teoria limite valida per un grandissimo numero di fotoni. Sicché l'idea della costituzione « atomica » della luce va oggi presa in considerazione anche nella fisica elementare.

Accadde che si rivelassero e si moltiplicassero, come ognuno sa, i fatti dominati dal principio di equivalenza tra massa ed energia.

Orbene, io credo che oggi, molto più che 50 anni or sono, tutti i fisici siano d'accordo sul fatto che argomenti ben più basilari di quelli già indicati sopra come « experimenta crucis » impongono che la teoria della relatività, per motivi concettuali, sia presente anche durante la preparazione elementare del giovane alla Fisica sperimentale.

Ecco un esempio: se io mi gingillo con due palline di sambuco elettrizzate per osservare i mutui fenomeni elettrostatici, un altro osservatore che studi quel che avviene sulle stesse palline e mi passi vicino a grande velocità sostiene che, a lui, quelle due palline gli fanno vedere anche un fenomeno elettrodinamico, di azione tra due correnti (Einstein, 1905). Ogni studente di liceo può giungere a porsi l'interrogativo di come ciò avvenga. Troverà la via per una soluzione almeno di concetto nelle teorie classiche? Noi crediamo di no, e, sebbene non si chieda certo al giovane di seguire Einstein nella via che risolve il problema, riteniamo che il giovane deve essere preparato per percorrere quest'ultima. Dico « preparato », non « edotto » perchè a ciò non basterebbe la sua preparazione scientifica.

Ma guai, se, per offrire già allo studente di liceo gli elementi concettuali della relatività, si

prendesse la strada del gonfiare le gote con le parole difficili, le asserzioni dogmatiche, le spiegazioni ermetiche. Sarebbe un pessimo modo di servire alla formazione mentale del giovane. Questa formazione deve procedere bene al livello culturale via via acquisito dal giovane. E allo stato attuale degli studi di maturità, sia scientifica sia classica, non c'è posto per un insegnamento che si elevi sino a comprendere la teoria della relatività; nè si creda di essere uomini colti ripetendo su di essa più o meno deformata qualche frase fatta.

Nelle scuole medie, e direi anche nella preparazione propedeutica scientifica delle Facoltà di Scienze e Ingegneria si insegnino i vecchi principî, classici, semplici; soltanto si sottolinei che entro certi limiti essi ci sono ancora oggi assolutamente indispensabili e già sufficienti; ma si prepari il giovane ad affacciarsi ad un altro campo fenomenologico dove l'antica descrizione dei fatti non è più sufficiente e va perfezionata.

Infatti non mi sentirei, ad es., di appoggiare una crociata contro la vecchia regola della composizione delle velocità di un punto, regola indispensabile in una infinità di schemi di ingegneria, ove le velocità considerate sono già di eccezione, se sono nell'ordine dei chilometri al secondo.

Là dove velocità e massa cadono sensibilmente sotto il dominio relativistico, come in fenomeni elettronici e nucleari, si deve richiedere anzitutto che la preparazione del neofita salga ad un superiore livello.

L'importante è che la preparazione di livello inferiore non interferisca con l'elevazione al livello superiore.

Bando (1) ai facili discorsi a base di etere cosmico, di roba che si muove senza sapere rispetto a chi, di misurazioni di tempo e di spazio, fatte senza averne precisato a sufficienza il significato puramente operativo e i limiti della definizione operativa, discorsi a base di concezioni continue di una materia e di una energia che poi hanno struttura corpuscolare; a base di conservazione della materia e della conservazione dell'energia che poi... eh! oggi si assicura che se ne conserva ancora la somma in un sistema convenientemente isolato.

Se l'insegnante sapesse come facilmente avviene che queste idee, che sanno addirittura di soprannaturale, fanno presa sulla mente avida di conoscenza di un giovanetto che appena appena si interessa alla parola di lui.

E come vi si radicano!

Evitare questo pericolo e lasciare il posto per immagini ben più autorevoli della natura. Ecco cosa ammonisce Einstein nello studio della fisica elementare.

Eligio Perucca

(1) Una edizione del 1917 di un libro tedesco di divulgazione intitolato *Die Physik*, dovuto ad un autore che ha pur lasciato una traccia ancor oggi ricordata in questa Scienza, presenta ai lettori un « etere cosmico » dogmatico ed indispensabile, sicché è da meravigliare che l'autore sia quasi coetaneo di altro eminente fisico, cui è dovuto un libro di fisica uscito intorno al 1890, il quale si intitola « *Die Physik des Aethers* », e che fin da quell'epoca usava ben bene le molle per trattare l'argomento di tale « etere ».

Del calore e del lavoro

Questioni di nomenclatura

Il Prof. Cesare Codegone espone le definizioni di alcune grandezze fondamentali della termodinamica mostrando come sia possibile evitare qualche scorrettezza di linguaggio ancora diffusa nel gergo tecnico.

1. In un'aggiunta alla memoria: « Sull'applicazione del principio dell'equivalenza delle trasformazioni al lavoro interno » (1), aggiunta intitolata: « Su qualche denominazione », R. Clausius, uno dei fondatori della termodinamica, così scriveva nel 1864:

« La teoria meccanica del calore ha introdotto nella scienza alcuni concetti nuovi, ed essi ritornano così di frequente nelle trattazioni, da rendere desiderabile di dar loro dei nomi semplici e precisi ».

Sempre così avviene ai pionieri della scienza, e si tratta di un compito non facile da eseguire. Questioni di forma, si dice, ma senza averle prima risolte come ci si può far intendere in modo corretto e privo di equivoci?

I concetti son nuovi, ma giungono su di un terreno ingombro di vecchie idee e di vecchi nomi, e tutto ciò, sia detto col rispetto profondo che sento per l'antico, quando esso corrisponde al vero e al giusto, tutto ciò, dicevo, oppone spesso la più grande resistenza e la più greve inerzia ad essere mutato, e la oppone, non è da stupire, nella stessa mente e negli stessi modi di esprimersi dei novatori che sembrano sovente impacciati e tardi a svincolarsene.

È passato quasi un secolo dal coraggioso sforzo di chiarificazione e di riordinamento iniziato dal Clausius nel campo della termodinamica e in molti casi ci ritroviamo ancora ad usare termini impropri ed ambigui.

Chiarita dallo stesso Clausius, in memorie fondamentali, la portata del principio dell'equivalenza fra il lavoro meccanico e il calore (non più inteso, alla maniera degli antichi, come un fluido permeante i corpi) nelle trasformazioni chiuse (o cicli termodinamici nei quali cioè il corpo in evoluzione torna allo stato iniziale), il ragionamento e l'esperienza conducevano a scrivere per le citate grandezze lungo una trasformazione aperta 1,2 una relazione del tipo:

$$(1) \quad Q_{1,2} = L_{1,2} + (U_2 - U_1)$$

in cui appunto $Q_{1,2}$ ed $L_{1,2}$ rappresentano rispettivamente le quantità di energia termica e di energia meccanica (2) scambiate con l'esterno dal corpo in

(1) Pogg. Ann. 1862, vol. 116, pag. 73; Phil. Mag. 4ª serie, vol. XXIV, pagg. 81 e 201; la memoria si trova con altre raccolte nell'opera: R. Clausius, *La théorie de la chaleur*, ed. Lacroix, Parigi 1874, vol. I, pag. 252; la citata appendice è del 1864 e si trova a pag. 294 dell'opera stessa.

(2) Anche per questa grandezza ci sono voluti molti sforzi prima di intendersi e chiamarla con lo stesso nome. Si veda in proposito: R. Plank, *Handb. d. Kältetechnik*, 1º vol., pag. 21.

esame lungo la trasformazione ben definita 12, mentre la terza grandezza, non prima considerata, rappresenta la variazione di un'energia intrinseca al corpo stesso, dipendente dal suo stato e non dalla trasformazione percorsa per giungervi, e precisamente rappresenta la differenza fra i valori che essa rispettivamente assume in corrispondenza degli stati estremi 2 e 1.

Che nome dare a questa grandezza?

Il Clausius cita il Thomson, che la chiamava « the mechanical energy of a body in a given state », il Kirchhoff, che la diceva « Wirkungsfunction », lo Zeuner, che preferiva « die innere Wärme des Körpers ». D'altra parte il Rankine aveva proposto di comprendere sotto il nome di « energia », antico vocabolo aristotelico, « sia il calore sia tutto ciò che lo può sostituire » ed a questo partito si appiglia Clausius chiamando la U « energia del corpo » e più tardi « energia interna », per non confonderla con altre forme di energia (ad esempio l'elettrica o la magnetica) proprie del corpo stesso. E tale nome rimase!

Ben marcata la differenza fra le energie Q, L e la U: le prime due aventi senso soltanto durante una trasformazione del corpo, cioè durante un mutamento misurabile delle sue caratteristiche di pressione, di volume e di temperatura; la terza avente senso anche per una singola condizione e deducibile indirettamente come differenza dei valori estremi assunti in tale trasformazione; le prime due « energie in transito, in movimento », la terza « energia di stato »; le prime due geometricamente funzioni di linea, la terza funzione di punto; le prime due, composte di piccole quantità semplicemente sommabili, la terza, se derivata, da considerare come un differenziale esatto.

Sicché Q ed L mutano di valore in infiniti modi possibili (da $-\infty$ a $+\infty$) variando la linea che unisce 1 a 2, mentre la $(U_2 - U_1)$ non muta, dipendendo soltanto dagli stati estremi 1 e 2.

Sicché ancora $dU = 0$ significa $U = \text{cost}$, ma $dQ = 0$ non significa affatto, e ciò non avrebbe senso, $Q = \text{cost}$, (come gli studenti distratti ripetono agli esami); così come $dL = 0$ non significa affatto $L = \text{cost}$.

Accettata questa terminologia, e da gran tempo tutti i termodinamici l'hanno accettata, non dovrebbe rimanere alcuna ambiguità nel linguaggio scientifico tecnico.

E tuttavia qualche confusione è rimasta!

Cerchiamo di spiegarne i motivi.

Che cos'è infine, ci si è chiesto, questa « energia interna »?

Il Clausius la intese come energia di vibrazione e di posizione delle molecole e come tale la tratta

ad esempio la teoria cinetica dei gas. Se così è, non aveva sostenuto il Tyndall a mezzo l'800, e tanti altri con lui, che il calore va considerato « as a mode of motion », una specie di moto delle particelle costitutive della materia?

A vero dire, un moto che si propaga e si trasmette e che noi cogliamo e misuriamo in questo suo propagarsi e trasmettersi, non nel suo stato stabile e uniforme. Ma la differenza è sottile e la U è stata confusa col calore; « calore interno del corpo » come voleva lo Zeuner, mentre Q poteva essere detta invece « calore esterno ».

Altri, che preferiscono il termine « lavoro » diranno U lavoro « interno » per distinguerlo da L, lavoro « esterno ».

In breve, è la confusione delle lingue, e non pochi tecnici la perpetuano senza rendersene bene conto.

Pure è ben chiaro che Q ed L hanno caratteristiche comuni, che li fanno differire profondamente dalla U.

Avrebbe senso parlare del « lavoro di un corpo » senza dire altro, di un corpo fermo, di un corpo che non muta di caratteristiche? No certo!

Tale locuzione ha senso soltanto quando il corpo si muove o si trasforma, e allora si potrà parlare di lavoro sviluppato o assorbito dal corpo durante la tale trasformazione fra i tali stati estremi, definendola bene questa trasformazione e dichiarandoli esattamente questi estremi, perchè, in generale, se tali circostanze non sono ben definite, almeno implicitamente, sono infiniti i valori possibili di L che si possono far corrispondere alle stesse condizioni. E così è per il calore (3).

Non ha senso parlare del calore di un corpo », senza dire altro, di un corpo in cui nulla muta, come se si trattasse di un fluido, il fluido « calorico » degli antichi, che lo permeasse, questo corpo, si facesse contenere in esso come un liquido in un vaso; ha senso soltanto parlare del calore ceduto o ricevuto dal corpo durante la tale trasformazione fra i tali estremi, anche qui definendola bene questa trasformazione e dichiarandoli esattamente questi estremi, perchè altrimenti infiniti sono i valori possibili di Q che si possono far corrispondere allo stesso stato.

Così non si dirà « il calore dei fumi » ma il calore di raffreddamento dei fumi, sottintendendo la quantità di calore da essi cedibile nel raffreddamento a pressione atmosferica fino alla temperatura ambiente.

E quanto al calore « sensibile » (cioè avvertibile dai sensi) ed al calore « latente » (cioè nascosto ai sensi stessi), nomi vecchissimi usati dai fisici del '700, che dirne?

Il primo si rende manifesto con mutamenti di temperatura, il secondo con mutamenti di stato di aggregazione.

Quindi per i fumi di un camino, ad esempio, il

(3) e, nel campo delle basse temperature, per il freddo, trattato da taluni tecnici, a somiglianza del caldo, non come una sensazione, ma come una sorta di fluido da produrre, immagazzinare, trasportare, e via dicendo!...; confondendo anche qui energia termica e temperatura, quantità con altezza di livello.

primo è il calore di raffreddamento dei fumi stessi, con esclusione del secondo, che è quello di condensazione dei soli vapori che ne fanno parte.

2. Veniamo ora alla entalpia, introdotta, verso il 1920, dal termodinamico olandese Kamerlingh Onnes, il celebre sperimentatore che per primo riuscì (nel 1908) a liquefare l'elio.

Il Mollier, per significare la quantità di calore scambiata a pressione costante da un corpo con l'esterno (e moltissime sono le operazioni a pressione costante interessanti la tecnica) usava, con altri Autori tedeschi, la locuzione: « Wärmeinhalt bei konstantem Druck ».

La precisazione « a pressione costante » rad-drizzava un poco il termine settecentesco, per sè scorretto e ambiguo di « contenuto termico », ma essa fu da molti omessa, inducendo a commettere gravi errori di termodinamica.

Allo scopo di evitare tali inconvenienti e confusioni di Kamerlingh Onnes pensò di coniare un nome nuovo, che suonasse in modo analogo a quelli di energia (attività) e di entropia (cambiamento), già entrati nell'uso corrente. Il vocabolo fu tolto, come questi, dalla lingua greca, e deriva appunto da « calore », ma suonando diversamente, serve a dissipare gli equivoci.

La funzione termodinamica, detta ora da tutti entalpia, e che indicheremo con la lettera I, è definita, chiamando con P e V rispettivamente la pressione e il volume, dalla relazione:

$$(2) \quad I = U + PV$$

supposta scritta in unità di misura coerenti fra loro (4).

Tale funzione ha ancora il significato di quantità di calore scambiata a pressione costante, ma ha anche altri significati importanti, in particolare, per le macchine motrici, quello di energia meccanica sviluppabile dalla macchina per una espansione adiabatica del fluido che l'attraversa e vi opera meccanicamente.

Difatti, differenziando la (2) si ottiene:

$$(3) \quad dI = dU + d(PV)$$

ciò che mostra essere dI un differenziale esatto.

D'altra parte, per la regola di derivazione del prodotto di due variabili:

$$(4) \quad d(PV) = PdV + VdP$$

Tutti i termini della (4) rappresentano, in forma differenziale, dei lavori meccanici. Il primo termine rappresenta un lavoro « di spostamento » del volume V sotto l'azione invariabile della pressione P; il secondo è il notissimo lavoro « di trasformazione » già indicato nella (1) con la lettera L, e cioè di espansione o di compressione secondo i casi, corrispondendo sempre alla variazione dV di volume; il terzo è il cosiddetto lavoro « tecnico » o lavoro « delle macchine termiche » (motrici od operatrici) e difatti si può ritenere algebricamente composto dal secondo e da due successivi lavori di sposta-

(4) Si veda a questo proposito la mia nota: « Sull'impiego del watt quale unità universale di potenza »; questa Rivista, n. 1, 1953.

mento a pressione costante, di introduzione l'uno, di scarico l'altro, aventi luogo secondo vicende alterne (come nelle macchine a stantuffo) od anche in maniera continua (come nelle turbine).

Ricordando che, per una trasformazione infinitesima, la (1) si può scrivere nella forma:

$$(5) \quad dQ = PdV + dU$$

dalle (3) (4) e (5) si ricava subito:

$$(6) \quad dI = dQ + VdP$$

Ne discende, non soltanto che « a pressione costante » (cioè per dP=0), la « variazione » della funzione di stato I (cioè la differenza fra i valori che la stessa I assume rispettivamente negli stati finale ed iniziale della trasformazione considerata), esprime, in unità coerenti fra loro (ad esempio nel sistema Giorgi in joule), la quantità di calore scambiata lungo la stessa trasformazione (5), ma, altresì, che lungo una adiabatica (cioè per dQ=0), supposta effettuata senza perdite in una macchina termica, la « variazione » della medesima I esprime il lavoro della macchina stessa.

Se si volesse spingere l'analisi più a fondo bisognerebbe distinguere l'adiabatica senza perdite di energia (o isentropica) da quella che ha luogo con perdite (per attriti, moti irregolari, ecc.) e, a sua volta, distinguere questa, fra l'altro, secondo che il

(5) Si fa imparare a scuola questa specie di « slogan »: nelle trasformazioni termodinamiche l'energia che era nel fluido o vi è rimasta è « energia interna »; quella termica che vi è entrata o ne è uscita a pressione costante è « entalpia ». Si sottintende in ogni caso che si tratta di una variazione di queste due grandezze.

fluido trasformandosi rimane contenuto in uno spazio chiuso o scorre entro condotti con continuità (e ci si può allora con sorpresa accorgere che l'adiabatica da isentropica si è mutata in isentalpica).

Bisognerebbe in tali casi ricorrere ad equazioni di energie comprensive di altri termini, ma dal punto di vista della nomenclatura sembra che con le considerazioni sopra esposte le questioni essenziali della termodinamica ordinaria siano state sufficientemente chiarite.

3. La nomenclatura della termocinetica è ancora in parte controversa.

Accenneremo qui solamente che considerando la propagazione attraverso una parete bisognerà successivamente ricordare i coefficienti « liminari » di convezione e di irradiazione (eventualmente sommabili in un termine globale e relativi all'energia che giunge sulla faccia considerata, al « limite » cioè dei due mezzi fluido e solido, rispettivamente per il primo e per il secondo dei due modi di propagazione), il coefficiente di conduzione entro la parete (conduzione propriamente detta se la parete è tutta solida, conduzione « equivalente » se essa è porosa o interrotta da intercapedini e comunque funzione della conduttività del materiale, cioè della sua attitudine a condurre il calore), di nuovo i coefficienti liminari all'emissione, infine il coefficiente di « trasmissione », che li congloba tutti, significando appunto l'energia termica che passa attraverso la parete, riferita alle unità di tempo, di area e di differenza di temperatura.

Cesare Codegone

Il turboreattore a doppio flusso

Scelta dei parametri caratteristici

L'Ing. Federico Filippi, continuando l'esame delle prestazioni dei diversi turboreattori a doppio flusso, pone in rilievo l'influenza dei parametri termodinamici e delle condizioni di volo assunte nel progetto sui valori dei rapporti caratteristici del turboreattore stesso corrispondenti al massimo rendimento globale. Confronta inoltre tra di loro e con il turboreattore semplice il turboreattore a due flussi distinti e quello a due flussi associati.

1. In una precedente Nota (1), esaminate le prestazioni di undici tipi diversi di turboreattori a doppio flusso, si è concluso che gli unici presentanti pratico interesse sono quelli che in essa erano stati indicati come tipo A (a due flussi distinti) e tipo C (a due flussi associati) e che sono schematicamente rappresentati in Fig. 1, unitamente al turboreattore semplice, di tipo normale, assunto come termine di confronto.

Definito flusso principale quello che attraversa la turbina si sono introdotti i seguenti rapporti, caratteristici dei turboreattori a doppio flusso:

X=rapporto tra la portata d'aria, in peso, del flusso

(1) Il turboreattore a doppio flusso - Impostazione dei calcoli e scelta dei parametri caratteristici - Atti e Rassegna Tecnica della Soc. degli Ing. e Arch. di Torino, anno IX, n. 7, luglio 1955.

principale, G, e quella complessiva G+G':

$$X = \frac{G}{G + G'}$$

Y=rapporto tra il lavoro specifico di compressione tra i punti 2' e 2 (Fig. 1), L_{c2}, ed il lavoro specifico di compressione globale tra le sezioni 1 e 2, L_c:

$$Y = L_{c2}/L_c$$

λ=rapporto tra il lavoro specifico utilizzato nella turbina, L_t, e quello ottenibile da una espansione di rendimento politropico η_{ye} tra le condizioni esistenti nella sezione 3, pressione p₃ e temperatura T₃, e la pressione ambiente, L_e:

$$\lambda = L_t/L_e$$

Si è inoltre dimostrato che per i turboreattori tipo A basta assegnare i valori di due dei parame-

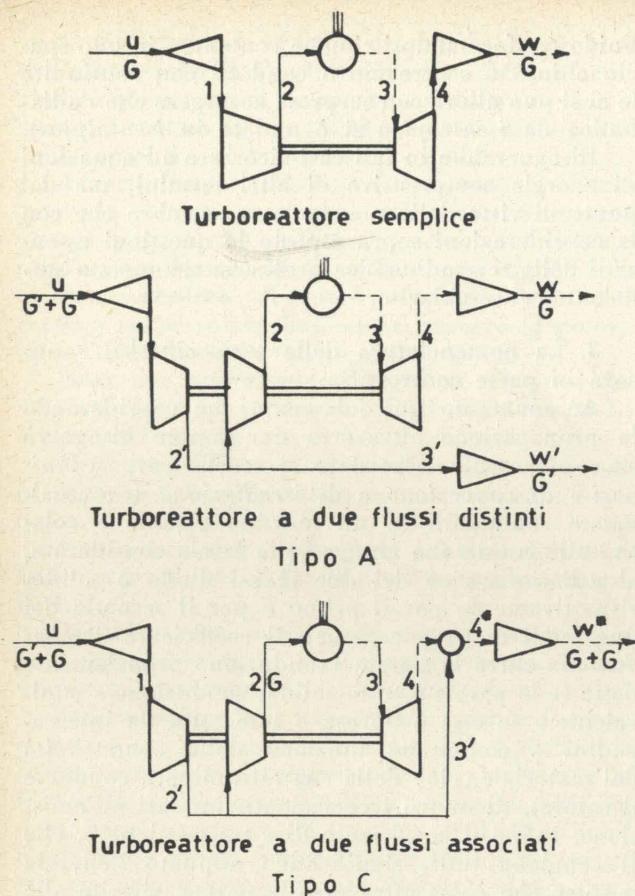


Fig. 1.

tri, X , Y , λ per definire univocamente il terzo e quindi la configurazione della macchina, mentre nel caso del tipo C esistono due relazioni tra tali parametri (una esprime, come nel caso precedente, la condizione di equilibrio dinamico del gruppo compressore-turbina, l'altra quella dell'uguaglianza delle pressioni dei due flussi nella camera di miscela) sicché il valore di uno qualsiasi dei tre parametri caratteristici stabilisce anche quelli degli altri due.

Infine, assegnati i valori della temperatura massima del ciclo, T_3 , di L_c , della velocità u e della quota z di volo e dei singoli rendimenti, si è posto in evidenza come risulti univocamente definita una terna di valori di X , Y e λ corrispondenti al turboreattore di massimo rendimento globale η_g . Tale massimo è, per i due tipi considerati, sempre superiore al valore relativo al turboreattore semplice corrispondente, cioè di egual T_3 , L_c e rendimenti, posto nelle medesime condizioni di volo; sempre inferiore a quello del turboreattore semplice corrispondente risulta invece il valore dell'impulso specifico, σ .

Nella presente Nota ci proponiamo di studiare come variano i valori dei parametri caratteristici sopra definiti, corrispondenti alle condizioni di massimo rendimento, al variare di T_3 , L_c , u , z , per una serie di turboreattori aventi tutte le altre caratteristiche uguali.

Manterremo le medesime ipotesi ed i medesimi sistemi di calcolo già visti nella Nota citata, in particolare supporremo che si abbia in ogni caso

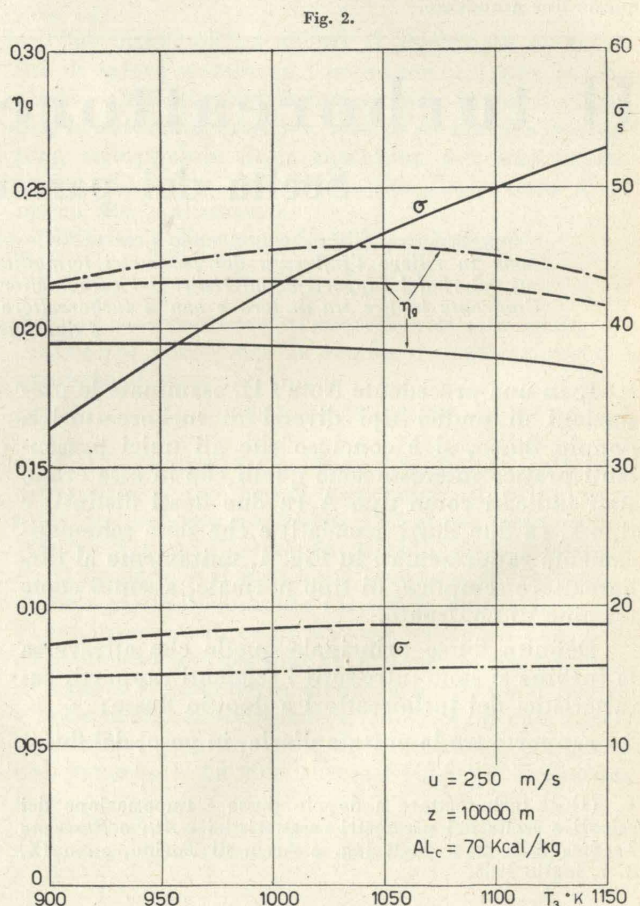
$T'_3 = T'_2$ e, per il tipo C, che le perdite di pressione nella camera di miscela siano trascurabili. Assumiamo inoltre i seguenti rendimenti:

politropico del diffusore	$\eta_{yd} = 0.90$
politropico del compressore	$\eta_{yc} = 0.88$
pneumatico del combustore	$\eta_{\pi b} = 0.97$
pneumatico del flusso secondario	$\eta'_{\pi} = 0.97$
termico del combustore	$\eta_b = 0.95$
politropico della turbina e dell'effusore	$\eta_{yt} = \eta_{ye} = 0.88$
meccanico del gruppo turbina-compressore	$\eta_m = 0.98$

2. Influenza della temperatura massima del ciclo (Figg. 2, 3).

Nelle Figg. 2 e 3 è illustrata l'influenza della T_3 sulle prestazioni e sui parametri caratteristici rispettivamente di una serie di turboreattori tipo A (linee a tratti), una di turboreattori tipo C (linee a tratti e punti) una di turboreattori semplici corrispondenti ai precedenti (linee continue). Le tre serie di macchine verranno così contraddistinte anche in tutte le rimanenti figure.

Come ben noto il turboreattore semplice, nel campo di temperature considerato, che coincide con quello attualmente di comune impiego, presenta un massimo nella curva degli η_g in funzione di T_3 , giacché all'aumentare di questa, e quindi della velocità di efflusso w , oltre un certo limite, il rendimento propulsivo decresce più rapidamente di quanto non aumenti il rendimento equivalente. Nel nostro caso tale massimo cade all'incirca per $T_3 = 950$ °K ma d'altra parte la diminuzione di η_g per

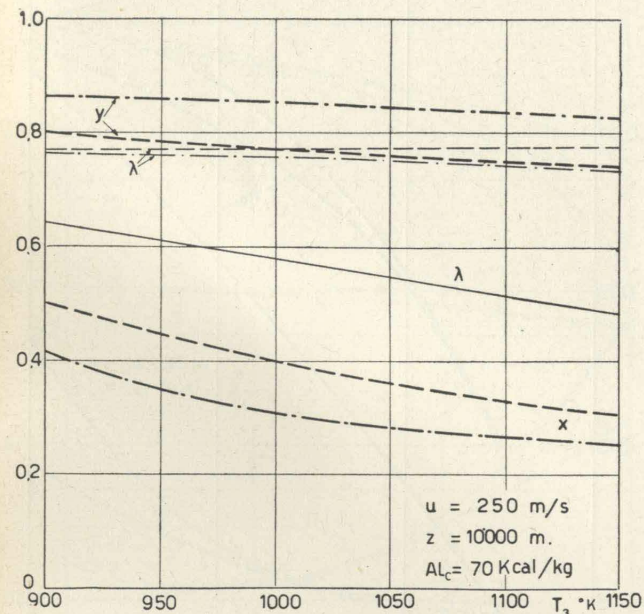


valori superiori della temperatura è così lieve che si assumono generalmente valori più elevati di questa per poter avere forti σ (l'impulso specifico cresce pressoché linearmente con T_3) e quindi forti spinte con modeste portate d'aria e conseguentemente dimensioni e pesi ridotti. Si osservi (Fig. 3) che, per il turboreattore semplice, il valore di λ è dato semplicemente dalla:

$$\lambda = L_c / \eta_m L_e$$

mentre, ovviamente, è $X = 1$, $Y = 1$.

Andamento analogo al precedente presenta la curva dei rendimenti globali del turboreattore a due flussi distinti, però con il massimo spostato verso valori maggiori di T_3 , dell'ordine di 1000 °K nel nostro esempio. In questo caso l'aumento dell'impulso specifico con la temperatura massima del ciclo è molto meno sensibile, specialmente alle temperature superiori, sicché si ha convenienza ad as-

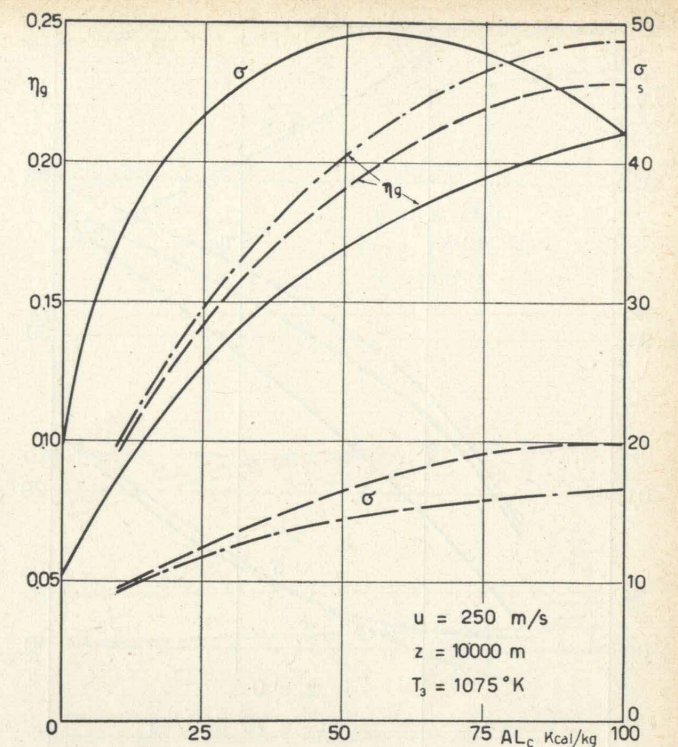


umere nel progetto delle T_3 più prossime a quella di massimo rendimento, cosa che del resto è vantaggiosa anche per quel che si riferisce all'architettura della macchina poichè dalla Fig. 3 si vede che in tali condizioni si possono mantenere valori più elevati di X e di Y e quindi risultano attenuate le difficoltà di disegno derivanti da un forte divario tra le portate dei due flussi. λ infine rimane pressoché costante in tutto il campo di temperature considerato.

Anche il turboreattore a due flussi associati presenta un massimo nella curva dei rendimenti, ulteriormente spostato a destra e molto più accentuato che non i precedenti. Dato che ora σ varia pochissimo con T_3 non si ha nessun vantaggio, finché possibile, a scostarsi dalle condizioni corrispondenti a tale massimo, tanto più che i valori ottimi di X , Y e λ hanno lo stesso andamento che per il tipo A.

In definitiva si vede che conviene scegliere:

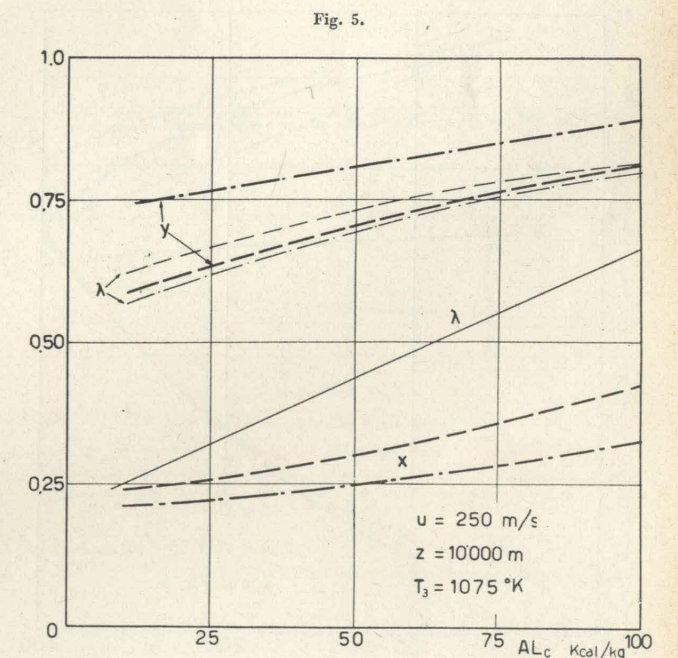
— per il turboreattore semplice temperature rela-



tivamente elevate, in modo da avere forti σ , anche se lievemente a scapito del rendimento;

— per il turboreattore a due flussi distinti temperature T_3 piuttosto basse giacché in corrispondenza di esse il rendimento si avvicina al suo valore massimo, l'impulso specifico è di poco inferiore a quello che si otterrebbe con T_3 molto più alte, il disegno della macchina risulta più semplice e si riduce l'impiego di materiali pregiati.

— per il turboreattore a due flussi associati valori di T_3 corrispondenti alle condizioni di massimo rendimento assoluto, e quindi intermedi tra



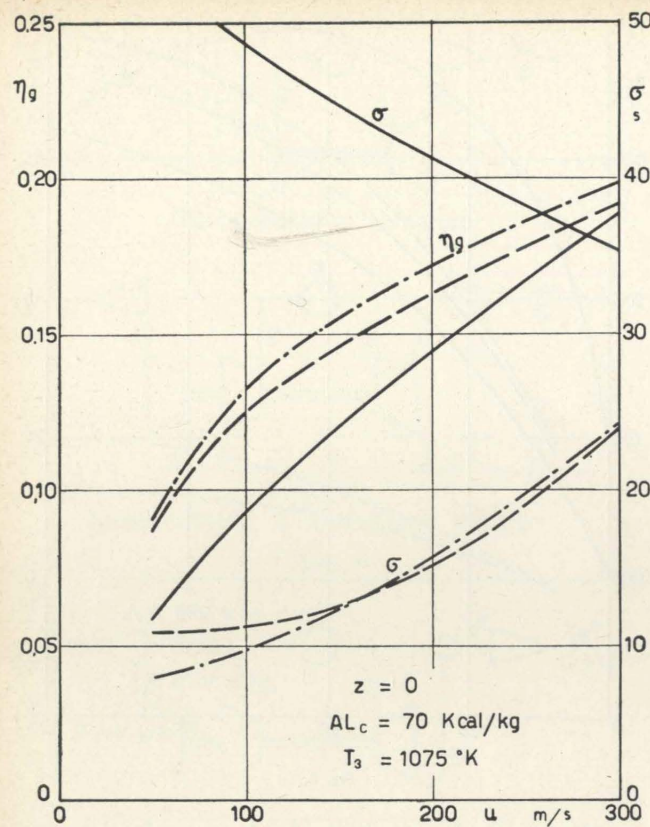
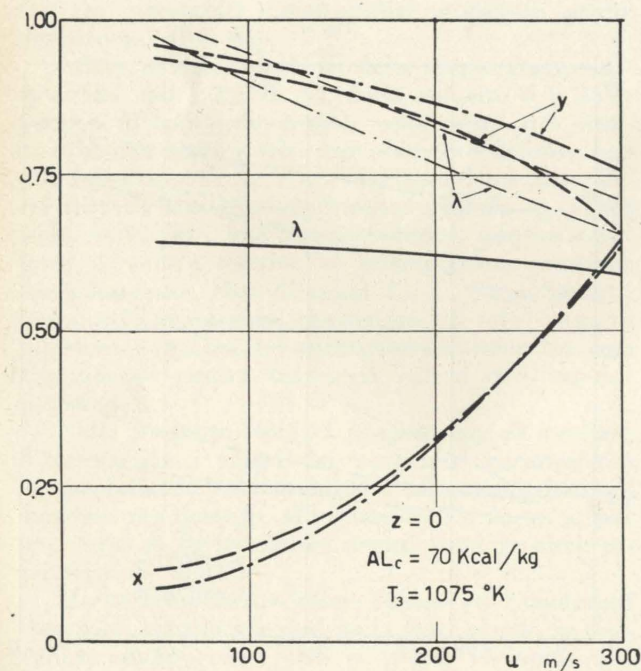


Fig. 6.

quelli dei tipi precedenti: σ risulta poi quasi indipendente dalla temperatura massima.

Si noti infine che per il tipo C scostandosi molto dal valore di T_3 di massimo rendimento assoluto se ne diminuirebbe la superiorità rispetto al tipo A fino ad annullarla agli effetti pratici, tenuto presente che, a parità di ogni altra condizione tale ultimo tipo dà valori superiori di σ ed X , e quindi minor peso e ingombro a parità di spinta.

Fig. 7.



3. Influenza del lavoro specifico di compressione (Figg. 4 e 5).

Anche in questo caso si sono poste a confronto le tre serie di macchine a parità di ogni altra condizione; per tutte e tre il rendimento globale aumenta sensibilmente con L_c (almeno nel campo dei valori di questo praticamente realizzabili) però il vantaggio dei tipi a doppio flusso rispetto al turboreattore semplice presenta un massimo che, nel nostro caso, corrisponde circa ad $AL_c=75$ kcal/kg, cioè per un rapporto di compressione statico al suolo dell'ordine di 9.5. Tenuto presente l'anda-

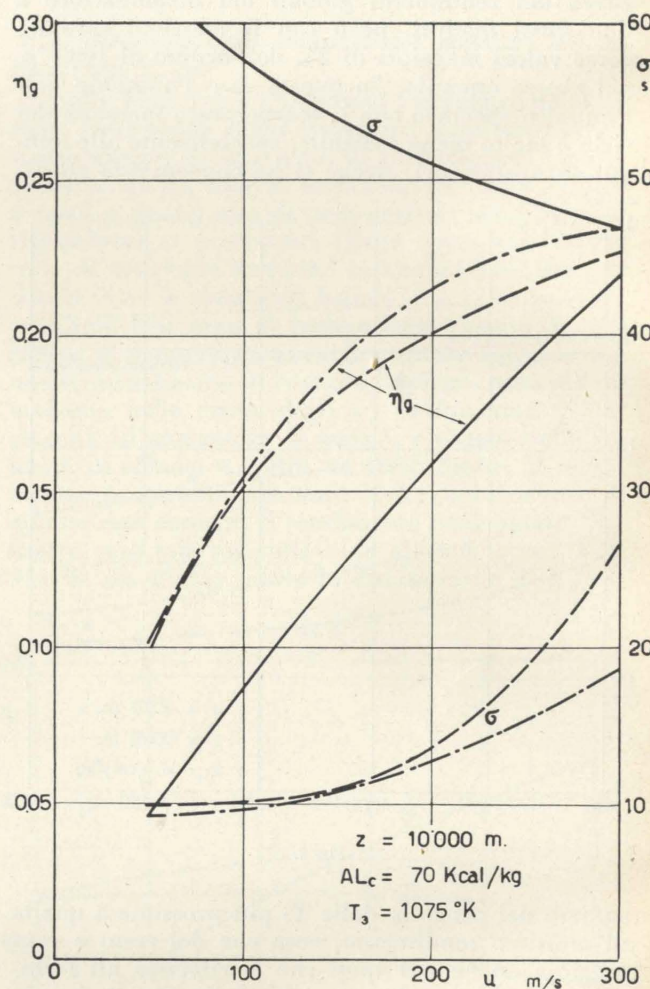


Fig. 8.

mento dei diagrammi dell'impulso specifico che per il turboreattore semplice presenta già un massimo accentuato per $AL_c=55$ kcal/kg mentre risulta sempre crescente con AL_c (nel campo considerato) per quelli a doppio flusso, si conclude facilmente che in questi ultimi conviene assumere valori alquanto alti del lavoro specifico di compressione, anche prescindendo dalle considerazioni relative al rendimento.

Un ulteriore vantaggio è in tal caso rappresentato dai maggiori valori di X ed Y (Fig. 5) che così si possono tenere.

Si osservi infine che per i più bassi L_c le prestazioni del tipo A e del tipo C tendono praticamente ad equivalersi.

4. Influenza della velocità di volo (Figg. 6 a 9).

A bassa quota (Figg. 6 e 7) il rendimento dei turboreattori a doppio flusso cresce con u , come quello del turboreattore semplice; man mano però che la velocità aumenta il vantaggio del doppio flusso sul turboreattore semplice corrispondente si riduce, anzi estrapolando la Fig. 6 si può presumere si annulli a velocità soniche. Dalla figura stessa è evidente come il campo compreso tra i 100 e i 250 m/s sia quello di pratica convenienza dei turboreattori tipo A e C, almeno con il valore di L_c assunto. Inoltre alle velocità più basse le prestazioni del tipo C non differiscono gran che da quelle del tipo A.

L'andamento delle curve degli impulsi specifici è invece completamente opposto per il turboreattore semplice e per quelli a doppio flusso, ciò che del resto è spiegato dal forte aumento di X con u

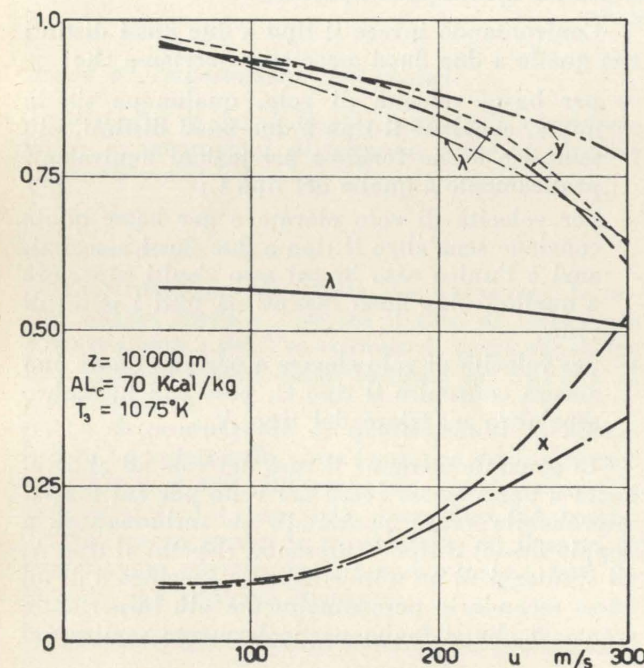


Fig. 9.

che si ha in questi ultimi (Fig. 7). A questo proposito si osservi come, al disopra di una certa velocità, il turboreattore a due flussi associati dà valori di σ e di X superiori a quelli del turboreattore a due flussi distinti sicchè, tenuto conto anche dell'andamento delle curve degli η_g appare come esso sia senz'altro da preferire per il caso del volo a bassa quota e relativamente alte velocità.

L'influenza di u è poi molto forte anche su λ e Y che risultano decrescenti con essa; ancora una volta i maggiori valori di Y che si hanno alle alte u nel tipo C lo fanno preferire al tipo A.

A quote superiori (Figg. 8 e 9) si osserva innanzitutto un più sensibile scarto tra i valori del rendimento globale dei tipi A e C e quello del turboreattore semplice; però mentre il tipo a due flussi distinti si presenta più conveniente nel campo delle velocità relativamente basse (50÷200 m/s) il turboreattore a due flussi associati appare veramente interessante solo per u comprese tra 150 e

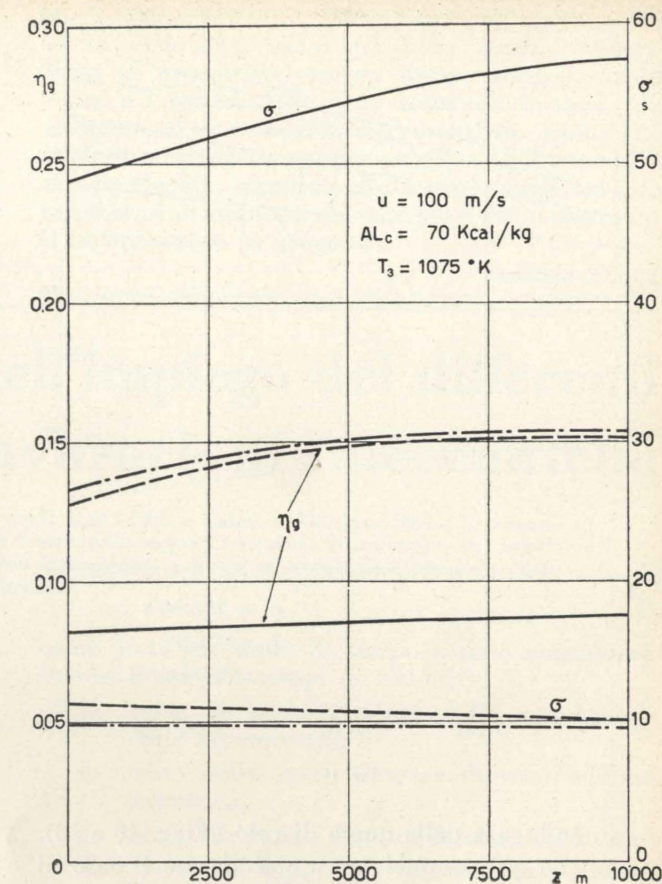
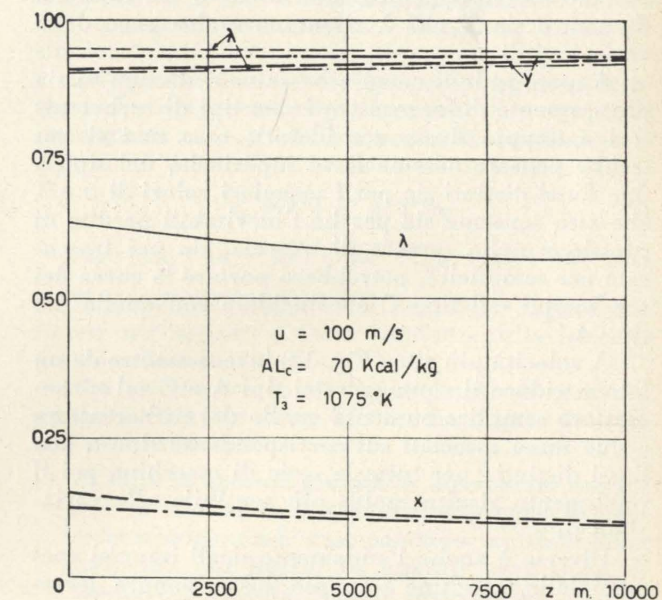


Fig. 10.

300 m/s (con i valori delle altre grandezze assunti per il nostro esempio).

Analogo a quello che si aveva per $z=0$ è l'andamento delle curve degli impulsi specifici: si noti solo che ora quella relativa al tipo C risulta tutta inferiore a quella relativa al tipo A; lo stesso accade per X (Fig. 9) mentre è immutato l'andamento di Y e λ che solo appare più accentuato.

Fig. 11.



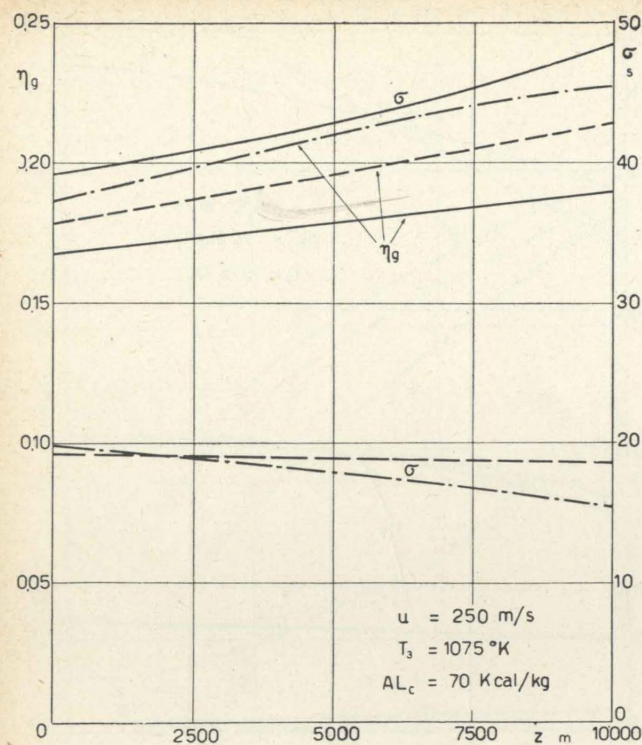


Fig. 12.

5. Influenza della quota di volo (Figg. 10 a 13).

Anche qui cominciamo a considerare il caso di velocità relativamente basse (Figg. 10 e 11); come si poteva facilmente dedurre da quanto precedentemente visto è in tali condizioni che si ha il massimo vantaggio nel rendimento con il turboreattore a doppio flusso; vantaggio che cresce inizialmente con z per poi mantenersi quasi costante (Fig. 10). In tali condizioni la differenza tra il tipo a due flussi associati e quello a due flussi distinti è pressoché trascurabile.

Al solito le curve relative a σ hanno andamento opposto, crescente con z per il turboreattore semplice, decrescente per quelli a doppio flusso, particolarmente per il tipo A. Lo stesso andamento presentano corrispondentemente le curve dei rapporti X mentre sia Y che λ risentono molto poco delle variazioni di z .

Appare quindi come a bassa velocità non vi sia praticamente differenza tra i due tipi di turboreattori a doppio flusso considerati; caso mai si potrebbe pensare ad una lieve superiorità del tipo a due flussi distinti sia per i maggiori valori di σ e X che esso consente sia perché l'inevitabili perdite di pressione nella camera di miscela, da noi trascurate per semplicità, potrebbero portare la curva dei rendimenti del tipo C a coincidere con quella del tipo A.

A velocità più alte (Fig. 12) invece mentre da un lato si riduce il vantaggio dei tipi A e C sul turboreattore semplice aumenta quello del turboreattore a due flussi associati sul corrispondente tipo a due flussi distinti: per tutte le serie di macchine poi il rendimento risulta molto più sensibile alle variazioni di z .

Diverso è anche l'andamento degli impulsi specifici delle macchine a doppio flusso, sempre decre-

scende con la quota ma più rapidamente per il tipo a due flussi associati; lo stesso accade per X .

Al solito poco influenzati da z , sebbene più che nel caso precedente, risultano Y e λ .

6. In base a quanto sopra visto possiamo ora affermare che:

- qualora non abbiano importanza preponderante il peso e l'ingombro della macchina, ma unicamente il suo rendimento, il turboreattore a doppio flusso può convenire rispetto al turboreattore semplice corrispondente per velocità di volo inferiori ai 300 m/s, soprattutto alle quote più elevate;
- in generale ha maggiore importanza per il turboreattore a doppio flusso, di qualunque tipo esso sia, l'aumento di L_c che non quello di T_3 dato che quest'ultimo ha ben poco effetto sui valori dell'impulso specifico.

Confrontando invece il tipo a due flussi distinti con quello a due flussi associati osserviamo che:

- per basse velocità di volo, qualunque sia la quota, conviene il tipo a due flussi distinti, più semplice e che fornisce prestazioni equivalenti praticamente a quelle del tipo C;
- per velocità di volo elevate e per basse quote conviene senz'altro il tipo a due flussi associati, anzi è l'unico caso in cui esso risulti superiore a quello a due flussi distinti da tutti i punti di vista;
- per velocità di volo elevate e per alte quote può ancora convenire il tipo C, però con ingombro senz'altro maggiore del tipo A.

In generale e tranne il caso del volo ad alta velocità a bassa quota (caso del resto per cui è assai improbabile venga progettato un turboreattore a doppio flusso) il tipo C presenta, rispetto al tipo A, gli svantaggi di un minor impulso specifico e di un flusso secondario percentualmente più importante, svantaggi che si fanno particolarmente sentire nel

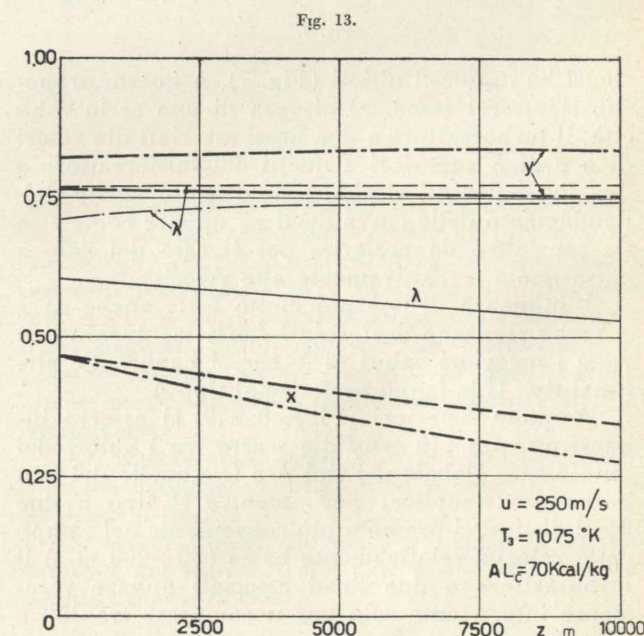


Fig. 13.

caso di alti valori di u e z . Inoltre per funzionare nelle condizioni di massimo rendimento assoluto richiede valori superiori di T_3 .

Per contro esso ha sempre valori di η_g e di Y superiori a quelli del tipo A e quest'ultimo fatto può in parte controbilanciare gli effetti del minore X sicché, a parità di ogni altra condizione il peso specifico dei due tipi di turboreattori a doppio flusso dovrebbe risultare quasi il medesimo.

Limiti di convenienza nell'impiego dei differenti tipi di torni nelle lavorazioni meccaniche

La presente trattazione, elaborata in collaborazione dagli ingg. Edesio Caimi e Fiorenzo Savio, e presentata al V Congresso Internazionale delle Fabbricazioni Meccaniche, espone i risultati di un'analisi sui limiti di convenienza, nell'uso di diversi tipi di torni, quando si osservano i tempi di produzione oppure i costi di produzione.

Scopo ed impostazione dell'analisi

L'analisi di cui si dà atto, prende in considerazione le lavorazioni di torneria sotto un duplice punto di vista:

- produttività,
- costo di produzione.

Con riferimento a questi due parametri, la nostra analisi tende a definire il tipo di tornio più « conveniente » per l'esecuzione di pezzi uguali fra loro quando questi siano lavorati in « serie » di entità definita.

La determinazione di questi criteri di convenienza è fondata sulla considerazione degli elementi che, nei vari casi, intervengono a determinare la produttività ed il costo delle operazioni di torneria.

Nel nostro studio la produttività ed il costo di ogni singola operazione di lavoro vengono fatti dipendere dai seguenti elementi:

— Elementi determinanti il tempo di produzione:

- t ciclo di lavoro (da terra a terra). A parità di macchina operatrice, tale tempo è considerato costante per tutti i pezzi uguali fra loro,
- t' tempo improduttivo nel corso della lavorazione per necessità di esercizio (cambio utensili, rifornimento materiale, assistenza e regolazione della macchina). A parità di macchina operatrice tale tempo è considerato costante per tutti i pezzi uguali fra loro,
- t'' quota del tempo di preparazione della macchina. Tale quota è considerata funzione diretta del tipo di tornio impiegato ed inversa del numero di pezzi prodotti ($t'' = T''/n$).

— Elementi determinanti il costo di produzione:

- α_1 costo dell'energia assorbita,
- α_2 costo degli utensili consumati,
- α_3 costo dei refrigeranti e lubrificanti consumati.

Tali costi ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = \alpha$) vengono espressi

In definitiva, come già fatto notare, appare come al progettista occorra pesare accuratamente i pro e i contro delle varie soluzioni in modo da giungere ad un compromesso accettabile, studio che evidentemente deve essere condotto di volta in volta con particolare riguardo alle caratteristiche ed alle condizioni di impiego del velivolo a cui è destinato il turboreattore in progetto.

Federico Filippi

come costi per unità di tempo e sono considerati incidenti sui soli tempi di ciclo (t);

- β_1 costo di ammortamento delle macchine e delle attrezzature,
- β_2 costo della mano d'opera diretta: addetto macchina,
- β_3 costo della mano d'opera diretta: operatore.

Tali costi ($\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = \beta$) vengono espressi come costi per unità di tempo e sono considerati incidenti sui tempi risultanti $t + t'$.

Il costo β_1 è considerato anche incidente sul tempo di preparazione t'' .

γ costo della mano d'opera indiretta: montatore.

Tale costo viene espresso come costo per unità di tempo e viene considerato incidente sui soli tempi di preparazione (t'').

c_m costo della materia prima.

Tale costo viene espresso come costo per unità prodotta.

Altri elementi di costo sono stati trascurati perché ritenuti privi di influenza apprezzabile ai fini dei confronti che formano l'oggetto di questo studio.

Da quanto posto, conseguono le seguenti relazioni che esprimono rispettivamente il « tempo di produzione » (t_p) ed il « costo di produzione » (c_p) di un particolare lavorato su tornio:

$$t_p = t + t' + T''/n \quad (I)$$

$$c_p = c_m + (\alpha + \beta) t + \beta t' + (\beta_1 + \gamma) T''/n \quad (II)$$

Il calcolo dei tempi e dei costi che vengono utilizzati nel seguito è stato condotto sulla base di queste relazioni.

Per mantenere lo studio in limiti di concreta praticità, il programma di ricerche è stato definito nel modo seguente:

- di tutta la enorme gamma di lavorazioni eseguibili su tornio, la nostra analisi prende in considerazione un solo caso concreto: si tratta della tornitura (da barra) di quattro particolari di media complessità, uguali come forma, diversi

quanto a dimensioni, nella lavorazione dei quali intervengono utensili per foratura, cilindatura, alesatura, sfacciatura, formatura e troncatura; una tale impostazione ha permesso di estendere le indagini a quattro diversi livelli dimensionali confrontabili fra loro ed abbraccianti una parte considerevole della gamma di diametri lavorabili su tornio, da barra;

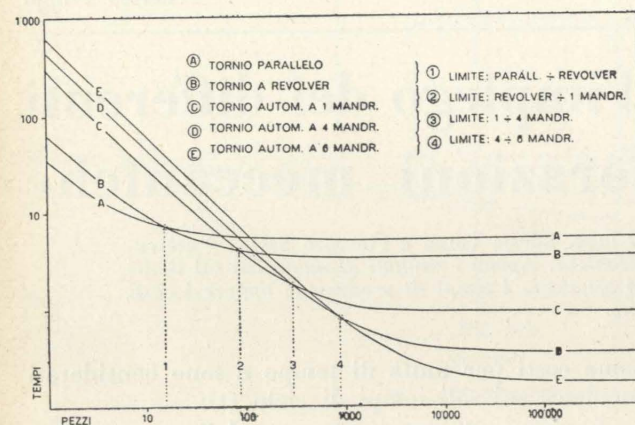


Fig. 1.

— di tutti i tipi di torni disponibili sul mercato, sono stati presi in considerazione i tipi seguenti: tornio parallelo senza attrezzature speciali, tornio a revolver non automatico, tornio automatico ad un mandrino, tornio automatico a quattro mandrini, tornio automatico a sei mandrini;

— la qualità del materiale lavorato, quella degli utensili da taglio e quella dei refrigeranti è stata mantenuta costante in tutti i casi; le condizioni di lavoro sono state fissate con criterio uniforme; piccole differenze da caso a caso sono state accettate per raggiungere il livello di produttività optimum compatibile con le prestazioni delle diverse macchine;

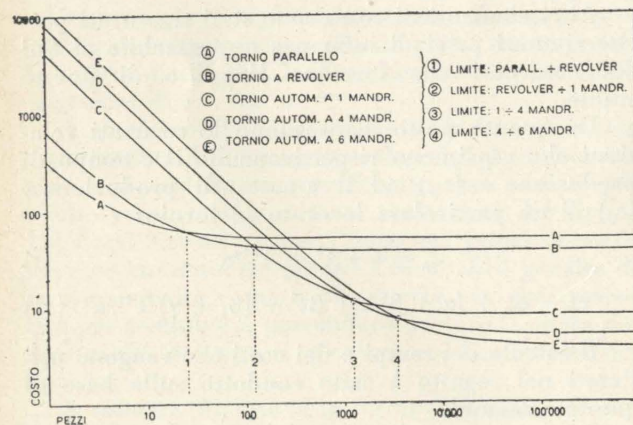


Fig. 2.

— nella lavorazione sulle macchine non automatiche (tornio parallelo e tornio a revolver), all'addetto macchina era affidata una sola macchina; nella lavorazione sulle macchine automatiche, all'addetto macchina erano affidate due macchine uguali; in tutti i casi si è supposto

di affidare all'operatore un numero di macchine eguali corrispondente alla saturazione totale delle possibilità di lavoro dell'operatore stesso.

A nostro giudizio una tale impostazione garantisce una sufficiente validità dei risultati che verranno esposti per una vasta gamma di lavorazioni similari. Al variare delle condizioni di lavoro (forma, qualità, dimensioni del pezzo, qualità dei materiali, velocità di taglio, ecc.) varieranno bensì alcuni degli elementi di tempo e di costo, ma non si altereranno sensibilmente i rapporti che determinano i limiti di convenienza fra le diverse macchine.

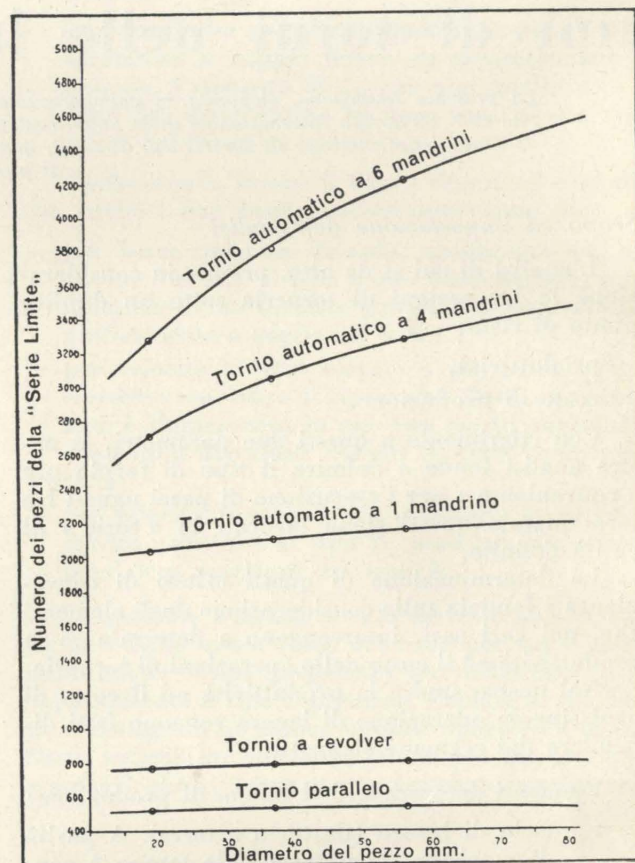


Fig. 3.

Risultati dell'analisi.

Un primo risultato delle ricerche è sintetizzato nei diagrammi n. 1 e n. 2, validi per uno dei particolari in esame. Questi diagrammi, in coordinate logaritmiche, rispecchiano le variazioni del tempo (diagr. n. 1) e del costo (diagr. n. 2) di produzione al variare della serie da produrre e del tipo di tornio impiegato.

L'andamento di tale variazione è iperbolico, come risulta anche dalle relazioni analitiche poste in precedenza; al crescere del numero di pezzi prodotti, ciascuna curva si avvicina asintoticamente ad una retta che rappresenta la somma dei tempi di ciclo e dei tempi improduttivi (= tempi minimi). Ved. diagr. n. 1) o, rispettivamente, i costi che maturano in questi soli tempi (= costi minimi). Ved. diagr. n. 2). Per ogni tipo di tornio può quindi essere definito un limite di passaggio alle condizioni

di « grande serie », cioè un valore della serie a partire dal quale, sono trascurabili le variazioni del tempo (o del costo) di produzione, per quel tipo di tornio e per la lavorazione su di esso impostata.

Ne consegue un « primo criterio di convenienza » nell'impiego di ciascun tipo di tornio; tale criterio consiglia di lavorare, possibilmente, partite di pezzi non inferiori alla serie limite di passaggio alle condizioni di grande serie.

Mentre i torni non automatici sono caratterizzati da un modesto tempo di produzione del prototipo (i tempi di preparazione sono brevi) e da un rilevante tempo minimo di produzione (i cicli sono elevati), viceversa i torni automatici a più mandrini sono caratterizzati da un rilevantissimo tempo di produzione del prototipo (il tempo di preparazione è molto oneroso) e da un tempo minimo estremamente basso (i cicli sono molto piccoli).

Ne consegue un « secondo criterio di convenienza » valido per la scelta del tipo di tornio da impiegare in fusione della serie da produrre: l'intersezione delle curve di costo (o di produttività) relative ai diversi tipi di tornio definiscono altrettanti limiti di convenienza in relazione ai quali, al crescere dell'entità della serie da produrre, la convenienza si sposta dai torni paralleli ai torni a revolver ed a quelli automatici ad uno ed a più mandrini.

È interessante notare come tali limiti non coincidono quantitativamente se si guarda il problema di convenienza dal punto di vista della produttività o se lo si guarda da quello del costo; in realtà

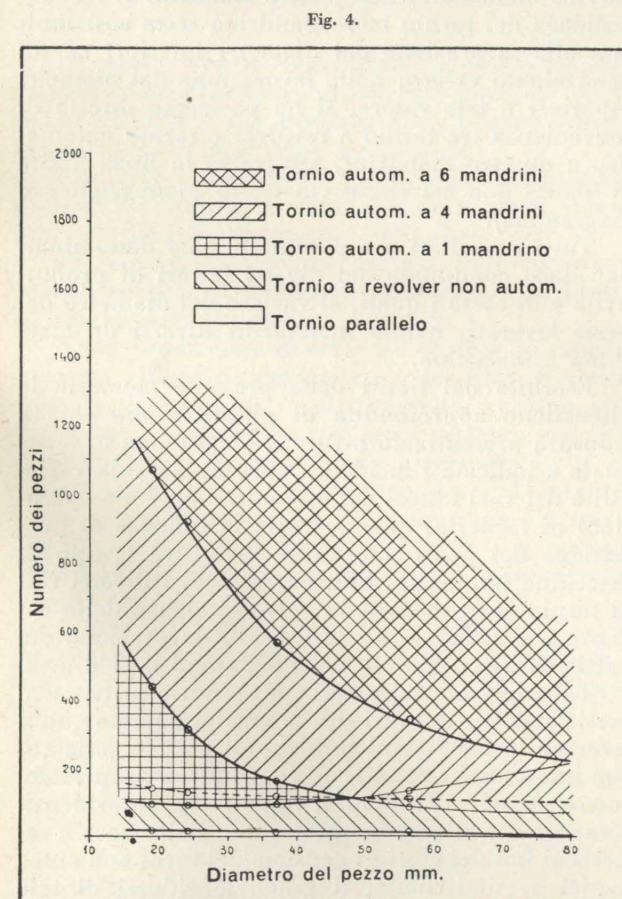
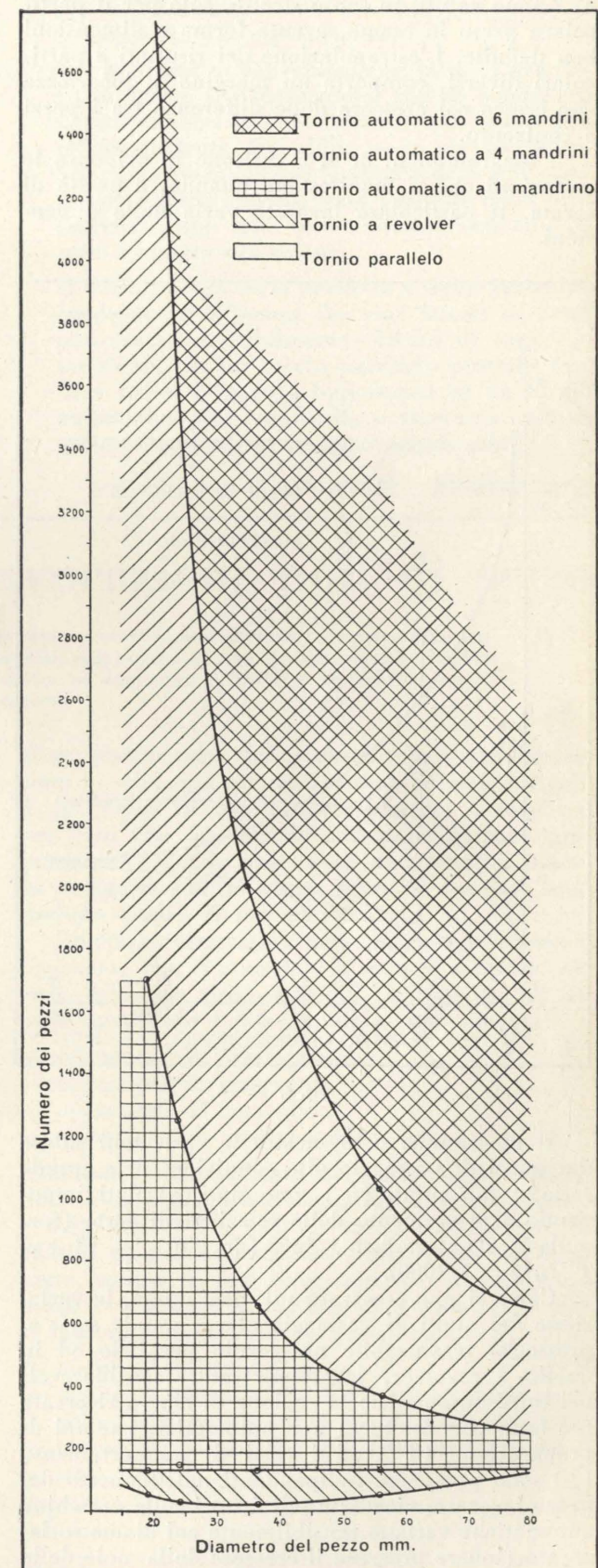


Fig. 4.

la convenienza all'impiego di ciascun tipo di tornio è più lenta a manifestarsi sotto l'aspetto del costo che sotto quello della produttività, ciò perchè per

Fig. 5.



serie non sufficientemente grandi, gli aumenti di produttività non bastano a compensare gli aumenti di costo in cui si incorre abbandonando un tornio più semplice per uno più complesso.

Occorre ora ricordare che i diagrammi n. 1 e n. 2 sono validi, in senso stretto, solo per il particolare preso in esame, avente forma e dimensioni ben definite. L'estrapolazione dei risultati a particolari diversi, comporta un margine di incertezza che cresce col crescere delle differenze tra i pezzi a confronto.

I diagrammi n. 3, 4, 5 mettono in evidenza le variazioni che si manifestano quando, a parità di forma, il particolare lavorato varia nelle dimensioni.

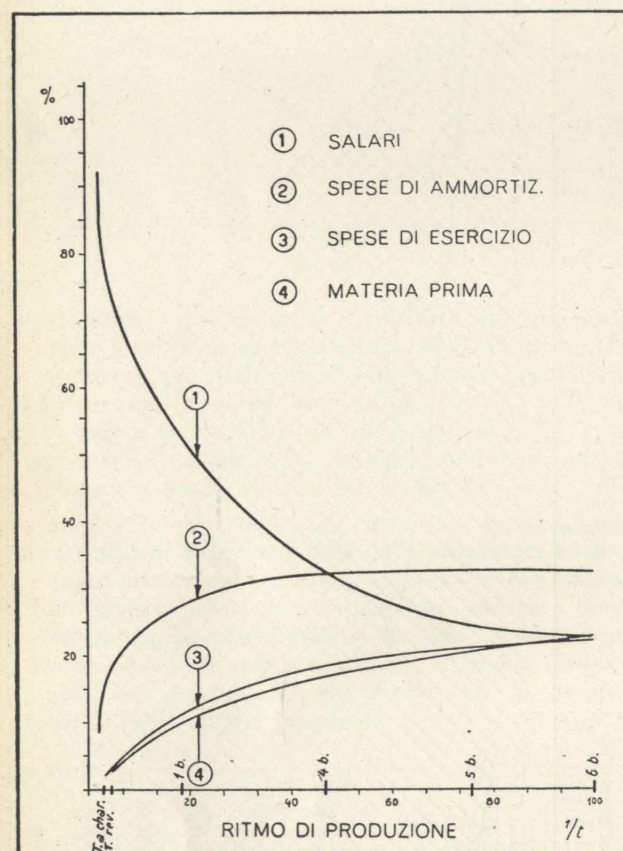


Fig. 6.

Il diagramma n. 3 mostra le variazioni subite dai punti di passaggio alle condizioni di « grande serie »; tali punti (n_*) sono stati calcolati imponendo al decremento delle relazioni di costo (formula II) il valore fisso $1/1000$ ($dc_p/dn = -(\beta_1 + \gamma)T''/n^2 = 1/1000$).

Come si può osservare sul diagramma, la variazione dei punti di passaggio alla « grande serie », pressoché trascurabile nel tornio parallelo ed in quello a revolver, raggiunge valori considerevoli nei torni automatici: la ragione di ciò va ricercata nel fatto che nei torni non automatici, i tempi di preparazione (T'') ed i costi di ammortamento (β_1) sono pressoché indipendenti dal diametro del pezzo lavorato, viceversa tali fattori sulle macchine automatiche variano sensibilmente col diametro lavorato (tenere presente il crescere della mole delle

macchine ed il crescere dei tempi di evoluzione di queste).

Sui diagrammi n. 4 e n. 5, in coordinate « serie da produrre »-« diametro del pezzo lavorato », sono invece tracciate le « curve limite » di convenienza tra i vari tipi di tornio. Tali curve sono generate dagli spostamenti che subiscono i punti di incrocio delle curve di produttività (o di costo) dei singoli torni, quando varia il diametro del pezzo lavorato: le « curve limite » delimitano delle « zone di convenienza » in funzione delle quali, per ciascuna coppia « diametro »-« serie », resta definito il tipo di tornio più conveniente.

Il confronto dei diagrammi n. 4 e n. 5 conferma e generalizza il fatto già riscontrato nel confronto dei diagrammi n. 1 e n. 2 e cioè non la coincidenza delle zone di convenienza per la produttività con quelle di convenienza per il costo. A parità di condizioni (diametro del pezzo lavorato) la convenienza economica all'impiego di un qualsiasi tipo di tornio si manifesta per una serie più elevata che non la convenienza dal punto di vista della produttività. Questa differenza, di piccola entità nei torni non automatici, sale a valori assai rilevanti nei torni multimandrini automatici.

In entrambi i diagrammi si rileva che, per i torni automatici le curve limite di convenienza hanno tendenza ad abbassarsi col crescere del diametro lavorato: per diametri elevati, tutti i limiti si avvicinano sensibilmente. In particolare, nel diagramma n. 4 (zone di convenienza ai fini della produttività) si ha addirittura scavalco tra la curva limite « revolver-monomandrino » e la curva « monomandrino-quattro mandrini ». La convenienza del tornio monomandrino resta così limitata alla lavorazione dei diametri inferiori ad un determinato valore; nella lavorazione dei diametri superiori a tale valore, si ha passaggio diretto di convenienza tra tornio a revolver e tornio automatico a quattro mandrini, attraverso la linea limite di queste due macchine (in tratto punteggiato sul diagramma).

Tutti i risultati ora presentati sono determinati dal gioco combinato dei diversi fattori di produttività e di costo i quali, al variare del diametro dei pezzi lavorati, hanno incrementi diversi da macchina a macchina.

Esorbita dai limiti della presente memoria la discussione approfondita di questo problema; in chiusura presentiamo invece il diagramma n. 6 nel quale è indicata l'incidenza percentuale e la variabilità dei vari fattori del costo minimo delle operazioni di torneria, quando varia la cadenza di produzione dei pezzi, quindi in definitiva il tipo di macchina impiegato. Sul diagramma, i diversi tipi di tornio sono indicati in corrispondenza della cadenza che compete ad essi per la lavorazione del particolare considerato nei diagrammi n. 1 e n. 2.

Tale diagramma fornisce un criterio orientativo per la gestione dei vari tipi di tornio, quando questi lavorino in condizioni tecniche di grande serie (e, ben inteso, nelle condizioni economiche proprie del nostro paese): ad esempio, viene messa in evidenza l'importanza determinante assunta dalla voce « salari » ai fini dei costi di gestione dei torni non automatici e, similmente, il graduale ridursi di tale

incidenza passando ai torni automatici, i quali realizzano una utilizzazione più equilibrata dei vari fattori del costo di produzione, fra i quali assumono importanza preminente i costi di ammortamento e le spese di esercizio. È inutile sottolineare come su tali macchine, una buona gestione dipenda in gran parte dal controllo di questi ultimi fattori.

Conclusioni.

Dai dati esposti nel corso di questa memoria traggono conferma i seguenti fatti:

- per particolari di data forma e dimensioni, la produttività ed il costo delle operazioni di tornitura dipendono dall'entità della serie dei pezzi prodotti; le condizioni ottime sono raggiunte solo se la serie supera un certo valore caratteristico della macchina impiegata;
- la produttività ed il costo delle operazioni di tornitura, dipendono anche dalla macchina impiegata: per ogni valore della serie esiste una macchina nella quale si realizzano le condizioni ottime di produttività e di costo;
- al variare delle dimensioni del particolare lavo-

rato, i limiti di convenienza sopra accennati si spostano, di poco sulle macchine non automatiche, sensibilmente su quelle automatiche. Al crescere del diametro le condizioni di « grande serie » si raggiungono più difficilmente e tuttavia la convenienza delle macchine automatiche si manifesta più rapidamente;

- le condizioni di convenienza in fatto di produttività spesso non coincidono con le condizioni di convenienza in fatto di costo: per valori non sufficientemente alti della serie da produrre, l'impiego di macchine automatiche e più complesse, già convenienti sotto l'aspetto della produttività, può non essere ancora conveniente sotto l'aspetto del costo;
- al variare della serie prodotta e delle macchine impiegate, l'influenza dei vari fattori di costo può mutare sensibilmente: fattori di costo determinanti su un tornio parallelo possono perdere parte della loro importanza su un tornio automatico plurimandrino, e viceversa altri di minore importanza possono acquistarla.

Edesio Caimi - Fiorenzo Savio

Trasporti interni nelle lavorazioni non di serie

L'Ing. Alberto Russo-Frattasi, riprendendo l'argomento dei trasporti interni aziendali, imposta schematicamente il problema dello studio del trasporto dei materiali nell'interno di uno stabilimento che effettua produzioni non di serie, sulla base della convenienza tecnica ed economica di adottare un determinato sistema di trasporto.

Studio sui costi.

In ogni impresa industriale il problema del trasporto delle materie prime, dei pezzi in corso di lavorazione e dei prodotti finiti è intimamente legato al problema della produzione.

Produrre è trasportare e non è più concepibile — oggi — che uno dei due problemi possa essere studiato indipendentemente dall'altro.

Per contro si osservano dei fenomeni curiosi in merito ed il tema prefissoci ottimamente si presta al nostro contrappunto.

Nella produzione di serie il concetto su esposto è ormai all'ordine del giorno e la selva di mezzi meccanici impiegati — dal carrello a mano alla macchina a transfer — testimonia quanto sia vero l'accostamento tra produzione e trasporto.

Ma, non appena ci si allontana dal concetto e dalla realizzazione della produzione di serie, sembra che solo uno dei due fattori — e precisamente la produzione — venga preso in considerazione.

Infatti si assiste alla ricerca affannosa delle macchine più moderne, allo studio dei tempi e del posto di lavoro, alla realizzazione di tutti quegli accorgimenti che servono ad aumentare la produttività dello stesso, mentre il trasporto dei vari materiali da macchina a macchina, da posto a posto, è il più delle volte trascurato.

Ora se è vero è giusto che nelle officine con produzione non di serie si miri più alla flessibilità dell'impianto (process lay-out) — per il mi-

glior adattamento dello stesso alle varie lavorazioni — che non alla definizione precisa e rigida di un flusso di produzione (product lay-out); è pur vero che sia assurdo trascurare l'esame preventivo di tutte le operazioni di trasporto, esame da svolgersi con lo stesso metodo con cui sono studiate quelle di produzione.

Infatti se osserviamo una qualsiasi lavorazione troveremo che il materiale è sempre soggetto, nel ciclo delle sue trasformazioni, al ripetersi di alcune operazioni fondamentali e precisamente:

- operazioni di trasformazioni;
- operazioni di trasporto;
- operazioni di controllo;
- operazioni di immagazzinamento;

raffigurate come indicato nel simbolismo standardizzato di impiego corrente nella programmazione e nello studio dei cicli di lavoro. Dall'esame di ognuna di queste operazioni risulta come per compiere ognuna di esse siano necessari alcuni tempi basilari — gruppi di movimenti elementari — che si ripetono di continuo e precisamente:

- tempo di presa del pezzo;
- tempo di sistemazione dello stesso (sulla macchina, in deposito, sul mezzo di trasporto, ecc.);
- tempo di lavorazione (di trasporto, di deposito, ecc.);

dopo di che viene ripetuto uno dei tempi precedenti.

Da ciò risulta l'assoluta identità sia concettuale

che programmabile e delle varie fasi di lavorazione e di quelle di trasporto.

Tanto più che il naturale sviluppo della produzione costringendo all'acquisto di nuovi macchinari fa sorgere il problema della loro disposizione dato che questa non è univocamente fissata come per la produzione in serie. Tale problema viene reso più difficile dall'uso delle cosiddette macchine « Universali » che spesso genera un eccessivo moltiplicarsi dei trasporti interni.

Non si ritiene di dir nulla di nuovo nel far presente come allo sviluppo irrazionale dei trasporti interni faccia riscontro l'aumento del tempo di esecuzione del prodotto, uno sforzo maggiore compiuto dalla mano d'opera, l'aumento di costo del prodotto, per non citare che i fenomeni più appariscenti. Ma ci sono anche i tempi persi dai materiali che hanno altresì molta importanza in quanto il loro giacere fermi — costituendo essi tutti gli infiniti piccoli polmoni o depositi nei posti più disparati dell'officina — rappresenta un immobilizzo ingente di capitale improduttivo ed intralcio ed ingombro al normale svolgimento delle operazioni dell'officina stessa, intralcio che può essere rappresentato come un vero e proprio valore locativo del posto occupato; tutto ciò senza tener conto di come anche le spese generali dei vari reparti risultino maggiorate da tali inconvenienti.

Quindi dovendo affrontare lo studio del trasporto dei materiali nell'interno di uno stabilimento che effettua una produzione non di serie, occorre procedere all'esame di quell'insieme di fattori che sono strettamente legati a tale tipo di produzione, alla disposizione degli impianti ed all'organizzazione complessiva del ciclo di produzione.

Il primo problema che in ogni caso si presenta è quello di determinare quello che viene chiamato « indice di convenienza » e precisamente:

$$\beta = \frac{C_1}{C_0}$$

cioè il rapporto tra il costo del trasporto con l'impianto che si vuol realizzare (C_1) rispetto al costo dello stesso con l'impianto precedente (C_0). Il valore β può oscillare tra $0 < \beta < 1$ in quanto per $\beta = 0$ l'operazione di trasporto risulta eliminata, mentre per $\beta = 1$ non v'è alcuna differenza nel costo del trasporto tra i due impianti.

Sul costo giornaliero di esercizio incidono la quantità del materiale da trasportare, la durata del servizio, la lunghezza del percorso, l'utilizzazione degli impianti; ora se con C_1 - C_2 - C_3 - C_4 indichiamo dei parametri di costo rispettivamente proporzionali alle 4 voci sopra dette ed inoltre con:

Q_s = il numero dei ql/h trasportati al giorno;

Q_h = il numero di ql/m trasportati al giorno;

L = la lunghezza del percorso in m.;

R = il grado di utilizzazione dell'impianto espresso come rapporto tra i ql. trasportati e quelli trasportabili, si ha che il costo gior-

naliero di esercizio sarà espresso da:

$$C = C_1 Q_s + C_2 Q_h + C_3 L + C_4 R$$

mentre il costo per ql/m. sarà:

$$C_q = \frac{C}{Q_s} = C_1 + \frac{Q_h}{Q_s} C_2 + C_3 \frac{L}{Q_s} + C_4 \frac{R}{Q_s}$$

$$\text{ma poichè } R = \frac{Q_h}{Q_{hl}}$$

dove Q_{hl} è il numero di ql. trasportabili al giorno con l'impianto suddetto mentre

$$\frac{Q_h}{Q_s} = \frac{1}{V}$$

dove V è la velocità media del trasporto, si ha:

$$C_q = C_1 + \frac{C_2}{V} + C_3 \frac{L}{Q_s} + C_4 \frac{Q_h Q_s}{Q_{hl}}$$

da cui risulta che il costo al metro del ql., trasportato è composto di quattro elementi di cui

- uno costante C_1
- uno inversamente proporzionale alla velocità media
- uno direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso
- uno proporzionale all'utilizzazione dell'impianto stesso.

(Si fa notare che la correlazione tra C_q e V come espressa è valida sempre fino al raggiungimento dell'*optimum* di velocità dell'impianto, oltre non sempre il costo decresce con l'aumento di V).

Quando è stata stabilita la convenienza all'acquisto od alla installazione di un nuovo mezzo od impianto di trasporto, è opportuno studiare a fondo sia il costo che l'utile che ne deriva.

Pertanto se si indica con Y il costo annuo di esercizio per mantenere il nuovo impianto in perfetta efficienza, si avrà che

$$Y = P (I + T + M + D) \quad \text{dove}$$

P = prezzo d'acquisto del nuovo impianto

I = interesse del capitale investito (% P)

T = spese assicuraz., tasse, imposte in relazione al nuovo impianto (% P)

M = spese di manutenzione (% P)

D = ammortamento del capitale (% P).

Per contro il profitto annuo supplementare, espresso in percentuale del massimo investimento consentito, sarà indicato dall'espressione:

$$V = \frac{Z}{P} + I$$

dove il valore di Z è:

$$Z = \{ (S + L + U - E) X \} - Y$$

ed esprime il profitto annuo che il nuovo impianto

può dare oltre l'interesse e l'ammortamento, avendo indicato con:

S = economia annua di mano d'opera realizzabile col nuovo impianto espressa in lire;

L = economia annua realizzata per l'eliminazione di apparecchiature adibite precedentemente alle operazioni di carico e scarico, espressa in lire;

U = aumento della produzione — espresso in lire — che il nuovo impianto consente;

E = costo annuo dell'energia necessaria (termica, elettrica) al funzionamento dell'impianto;

X = coefficiente di utilizzo dell'impianto (se lo stesso funziona l'80 % del tempo teorico $X = 0,8$).

Da quanto sopra consegue che il numero di anni necessario all'ammortamento del nuovo impianto è espresso dalla formula:

$$A = \frac{100}{V + D}$$

mentre il massimo investimento possibile per il nuovo impianto è espresso:

$$H = \frac{X (S + L + U - E)}{I + T + M + D}$$

il che vuol dire che se il valore del nuovo impianto è inferiore a tale cifra, l'acquisto dello stesso è conveniente.

Nello specchietto seguente è riportato il confronto dei vantaggi ottenuti con l'acquisto di un carrello sollevatore a forcella — per servizio analogo — in tre paesi e precisamente Stati Uniti, Francia ed Italia.

Avendo fissato i seguenti valori:

$X = 0,80$ pari a 240 giornate lavorative per anno

$I = 0,06$ interesse al capitale

$T = 0,04$ per tasse ecc.

$M = 0,20$ per manutenzione

$D = 0,10$ ammortamento annuo

e stabilendo di prendere in esame un carrello sol-

levatore a forcella con motore a benzina per una portata di 2 tonn. si ha:

	Stati Uniti (dollari)	Francia (franchi)	Italia (lire)
prezzo d'acquisto P	3.860	2.500.000	3.500.000
paga annua del conducente (tot.) S _i	3.600	528.000	960.000
paga annua di 4 manovali eliminati S _o	12.000	1.920.000	3.148.000
economia di mano d'opera S = S _o - S _i	8.400	1.392.000	2.188.000
economia annua realizzata per oper. di carico e scarico L = 0,10 S	840	139.000	218.000
costo annuo del carburante E (5000 l.)	300	300.000	640.000
aumento della produzione U = 0,30 S	2.520	417.600	656.400
costo annuo Y	1.644	1.000.000	1.400.000
investimento massimo consentito H	22.920	3.297.000	4.844.000
profitto annuo Z	7.628	318.000	537.600
profitto annuo in % V	203	16,7	21,3
numero di anni necessari all'ammortamento	0,46	3,6	3,2

Tale calcolo effettuato per un carrello sollevatore è logicamente riportabile a qualsiasi apparecchiatura di sollevamento e trasporto. Da quanto sopra risulta evidente quale importanza abbia la meccanizzazione dei trasporti in quei paesi in cui il costo della mano d'opera è molto elevato come negli U.S.A. Infatti mentre negli S. U. la spesa del carrello viene ammortizzata in 6 mesi, negli altri due paesi occorrono rispettivamente 43 e 39 mesi.

Quanto sopra esposto, deve essere uno stimolo a tutti gli industriali per un'attenta analisi dell'incidenza del costo dei trasporti sul costo del prodotto finito, è una delle ragioni per cui in Italia — a parte i grossi complessi — si sia appena agli albori della tecnica del Materials Handling, tecnica che in altri paesi ha già raggiunto un notevole grado di perfezionamento contribuendo non poco all'aumento della produttività non solo sul piano aziendale ma, soprattutto, su quello nazionale.

Alberto Russo Frattasi

Armature a fluorescenza a luce direzionale

L'Ing. Paride Tonini espone i favorevoli risultati ottenuti, con la brillantatura elettrolitica delle armature in alluminio, nella efficienza luminosa dei tubi fluorescenti.

Il tubo fluorescente come sorgente che emette flusso luminoso modesto per unità di lunghezza, e che in qualsiasi direzione è caratterizzato da una brillantezza (cd/cm²) molto ridotta, ci aveva abituati a considerarlo come un generatore di luce diffusa a piccola portata, cioè con un limitato raggio d'azione.

Si diceva, come del resto è opinione generale ancor oggi, che convogliare la luce di una sorgente

estesa in determinate direzioni, non è opera facile (come invece è facile per sorgenti puntiformi o quasi), e d'altra parte che il grande volume richiesto dalla sorgente per l'emissione di flussi luminosi elevati, ne avrebbe ostacolato l'impiego (specialmente all'esterno) ove fossero richiesti illuminamenti forti con passabili uniformità. Quest'ultimo inconveniente, se può chiamarsi così, è stato superato dalla comparsa assai recente, della lam-

pada fluorescente a bulbo (tubetto di quarzo a vapore di Hg emittente luce secondo lo spettro caratteristico del mercurio, che viene poi corretta dall'azione di fosfori fra cui il fluogermanato di Mg) colla quale possono prodursi da una superficie di pochi cm² 20.000 e più lumen.

Il lato di inferiorità, sino ad allora inerente alla grande superficie di emissione del tubo, veniva con ciò ad essere eliminato (e questo interessava specialmente la illuminazione stradale, in cui era più facile risentire la mancanza di lampade potenti).

Restava tuttavia l'altro lato, della poca dirigibilità della luce nei tubi da 40 W, di uso comune, per la quale nelle grandi sale degli stabilimenti industriali, a pareti oscure, si era costretti a rinunciare alla fluorescenza, o ad installare un eccessivo numero di sorgenti, per sollevare i minimi della illuminazione e combattere l'eccessiva disuniformità.

Nell'illuminazione di interni con pareti e soffitto chiari, la forma delle curve di distribuzione di luce non ha grande importanza sull'eguaglianza dell'illuminamento sul piano orizzontale, perchè muri e soffitto costituiscono innumerevoli sorgenti di luce, che, sovrapponendosi a quella diretta dei tubi, tendono a livellarla portandola verso un valore comune.

Ma, se l'illuminazione indiretta manca o quasi, per la poca riflessione esercitata dall'ambiente, la curva di distribuzione di luce dell'apparecchio acquista un'importanza fondamentale per la distribuzione dell'illuminazione.

Vuolsi qui alludere al caso, non infrequente, che la curva di distribuzione di luce dell'apparecchio debba essere piuttosto estensiva che convergente (e questo anche per i requisiti della lavorazione da compiere), ossia che il massimo della emissione si verifichi piuttosto vicino all'orizzontale, riducendola in vicinanza alla verticale, ove può riuscire dannosa o superflua.

Non è difficile ottenere una distribuzione di luce ad ampio angolo, adatta cioè ad illuminare ampi spazi, schermandone una parte e rinforzandone l'emissione in altre; ma il problema è di ottenere un risultato nettamente avvertibile con un massimo di rendimento: portare cioè l'intensità che interessa (e correlativamente l'intensità globale) non a 100 ma a 200 e più candele per una data potenza spesa.

Fino a quarant'anni or sono, quando le sorgenti usate erano quasi tutte ad incandescenza, cioè ad alto splendore intrinseco, si era pensato ad aumentare la riflessività dell'alluminio usandolo in speciali soluzioni colloidali a mò di vernice con cui spalmare il metallo.

Ciò consentiva un aumento di riflessione rispetto all'alluminio levigato che, indipendentemente dalla sua durata nel tempo, non sembrava atto a compensare le maggiori spese incontrate.

L'avvento dell'alluminio come superficie riflet-

tente ad altissima riflessività si rese solo notevole da quando fu possibile ottenerlo come prodotto di ossidazione all'anodo di un bagno elettrolitico. Con questo trattamento superficiale era così possibile usufruire di un elevato potere riflettente e di aumentare le caratteristiche di resistenza alla corrosione e di durezza superficiale del metallo.

Ciò avveniva circa vent'anni fa, e nel frattempo il progresso in materia ha continuato a manifestarsi e ad accentuarsi.

Il processo di ossidazione anodica in bagno elettrolitico, detto altrimenti « brillantatura elettrolitica » può svolgersi in varie maniere a seconda dei brevetti che lo difendono; esso porta il coefficiente di riflessione dell'alluminio a 0,90 (quasi il 30 % in più di quello corrispondente all'alluminio levigato) e contemporaneamente aumenta la durezza del metallo e la resistenza alle intemperie garantendo la durezza delle sue proprietà.

Prenderemo ad esempio il materiale posto in commercio da una società Belga, una fra quelle che risultano migliori.

Ove si desidera che la distribuzione di luce sia intesa vicina all'orizzontale, la intensità massima eguale a 2,5 volte quella della lampada priva di riflettore si verifica ad un angolo di quasi 70° dalla verticale.

Nei riflettori d'alluminio per tubi fluorescenti lucidati e levigati, come la maggioranza di quelli usati commercialmente in illuminazione, quando si vuole portare l'intensità massima lontana dalla verticale si arriva ad un angolo massimo di 55/60° dalla verticale, e questo massimo risulta circa 1,5 volte di quello competente alla lampada nuda.

L'efficienza luminosa delle nuove armature risulta pertanto essere superiore del 15-20 % rispetto a quelle non trattate elettroliticamente. Questa differenza è pertanto destinata ad aumentare col tempo, data la grande durezza e la straordinaria resistenza agli agenti di corrosione presentata dall'alluminio brillantato elettroliticamente in confronto di quella presentata dall'alluminio lucidato. Quanto si è detto per le armature a distribuzione estensiva vale evidentemente per armature a distribuzione qualsiasi, per esempio convergente, poichè anche per esse si verifica un maggior fattore di moltiplicazione della intensità massima, ed un maggior rendimento in luce dell'armatura.

Si comprende pertanto come con armature fluorescenti in alluminio brillantato elettroliticamente, a distribuzione estensiva del flusso luminoso possano ottenersi in ambienti e pareti scure, ottimi coefficienti di uniformità riducendo cioè — costante il numero delle armature, delle lampade e relativi accessori, le spese di consumo e di manutenzione.

I dati qui esposti, lungi da ogni scopo reclamistico, saranno semplicemente informativi per i tecnici e gli interessati alla reale situazione in materia.

Paride Tonini

INFORMAZIONI

Nuovo salone per esposizione nel palazzo di proprietà FIAT in via Dante a Milano

Gli autori descrivono come sono stati realizzati i lavori di trasformazione del pianterreno di un palazzo in Milano all'angolo di via Dante e via Giulini, per la creazione di un grande salone di esposizione.

La FIAT possiede a Milano all'angolo di via Dante e via Giulini — proprio nel cuore della città — un palazzo dove al piano nobile sono alloggiati gli uffici di Direzione della Filiale, e dove, al piano terreno, erano alloggiati alcuni locali per uffici commerciali e qualche locale con vetrine verso via Dante e verso via Giulini per uso esposizione.

Data la magnifica posizione centrale di questo palazzo venne l'idea alla Direzione Generale della FIAT di creare al piano terreno di esso un grande salone nella zona angolare prospiciente le due vie, proponendo che venissero demoliti tutti i muri interni corrispondenti a detta zona, ed abolire anche il solaio di separazione fra il piano terreno ed il piano ammezzato creando un locale a tutta altezza, per poter servire — con la sua grandiosità di ampiezza e di altezza — come vero e proprio gran salone da

esposizione con due spaziose vetrine fronteggianti le vie.

Fu perciò incaricato l'ufficio tecnico della Divisione Costruzioni FIAT, diretta dall'ing. Vittorio Bonadè Bottino, di studiare un progetto per la realizzazione di questa brillante idea, col vincolo però di attuarla mantenendo sempre al completo la abitabilità di tutti i piani superiori.

Il tema che i tecnici della FIAT si proposero fu quindi quello di studiare una adatta struttura in ferro — formata con travi composte fra loro collegate — capace di sopportare tutti i carichi trasmessi dalle strutture murarie dei piani superiori (muri, orizzontamenti, sovraccarichi, ecc.), da mettere in opera prima di demolire i muri interni del pianterreno e dell'ammezzato e del relativo orizzontamento di separazione fra questi due piani.

A sopportare questa struttura in ferro venne stabilito che oltre i muri perimetrali esterni potessero servire altri appoggi isolati intermedi da creare ex-novo; e con questo criterio si è riusciti ad ottenere un salone di mt. 18 x mt. 18 di grande ariosità e luminosità anche per il fatto di aver potuto realizzare per altezza quella complessiva del pianterreno ed ammezzato, con quattro pilastri nel mezzo e due grandi vetrine verso le vie.

Nelle figg. 1 e 2 risultano le piante del pianterreno, e del piano ammezzato come erano prima della trasformazione e la fig. 3 mostra come è diventato il pianterreno a trasformazione ultimata.

Impostato così il problema si passò allo studio dettagliato delle varie strutture ed allo sviluppo di tutti i particolari esecutivi delle varie opere di finimento, tra le quali di grande importanza sono state le due ampie vetrine di circa m. 9 x m. 6 verso via Dante e verso via Giulini che si volle fossero realizzate con l'abolizione delle colonne intermedie esistenti e con la creazione di nuovi architravi a tutta luce.

L'esecuzione dei lavori venne affidata all'Impresa « A. Radice & Costa » di Milano, la quale per i calcoli statici delle varie strutture da eseguire ha avuta la collaborazione dell'ing. A. Nicola con la superiore consulenza del chiarissimo ing. prof. C. Chiodi.

L'esecuzione ed il montaggio delle

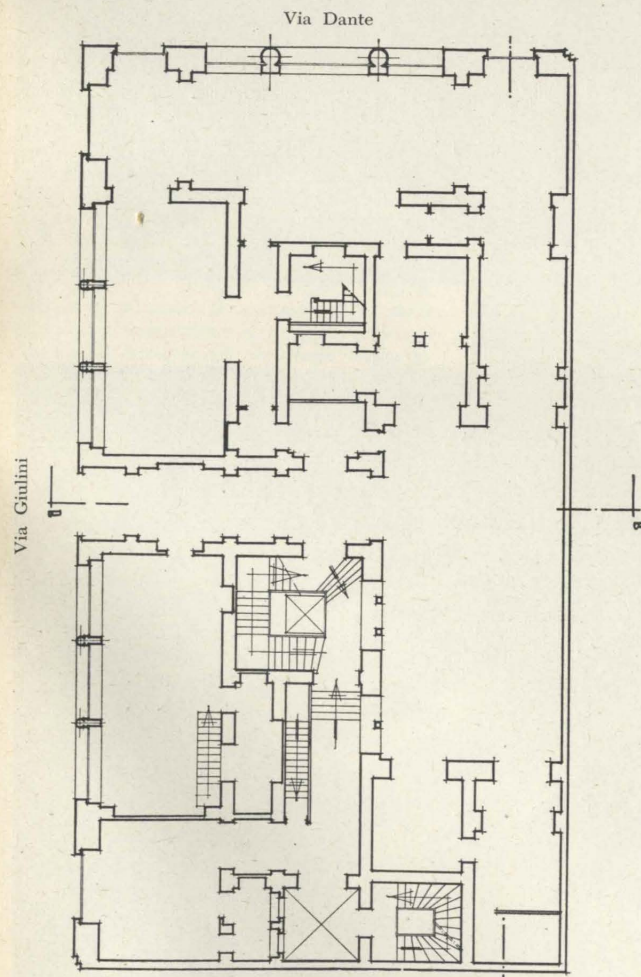


Fig. 1 - Pianterreno prima della trasformazione.

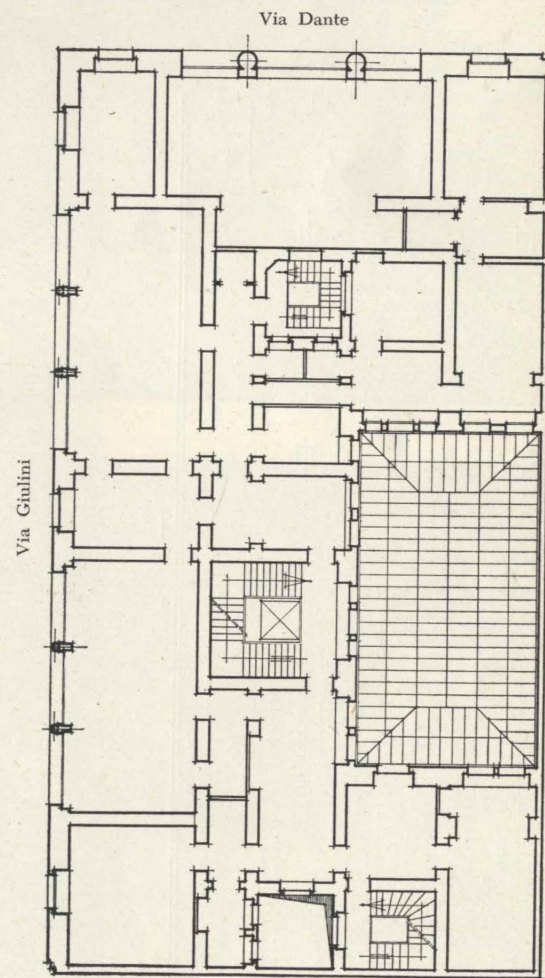


Fig. 2 - Ammezzato prima della trasformazione.

strutture metalliche fu affidata alla ditta B. Cavaglieri di Bresso (Milano) la quale con la sua lavorazione e preparazione accurata ha concorso anche lei alla buona riuscita dell'opera.

La prima cosa di cui si sono preoccupati l'Impresa esecutrice e la Direzione dei lavori è stata quella di constatare le condizioni delle fondazioni dei muri d'ambito, che per causa di questi lavori di trasformazione sono venuti a dover sopportare un carico molto superiore di quello a cui erano assoggettate nelle primitive condizioni. Messe allo scoperto le fondazioni furono revisionate per tutto il loro sviluppo; fu constatato che esse erano state eseguite con banchine in calcestruzzo colleganti le teste di pali in legno preventivamente battuti: questi pali per la massima parte non furono più trovati perchè si erano polverizzati in conseguenza dell'abbassamento dell'AVES che si era verificato da molti anni nella zona di Milano, ed anzi in molti tratti delle banchine di fondazione furono trovati dei veri e propri fori al posto delle non più esistenti teste dei pali delle quali era rimasta solo qualche traccia. Per questa ragione venne stabilito di rinforzare sottomurando ed allargando le fondazioni esistenti specialmente in corrispondenza dei tratti ai lati delle grandi aperture da realizzare nelle facciate (fig. 4).

Dopo la revisione e sottomurazione delle fondazioni in corrispondenza del perimetro del salone, mantenendone il

Fig. 3 - Pianterreno dopo la trasformazione.

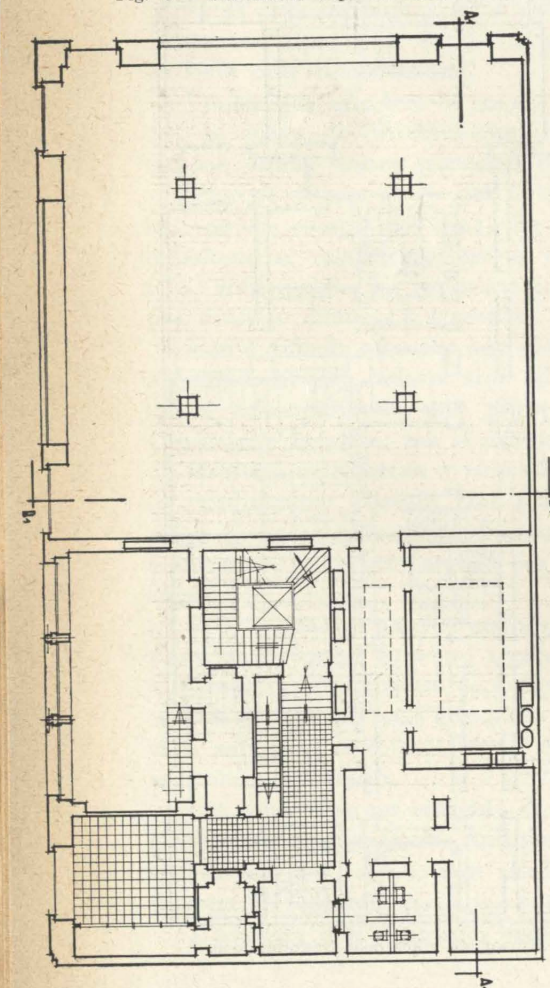


Fig. 4.

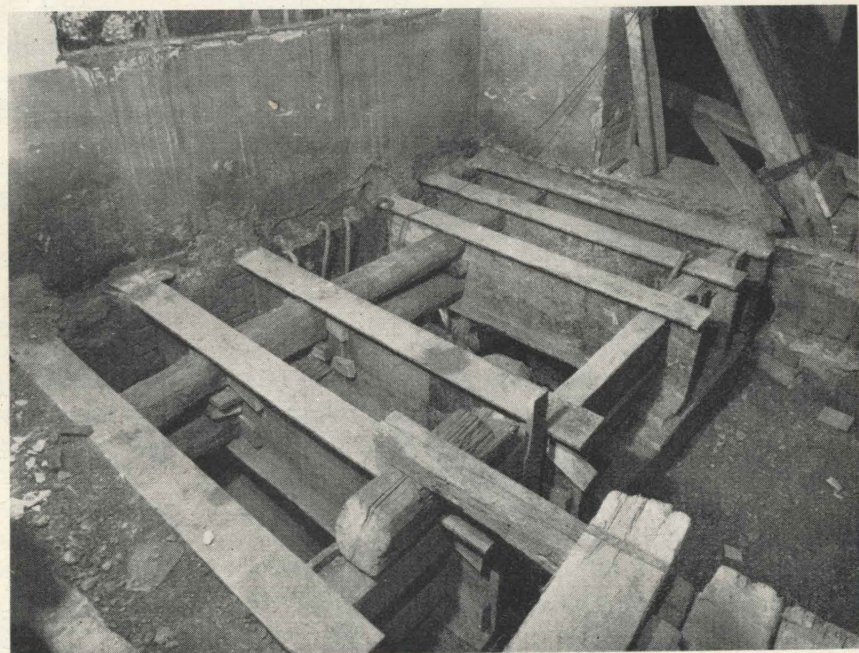


Fig. 5.

carattere di continuità con la costruzione di opportune travi di ripartizione dei carichi concentrati, si passò alla costruzione dei piastroni isolati di fondazione sotto i nuovi quattro pilastri da aggiungere nell'interno del salone. Su questi quattro pilastri che dovevano essere eseguiti in c.a. risultò — dai computi dei carichi che su di essi sarebbero stati trasmessi dalle strutture dei piani superiori — che ciascuno di essi avrebbe dovuto sopportare un carico totale di circa 400 tonn., e perciò l'esecuzione dei relativi plinti di fondazione (di forma quadrata con lati di oltre 4 m. per trasmettere sul terreno una pressione unitaria inferiore a 2,5 kg. per cmq.) ha rappresentato una delle prime maggiori difficoltà perchè l'area da essi interessata incideva abbondantemente in quella delle fondazioni dei muri portanti esistenti: queste difficoltà furono superate adottando lo schema della fig. 5 nel quale si vede come è stato realizzato il sostegno provvisorio di un tratto di muro per la creazione della sede di uno dei quattro plinti sotto i pilastri, sostegno che è stato eseguito con grossi profilati in ferro poggianti su fondazioni provvisorie laterali messo in carico a mezzo di martinetti idraulici.

Nella figura 6 è visibile lo scavo di un plinto dove si vedono anche le sottomurazioni preventivamente eseguite essendo la quota del piano di posa del nuovo plinto più bassa di quella delle fondazioni esistenti; in questa figura si vede anche l'armatura metallica di un plinto in corso di sistemazione.

La struttura orizzontale in ferro (da mettere in opera sotto l'orizzontamento formante il pavimento del piano nobile che doveva essere rispettato), capace di sopportare tutti i carichi trasmessi dai piani superiori — dopo lo svuotamento interno del pianterreno e dell'ammezzato — e che doveva ricevere appoggio sui muri d'ambito e sui quattro nuovi pilastri intermedi, fu concepita e progettata come un reticolo di travi doppie adiacenti ai muri da sostenere, le quali dovevano trasmettere il proprio carico a mezzo di travette ad ala larga opportunamente disposte trasversalmente.

Si è ottenuto così un complesso di travi maestre, principali e secondarie realizzate per la quasi totalità con travi composte con altezza fino a 120 cm., e solo nei casi più semplici con normali profilati a doppio T. Si pensi che si aveva a che fare con carichi ripartiti che in alcuni elementi hanno raggiunto le 30 tonn. per ml. per ogni coppia di travi oltre ai carichi concentrati trasmessi da eventuali travi secondarie, e che le luci delle travi maestre erano di circa 8 ml.

Tutti i collegamenti (salvo pochi ottenuti mediante bullonatura corrispondenti a quelli da eseguire in opera) furono realizzati con chiodature.

Numerosi e complessi furono i problemi che si presentarono nella progettazione e realizzazione delle strutture in ferro, tenendo sempre presenti tutte le esigenze costruttive e le possibilità di lavorazioni durante la posa in opera: soprattutto due problemi richiesero un attento studio e un'adeguata soluzione.

Primo quello riguardante l'appoggio delle strutture in ferro sui muri peri-

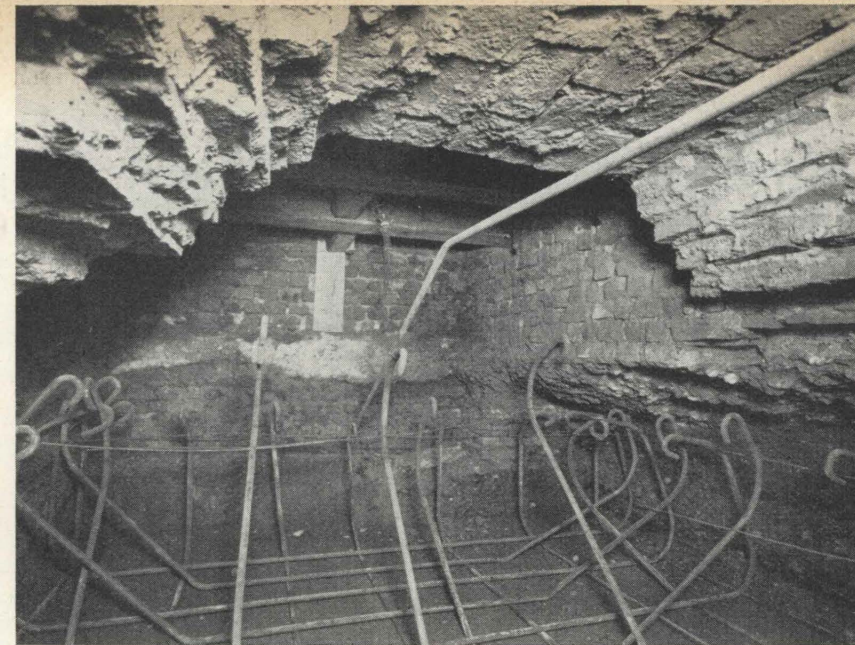


Fig. 6.

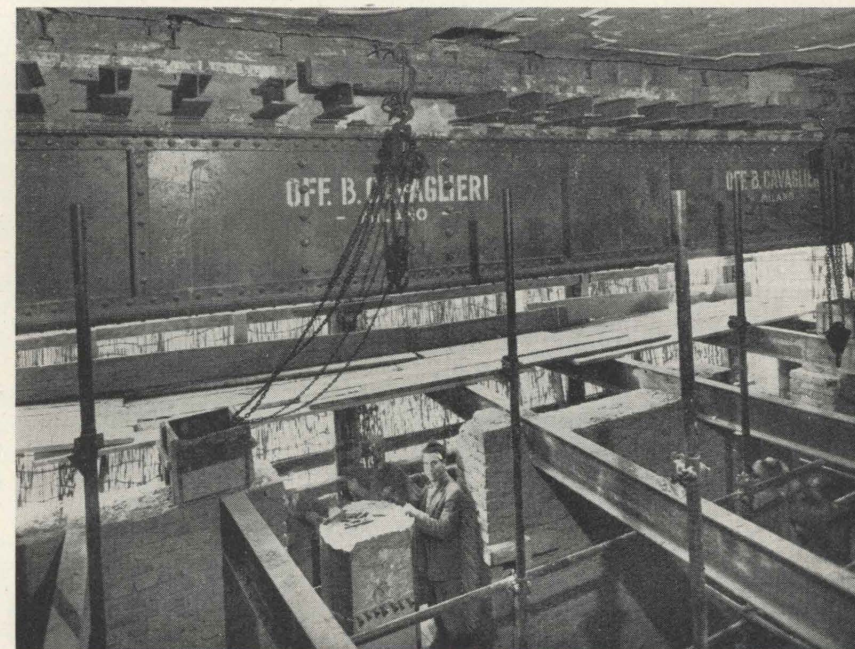


Fig. 7.

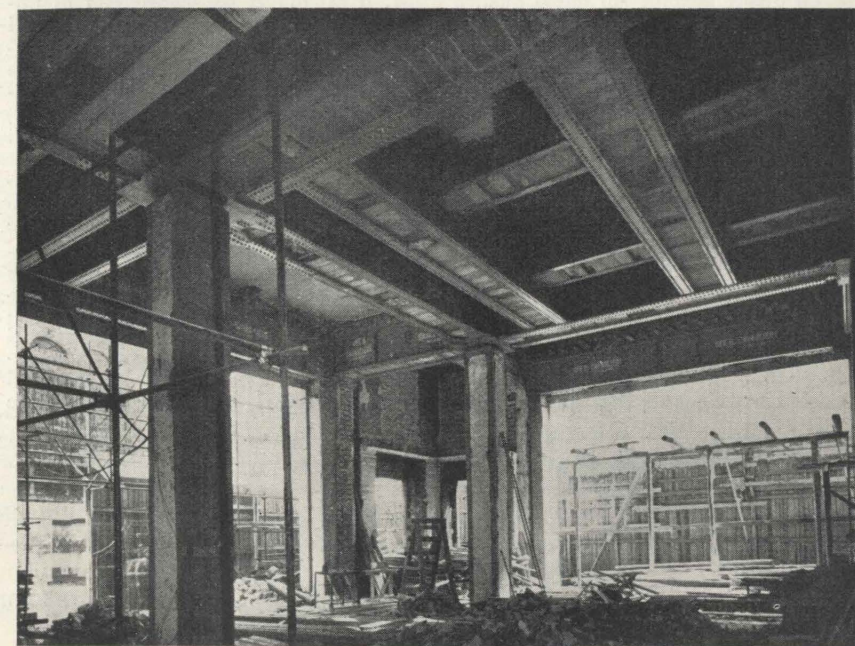


Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 10.

metrali e specialmente sui nuovi quattro pilastri aggiunti.

Secondo quello riguardante il collegamento fra loro delle coppie di travi adiacenti specialmente per il caso frequente nel quale solo su una delle due travi si trasmettono carichi concentrati preponderanti oltre il carico ripartito.

Per quanto riguarda il primo problema, la necessità di trasmettere ai pilastri interni un carico il più centrato possibile (per evitare eventuali effetti di flessione) ha portato alla creazione di appositi robusti solai chiusi in ferro su cui devono convergere le varie coppie di travi e vanno collegati con i pilastri in cemento armato con speciali appoggi centrali di limitata superficie.

Per quanto riguarda il secondo proble-

ma, il calcolo ci ha sconsigliato di utilizzare la collaborazione delle due travi adiacenti di ogni coppia che normalmente sono caricate in modo differente una dall'altra, e non abbiamo ritenuto il sistema idoneo — per causa di collegamenti — ad assorbire forti sollecitazioni di torsione.

Per la messa in opera di queste strutture in ferro si sono dovute cercare inoltre nuove fondazioni nelle zone libere fra le altre fondazioni esistenti, per dare una sicura base di appoggio in ogni operazione di puntellamento, forzamento, sostegno provvisorio, ecc. e si son dovuti erigere anche sostegni provvisori formati anche da nuove spalle in muratura destinati a sostituire — durante il corso dei lavori — i tratti di murature

vecchie demolite per far posto ai nuovi pilastri. Dopo tutti questi lavori preliminari si è potuto passare alla posa in opera delle travature in ferro senza togliere le vecchie murature ancora rimaste in piedi insieme con i nuovi puntelli provvisori, e quindi dopo la messa in tiro di tutte le nuove strutture in ferro a mezzo di martinetti idraulici ed alla sistemazione di dette strutture sui piani di posa sui muri d'ambito e sulle nuove colonne, si poté passare alla demolizione di tutte le murature rimanenti e dei sostegni provvisori che erano stati creati, ottenendo così il locale libero e grandioso come era stato ideato.

Le operazioni di messa in tiro delle travi formanti il complesso delle intelaiature in ferro (del peso complessivo di circa 120 tonn.) sono state eseguite con ogni precauzione, ed hanno costituito la base più delicata di tutto il lavoro: sono stati impiegati fino a 30 martinetti idraulici da 20 tonn. cad. posti in opera con apparecchiature appositamente studiate, insieme con 24 flessimetri per la misura delle frecce di inflessione provocate dai martinetti e per il controllo delle pressioni di esercizio calcolate. E' interessante notare che gli abbassamenti ovunque registrati furono riscontrati perfettamente corrispondenti a quelli teorici preventivamente calcolati (fino a 15 mm. per la mezzeria delle travi maestre).

In modo analogo, ma indipendente dalle strutture precedenti furono messe in opera le strutture in ferro formanti architravi sulle aperture delle grandi vetrine prospicienti le due vie, che hanno permesso di abolire le colonne esistenti su facciata che dividevano la luce delle vetrine esistenti. Nella fig. 7 si vedono le nuove travi composte in ferro posate in opera e messe in tiro con martinetti idraulici, e sono anche chiaramente visibili una colonna tagliata e le murature provvisorie di sostegno intermedio, anche esse in fase di demolizione.

Dalla fig. 8 si ha una visione generale delle strutture interne ad operazioni ultimite: si vede come ad ogni coppia di travi corrisponde un sovrastante muro, e si vedono bene anche i telai metallici sopra i nuovi pilastri aggiunti.

Con quanto è stato detto precedentemente abbiamo cercato di dare una descrizione — anche se solo un po' sommaria — del modo come è stato eseguito il lavoro per la realizzazione del problema che ci era stato proposto.

Dopo l'eliminazione di tutti gli ingombri interni si provvede a tutte le opere di sistemazione e di finimento ed al ripristino delle facciate con le nuove vetrine. Per dare un'idea di come è risultata l'opera a lavoro ultimato facciamo seguire ancora qua sotto la fig. 9 dalla quale si vede come erano le facciate del palazzo prima dei nuovi lavori.

La fig. 10 fa vedere le suddette facciate a nuovi lavori ultimati.

Questo nuovo Salone è stato pronto ed è servito come degna sede per la presentazione della nuova « Fiat 600 ».

Antonio Villanova - Ugo Genero