

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

La nuova tecnica del cemento armato

I. Evoluzione del cemento armato e criteri generali

GIUSEPPE ALBENGA, definito il cemento armato ed elencati i nuovi materiali, i nuovi procedimenti e le nuove teorie che sono fondamento della nuova tecnica, mostra sommariamente come ad essa si sia giunti con rapida evoluzione.

Nec temere nec timide.

Il bel motto araldico che i Vaneuchi di Cleveland ebbero comune con parecchie altre antiche famiglie del Settentrione, e che la Société Royale des Sciences di Liegi fece suo verso la metà dell'Ottocento, riassume i criteri ai quali ho informato le mie lezioni sulla Nuova tecnica del cemento armato tenute al corso di perfezionamento Pesenti del Politecnico di Milano, e cioè:

non temerario e completo abbandono della teoria classica per aderire senza riserve a taluna di quelle teorie che tendono a soppiantarla,

non timido attaccamento a concetti tradizionali ancor molto diffusi, ma ormai in parte superati dal progredire delle nostre conoscenze,

bensì quella muratoria buona via di mezzo tra l'autorità e la ragione, (intese queste parole nel senso loro dato dal nostro sommo storico), via che riesce sempre la migliore e la più sicura.

In attesa di raccogliere in un volumetto la parte essenziale del corso (circostanze poco liete rinviavano l'adempiimento di questo mio dovere) ho messo in ordine alcuni appunti e li pubblico in una serie di brevi note su argomenti vari di particolare interesse. Corredo ciascuna di esse con una sintetica bibliografia che non si riduce ad un nudo elenco di volumi, di contributi accademici, di articoli di riviste: ma quasi sempre accenno al preciso contenuto della pubblicazione ricor-

data, se già non appaia con evidenza dal titolo stesso. Due sono i motivi della brevità di questa bibliografia:

l'aver ritenuto superfluo ripetere, con un troppo facile sfoggio di erudizione, quello che già fanno, spesso egregiamente, raccolte di estratti, repertori, documentazioni tecniche, indici analitici e analoghi sussidi al ricercatore, a portata di mano di tutti,

l'aver limitato le citazioni a quello che mi fu accessibile nelle ancor tristi condizioni delle maggior parte delle biblioteche scientifiche e tecniche, private e pubbliche, che ho potuto consultare: questo spiega, ma purtroppo non giustifica, l'omissione di qualche opera importante e degna.

I. La nuova tecnica del cemento armato.

Nel novembre del 1949 si celebrò in Parigi il centenario del cemento armato, in un fervore di opere e di studi, con lo sguardo rivolto non tanto alle glorie del passato quanto alle speranze del fulgido avvenire promesso dal rinnovarsi della teoria e della pratica di questo materiale. Il movimento che condusse alla nuova tecnica e che prosegue veloce incominciò ad apparire sicuro e deciso fin da una ventina di anni fa, quando ancora la classica teoria del cemento armato, quella che oggi è uso chiamare, con una sottile punta di diletteggiamento, *regolamentare*, pareva fondata su basi granitiche e giunta ad un assetto definitivo, e i procedimenti co-

struttivi e le strutture erano quasi cristallizzate in forme fisse e pressochè unificate; ma proprio allora le idee mutavano e, con gli eccessi naturali ai novatori, le idee dominanti venivano battute in breccia e colpite da una troppo severa ed ingiusta condanna.

A spingerne verso la revisione dei metodi di calcolo, dei criteri di progetto e di esecuzione hanno contribuito da un lato l'esistenza di un buon numero di costruzioni piccole e grandi, in servizio da decenni con ottimo comportamento, pur non rispondenti alle norme oggi in vigore, e d'altra parte l'opportunità di obbedire ai due ovvi imperativi fondamentali di ogni progresso dell'ingegneria *progettar meglio e costruire meglio:*

progettare meglio scegliendo linee, forme e strutture capaci di colmare le deficienze e di esaltare i pregi del cemento armato, rendendo possibile il ricorso a materiali di resistenza assai elevata e inoltre mantenendo i calcoli statici più aderenti alla realtà di quanto lo siano quelli imposti dalle norme abituali,

costruir meglio, con ottimi materiali, esattamente dosati, *granulati* e lavorati in modo da ritrarne il massimo profitto.

Mi occuperò in queste note del solo vero cemento armato, che definisco come segue:

« il cemento armato o *beton* armato, o, con proprietà e purezza di linguaggio, *conglomerato cementizio armato*, è una speciale struttura muraria risultante dall'intimo collegamento di un *con-*

glomerato cementizio cioè da una muratura di getto formata con elementi (ghiaietta, pietrisco, sabbia) aventi dimensioni assai varie ma non superiori ad 8-10 cm, provenienti da rocce naturali non gelive e non refrattarie all'aderenza alle malte, o, più di rado, da frammenti di pietra artificiale mescolati alla rinfusa ed annegati in una pasta di cemento, e di un'armatura, quasi sempre di acciaio, destinata a sopperire alla deficiente resistenza del conglomerato contro alcune caratteristiche della sollecitazione (in particolare la trazione). Il conglomerato a sua volta protegge l'acciaio dalla corrosione e conferisce la indispensabile rigidità a certi tipi di armatura. Durante tutta la vita economica della costruzione il conglomerato e la sua armatura debbono mantenersi solidali nel resistere, con un sufficiente margine di sicurezza, contro le più sfavorevoli combinazioni di carichi e di altre azioni che si possono ragionevolmente ritenere possibili».

Così definito il cemento armato comprende una larghissima gamma di tipi che partono da quello che Cesare PESENTI chiamò *cemento semiarmato* dove il metallo, sia pur impiegato con estrema parsimonia, ha tuttavia una chiara e necessaria funzione statica per giungere alle ossature metalliche rivestite da uno strato di conglomerato sottile ma collaborante in una misura da non doversi trascurare.

La definizione esclude invece:

da un lato quelle strutture in cui l'armatura ha unicamente il carattere di cautela contro l'intervento di azioni di cui è incerta la eventuale presenza e che in ogni modo sono piccole e di grandezza non prevedibile: di regola in questo caso la *percentuale* μ di armatura (definita per convenzione come il rapporto fra l'area della sezione del metallo e quella complessiva della sezione considerata), non raggiunge lo 0,1 %,

d'altro lato le ossature metalliche protette da uno strato di beton che pochissimo aiuta la resistenza dell'insieme ed ha quasi soltanto scopo protettivo e di collegamento e dalla cui presenza si

astrae perciò nel calcolo statico, e inoltre il *laterizio armato*, da noi molto diffuso, di comportamento tutto suo.

Rientrano invece nel campo delle nostre ricerche altri sistemi a cavallo fra la carpenteria metallica e il cemento armato, da taluni considerati a parte, come il *precompresso* e i cosiddetti *sistemi misti* dove l'armatura è quasi tutta esterna al getto (i *Verbundträger* e i cassoni cellulari di lamiera solidali con un solettone di conglomerato semplice od armato): non vi appartengono invece i grossi profilati immersi nel getto che le Ferrovie dello Stato adottano spesso nei ponticelli perchè in essi la presenza del conglomerato agli effetti statici viene per lo più trascurata.

Ho piuttosto ristretto il campo del cemento armato di cui intendo trattare; darò per contro un senso molto lato alle parole *nuova tecnica* estendendola alla tecnica di progetto, a quella di esecuzione e persino a quella di collaudo, soffermandomi brevemente sopra ogni progresso della teoria e della pratica del cemento armato che mi paia essenziale e non lascerò da parte quei tentativi ancora allo stato sperimentale che danno qualche affidamento di giungere a risultati positivi. Passerò con questo intento in rapida rassegna:

a) i *nuovi materiali*: acciai e loro surrogati; cementi di altissima resistenza iniziale ed espansivi, ma non mi arresterò nè su quelli a basso calore di idratazione, utili per il getto di grandi masse nè su cementi troppo particolari, e

i *nuovi inerti* (pomice, coccio ed altri materiali artificiali);

gli *ingredienti* aggiunti per ottenere speciali proprietà,

b) i *nuovi conglomerati* leggeri o pesantissimi, o con granulazione discontinua, o facilmente lavorabili,

c) i *nuovi procedimenti di preparazione, di lavoro* (in cantiere e in centrali), *di trasporto* e distribuzione, occupandomi in particolar modo della vibrazione, della centrifugazione e della prefabbricazione,

d) i *cementi armati speciali* quali sono il cosiddetto *ferro cementato* di Pier Luigi NERVI e il *beton intubato* (tipo *Motor-Columbus* o tipo *Siemens Bauunion*),

e) il ricorso a *stati di coazione* impressi alla struttura sia agendo sui vincoli esterni, sia agendo sul conglomerato (forzatura degli archi col procedimento di FREYSSINET), sia ponendo in tensione l'armatura (precompresso di FREYSSINET, FINSTERWALDER, DISCHINGER ed altri, carico preventivo col metodo di SPANGENBERG).

f) le *nuove linee e le nuove forme*: volte sottili, sistemi lamellari ed altri schemi che utilizzano i vantaggi delle costruzioni spaziali,

g) le *nuove teorie del cemento armato* e i nuovi mezzi e procedimenti di controllo dei materiali, dei conglomerati nei vari stadi e delle opere eseguite.

2. La evoluzione del cemento armato.

I nuovi orientamenti della teoria e della pratica del cemento armato, sono, in certi casi e in una certa misura, un ritorno a qualche idea del passato che, confusa dapprima e male presentata, non diede alcun frutto, e si dimostrò poi feconda non appena liberata da quelle scorie che le inquinavano nascondendo quanto era in esse di buono. Non sarà perciò inutile seguire l'evoluzione di queste idee. Con una leggera modificazione di quanto Henri LOSSIER nel 1941 espose in una elegante e dotta conferenza, si possono riconoscere quattro grandi periodi nello sviluppo del cemento armato distinti più dai criteri che li informano che non da una rigorosa successione cronologica per la quale l'uno di essi si sostituisca ad un altro; i vari periodi, per un certo tempo, coesistono infatti gli uni accanto agli altri.

Chiamerò questi periodi

dei pionieri,
della teoria elastica,
della teoria elasto-plastica,
degli stati di *coazione* *impressa*.

Il primo periodo è quello degli inventori e dei propagandisti, un periodo, ed è naturale, di roseo ottimismo e d'illimitata fiducia nel sistema costruttivo proposto.

Si è ricordato che nel 1949 si commemorarono i cento anni del cemento armato, ma se prestiamo fede agli archeologi ed agli storici dell'ingegneria, questa muratura speciale ha una preistoria che risale nei secoli. Nelle tombe degli Scipioni, lungo la via Appia, costruite circa 2000 anni or sono, Rodolfo LANCIANI ne intravede tracce molto interessanti in una soletta di calcestruzzo rinforzata da sbarrette di bronzo. Si può parlare a questo proposito di vero cemento armato anche allargandone moltissimo la definizione? Ne dubito come pure rimango dubbioso se sia lecito classificare quale cemento armato le opere ricordate da Kempton DYSON, segretario del *Concrete Institute* inglese; questi nel 1910 considerava fra le strutture precorritrici del beton armato gli zatteroni di calcestruzzo armati con canne e giunchi della fondazione della Gran Muraglia cinese (3 secoli a. C.), i muri di grossolano calcestruzzo armati con legno del medioevo e qualche solaio di calcestruzzo e di ferro del principio dell'Ottocento.

Eccettuato l'ingegnere François COIGNET che ebbe netta visione del comportamento del complesso cemento-armatura, ma che esercitò scarsa influenza sull'ulteriore sviluppo del cemento armato, agli altri pionieri mancò una qualsiasi preparazione tecnica superiore: Joseph MONIER era un giardiniere; François HENNEBIQUE, la cui opera riuscì di gran lunga più efficace di quella dei suoi contemporanei, incominciò, pare, da scalpellino, certo da piccolo impresario; W. B. WILKINSON, che fin dal 1854 aveva brevettato travi e solette di conglomerato cementizio armato e che gli Inglesi vantano il primo reale inventore del cemento armato era uno stuccatore; eppur tutti divinarono il largo orizzonte aperto dal sistema da essi proposto ed applicato.

François HENNEBIQUE aveva inoltre dato alcune regole di proporzionamento che fossero guida ai suoi numerosi agenti nel fissare

le dimensioni principali delle maggiori strutture da costruire. Erano regole fondate sopra concetti talora discutibili, ignoranti le teorie della resistenza dei materiali, perfino contrastanti i più inoppugnabili principi della meccanica del corpo rigido. Non è quindi meraviglia se la Scuola li accolse con palese ostilità e ne trasse, ma a torto, un giudizio sfavorevole sopra un sistema pur dotato di tante qualità preziose. Elenchiamo alcune di queste regole: l'HENNEBIQUE ammetteva che nei pilastri tanto il conglomerato cementizio quanto l'armatura potessero lavorare al rispettivo carico di sicurezza, che nelle travi inflesse l'asse separatore fra la zona compressa attiva e quella inerte tesa avesse posizione indipendente dalla percentuale di armatura e che sulla parte reagente la tensione unitaria fosse uniforme e che anche nella flessione l'acciaio ed il conglomerato raggiungessero il loro carico di sicurezza, così che la risultante delle trazioni e quella delle compressioni sopra la sezione trasversale, non risultavano uguali, come invece dovevano essere per formare una coppia ed equilibrare il momento flettente. Della continuità teneva conto in modo difforme da quello della scienza delle costruzioni; gli archi erano progettati secondo forme mal assoggettabili al calcolo. Quanto alla determinazione delle quantità iperstatiche HENNEBIQUE era di un ottimismo *panglossiano*, sosteneva infatti che, trovata una soluzione qualsiasi di un sistema determinato (trave ed arco) soddisfacente alle condizioni di equilibrio statico, cioè una *soluzione equilibrata*, si poteva accettarla con animo tranquillo, perchè la natura ne avrebbe trovata una eguale se non migliore; questo è pretendere troppo. Partendo da principi tanto imperfetti e primitivi, l'HENNEBIQUE ed i suoi primi collaboratori separo darci opere anche grandiose, con impiego di quantità ridotte di materiale ed in particolare di metallo, grazie ad un geniale intuito, all'esperienza raggiunta in lavori di mole e di arditezza via via maggiori, agli opportuni carichi di sicurezza, aiutati anche dall'efficace e non sempre ricono-

sciuto intervento della plasticità. Dopo cinquant'anni di vita, ponti, svariate strutture edilizie, industriali, stradali rispondono ancora egregiamente agli scopi prefissi.

Joseph MONIER invece non aveva tentato neanche un abbozzo di calcolo di quel suo sistema, che, ostacolato in Francia, fu accolto con favore nei paesi tedeschi e vi ebbe pronto e rapido sviluppo razionale per opera di Mattias KOENEN, entrando subito in quella fase che si è designata fase della teoria elastica. Questa teoria risale infatti al 1886, proprio ai primi tentativi dell'ingegner Gustav Adolf WAYSS, che volle adattare alla mentalità dei tecnici il progetto delle costruzioni fatte col sistema MONIER. Il già citato Mattias KOENEN del Genio civile germanico che aveva assistito alle prime esperienze in quell'anno appunto espone i principi di una teoria accolta con favore e subito diffusa.

Partendo:

dal postulato di BERNOULLI-NAVIER (o *della conservazione delle sezioni piane*);

dalla legge di HOOKE (proporzionalità fra le deformazioni e le tensioni);

dall'assenza di scorrimento dell'armatura rispetto al conglomerato, con i metodi ed i principi elementari della scienza delle costruzioni si può trasformare la sezione mista di conglomerato e di acciaio in una sezione omogenea di conglomerato:

sia nel caso in cui il conglomerato non regga neanche al minimo sforzo di trazione (teoria *limite inferiore*), ipotesi adottata nei calcoli di sicurezza e corrispondente ad una sezione fessurata e inerte su tutta la parte tesa come in realtà può accadere con grande approssimazione per svariate cause;

sia nel caso opposto, che cioè il conglomerato si ritenga interamente attivo anche dove è sottoposto a trazione (teoria *limite superiore*), ipotesi valida per sollecitazioni molto piccole, accettata nei calcoli delle deformazioni e quindi anche delle incognite iperstatiche.

Le esperienze di laboratorio,

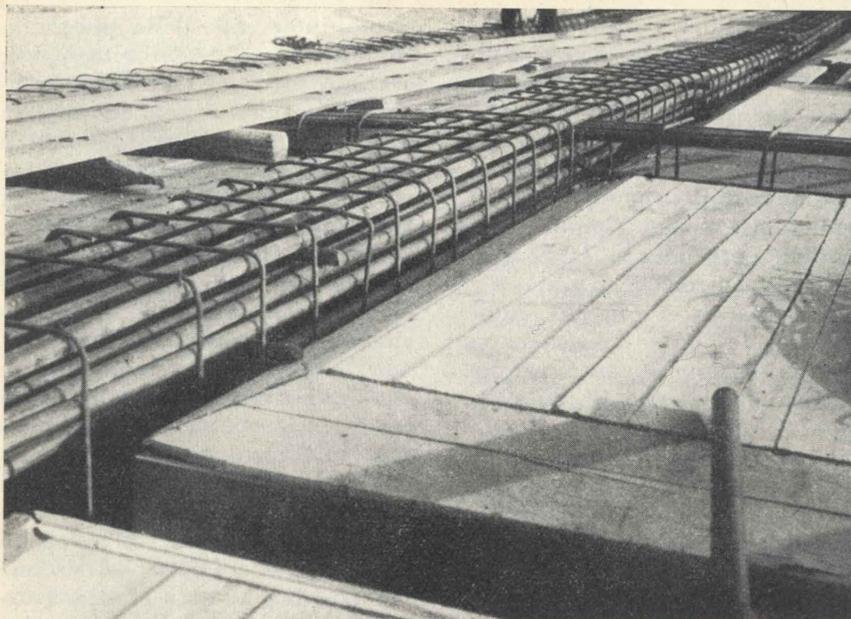


Fig. 1 - Armatura della zona superiore di trave maestra al ponte di Casale sul Po (F. KRAUS).

quasi esclusivamente di breve durata, si accordavano abbastanza bene con i risultati della teoria, che, esposta, commentata e perfezionata da profondi scienziati e da abili sperimentatori, quali, da noi, CANEVAZZI e soprattutto Camillo GUIDI; dal CONSIDÈRE, dal RABUT, dal MESNAGER in Francia; da Emil MÖRSCH, da Rudolf SALIGER nei paesi di lingua tedesca, aiutò il sorgere ed il progredire della costruzione di cemento armato. Il bel volume del GUIDI che riassume le sue *Lezioni sul beton armato* e tuttora conserva la originale freschezza e il poderoso trattato del MÖRSCH, mostrano la fecondità della teoria elastica giunta al suo completo sviluppo.

Si ritenne dai primi ricercatori che, trascorso un periodo relativamente breve, dell'ordine di grandezza di un anno, il conglomerato raggiungeva uno stadio definitivo, senza più ritiro, con resistenza e rigidità costanti; e non si considerò l'intervento della plasticità, la cui provvidenziale esistenza non era tuttavia ignorata.

La rigida applicazione delle norme governative alle quali, già lo notammo, a partire dall'emanazione del decreto fin quasi ai nostri giorni il più dei progettisti si attenne, ebbe per conseguenza fra l'altro: l'impiego frequentissimo di mensole di rinforzo sugli appoggi intermedi delle travi continue, dove il groviglio di fer-

ro dato dai calcoli (fig. 1) giunse talora ad ostacolare il getto od a richiedere particolari accorgimenti per evitare impasti troppo fluidi, determinò l'architettura generale degli archi e per sottrarli all'effetto degli sforzi parassiti (termici, di ritiro, prodotti dal cedimento delle spalle), non di rado si impiegarono cerniere permanenti alle imposte ed in chiave. In talune condizioni di cose le norme regolamentari facevano respingere le caratteristiche strutture cellulari spingenti dell'HENNEBIQUE, le quali avevano dato buon esito, e si erano dimostrate resistenti, leggere, rigide ed economiche ma rientravano nel quadro dei regolamenti solo falsando lo spirito di questi ed alterandone la naturale interpretazione. Noto e bellissimo esempio è quello del ponte del Risorgimento sul Tevere in Roma, che, se non sfuggì alle fessure in corrispondenza delle spalle (fig. 2) si dimostra ancora atto a sopportare con tutta sicurezza carichi maggiori di quelli previsti alla costruzione. Si osservi però che numerose fessure non mancarono neanche nel bel ponte di Heilbronn sul Neckar (figg. 3 e 4) calcolato secondo la norme tedesche da Emil MÖRSCH: l'armatura vi è concentrata specialmente ai lembi e le fessure si manifestarono nella zona intermedia dei diaframmi dove l'armatura, superflua secondo gli ordinari calcoli, era

piuttosto scarsa (fig. 5) e formata con pochi ferri piegati e staffe.

Un eccessivo asservimento a concezioni teoriche, che tenevano conto delle deformazioni spontanee del conglomerato solo quando potevano aggravare le condizioni statiche e deliberatamente ignoravano le doti di adattamento del materiale, costrinse all'abbandono di forme molto adatte al cemento armato per sostituirle con altre, le quali col volger degli anni non sempre andarono esenti da insospettite conseguenze sfavorevoli.

Ne seguì una vivace reazione, con escandescenze e violente invettive contro i fautori di un attaccamento a tradizioni pur degne di rispetto ed ancor capaci di utili sviluppi, reazione che non giovò alla serenità delle discussioni e neanche alle tesi dei novatori, neppure in quello che esse avevano di veramente fondato e sano. Mi sia permesso citar qui, ad esempio del tono deplorabile di diatriba a cui si giunse, uno squarcio della nota con la quale Albert MERCIOT, presentava nella rivista belga «*La Technique des Travaux*» del 1937, il metodo di calcolo di M. J. STEURMANN di Mosca: «*Il nuovo metodo solleva certamente le proteste del clan degli ingegneri schiavi della routine; per i quali le istruzioni dei regolamenti ufficiali e delle circolari ministeriali sono parole più infallibili di quelle del Vangelo, per i quali la soppressione di un coefficiente arbitrario, ma tanto comodo, quant'è il coefficiente n di equivalenza elastica, non può presagire che complicazioni inestricabili di calcolo, per i quali infine l'adozione di un coefficiente di sicurezza 2 per la trave nel suo complesso invece di due coefficienti diversi per il conglomerato e per l'armatura è il prodromo delle peggiori catastrofi, che segneranno la fine del cemento armato*»; e concludeva osservando che: «*i progressi della tecnica si sono raggiunti soltanto col completo rivolgimento di principi ritenuti indiscutibili e con la loro sostituzione con altri più precisi*».

È necessario guardarsi da esagerati giudizi troppo sfavorevoli dei metodi e delle teorie che tanto contribuirono al grande progresso

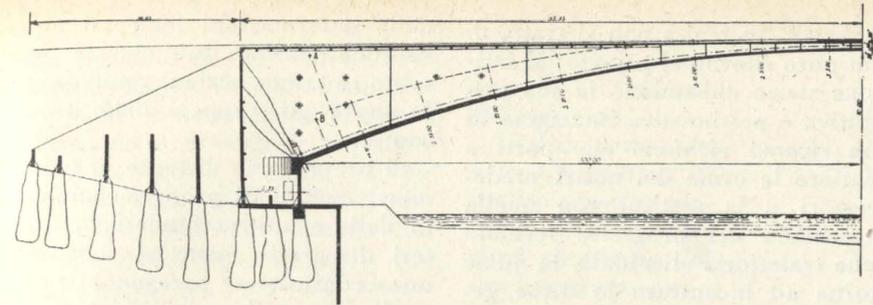


Fig. 2 - Fessure alle spalle del ponte del Risorgimento. (La linea a tratti rappresenta il limite del beton considerato attivo; la linea a tratto e punto l'asse dell'arcata).

odierno del cemento armato. Io penso inutile e non desiderabile il «*completo rivolgimento dei principi*» oggi tanto diffusi; ma per contro si eviterà la gretta conservazione di idee superate e non si dimenticherà il monito di Benedetto CROCE: «*solo i giovani possono illudersi di conquistare una volta per sempre nel campo della verità teorie definitive da serbare intatte; l'esperienza non tarda ad avvertire che le nostre verità sono correlative a domande che sorgono bensì in noi, ma che vengono condizionate dai vari tempi e che da questo implicito ed eterno dialogo... non è possibile trarsi fuori senza fare un tonfo nel vuoto*».

La scienza procede nel suo cammino, le teorie invecchiano e, quando hanno esaurito il loro compito, scompaiono per cedere il campo ad altre egualmente caduche e transitorie. Bella, completa e convincente ci appariva la teoria classica nell'esposizione fattane dal MÖRSCH nel primo volume del suo *Eisenbetonbau*, seduceva lo spogliarsi di ogni responsabilità abbandonandosi ciecamente alle norme codificate di un regolamento imperativo, soprattutto se completo e corredato da chiarissime istruzioni come sono parecchi regolamenti moderni, ma è suonata l'ora di affrontare la discussione dei metodi abituali di calcolo alla luce delle nuove esperienze, senza preconcetti, non passando sotto silenzio le obiezioni mosse spesso con buon fonamen-

to, e vedere se le norme vigenti possano rendere ancora utili servizi conservate così come sono o se ne convenga una riforma, che dovrà sempre essere ponderata e cauta. Ci accorgeremo subito che le nostre conoscenze sul conglomerato cementizio e sulla sua associazione con l'armatura si sono negli ultimi tempi allargate ed approfondite e che molti problemi si avviano verso una soddisfacente soluzione: e vedremo che i postulati della teoria classica del cemento armato, come del resto molti altri postulati della scienza delle costruzioni non rispondono in pieno alla realtà: il conglomerato male si adatta a quello schema di corpo solido, omogeneo, isotropo, con elasticità perfetta e proporzionale, che è condizione indispensabile per applicare la teoria elastica oggi ancor dominante.

Eugène FREYSSINET, che svolse la concezione di Henri LE CHATELIER sul comportamento delle argille e degli impasti plastici e la estese ai conglomerati, li definì come *quasi-solidi*, o, per precisare, «*complessi solido-liquidi*, retti dalle leggi della termodinamica»; le conseguenze che si traggono dalle sue vedute hanno condotto a conclusioni in armonia con i fatti ed aprono larghi orizzonti alla fisica del *beton*, ma lunghe ricerche occorrono ancora per togliere ogni dubbio. Un materiale siffatto è ben lungi dall'essere omogeneo, e non ha senso parlare di una sua isotropia an-

che solo grossolanamente intesa; è *plastico*, modifica col tempo le sue proprietà resistenti ed elastiche (prendendo questa parola in senso lato, a designare cioè ogni relazione univoca e ben definita fra le tensioni e le deformazioni), e subisce deformazioni cosiddette *spontanee*, legate a modificazioni chimiche, a cristallizzazioni, ad elasticità ritardata (*sussequente*). Gli sperimentatori del passato con le loro prove di assai corta durata non valutavano tutta l'importanza di questi fattori e in specie della plasticità, del ritiro e del fluimento: su questi da qualche tempo, si è fermata l'attenzione degli sperimentatori.

La plasticità influisce per la sicurezza delle costruzioni:

con un'azione che diremo *interna*, e consiste in una ripartizione delle tensioni più favorevole di quella a cui conduce la legge di HOOKE,

e con un'azione che diremo *esterna*, la quale modifica le reazioni dei vincoli dei sistemi iperstatici, rispetto ai valori ottenuti applicando le proprietà del potenziale elastico quadratico; è a questo proposito molte volte citata la *ridistribuzione dei momenti* della trave continua che porta ad un diagramma con punte meno sentite sugli appoggi, e momenti positivi intermedi accresciuti; altro esempio notorio è, nell'arco incastrato, l'avvicinamento della curva delle pressioni all'asse. Nella trave continua progettata di egual resistenza il vantaggio della riduzione del momento sull'appoggio è compensato dai maggiori momenti nel tratto centrale, ma, determinato il diagramma dei momenti in fase di progetto tenendo conto della plasticità, riesce più facile il progettare le nervature soggette al momento negativo. Più notevole è il beneficio negli archi. Tuttavia questo *adattamento*, per usare una parola di Alberto CAQUOT, è spesso meno efficace del-

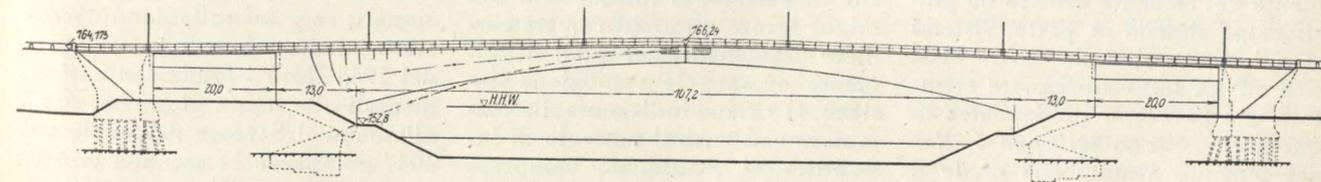


Fig. 3 - Ponte di Heilbronn sul Neckar.

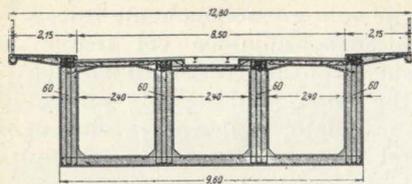


Fig. 4 - Sezione del ponte di Heilbronn.

l'azione interna ricordata prima; la sua importanza in particolare nelle strutture di egual resistenza venne non di rado sopravvalutata. L'esistenza della plasticità già la avvertimmo, non era ignota: fin dai primi anni di questo secolo Camilli GUIDI la affermava qualità provvidenziale dei materiali, rilevando quante costruzioni difettose le dovessero la salvezza; ma per lungo tempo essa venne considerata una intangibile riserva.

Furono primi i costruttori metallici a tenerne conto nel calcolo dei sistemi staticamente indeterminati, poi ad essi si associarono con entusiasmo i progettisti del cemento armato ed esagerarono: l'utile effetto della plasticità non è illimitato, dipende da leggi, non

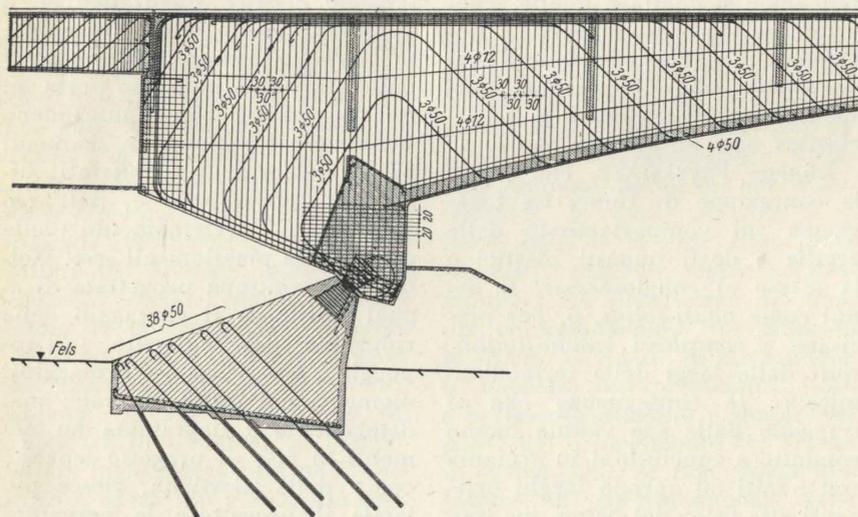


Fig. 5 - Particolare dell'armatura del ponte di Heilbronn.

restrittive come quelle dell'elasticità lineare, ma pur sempre restrittive e ben determinate. Il nuovo modo di intendere il comportamento del cemento armato ha giustificato, almeno in parte, sistemi statici avversati dalla teoria classica ed ha fatto riprendere strutture che parevano condannate; di qui anche questo *sviluppo ciclico* del cemento armato che diede il nome alla già citata memoria del

LOSSIER. In realtà non si tratta di un puro ritorno al passato: il LOSSIER stesso abbandonò la sua primitiva e pessimistica immagine di un *ricorso vichiano* che porti a battere le orme dei nostri predecessori e la sostituì con quella goethiana del progresso secondo una traiettoria elicoidale, la quale torna ad incontrare le stesse generatrici del cilindro su cui si sviluppa, ma a ben diversa quota.

La considerazione del ritiro e del fluimento ha modificato sensibilmente i criteri di progetto. Il ritiro esercita un effetto dannoso: soverchia prudenza, anche questo qui si osservò, aveva condotto a tenerne conto per aggravare le ipotesi di carico e faceva trascurare la plasticità che veniva in soccorso della resistenza. Si perdeva a questo modo la possibilità di opere ardite e insieme sicure.

Il fluimento (*fluage* in francese, *Kriechen* in tedesco, *creep* in lingua inglese) che qui ci accontenteremo di definire *una deformazione lenta e smorzantesi, provocata da un carico di lunga durata* è fenomeno molto complesso ed il

suo effetto può risultare in varie condizioni assai differente.

Oggi del ritiro degli archi incastrati ci si preoccupa assai meno che in passato, si considerano con minor favore gli archi con tre cerniere permanenti nei quali il fluimento aggrava le condizioni statiche, si ritiene indispensabile esaminare con cura il pericolo di instabilità di equilibrio, compreso quello che può esser provocato

dalle deformazioni lente, si ammettono tensioni più elevate del solito in talune sezioni come quelle sopra gli appoggi delle travi continue.

Si propongono di tanto in tanto nuovi metodi di proporzionamento delle strutture fondati su criteri disparati: esiste al riguardo una confusione paragonabile a quella che dalle origini si riscontrava nei vari procedimenti di calcolo esposti da Paolo CHRISTOPHE nel volume *Le Béton armé* (1902); ma come allora fra i diversi metodi uno prevalse — quello della teoria elastica — e tenne il campo per cinquant'anni (e non è detto sia destinato ad un completo tramonto) così dal caos delle moderne proposte emergerà quella che meglio saprà risolvere i più impellenti problemi. Allo stesso modo come al sorgere ed all'affermarsi della teoria elastica aveva molto contribuito la grande massa di studi e di ricerche fatti da tempo per la costruzione metallica, così a decidere la scelta fra i numerosi sistemi di calcolo contrastanti, ci serviranno di guida le teorie generali del *solido elastoplastico* e di quello cosiddetto *visco-elastico* che in Italia furono sviluppate da Gustavo COLONNETTI e dalla sua scuola, nonché l'imponente raccolta, anche se alquanto disordinata, di risultati sperimentali, purtroppo non ben comparabili fra loro e non di rado difficili ad interpretare. Nonostante questa incertezza, qualche nazione, per esempio l'Unione Sovietica, ha già radicalmente modificato le sue norme di calcolo del cemento armato, e persino nella Germania, non corriva ad accogliere le nuove vedute in questo campo e meno influenzata della Francia dalla riesumazione delle

idee di François HENNEBIQUE, alle quali, sia pur liberamente, si riallacciano gli innovatori francesi, scorgiamo sempre più evidenti i sintomi della tendenza ad abbandonare le posizioni tradizionali; se ne allontanò Willy GEHLER, il quale con le sue prove del 1943 fornì i fondamenti sperimentali alle teorie plastiche, se ne allontanò il SALIGER del quale nel 1947 comparve la seconda edizione del volume *Die neue Theorie*

des Stahlbetons auf Grund der Bildsamkeit im Bruchzustand. Pochi anni or sono Franz GEBAUER elencando e discutendo i problemi delle future ricerche sul cemento armato asseriva che il procedimento abituale fondato sul coefficiente di equivalenza n (*l'n-Verfahren* dei Tedeschi), era assurdo e che la teoria plastica più semplice e meglio in accordo con la esperienza doveva sostituire quella elastica. Poco mancò che nell'abbozzo di norme dell'ultima revisione del regolamento tedesco sul cemento armato (DIN 1045) fosse lasciata ai progettisti libera scelta fra le due teorie, ciò che, come ben osservava Emil MÖRSCH, avrebbe ancora aumentato il disorientamento. In uno dei suoi ultimi scritti, Egli prendeva posizione contro le nuove proposte e manifestava la sua incrollabile fiducia nella vecchia teoria elastica. Al suo parere si accostava Mirko ROŠ ed asseriva che le sue esperienze confermavano essere indispensabile il persistere nell'impiego dei procedimenti classici.

L'autorità dei nomi che militano e che militarono negli avversi campi e il peso degli argomenti da essi avanzati per sostenere le loro tesi, lasciano perplessi.

A favore della *teoria regolamentare* stanno le opere robuste, armoniche e spesso ardite che si sono costruite applicandola. Da qualche ingegnere si aggiunse che questo abbandono renderebbe inutile tutto il poderoso insieme di moduli, di tabelle e di diagrammi di cui oggi disponiamo, che facilitano e accelerano il lavoro; ma è ben debole argomento. Non va dimenticato invece che ogni calcolo statico è imperfetto ed ha in sé molto di convenzionale e che vi pervenne dopo molti tentativi ed esitazioni e che ogni regolamento è un compromesso fra la pura teoria e la realtà fisica. Nel redigerne uno futuro si dovrà andare cauti nel sostituire alla teoria di oggi un'altra teoria altrettanto rigida e non ancora abbastanza verificata dall'esperienza, e non si potranno mantenere invariati i carichi di sicurezza e certe convenzioni abituali, adatte solo nel caso di vali-

dità di quei postulati che si intende abbandonare.

D'altra parte non è lecito ignorare di partito preso la plasticità e le deformazioni spontanee del conglomerato, con i loro considerevoli riflessi sulla sicurezza delle costruzioni: e non conviene privarsi della facoltà, negata dal regolamento odierno, di ripetere la sicura ardezza di belle costruzioni del passato, le quali contano parecchi decenni di vita, come il ponte del Risorgimento in Roma, del quale già si disse, e il ponte di Calvene sull'Astico di Arturo DANUSSO per limitarci a due bellissimi esempi d'un caratteristico tipo cellulare.

Questa considerazione ha persuaso qualche costruttore del dannoso effetto dei regolamenti *imperativi*; ed è innegabile che il *dirigismo* può di leggeri riuscire esiziale al pari della più sbrigliata licenza. Henri LOSSIER, al quale torno a riferirmi, osserva che ogni regolamento stabilizza bensì la tecnica in un determinato stadio e perciò ben di rado è fonte di progresso, ma aggiunge che a molti ingegneri, privi della necessaria formazione, o del tempo o dei mezzi per spaziare nelle sfere della ricerca scientifica, occorrono regole semplici e chiare, rivedute a brevi intervalli per adattare al progresso della scienza. Egli intende certo revisioni profonde e sostanziali e non quei timidi ritocchi di secondaria importanza ai quali si limitano per lo più le successive edizioni di molte norme ufficiali. L'irrigidirsi in vieti schemi spiega, pur non giustificandole, le intemperanze dei novatori. È invece auspicabile una grande larghezza di vedute che ammetta

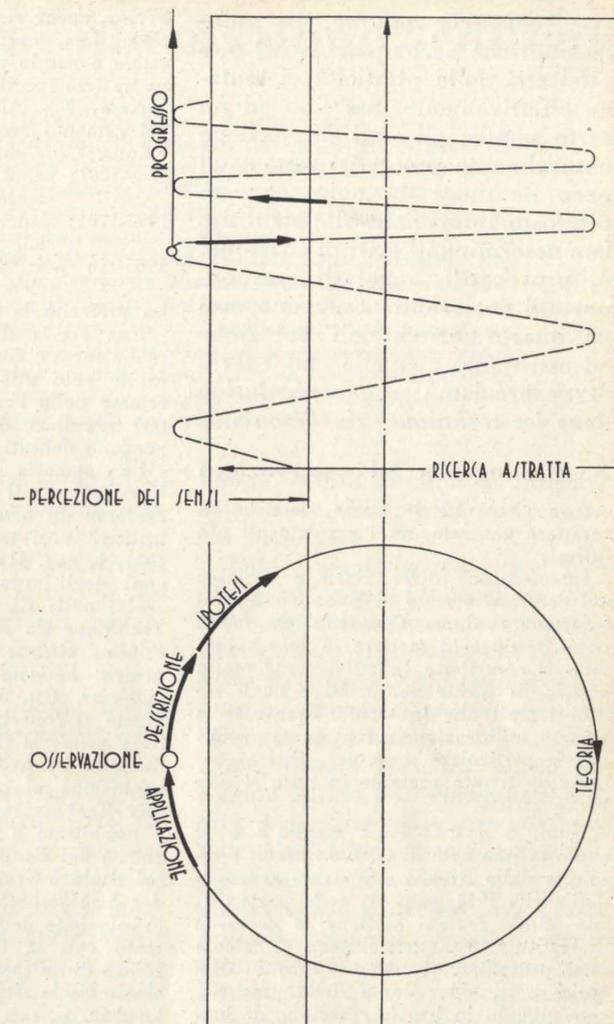


Fig. 6.

una controllata libertà di progetto, e che, in determinate circostanze e con le dovute cautele, permetta di esorbitare dai limiti abituali. Si sono riesumati di recente criteri che parevano sepolti per sempre; i nuovi materiali e le nuove lavorazioni li hanno ritornati a nuova vita. Molto di quanto ci aveva urtato in certe affermazioni non consisteva nella essenza dei criteri invocati, ma nella loro forma; depurati da errori che li mascheravano e dalle deprecabili intemperanze di linguaggio, essi possono essere accolti con qualche necessaria variante. L'utile effetto della plasticità, spiega molte cose che la vecchia teoria non chiariva: in particolare il buon esito di costruzioni condannate dalla teoria elastica e può convenire sfruttarne l'utile effetto ma senza eccedere e cullarsi in un soverchio ottimismo, riponendo una cieca fiducia in quella che ho altrove chiamato

vis medicatrix naturae. Le auto-
tensioni che accompagnano il ma-
nifestarsi della plasticità ci aiuta-
no effettivamente, ma fino ad un
certo punto; gli stati di coazione
naturalmente generatisi sono assai
poco dominati da noi, converrà
piuttosto imprimere alle strutture
ben determinanti stati di coazione,
e, provocatili, regolarli con op-
portuni interventi. Entriamo così
nel quarto periodo dell'evoluzione
ed assistiamo a quella che FREYS-
SINET proclamò: « *une révolution
dans les techniques du béton* ».

3. Bibliografia ed osservazioni

Non citerò né le opere classiche di
carattere generale, né i regolamenti più
diffusi.

In occasione delle giornate parigine
del cemento armato si pubblicò un in-
teressante volume *Cent ans du béton
armé* destinato a mettere in luce sopra-
tutto il contributo (effettivamente molto
grande in specie nei primi e negli ul-
timi tempi) che la tecnica francese ha
portato all'ideazione ed al progresso di
questa particolare muratura. Questo vo-
lume ho tenuto presente in tutto il mio
breve scritto.

Num. 1 - « Calcolar meglio » è il
titolo di una nota di G. COLONNETTI pub-
blicata dalla Rivista « Cemento armato »
dell'aprile 1938, pag. 61, nella quale l'A.
con valide ragioni sostiene la necessità
di sostituire a metodi abituali di calcolo
altri procedimenti meno difformi dalla
realtà e di tener conto della praticità,
consigliando inoltre la creazione di *stati
di coazione* opportuni con maggior fre-
quenza di quanto si usi e non solo in
costruzioni eccezionali. Nella stessa ri-
vista all'articolo ora ricordato ne segue
immediatamente un altro di Emilio GIAY
intitolato « Progettare meglio » che pa-
trocina le stesse idee e insiste per una
maggiore libertà di progetto e fa utili
richiami a quanto Egli poté osservare ed
applicare al ponte del Risorgimento a
Roma.

La definizione di cemento armato ri-
portata nel testo è in sostanza quella
data da Emil MÖRSCH nel suo *Der Eisen-
betonbau Seine Theorie und Anwendung*,
I, I, pag. 1, Stuttgart 1929; ho lasciato
cadere l'inciso affermatore che la solidi-
rietà si ha soprattutto nella flessione ed
ho accolto, anzi alquanto estesa, l'osser-
vazione di Adrien PARIS sulla necessità
di una collaborazione non solamente
temporanea dei due materiali.

Trovo esagerato ed inesatto l'attribuire
il nome di cemento armato ad ogni
muratura che contenga qualche poco di
metallo per scopi diversi da quello in-
dicato nella definizione, cioè quello di
sopperire alle deficienze di resistenza del
conglomerato.

Il volumetto di Cesare PESENTI, *Il ce-
mento armato ed il cemento semi-armato*,
ebbe la prima edizione a Bergamo
fin dal 1909, a questa ne seguirono pa-
recchie altre.

Del precompresso e degli altri tipi
strutturali elencati nel num. 1 e, a mio

avviso, ancor rispondenti ad una defini-
zione lata, darò la bibliografia molto
estesa e per lo più recentissima, quando
ne tratterò specificamente.

Num. 2 - Ai periodi di evoluzione
del cemento armato proposti nel citato
volume *Cent ans du béton armé* e cioè
1850-1891: primi passi, intuizione, senti-
mento,

1892-1904: slancio, procedimenti empiri-
ci,

1905 in poi: perfezionamento, metodi
scientifici,

ho preferito la distinzione del LOSSIER.
Una rigida divisione cronologica sa-
rebbe forse e con qualche riserva, appli-
cabile solo allo sviluppo del cemento
armato nella Francia; del resto i carat-
ti peculiari dei tre periodi suddetti
vengono definiti in termini molto vaghi.

La memoria fondamentale di Henri
LOSSIER porta il titolo *Le développement
cyclique du béton armé. Hasard ou in-
tuition?* e si trova in *Le Génie Civil*,
1941, I, pag. 41: lo stesso A. riprese al-
cuni degli argomenti ivi discussi e li
svolse nella Circolare n. 44 dell'*Institut
Technique du Bâtiment et des Travaux
Publics. Risque et sécurité. Le dévelop-
pement hélicoidal de la résistance des
matériaux*. Ott. 1948. Ispirandosi libera-
mente al concetto che informa quest'ul-
tima memoria del LOSSIER e sviluppando,
il prof. Gottfried BRENDL nella
prolusione al corso dettato quest'anno
alla *Technische Hochschule di Dresda*
e pubblicata a pag. 139 della corrente
annata del *Bauplanung und Bautechnik*
col titolo « *Grundlagen Wege und Ziele
der Stahlbetontheorie* » ha rappresentato
l'evoluzione della teoria del cemento
armato con la fig. 6, assai suggestiva.

L'idea di un cammino elicoidale del pro-
gresso risale al GOETHE e la memoria del
LOSSIER, e, con precisione maggiore, la
lezione del BRENDL ne mostrano un bel-
l'adattamento alle costruzioni civili, in
particolare al cemento armato. Si comin-
cia con l'osservazione che vien descritta,
poi si fanno delle ipotesi e con queste si
esce dal campo della percezione dei sensi
per entrare nell'astrazione con la teoria
quindi si ritorna alla percezione con le
applicazioni, le quali offrono motivo a
nuove osservazioni; a partir da queste
la successione accennata si ripete inde-
finitamente. Se ci limitiamo a quanto
risulta dalla pianta, saremmo indotti a
parlare di sviluppo ciclico, d'una specie
di ricorso vichiano o d'un ancor più
ineluttabile ritorno nietsciano sulle posi-
zioni del passato. Se ci accontentiamo
invece ad osservare la elevazione della
figura ci apparirà il progresso a zig-zag
secondo l'espressione degli ingegneri a-
mericani. Visioni imperfette l'una e l'al-
tra, e soltanto la rappresentazione spa-
ziale dell'elica riesce a rendere l'idea,
non più parziale, ma chiara e completa.

Un buon riassunto della storia del ce-
mento armato in Europa e nell'America
è quello esposto nel capitolo introduttivo
(pag. 1 a 31 della 4ª edizione) al primo
volume *Geschichtliche Entwicklung. Ver-
suche. Theorie* dell'*Handbuch für Eisen-
betonbau*, Berlin 1930: il cenno è re-
dato da Max FORSTER, il quale trascura,
può dirsi del tutto, il contributo italiano
che non fu indifferente. Ho tentato di
colmare la lacuna con una breve comu-
nicazione dal titolo « *Il contributo ita-*

liano allo sviluppo del cemento armato »
fatta in occasione della giornata celebra-
tiva del venticinquennio della Scuola di
perfezionamento Pesenti presso il Po-
litenico di Milano e pubblicata nel vo-
lumetto della Collezione Pesenti dedica-
to appunto a questa celebrazione. Sulla
preistoria del cemento armato si con-
fronti poi la prolusione di Kempton
DYSON ad un corso di cemento armato
largamente recensita nell'*Engineering*,
1910, II, pag. 919.

Sui pionieri francesi del cemento ar-
mato si legge il bell'articolo di E. CHA-
LUMEAU, *Les Hommes du béton armé*,
in *Travaux*, maggio 1943, pag. 166 e sgg.

I fondamenti della teoria elastica del
cemento armato furono esposti da Mat-
thias KOENEN: per la prima volta nello
Zentralblatt der Bauverwaltung nel 1886
e poi nel volumetto *Grundzüge für die
statische Berechnung der Beton- und
Eisenbetonbauten* che ebbe ripetute edi-
zioni. L'ulteriore sviluppo di questa teo-
ria e il suo odierno stato si possono stu-
diare in uno qualunque dei trattati clas-
sici sulla materia, per esempio nella ci-
tata opera del MÖRSCH o nelle *Lezioni
sul beton armato* di C. GUIDI, di cui
si è detto, mantenute sempre al cor-
rente dei progressi dell'esperienza e del-
la teoria classica nelle successive edi-
zioni seguitesi a brevi intervalli.

Le figure relative al ponte del MÖRSCH
sono tratte dalla nota di A. SCHÄFER,
*Schadenverhütung durch Plangestaltung,
Formgebung, Konstruktion und Aus-
führung* nella rivista *Bautenschutz*, 1940,
pp. 113-122.

Ricorderò qui soltanto il nome delle
pubblicazioni di cui ho fatto esplicito
cenno verso la fine del testo:

Willi GEHLER, *Heft 100 del Deutscher
Ausschuss für Stahlbeton*, 1943; Rudolf
SALIGER, *Die neue Theorie des Stahlbe-
tons auf Grund der Bildsamkeit in
Bruchzustand* la cui terza edizione è re-
cente. Credo opportuno rilevare l'atteg-
giamento novatore di questo grande Ma-
estro, oggi il più vecchio dei cultori della
teoria e della sperimentazione del ce-
mento armato.

I due punti di vista opposti — neces-
sità di abbandonare la teoria classica,
opportunità di mantenerla — sono adot-
tati rispettivamente da F. GEBAUER nel-
l'articolo *Zukunftsaufgaben für die Stahl-
betonforschung*, in *Die Bautechnik*, 1948,
pag. 97 e da E. MÖRSCH nella nota dal
titolo pressochè uguale al precedente
*Über die zukünftigen Aufgaben der
Stahlbetonforschung* nello stesso perio-
dico 1948, pag. 241. La discussione è
mantenuta in un tono sereno ed ele-
vato. Degenere invece in polemica, a
mio parere, troppo acre e violenta, la
nota di Albert MERCIOT, *La flexion com-
posée d'après la méthode du Prof. M.
STEUERMANN (Technique des Travaux*,
1937, pag. 555) e non posso trattenermi
dal ripetere ancora una volta il saggio
monito di Jean-Louis GUEZ, seigneur de
BALZAC: « *Si la vérité nous y oblige sé-
parons nous de nos Maîtres, mais pre-
nons congé d'eux de bonne grâce* » (*Le
faux critique*, in *Les Oeuvres diverses
du sieur de Balzac*, edizione postuma
del 1664).

Giuseppe Albenga

Principi informativi della normazione edilizia

GIUSEPPE CIRIBINI tratta il problema edilizio, considerato nel suo aspetto produttivistico (ossia in termini di rendimento), è, oggi un problema di limite. In queste condizioni, qualsiasi tentativo di potenziamento anche comportante una notevole copia di sforzi, portato su un'organizzazione artigianalmente imposta, non è in grado di offrire miglioramenti economici sensibili a parità di efficienza qualitativa. È, perciò, evidente che il presente punto critico può essere superato solo attraverso una revisione radicale di metodo applicata al processo produttivo, visto, quest'ultimo, nell'unità del disegno e dell'esecuzione. Una simile revisione, che tenga conto cioè delle realtà tecnico-organizzative della società contemporanea, non può che avvenire per tramite della riconversione in attività a carattere essenzialmente industriale dei procedimenti produttivi a sfondo artigianale o semiartigianale ora in atto nel settore in argomento. La standardizzazione e le sue specie possono certamente riguardarsi come uno dei cardini di tale riconversione, a patto, però, che se ne precisino chiaramente principi e fini, materia e metodi (non esattamente determinati sin qui a causa della frammentarietà e della semplicità dei problemi posti da industrie diverse da quella edilizia), onde evitare errori funesti e ritardatori dello stesso processo evolutivo. La presente memoria affronta il primo dei suddetti argomenti: quello dei principi e dei fini.

Essenza dello « standard »
o norma

Non saprei affrontare, in senso
teorico, i problemi della norma-
zione nell'edilizia altrimenti che
premettendo e proponendo, come
punto di meditazione iniziale,
questa precisa dichiarazione di Le
Corbusier: « ... L'architettura o-
pera per standards... ».

Opera, cioè, prende chiara con-
sistenza e si manifesta agendo,
per ciò che concerne i singoli fe-
nomeni nei quali ogni fatto ar-
chitettonico si articola, mediante
conoscenze sistematizzate, ossia,
ordinate ad un fine secondo prin-
cipi di natura razionale.

Concetto, questo dell'agire con
unicità d'intenti per regole o per
riferimenti, che appar sorgere co-
me attitudine mentale di civiltà
mature e come espressione di un
raggiunto equilibrio culturale in
seno alle stesse.

Solo elevati livelli di cultura
possono, infatti, consentire all'
uomo di porre il problema della
perfezione relativa, in ordine ad
attività artistiche e tecniche estre-
mamente complesse quali l'archi-
tettura, anche in termini di me-
todo, oltrechè in termini di pura
intuizione (1).

Fini e funzioni della normazione

E poichè l'idea di standard o
norma-campione, nella forma e
nel senso sin qui delineati, non
può intendersi che sotto l'aspetto
di apporto di un pensiero evoluto
al conseguimento di gradi sempre
più alti di pienezza esecutiva, è

(1) « ... È necessario tendere alla de-
finizione dello standard per affrontare
il problema della perfezione... » (LE
CORBUSIER).

chiaro come essa idea si applichi
precipualemente ai problemi atti-
nenti alla produzione e come, per
l'indirizzo proprio dell'azione del
nostro tempo, non possa, a tal
proposito, che parlarsi di funzio-
ne tecnologico-industriale della
standardizzazione.

Sotto tale profilo, questa, intesa
come somma di convenzioni con-
suetudinarie o tradizione, fu in
verità presente e viva anche nel
passato, flessibile strumento di
metodo foggato da esperienze
collettive antecedenti consolidate
in sistema ad uso di esperienze
attuali singolarmente sprovvedute
di fronte alla realtà; ma la mac-
china, elemento insopprimibile
della prassi industriale, esige oggi
regole e riferimenti infinitamente
più sicuri, più rigorosi, più deter-
minanti che non la consuetudine,
norme, cioè, la cui strutturazione
possa basarsi soltanto sul fonda-
mento assoluto della verità e della
certezza scientifica: « ... Gli stan-
dards nascono nel laboratorio
piuttosto che al tavolo di riunioni... » (Mc Pherson).

Quanto sopra assicura, perciò,
per quel quid razionale che è in-
sito nelle enunciazioni scientifi-
che, esser ogni limitazione di li-
bertà, che qualsivoglia scelta o de-
cisione comportano, contenuta
nella minima misura compatibile
con un'indispensabile giustifica-
zione di necessità economica, in-
tesa, questa, nella sua significa-
zione più completa.

Integrazione degli « standards »

Ciononpertanto, per essere ge-
neralmente le norme tecnologiche
termini di un complesso contesto,
qualunque scelta o decisione presa
a sè stante non risulta completa-

mente valida se non è inscrittibile,
ossia, integrabile nel conte-
sto medesimo.

Tale asserzione, vera per ogni
genere di standards, sembra divenire
segno necessario e distintivo
per quante sistemazioni concer-
nino produzioni industriali desti-
nate ad entrare, comunque, in un
discorso architettonico: la costru-
zione, questa sorta di punto ob-
bligato su cui s'incrociano le atti-
vità produttive più diverse che la
volontà dell'architetto spesso non
governa ai fini della pienezza e
dell'attualità della propria opera,
postula appunto, quale esigenza
fondamentale per la razionale sta-
bilizzazione di ciò che ad essa si
riferisce, l'integrazione come so-
strato connessivo atto a conferire
alla singola norma, individualmen-
te e definitivamente elaborata, la
potenziale capacità d'inserirsi con
naturale esattezza in sintesi com-
positive successive e differenti.

È quindi, l'integrazione, in tal
senso un'attitudine dello spirito,
una costante, remota predisposi-
zione alla sintesi, al cui limite
può, forse, ritrovarsi l'unità d'uno
stile.

Anche il concetto di integrazione,
 assunto come completo di
quello di standardizzazione, non
è nuovo nella storia dell'architettura,
se pure applicato per fini e
con metodi diversi da quelli che,
potenzialmente, potrebbero esser-
gli attribuiti oggidì: ne sono pro-
bante esempio i principi armo-
nizzatori dei Greci del primo se-
colo (2), il significato dei quali
principi andò molto al di là di
un mero coordinamento o propor-

(2) C. BAIRATI, *La simmetria dinamica*,
pag. 77, Milano, 1952.

zionamento dimensionale, oppure i provvedimenti correlatori dei Giapponesi per l'architettura residenziale secondo gli standards di Kyoto o di Tokyo (3).

In ambedue i casi, prossimi certo nello spirito animatore più che nella forma dell'attuazione, una simile visione unitaria di problemi ispira e sostiene il meccanismo correlatore, conferendo alla norma, regola o riferimento che sia, qualità peculiari che cosentiranno, in ogni caso, all'architetto di usarne, con estremo rigore, facilmente e naturalmente a fini funzionali ed espressivi.

La normazione e le sue specie: l'unificazione e la semplificazione

Sono partito (citando un classico del pensiero architettonico contemporaneo) dall'equivoco termine anglosassone di standardizzazione per definire essenza, fini e funzioni della normazione applicata a problemi esecutivi nel campo dell'architettura, perchè mi premeva di sottolineare l'unicità del fondamento concettuale di cui l'unificazione e la semplificazione — idee che spesso vengono scambiate e vicendevolmente confuse — sono da considerarsi specie in ordine all'estensione (universale o particolare) dei soggetti delle norme ai quali il contenuto delle stesse è attribuibile come sorta di predicato.

A tale comune origine degli standards non può, ovviamente, non corrispondere, come osserva il Rossi (4), similarità di metodi e di procedimenti e coincidenza di organi codificatori per ciò che si riferisce alla loro elaborazione, abbiano essi carattere universale (unificazioni) oppure semplicemente particolare (semplificazioni).

Il metodo sarà, di conseguenza, uno solo — quello scientifico —, applicato per sintesi nel caso delle norme del primo tipo, per analisi in quello delle norme del secondo.

(3) D. D. HARRISON, *An introduction to standards in building*, pag. 23-24, Londra, 1947.

(4) C. ROSSI, *Semplificazione, standardizzazione, specializzazione e loro influenza sulla riduzione dei costi di produzione*, Rivista di Ingegneria, gennaio 1954.

Procedimento della normazione

Questa distinzione di principio e di fatto, alla quale il discorso ci ha portati, fra norme il cui soggetto è preso in tutta la sua estensione o solo con una parte di essa, se da un lato allontana definitivamente il pericolo dell'inconsapevole formulazione di false unificazioni nelle quali un contenuto particolare è condotto artificialmente ed erratamente ad universalizzarsi, col ben negativo risultato di ritardare il naturale evolversi della attività tecnica e tecnologica, dall'altro, riportando la semplificazione entro i suoi logici ed effettivi limiti e liberandola da ogni sovrastruttura di carattere prescrittivo, la rende agile strumento sul piano della prassi esecutiva e ne convalida, più che ora non sia, il valore di indispensabile mezzo dell'azione industriale.

Ne consegue che il processo di posizione, di formulazione e di promulgazione degli standards sarà, in entrambi i casi, il medesimo, mentre differenziati, seppur convergenti verso un unico ente, dovranno esser gli organi proponenti e di studio.

Le norme di unificazione dovrebbero, pertanto, procedere, per così dire, dall'alto ad opera di decisioni collegiali ufficialmente riconosciute, frutto di studi e di indagini adeguate; le norme di semplificazione dal basso, promosse e delineate per interessamento di gruppi qualificati di consumatori,

(5) H. W. MARTIN, *Dispense sulla semplificazione*, Comitato Nazionale per la Produttività, Roma, 1956.

SUDDIVISIONE DELLA NORMAZIONE IN SPECIE E FAMIGLIE

UNIFICATIVA,	normazione la cui materia è predicabile di soggetti presi in tutta la loro estensione.
NORMAZIONE (standardizzazione)	
SEMPLIFICATIVA,	normazione la cui materia è predicabile di soggetti presi con solo una parte della loro estensione.

di distributori e di produttori, opportunamente documentati dai propri settori di ricerca.

La consulenza tecnica e la supervisione dell'istituto di unificazione (disimpegnante ad un tempo le funzioni che, negli Stati Uniti, sono affidate principalmente ad organizzazioni quali l'American Standards Association e la Commodity Standards Division) (5) assicurerebbero, oltre agli indispensabili collegamenti ed alle necessarie correlazioni fra gli standards: pure le elaborazioni di norme prescrittive essenziali, ma i cui vantaggi non siano immediati o facilmente valutabili a priori; un certo equilibrio di attività fra gruppi più organizzati per la definizione delle norme di semplificazione: misure cautelative per l'inevitabile degradamento nel tempo dell'efficienza delle norme in genere.

Conclusioni.

Ritornando al primitivo concetto di standard concepito quale mezzo di azione operante per gruppi di conoscenze sistematizzate, vien fatto, infine, di precisare come tali conoscenze si riferiscano principalmente a fenomeni tecnici presi nel loro essere e nel loro divenire; ovvero come la normazione tecnologica, nel significato sopra enunciato, si applichi precipuamente alla « stabilizzazione del prodotto ed a quella del procedimento di produzione » (Balency-Béarn).

Compito della normazione applicata ai fatti costruttivi sarà, dunque, quello: (i) di distinguere in modo inequivocabile le norme

Tabella A

DISPOSITORIA,	normazione la cui materia è predicabile di più enti ai quali si estende la nozione che esprime il soggetto.
ESEMPLATIVA,	normazione la cui materia è predicabile di uno solo fra gli enti ai quali si estende la nozione che esprime il soggetto.

di unificazione da quelle di semplificazione in base all'universalità o alla particolarità dell'estensione dei soggetti a cui il contenuto delle stesse si applica e di differenziare, fra le seconde, le norme dispositive (disposizioni tecnico-funzionali e tecnologiche di carattere generale) da quelle esemplative (caratteristiche di modelli, « design standards » e simili) in relazione alla pluralità od alla singolarità degli enti ai quali si estende la nozione esprime il soggetto (tabella A); (ii) di formulare convenientemente le norme, esprimendone la materia secondo determinati requisiti canonici.

Ma, più di ulteriori avvicinamenti teorici al problema, credo valga, a chiarirne gli elementi fondamentali, l'evidenza di due esemplificazioni offerte a titolo di pratica applicazione.

Esempio primo.

Come primo « caso » rappresentativo di una specie ho scelto, per la sua importanza agli effetti architettonici e tecnologici, la norma fondamentale di correlazione fra le dimensioni degli oggetti edilizi, norma comunemente designata coll'appellativo di « coordinamento modulare ».

Studi recentissimi in argomento, promossi e finanziati a livello internazionale dall'Organizzazione Europea di Cooperazione Economica per tramite dell'Agenzia Europea della Produttività, hanno portato a definire, come principale mezzo di correlazione delle grandezze edilizie, serie di numeri possedenti un elevato grado di commensurabilità e di combinabilità reciproche. Il meccanismo generatore della scala normale, derivabile pure applicando il principio del cosiddetto « lambda » platonico (1), è illustrato in fig. 1, mentre l'intera scala, trasformata in dimensioni da leggersi in decimetri, è rappresentata in fig. 2.

Regole sulle tolleranze e sui calibri completano poi lo standard.

Il contenuto della norma è, per modo di strutturazione della stessa, applicabile al proprio soggetto (gli « oggetti edilizi connessibili ») preso in tutta la sua estensione: dunque, la norma ha valore universale e può classificarsi sicuramente fra le unificazioni.

Esempi secondo e terzo.

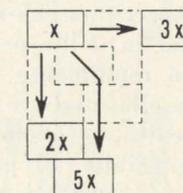
Il secondo « caso » rappresentativo contempla i risultati del metodo seguito dall'Istituto Autonomo per le Case Popolari della Provincia di Milano per giungere a definire un proprio standard in materia

(1) PLATONE, *Il Timeo*, VIII, 35.

				1						
				2	5	3				
			4	10	6	15	9			
		8	20	12	30	18	45	27		
16	40	24	60	36	90	54	135	81		
32	80	48	120	72	180	108	270	162	405	243

Fig. 1.

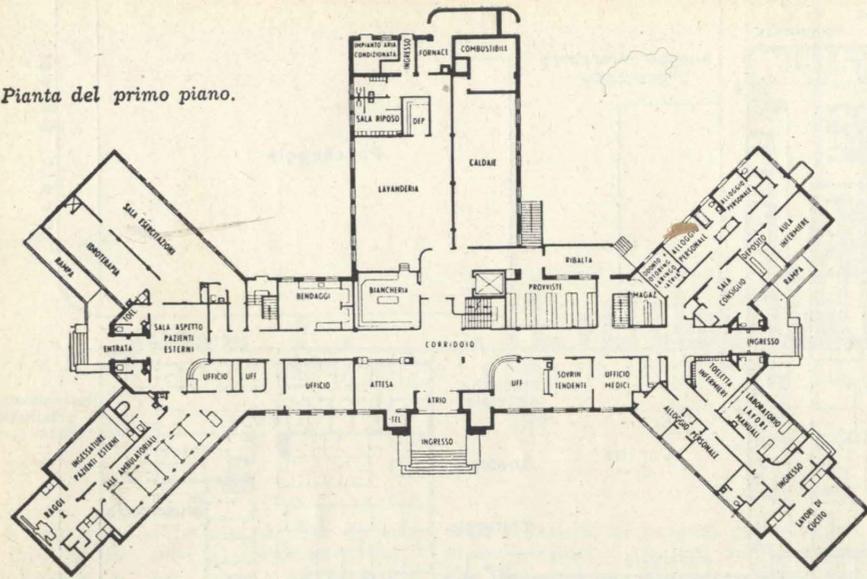
0,25	0,75	2,25	6,75	20,25	60,75	182,25	546,75			
0,5	1,5	4,5	13,5	40,5	121,5	364,5				
1,25	3,75	11,25	33,75	101,25	303,75					
1	3	9	27	81	243					
2,5	7,5	22,5	67,5	202,5						
2	6	18	54	162	486					
5	15	45	135	405						
4	12	36	108	324						
10	30	90	270							
8	24	72	216							
20	60	180	540							
16	48	144	432							
40	120	360								
32	96	288								
80	240									
64	192	576								
160	480									
128	384									
320										
256										
512										



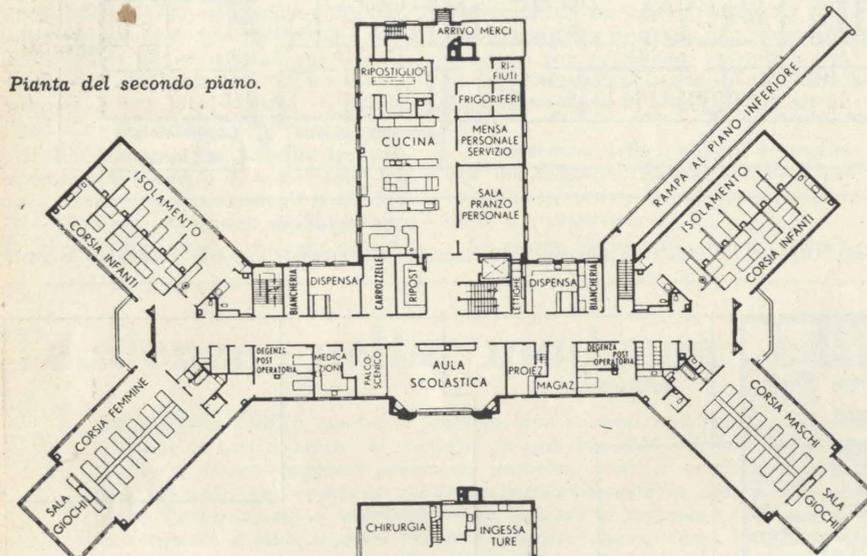
DA USARE CON LE MASCHERE SELETTRICI

Fig. 2.

Pianta del primo piano.



Pianta del secondo piano.



Pianta del terzo piano.

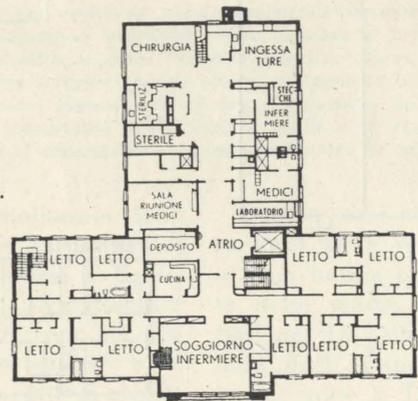


Fig. 3 - Il Shriners Hospital di Salt Lake City (Utah). Ospedale pediatrico di grande lusso e tuttavia notare la voluta grande concentrazione dei percorsi interni. - Pianta del primo, secondo e terzo piano.

particolare trascurabile, alla presenza dei fiori nelle stanze di degenza e la previsione di un locale, nella sezione ospedaliera, nel quale si faccia la manutenzione di questa tanto gentile decorazione. Chiunque abbia frequentato i nostri ospedali, sforniti generalmen-

te di tali locali, ricorderà quanto sono frequenti gli omaggi floreali nelle visite ai degenti e come questi buoni sentimenti finiscano per imbarazzare seriamente il personale, il buon ordine delle camere e... il buon funzionamento dei lavandini!

Un altro fatto che può essere citato sulla stessa direttiva è quello delle grandi vetrate che ancora si notano in qualche recente ospedale americano. Dopo la diffusione dei sistemi di condizionamento questa pratica del « sempre più vetro », così complessa tecnicamente, non si giustifica, secondo i progettisti americani se non col conforto che dà l'ampia vista dell'esterno, cielo e verde quando ci sono, e non dovrebbero mai mancare per questa innegabile influenza risanatrice.

E poichè se ne è fatto cenno diremo che questa del condizionamento è una grave questione per un ospedale. Giovandosi di un notevole progresso tecnico strumentale, che ormai può garantire un funzionamento perfetto, si fanno strane disposizioni che soltanto ieri non sarebbero state tollerate, che si basano non solo sulla più larga applicazione del corpo doppio (2), ma ancora del corpo triplo e qualche esempio si spinge alle piante quadrangolari massicce con corpi multipli (3). Certamente che, in questo modo, il grave impegno economico dell'impianto (4) viene compensato da un forte risparmio di area coperta, da abbreviate circolazioni, esposizioni meno tassative e sorveglianza facilitata. Ma non si può tacere il disagio che sembra inevitabile per il personale, costretto

(2) Poichè sono frequenti gli equivoci sulla nomenclatura dei corpi di fabbrica precisiamo che, per noi, corpo di fabbrica semplice è quello con una sola fila di locali utili, doppio con due file e non con camera e corridoio come alcuni scrivono, triplo con tre file e così via, senza contare i corridoi di disimpegno che, se intervengono nel conto, lo complicano inutilmente e lo falsificano.

(3) Per dare un'idea di massima si hanno impianti di condizionamento che comportano una spesa di otto o dieci volte il costo di un comune impianto a termosifone o irraggiamento.

(4) Notizie giunte dall'America del Nord sulle conseguenze degli impianti di condizionamento applicati in modo completo negli edifici per gli uffici farebbero notare la repulsione degli impiegati a vivere in questi ambienti e i casi frequenti, anche se severamente condannati, di aperture di finestre.

a stare in locali ermeticamente chiusi, illuminati artificialmente, per molte ore al giorno (5).

In definitiva pare che, escludendo i locali di degenza, per i quali d'altra parte occorrerebbe, a far le cose bene, una regolazione quasi stanza per stanza o almeno per gruppi di locali omogenei, il condizionamento dà indubbiamente buoni risultati nei gruppi operatori, nel reparto immaturi degli ospedali ostetrici, nel reparto gastroenteriti estive degli ospedali pediatrici, oltre che in tutti quei locali di degenza e di cura in cui si debba seguire un particolare regime termico e igroscopico.

Non è inutile invece richiamare l'attenzione sulla esigenza della buona ventilazione (cucine e gabinetti da tre a cinque ricambi ora, degenza un ricambio all'ora) che non è cosa difficile ad ottenere anche senza complicati impianti.

Una questione sempre dibattuta, e che mostra una certa continuità nel tempo, è quella del numero dei letti nelle infermerie e quindi, in stretto collegamento con questa, del numero di letti nell'unità funzionale di degenza che è la sezione. In Italia la sezione è di trenta letti, trattandosi si intende di malati acuti, con un complesso di dieci o dodici camere. Le distribuzioni più usate sono:

6 stanze da 4 letti; 2 da 2 letti e 2 da 1 letto;

oppure 5 stanze da 4 letti; 4 da 2 letti e 2 da 1 letto;

oppure 4 stanze da 4 letti; 6 da 2 letti e 2 da 1 letto.

Così il progetto per il nuovo « Martini » di Torino, il nuovo ospedale di Vercelli e quello di Catanzaro hanno sezioni di trenta letti. L'ospedale di Arzignano presenta sezioni normali di 22 letti, ampliabili a 32 letti, con stanze a sei letti, ma è un'eccezione. Sezioni da 31 letti presenta l'ospedale civile « Santa Croce » di Cuneo e il « Maggiore » di Milano (chirurgia); di 33 letti l'o-

(5) Progetto per il nuovo ospedale di Charleroi.

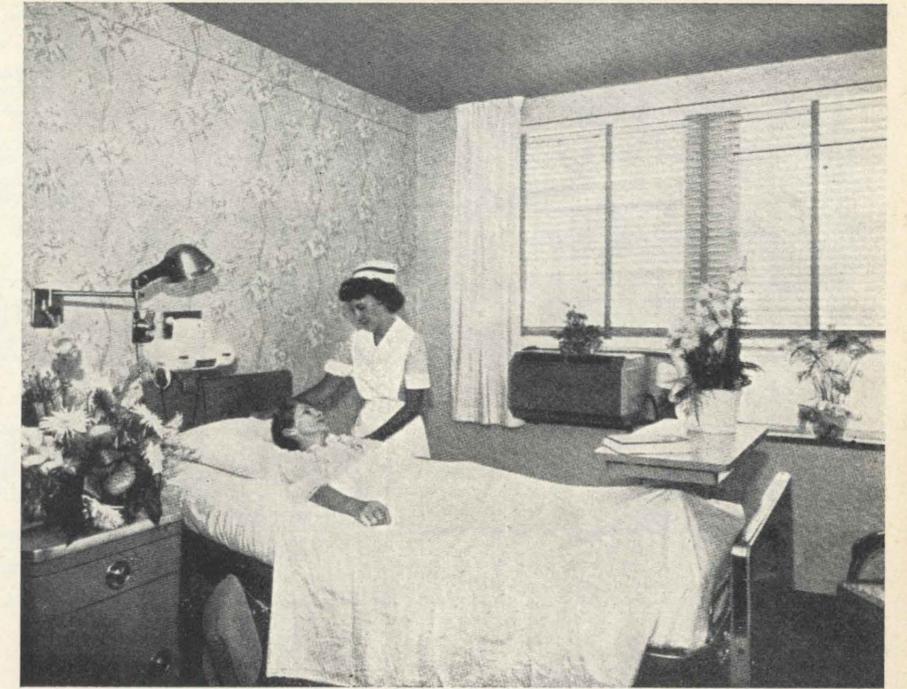


Fig. 4 - Una sala di degenza della Mobile Infermery dell'Alabama. Notare la profusione dei fiori in questa camera di degenza che ha anche una tinteggiatura alle pareti che ne accresce l'aspetto di una ordinaria camera da letto.

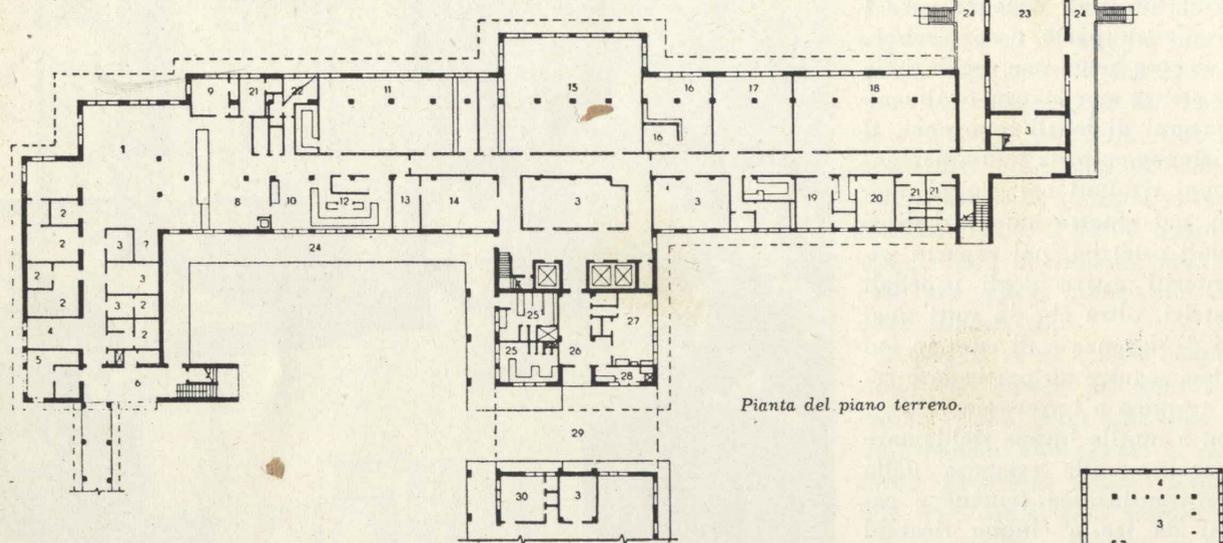
spedale di Brescia (medicina); di 36 letti quello di Biella.

Per contro si hanno esempi di sezioni di 20 letti all'Estero (Reims e Briançon) e le indicazioni americane del U.S.P.H.S. (Centro di informazioni e ricerche sanitarie) consigliano la sezione di 25 letti come la più conveniente. E ancora all'ospedale Söder di Stoccolma si era in un primo tempo prevista l'unità di 16 letti (due unità contigue, in due bracci fra di loro normali collegati da una cerniera), ma di fronte alle spese di gestione si è finito per riunire i due nuclei a squadra in un'unica unità funzionale di 32 letti. Infine, nell'ospedale cantonale di Basilea l'organizzazione è basata su di un mezzo piano per sesso, con 50 letti più due di isolamento per parte.

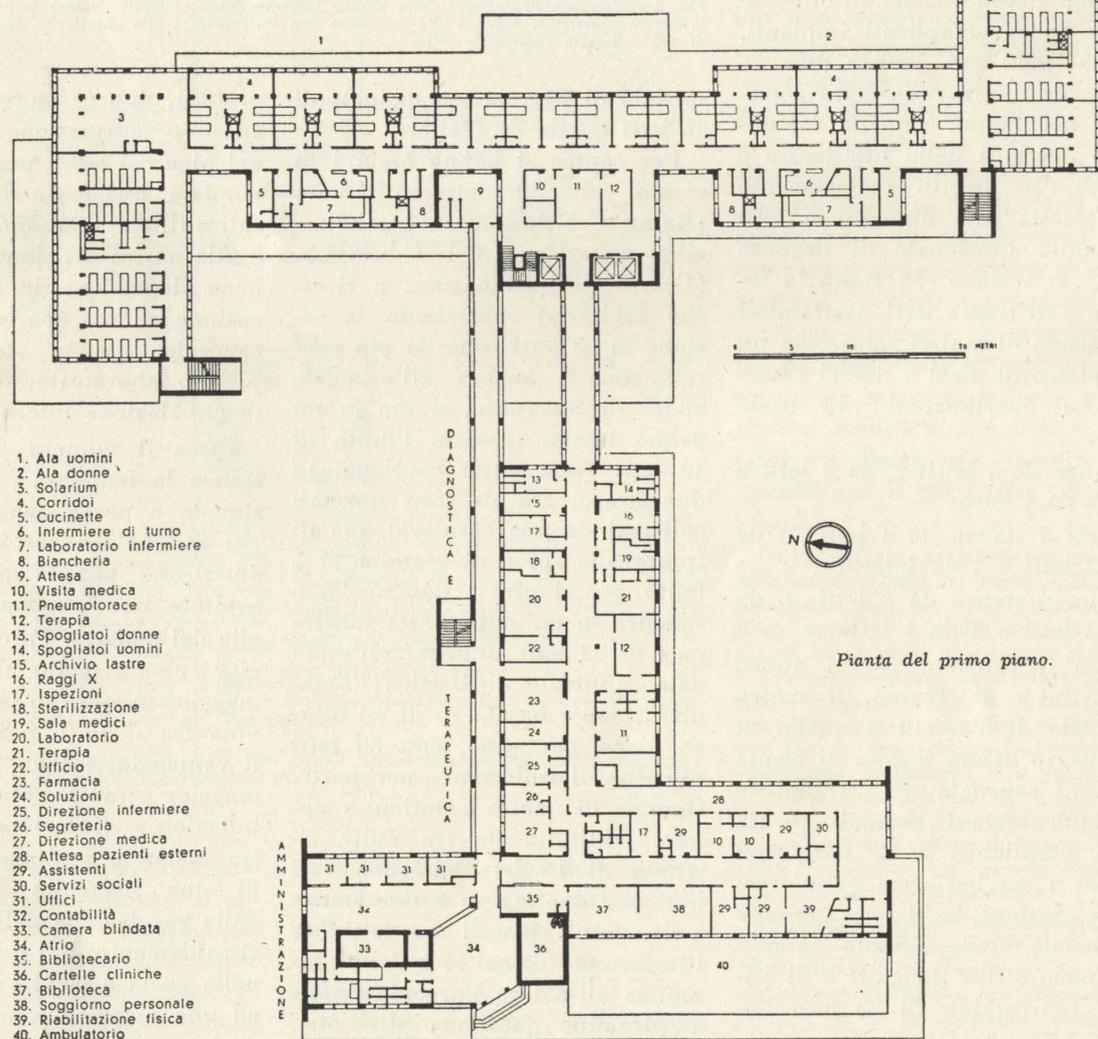
Circa il numero dei letti per stanza la tendenza è per il letto singolo o per i due letti (preferiti in qualche cospicuo esempio americano per la possibilità di ospitare una persona della famiglia del malato). Pare che la maggior spesa rispetto alle camere a maggior numero di letti sia contenuta fra il 10 % e il 25 %, con il vantaggio, tra gli altri, di una maggior garanzia contro la « cross infection » (infezione incrociata) tra malati e personale, oltre che di una maggiore indipendenza nella regolazione della luce e del riscaldamento, del minor disturbo nella visita e medicazione a letto, ed una maggior comodità nel ricevere visite, ecc.

Per contro è noto come con le

- | | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1. Cucina principale | 9. Dietetista | 17. Aula scolastica | 25. Spogliatoi |
| 2. Frigoriferi | 10. Carrelli portavivande | 18. Ergoterapia | 26. Morgue |
| 3. Magazzini | 11. Mensa personale | 19. Direzione ergoterapica | 27. Autopsie |
| 4. Macellaio | 12. Lavatura stoviglie | 20. Assistente | 28. Medico |
| 5. Impianti meccanici | 13. Cucinetta | 21. Toilette | 29. Sottopassaggio |
| 6. Ribalta | 14. Mensa cuochi e personale notturno | 22. Palcoscenico | 30. Manutenzione |
| 7. Vegetali | 15. Sala pranzo pazienti | 23. Sala riunioni | |
| 8. Dispensa | 16. Biblioteca e bibliotecario | 24. Corridoio | |

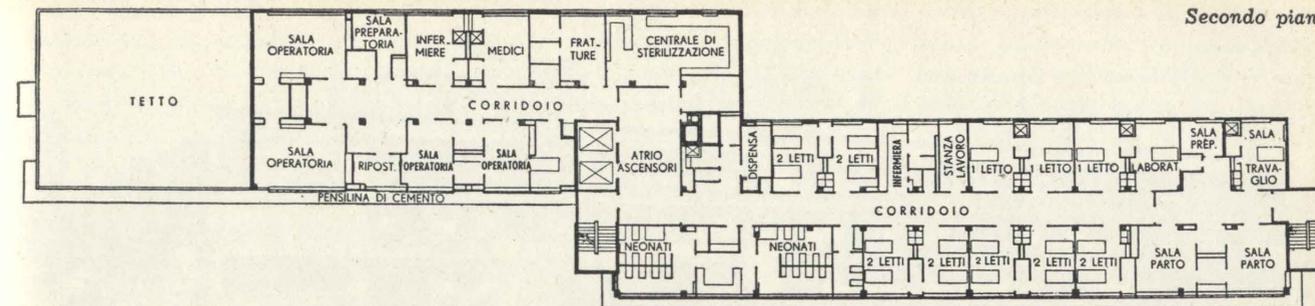


Pianta del piano terreno.

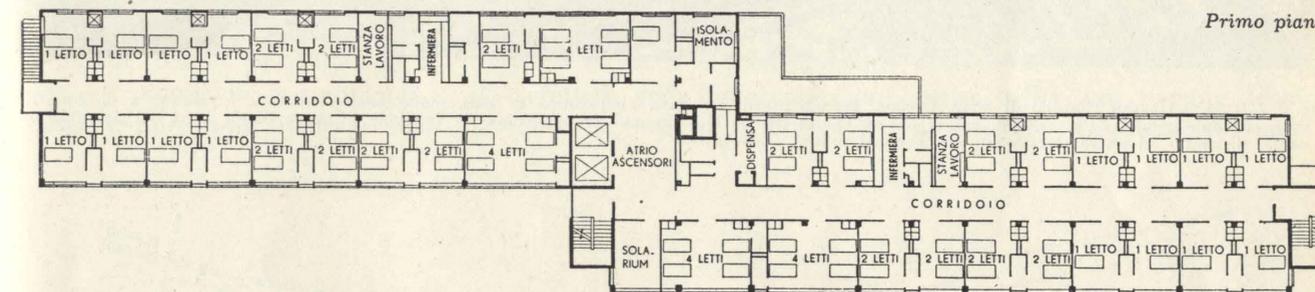


Pianta del primo piano.

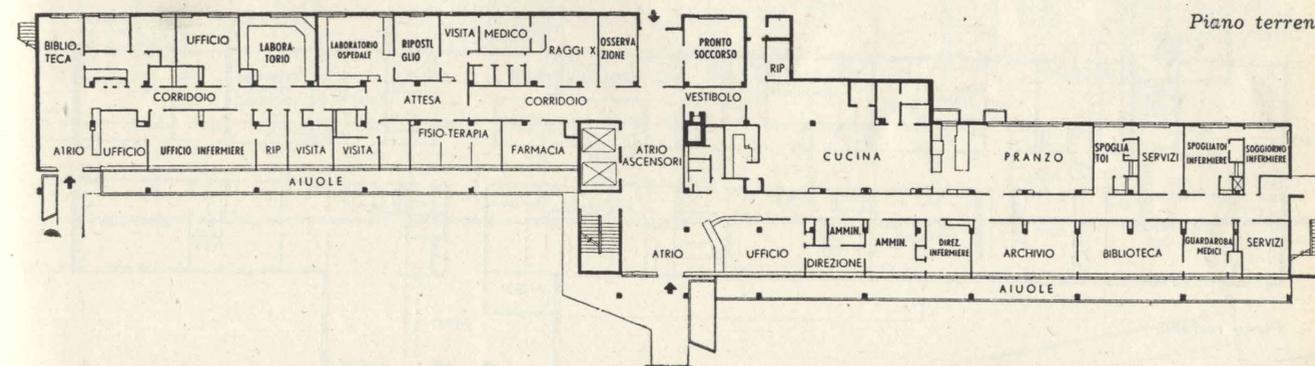
Fig. 5 - Il Puumale Hospital di Hilo, la più grande e la più meridionale delle isole Hawaii. Poiché il clima è semi-tropicale è della massima importanza che le camere dei ricoverati siano disposte in modo da usufruire della maggiore ventilazione, al riparo, per l'orientamento scelto, da una eccessiva insolazione. - Pianta del piano terreno e del primo piano.



Secondo piano.



Primo piano.



Piano terreno.

Fig. 6 - L'Olympic Memorial Hospital di Port Angeles (Washington). La sezione è composta di ben 17 camere: otto ad un letto, sette a due letti e due camere a quattro letti: in totale trenta letti, isolamento a parte. Notare le camere a un letto e a due letti, abbinata per l'uso comune del piccolo gabinetto. - Pianta del piano terreno, del primo e del secondo piano.

camere a sei letti (non di più, in ogni caso) si ottenga una più facile sorveglianza e un affiatamento fra i degenti che appare gradito in certe malattie e generalmente presso le categorie sociali più basse, risvegliando quei sentimenti di solidarietà umana che difficilmente sono sostituiti da un servizio impeccabile, perfetto e ideale sulla carta per i larghi mezzi economici che richiede, ma in pratica, ahimè, sempre affidato agli umori del personale. Comunque il grave inconveniente della infermeria a sei letti è la mancanza del cosiddetto « angolo morto » per

il letto di mezzo, ossia la possibilità di girarsi almeno su un fianco senza vedere un altro ammalato. Considerazioni che consiglierebbe anche l'infermeria a tre letti, in pro della stanza a quattro letti o meglio a due letti, sempre che, si intende, la dimensione della profondità della schiera convenga alla buona utilizzazione delle superfici. Senonchè altri sottili ragionamenti psicologici (e in questo campo non è facile avere opinioni tassative) e qualche esperienza diretta proverebbe la pericolosità dei letti pari (la coppia o non va d'accordo o va

troppo d'accordo) sia pure particolare di alcune categorie di ammalati.

Per finire l'argomento sulla attrezzatura della degenza ricordiamo l'uso in recenti ospedali svedesi di letti snodati in modo da trasformarsi facilmente in specie di sdrai in cui l'ammalato assume la posizione seduta o quasi.

Una tendenza di grande importanza nell'organizzazione ospedaliera che si nota chiaramente negli ospedali americani e svedesi, e che incomincia ad essere avvertita anche in Italia, è quella del raccorciamento della durata me-



Fig. 7 - Il Saint Charles Hospital di Bend, Oregon. Piccolo ospedale di una cinquantina di letti, molto bene attrezzato. L'infermeria di guardia è posta ad un'estremità della sezione, invece che al centro perchè si è ritenuto preponderante la funzione di sorveglianza verso gli ascensori e la scala, di centro ad un raccorciamento dei percorsi interni. - Prospetto.

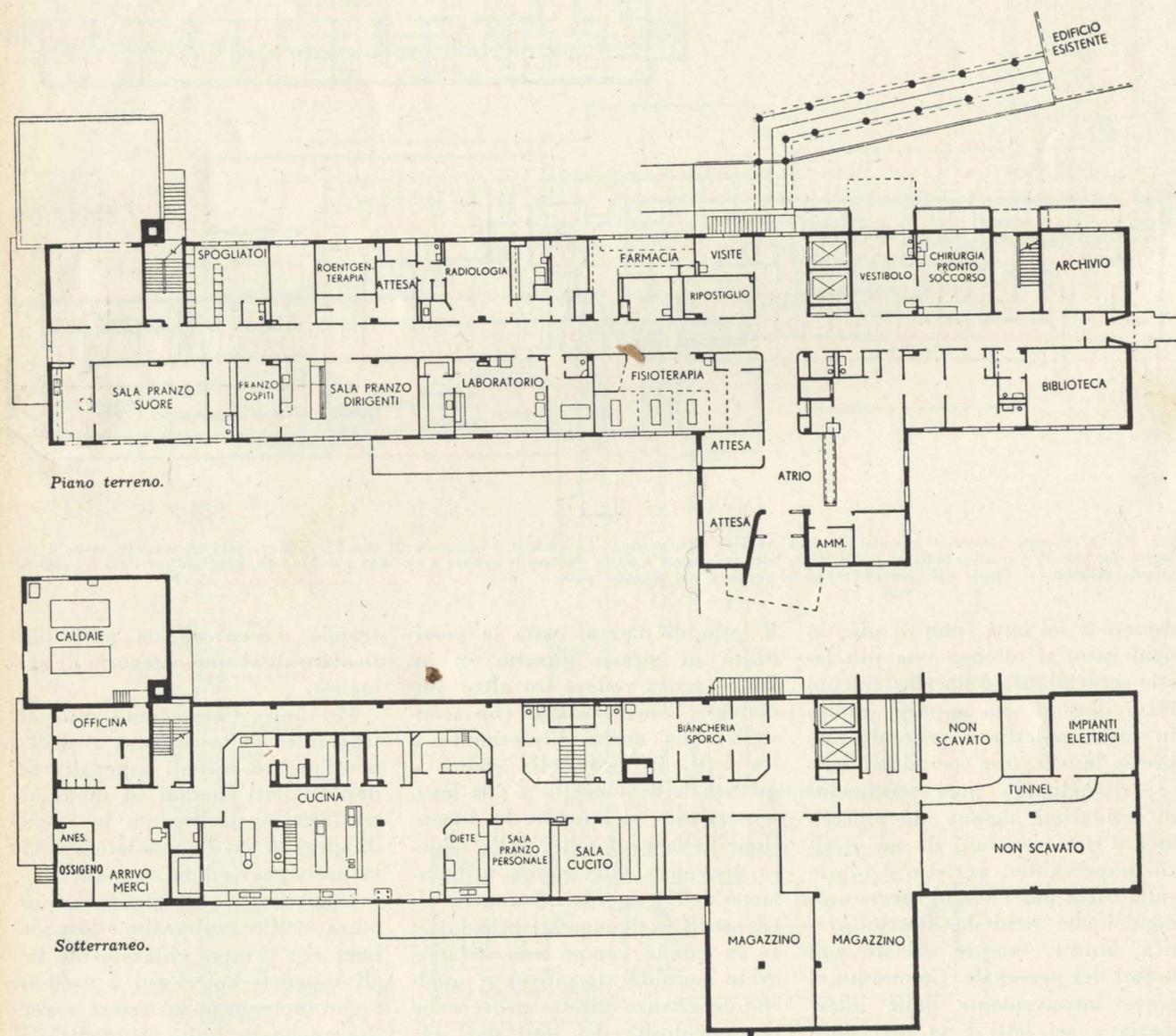
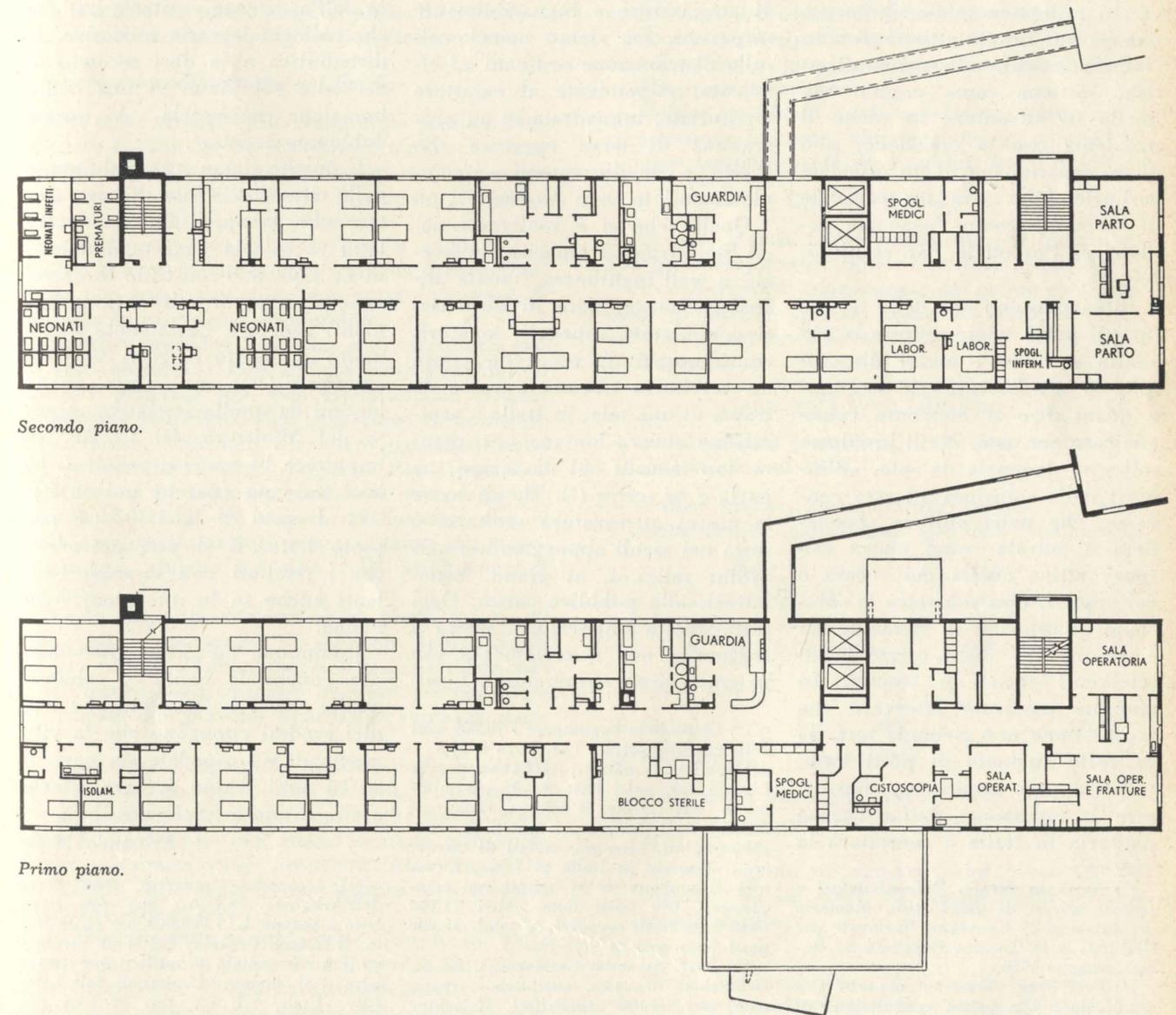


Fig. 8 - Il Saint Charles Hospital di Bend, Oregon. - Pianta del sotterraneo e del piano terreno.

dia della degenza; siamo ormai lontani dai 30 giorni di un tempo e si parla dei 15 o dei 12 giorni di media. Questo fatto che è originato dalla importanza che sempre più assumono le cure ambulatoriali e dalla energia con cui le moderne terapie, mediche e chirurgiche, aggrediscono e vincono le malattie acute, si riflette sul diminuito rigore della esigenza del perfetto orientamento della camera del malato. Si aggiunga inoltre che la tendenza medica di tenere il malato a letto il minor tempo possibile, fa sì che gli ammalati « ambulanti » siano sempre più numerosi con

tutte le conseguenze che è facile pensare sulla previsione dei servizi igienici, soggiorni, distanze interne alla sezione, ecc. Questo fatto dell'ammalato « ambulante » in uno con la molteplicità e varietà delle cure alle quali si vorrebbe sottoporlo, sta creando una specie di mentalità un poco meccanica della cura « a catena » in cui l'ammalato passa da una all'altra per raggiungere, nel più breve tempo possibile, la salute. Concezione un poco meccanica, come dicevamo, e alla quale si affronta necessariamente il correttivo delle preoccupazioni psicologiche, ma che risulta anche

dalla importanza che oggi ha assunto l'istruttoria della malattia, con analisi e ricerche di tutti i generi e che originano quella pratica del periodico controllo dell'uomo normale, preoccupato di mantenersi efficiente (gli americani parlano di « check up », controllo sopra), e che assorbe anche molta attività e spazio nei nuovi ospedali; e nell'ospedale « Sul America », in costruzione a Rio de Janeiro fa occupare, per esempio tutto un piano, il primo, con i suoi complicati impianti e laboratori. Ed ecco ancora una tendenza nella più recente tecnica ospedaliera e, quello che non è



Secondo piano.

Primo piano.

Fig. 9 - Il Saint Charles Hospital di Bend, Oregon. - Pianta del primo e del secondo piano.

meno importante, un vasto campo di nuove attività professionali (6).

Infine la questione dell'aumento della durata media della vita umana e della necessaria attenzione che la medicina degli ultimi tempi ha rivolto ai vecchi, sempre più numerosi in tutti gli strati sociali. Qui le tendenze sono diverse: alcuni ritengono che il problema vada risolto con l'istituzione di speciali reparti geriatrici presso i grandi ospedali, e questa pare la tendenza riscontrata fuori d'Italia, altri pensano che si possa continuare con il sistema attuale dei cronici, aggiornati si intende alle moderne possibilità della medicina per alleviare in modo efficace i disturbi dei cronici e dei vecchi e mantenere possibilmente una sia pur ridotta attività di vita. Non manca chi, sulla prima direttiva, sostiene come miglior via quella di affrontare in pieno il problema con la creazione, non di un reparto, ma di un ospedale geriatrico che sarà un ospedale di specialità come l'ospedale pediatrico, l'ospedale per rachitici, ecc. (7).

Riteniamo che una delle tre soluzioni potrà essere sempre la più adatta secondo i mezzi disponibili, le attrezzature già esistenti e quant'altro il momento consiglia caso per caso. Ma il problema sollevato denuncia da solo, all'infuori delle soluzioni ad esso connesse, che nella edilizia ospedaliera è entrata come nuova esigenza attiva quella dei vecchi e dei cronici, non più sotto la soluzione di ospizi e di ricoveri, ma come un più vasto orizzonte di interventi sociali e tecnici. In margine possiamo osservare che la questione non richiede tuttavia un forte aumento di posti letto.

Qui appare opportuno considerare la situazione dell'assistenza sanitaria in Italia e constatare la

(6) ARMANDO MELIS, *Poliambulatori e Istituti privati di diagnostica*, Memoria presentata al 1° Convegno Nazionale per l'Edilizia e la Tecnica Ospedaliera, Roma, maggio 1956.

(7) Prof. Dott. GERMANO SOLLAZZO, *Comunicazione alla prima commissione di studi della F.I.H. al Congresso di Lucerna*, 29-V/3-VI 1955.

nostra situazione deficitaria in confronto all'estero: circa 1400 ospedali, fra grandi e piccoli (con una media di 135 letti per ospedale), e un complesso di 190.000 posti letto circa, pari al 3,8 %, che si deve confrontare con l'11,32 % dell'Inghilterra, con l'11,50 % degli Stati Uniti d'America, col 14 % della Svizzera e con la Svezia che conta di arrivare presto al 18 % (8).

Ma non è soltanto sulla quantità che siamo manchevoli, e si potrebbe aggiungere anche sulla qualità in quanto, se non mancano esempi di quello che potrebbe diventare il tipo di un buon ospedale italiano, troppi ospedali sono vecchi di muri, di finimenti, di attrezzature e inguaribilmente sorpassati, ma siamo manchevoli sulla distribuzione ordinata ed efficiente, rispondente al carattere territoriale, inquadrata in un programma di larga apertura che consenta i miglioramenti e i completamenti in ogni momento.

Quello che si è realizzato negli Stati Uniti d'America, in Svezia e nell'Inghilterra, quella distribuzione capillare di dispensari, ambulatori, ospedali, sanatori, convalescenziari, ecc. che copre un territorio nazionale come la trama di una tela, in Italia è aspirazione ancora lontana per quanto non manchi chi da tempo, ne parla e ne scrive (9). Ma gli è che la nostra attrezzatura sanitaria è sorta nei secoli appoggiandosi agli ordini religiosi, ai grandi benefattori, alla pubblica carità. Oggi tutta questa impalcatura stenta a reggere e non è certamente più in grado di far programmi. L'ini-

(8) Si possono aggiungere i 70.000 letti delle cliniche private (per circa il 27,5 % del totale). I massimi si hanno per la Liguria con posti letto 6,7 %, i minimi in Calabria con il 0,7 %. Comprendendo i letti per cronici, quelli dei convalescenziari, sanatori, malati di mente, ecc., si arriva in Italia al 7 %. I cronici dispongono di 64 istituti con complessivi 7000 posti letto. Altri 11.000 posti letto negli ospedali, in totale 18.000 posti letto pari al 0,39 %.

(9) Prof. SALADINO CRAMAROSSA, *La distribuzione organica, nazionale e regionale, dei servizi ospedalieri*, Relazione presentata al V Congresso Internazionale degli Ospedali, Parigi, luglio 1937.

ziativa è passata ai grandi Enti di assistenza sociale e sanitaria. Sono essi che dispongono dei grandi mezzi, sono essi che possono fare programmi a lunga scadenza, sono essi che sostituiscono ogni giorno i vecchi Enti di beneficenza nei nuovi bisogni che sorgono e chiedono di essere soddisfatti. Ed ecco l'opera dell'Istituto della Previdenza Sociale che in venti anni, con i suoi sanatori si può dire debella la tbc, ecco l'I.N.A.I.L. che dissemina in tutta Italia i suoi centri traumatologici ortopedici. Qui si fanno programmi e anche costruzioni belle, ricche, efficienti, aggiornate. Ma ogni ente fa per conto suo e manca il programma dei programmi, il piano regolatore dell'assistenza sanitaria italiana che colleghi le varie iniziative, le distribuisca e le dosi secondo le necessità sul piano di una collaborazione necessaria. A questo dobbiamo arrivare.

E poichè siamo scesi nel campo delle cifre non è fuor di posto notare che la spesa di ogni posto letto si calcola oggi mediamente in L. 3.000.000 con tutte le necessarie attrezzature di cura e impianti generali. Certamente siamo molto al disotto di certi ospedali americani (10); ma siamo anche lontani da quella iniziativa recente del Ministero dei LL.PP. di impostare 14 nuovi ospedali di 69 letti ciascuno (perchè poi 69 letti?) al costo di L. 1.500.000 per posto letto. E si può prevedere che i risultati non saranno brillanti anche se le intenzioni sono buone.

Comunque un'ultima riflessione che conchiude bene, ci sembra, quello che si è detto finora. I tecnici svedesi ritengono che la vita media di un ospedale sia oggi di 20/25 anni. Dopo occorre rifarlo o rimodernarlo. Se è possibile.

Armando Melis

(10) L'ospedale generale dello Stato dell'Arkansas (S.U.A.) con 600 posti letto è costato L. 7.000.000 per posto letto. Il famoso Berkeley nel West Virginia (S.U.A.) è costato 9 milioni per posto letto. Col Shriners Ospital di Salt Lake City (Utah, S.U.A.), con 50 letti per bambini, si è arrivati a 16 milioni per posto letto.

La trasmissione del calore negli impianti nucleari*

CESARE CODEGONE espone le linee fondamentali dei moderni problemi riguardanti la trasmissione del calore negli impianti nucleari per produzione di energia motrice e mette in evidenza gli artifici costruttivi coi quali è stato possibile sormontarne le gravi difficoltà.

Due sono i problemi termici interessanti gli impianti nucleari a scopo industriale:

— la produzione di energia termica nei reattori, — il trasferimento di tale energia all'esterno e la sua parziale trasformazione in energia meccanica.

Si tratta di due problemi collegati fra loro, ma dei quali alcuni aspetti possono essere considerati separatamente.

Gli argomenti da trattare riguardano pertanto:

- la propagazione del calore nell'interno del reattore,
- la sua cessione a fluidi intermediari,
- il movimento di questi fluidi nel reattore e nei condotti fino agli scambiatori di calore,
- lo scambio di calore negli apparecchi esterni,
- i cicli termodinamici di utilizzazione.

Proprietà termodinamiche dei fluidi.

Allo stato attuale delle conoscenze possiamo distinguere i fluidi in due categorie: quelli che sono già impiegati in impianti funzionanti o di prossima realizzazione, e quelli di cui è previsto l'impiego in un futuro più o meno prossimo.

Non appena però ci si accinge a studiare tali fluidi ci si accorge che le loro proprietà termodinamiche non sono conosciute con tutta l'ampiezza e con tutta la precisione desiderabili.

Da studi precedenti di fisica e di ingegneria siamo stati abituati a fare sui gas considerazioni di carattere generale ma, ben ripensandoci, constatiamo come esse riguardino i gas stessi in uno stato di rarefazione sufficiente a rendere accettabili nella loro validità certe leggi semplici. Per alcuni casi particolari si introducono coefficienti di correzione. Quando si tratta dei vapori constatiamo che ci siamo sempre interessati quasi soltanto del vapore d'acqua, almeno nel caso della produzione di energia.

Negli impianti nucleari ci si trova invece di fronte alla opportunità di scegliere taluni fluidi che per ragioni di economia non si penserebbe mai di impiegare negli impianti ordinari industriali, e che invece qui possono presentare vantaggi notevoli.

Si adottano allora delle sostanze delle cui caratteristiche, ancora pochi anni or sono, si conosceva ben poco. Non deve quindi stupire che con gli studi relativi alla fissione dell'atomo si siano sviluppate nuove esperienze sulle proprietà termodinamiche dei fluidi, sulla dilatazione termica dei metalli, sulla corrosione, ecc.

Nonostante tutta la mole delle ricerche già fatte ci troviamo tuttora di fronte a lacune molto ampie nelle conoscenze di tali caratteristiche. Le cose si sono modernamente rese ancora più complesse perchè sostanze che un tempo si ritenevano « pure »

non possono più essere ritenute tali oggi in senso rigoroso: basti pensare alla esistenza degli « isotopi », che hanno eguali proprietà chimiche ma proprietà termodinamiche alquanto differenti fra loro. Se per ciascuna di queste sostanze si volesse avere la massa di dati che si posseggono per il vapore d'acqua occorrerebbe il lavoro di numerosi scienziati per molti anni.

In assenza di dati sperimentali diretti, dovendo procedere a tentativi di impiego di alcune sostanze si cerca allora di sfruttare leggi di corrispondenza e di analogia fra elementi vicini nella classificazione chimica.

Ad es.: le proprietà dell'acqua comune H₂O paragonate con quelle dell'acqua pesante D₂O (dove dell'idrogeno si ha il deuterio).

Ricerche ed esperimenti compiuti sul D₂O hanno consentito di giungere alle seguenti conclusioni:

Proprietà termiche:
— Calore specifico C: (sia a volume costante sia a pressione costante, che possiamo quasi confondere trattandosi di un liquido), fra 0 e 100°C:

$$C_{D_2O} \cong 1,01 C_{H_2O}$$

Nulla però è stato finora pubblicato per quanto riguarda le temperature superiori a poco più di 100°C.

I coefficienti di trasmissione del calore sono funzioni di altre proprietà, come ad esempio la viscosità, la conduttività termica, ecc.

— Viscosità μ :

$$\mu_{D_2O} \cong (1,10 \div 1,20) \mu_{H_2O}$$

— Conducibilità termica λ : non sono disponibili dati relativi al D₂O.

— Valori critici; (temperatura critica T_c , pressione critica p_c , volume specifico critico v_c):

	H ₂ O	D ₂ O
T_c	647 °K	645 °K
p_c	221,3 bar	221,7 bar
v_c	0,32 kg/m ³	0,36 kg/m ³

— Punti fissi

di fusione	0°C	+ 3,8 °C
di ebollizione	100°C	+ 101,4 °C

Altri fluidi impiegati sono:
— He (ha una sezione d'urto trascurabile)
— H₂O vapore,
— Hg sia liquido sia vapore, perchè, essendo un metallo, ha un coeff. di conducibilità termica molto elevato.

(*) Da conferenze tenute al Corso di Ingegneria Nucleare « Giovanni Agnelli » 1956, presso il Politecnico di Torino. Il testo è stato redatto a cura del Dr. Ing. Giovanni Cesarani.

— Na fuso, con punto di fusione a 91°C (adottato per le stesse ragioni del mercurio; è però preferito a questo per la sua piccola sezione d'urto).
 — Miscela di Na e K (con punto di fusione più basso del Na).

La miscela al 56 % Na e 44 % K (in peso) ha un punto di fusione uguale a +19°C;

La miscela eutettica al 22 % Na e 78 % K ha un $pf = -11^\circ\text{C}$.

Una buona strada che consente, nell'avvicinarci a problemi di impiego pratico di sostanze delle quali poco si conoscono le caratteristiche termiche, di avere indicazioni di carattere orientativo sugli ordini di grandezza di alcune caratteristiche è quella che utilizza la legge degli stati corrispondenti.

Prescindendo per ora dal campo di validità della legge, facendo i rapporti fra i valori delle variabili che caratterizzano lo stato di un fluido ed i corrispondenti valori critici, si trovano diagrammi discretamente soddisfacenti (almeno per gruppi di sostanze) nel caso dei parametri p , v , T , e se ne è tentata l'applicazione anche ad altri parametri.

Ad es. per quanto riguarda la conducibilità termica (indicata con λ in Europa e con k dagli Americani), considerandone i valori per lo stato di vapore saturo secco (al limite fra vap. saturo e vap. surriscaldato), poi quelli per lo stato liquido sulla curva limite inferiore in funzione di un secondo parametro (per esempio la temperatura T), si trovano curve che al punto critico vanno a coincidere (per $T/T_c = 1$).

Conoscendo allora anche soltanto pochi dati, dedotti con l'esperienza, per la legge del diametro è possibile determinare λ_c , calcolare i rapporti λ/λ_c e riportarli su un grafico logaritmico (1).

Le cose vanno bene per i gas relativamente perfetti, per quelli cioè che si trovano a pressione piccola rispetto alla loro pressione critica.

Riportando i dati relativi ad una ventina di fluidi (aria, CO_2 , Hg , He , N , O , idrocarburi, ecc.) ho trovato punti che stanno tutti abbastanza bene sulle curve del diagramma di Fig. 1. Da questa constatazione viene la conseguenza che è da presumere che il grafico possa servire anche per qualche altro fluido di cui sono poco note le caratteristiche termiche.

Notiamo però che di ciò non si può avere certezza assoluta: infatti per l'acqua liquida la curva ad un certo punto diviene anomala.

Nel grafico troviamo i tratti di curva che corrispondono alla curva limite inferiore, alla curva li-

(1) Cfr. C. CODEGONE, *Atti Accademia Scienze*, Torino, vol. 86, 1951-52, pag. 288.

Nota: nell'esprimere le pressioni si usa ora il $\text{bar} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,02 \text{ kg/cm}^2$. N è simbolo di « newton », unità di forza nel sistema Giorgi. Gli Americani e gli Inglesi usano talora gli psia (pounds per square inch absolute):

$$1 \text{ psia} = 0,07 \text{ bar}$$

$$1000 \text{ psi} = 70 \text{ bar}$$

Per le temperature assolute essi usano i gradi Rankine (temperature assolute espresse in unità della stessa scala dei Fahrenheit), trovandosi lo zero assoluto a -460°F circa.

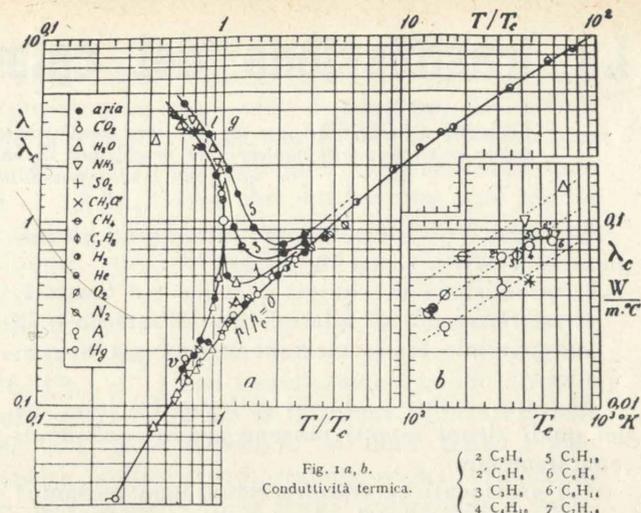


Fig. 1 a, b. Conducibilità termica.

mite superiore, alla pressione critica p_c (per la quale $\frac{P}{P_c} = 1$, e la curva alla pressione ridotta

$$\frac{P}{P_c} = 5.$$

Una ricerca analoga è stata condotta (2) per un'altra grandezza: la viscosità dinamica μ .

Considerandola come funzione termodinamica ci si è proposto di vedere se sussiste una legge degli stati corrispondenti anche per essa. Che ci si possa attendere un risultato positivo da tale indagine è da supporre a priori perchè per i gas rarefatti si dimostra nella teoria cinetica dei gas che:

$$\lambda = C_v \cdot \mu \cdot \text{cost.}$$

dove la costante vale circa 2 per i gas biatomici.

Si riscontra che il diagramma di Fig. 2 ha una

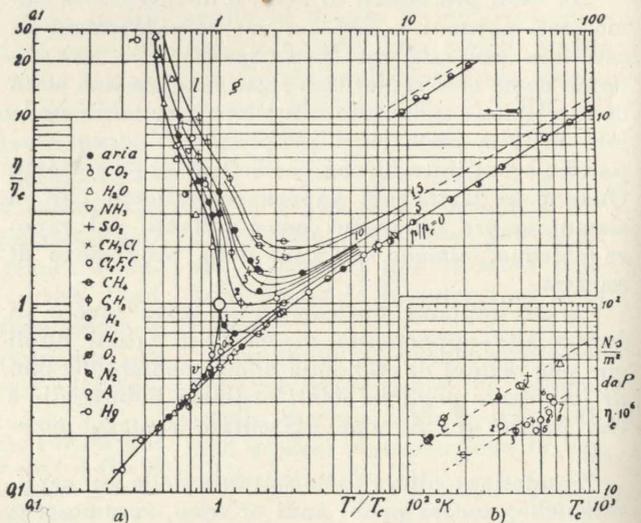


Fig. 2 a, b. Viscosità dinamica - 1 CH_4 ; 2 C_2H_6 ; 3 C_3H_8 ; 4 C_4H_{10} ; 5 C_5H_{12} ; 6 C_6H_{14} ; 7 C_7H_{16} ; 8 C_8H_{18} . (Per gli altri segni si veda la tabella inserita nella figura).

forma analoga al diagramma della conducibilità termica λ .

Qui però gli scarti dei punti sperimentali rispetto alle curve sono più notevoli nella zona del liquido.

(2) Cfr. C. CODEGONE, *Atti Accademia Scienze*, Torino, vol. 86, 1951-52, pag. 126.

Sia l'uno che l'altro dei diagrammi riportati permettono di ricavare un « ordine di grandezza » dei risultati, anche quando non si possa procedere a esperienze dirette lunghe e costose.

Si è cercato di trovare delle regole di corrispondenza anche per altri parametri.

Notiamo che gli Americani, per eliminare possibili confusioni nella simbologia, hanno unificato tutti i parametri numerici col simbolo N avente ad indice la iniziale del parametro (R per Reynolds, N per Nusselt, P per Prandtl, ecc.).

Il numero di Prandtl (grandezza adimensionale, numero puro) è ad es. espresso da

$$N_P = \frac{c_p \mu}{\lambda}$$

ed è quindi funzione delle sole caratteristiche del fluido. Per questa grandezza la ricerca di leggi di similitudine riesce però più difficile dei casi precedenti (3).

Infatti C_p al punto critico diventa infinito; d'altra parte all'altro estremo della curva limite inferiore, e cioè al punto triplo, la viscosità diventa pure idealmente infinita.

Fortunatamente per intervalli di temperatura abbastanza ampi e intermedi fra i punti precedenti si hanno andamenti sufficientemente costanti.

Trasmissione del calore dal reattore all'impianto per la produzione di energia.

La camera interna al reattore dove ha luogo la fissione del combustibile nucleare è chiamata « core » dagli americani.

In essa l'energia è prodotta con una « densità » molto grande, minore tuttavia di quella raggiunta in altre realizzazioni moderne (ad es. nelle camere di combustione dei razzi).

Il problema da risolvere è quello di trasmettere all'esterno il calore prodotto. Ci si servirà perciò di fluidi intermediari che possono essere gas, liquidi (anche metalli fusi) o vapori, tenuto conto che la temperatura del « core » è abbastanza elevata per giustificare l'impiego di metalli allo stato liquido (a basso punto di fusione).

Per quanto riguarda la scelta del fluido intermedio, le considerazioni di natura quasi strettamente economiche che la guidano negli impianti termici ordinari cedono qui il passo a considerazioni tecniche.

Qui infatti il costo, dato il carattere dell'impianto, può anche essere più elevato; d'altra parte un fluido che attraversi il reattore, oltre ad assorbire energia termica, è soggetto anche all'azione delle radiazioni e può diventare pericoloso a causa della radioattività indotta.

Occorre perciò in primo luogo tener conto delle proprietà di assorbimento delle radiazioni dei vari fluidi che si prendono in esame.

Nei reattori ordinari i neutroni vengono opportunamente rallentati fino a ridurne la velocità a

(3) Cfr. C. CODEGONE, *Atti Accademia Scienze*, Torino, vol. 86, 1951-52, pag. 324.

quella dell'ordine di grandezza delle molecole dei gas alle temperature ordinarie (circa 2000 m/sec.). Tali velocità sono molto piccole rispetto a quella con la quale essi sono generati all'atto della fissione.

I neutroni così rallentati vengono detti « lenti » od anche « termici » per l'analogia sopra spiegata con le molecole dei gas. D'altronde è noto dalla teoria cinetica degli stessi gas che la velocità media delle molecole dipende dalla temperatura assoluta.

La convenienza di avere neutroni termici è data dal fatto che essi vengono più facilmente assorbiti dai nuclei del materiale fissionabile.

Per renderci conto della radioattività indotta nei fluidi che prenderemo in esame conviene cercare il valore della sezione d'urto σ delle varie sostanze che costituiscono il fluido e precisamente della sezione d'urto di assorbimento σ_a (4) per i neutroni termici.

Ecco alcuni valori di σ_a , confrontati con quelli di alcuni metalli pure usati nei reattori.

Elemento	$\sigma_a \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$
He	0
A	1,5
N	1,8
H	0,33
O	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Hg	380
D	$0,47 \cdot 10^{-3}$
C	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Na	0,49
K	1,5
U _{nat}	7,4
B	750
Fe	2,4
Al	0,2
Zr	0,2

L'elio - He.

È il solo fluido (5) pressochè perfettamente stabile e che non assorbe neutroni. Sotto tale aspetto sarebbe quindi da considerare il fluido ideale di trasferimento del calore perchè semplifica grandemente gli impianti. Lo si può infatti inviare direttamente nelle macchine utilizzatrici alla condizione però di mantenerlo perfettamente puro e filtrato affinché non abbia a trasportare delle particelle solide che potrebbero diventare radioattive.

Esso presenta per contro degli inconvenienti:

— è un gas, e come tale ha le molecole relativamente lontane fra loro (alle pressioni ordinarie) e i coefficienti di cessione del calore sono perciò piccoli. Quando il « core » ha dimensioni molto limitate (ad es. con l'uranio arricchito) diviene difficile asportare con tale fluido tutto il calore prodotto.

(4) L'unità usata per questa grandezza è il « barn » pari a 10^{-20} m^2 , cioè a 10^{-24} cm^2 , che è l'ordine di grandezza della sezione di un nucleo di uranio. Il barn è un'area fittizia, proporzionata alle probabilità di assorbimento. È utile ricordare che il numero di Avogadro è $0,6 \cdot 10^{24}$, mentre la massa di una molecola di idrogeno vale circa $3 \cdot 10^{-24}$ grammi.

(5) Si sottintende l'isotopo ^3He , che corrisponde pressochè totalmente all'elio naturale.

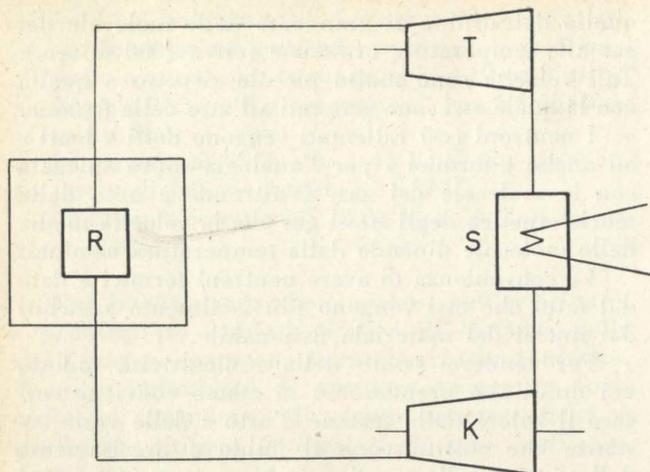


Fig. 3 - R reattore; T turbina; S raffreddatore; K compressore.

Progetti in corso di attuazione prevedono di impiegare l'elio sotto pressione (a circa 60 atm.) in circuito chiuso (Fig. 3). In tal modo se ne avvicinano sufficientemente le molecole e se ne migliora di molto il coefficiente di trasmissione del calore (fino a circa 5 kW/m²C con velocità intorno a 270 m/s) (Fig. 4).

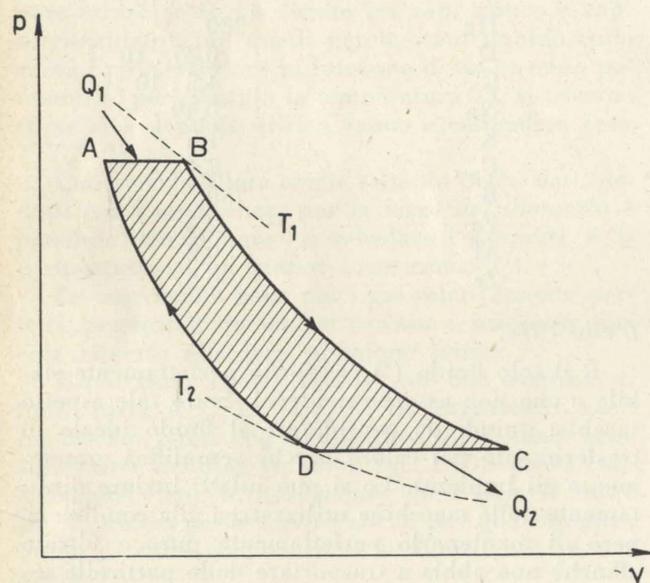


Fig. 4 - (Ciclo del Joule: AB riscaldamento; BC espansione; CD raffreddamento; DA compressione).

Un altro accorgimento inteso a consentire una più efficace asportazione del calore è quello di aumentare la velocità di circolazione. Si tenga conto però che la caduta di pressione per attrito varia col quadrato della velocità realizzata nel circuito del fluido, mentre la potenza assorbita dalle pompe cresce col cubo di tale velocità.

L'elio è inoltre un gas raro e costoso.

Concludiamo che l'elio non si può ancora impiegare nel caso generale.

Analoghi inconvenienti, a prescindere dal costo, si presentano per l'aria, (in cui è specialmente l'argon che può diventare radioattivo) e per l'ani-

dride carbonica. Quest'ultima è tuttavia preferita negli impianti inglesi ad uranio naturale per la sua facilità di approvvigionamento.

Il mercurio - Hg.

È un fluido che è già stato impiegato in centrali termiche binarie insieme col vapor d'acqua (dalla General Electric Co.). Presenta qui il grave inconveniente di un alto assorbimento dei neutroni lenti. È quindi senz'altro da scartare per i reattori termici.

Se ne preconizza l'impiego nel caso dei reattori a neutroni veloci.

L'acqua - H₂O (e suo vapore) (light water).

Il suo coefficiente di assorbimento è piccolo, ma pur sempre tale da obbligare a prendere precauzioni nei riguardi delle persone addette agli impianti di produzione dell'energia elettrica.

Il vapor d'acqua è il fluido più adatto per la produzione di grandi potenze. Ad esso si ricorre nella maggior parte dei casi, adottandolo quale fluido motore, anche quando si impiega un altro fluido per il trasferimento del calore all'esterno del reattore.

Acqua pesante - D₂O (heavy water).

Viene usata come moderatore e anche come fluido di trasferimento del calore perchè presenta un assorbimento molto minore di quello dell'acqua ordinaria e proprietà termodinamiche molto prossime ad essa.

Si tratta però di un fluido molto costoso (è presente nell'acqua comune in ragione del 0,02 %) e nocivo.

Sodio (Na) e sue miscele con il potassio (Na-K).

Tenendo conto che le miscele Na-K possono essere liquide anche alla temperatura ambiente (rendendo facile l'avviamento degli impianti), l'adozione di tale metallo o delle sue miscele è giustificata dalle seguenti caratteristiche:

- come metallo, possiede elevato coefficiente di conduzione del calore. Il raffronto degli ordini di grandezza dei coefficienti di conduzione termica è il seguente:

per i gas: alcuni centesimi di W/m.²C

liquidi: alcuni decimi di W/m.²C

metalli fusi: alcune decine di W/m.²C;

- vi è la possibilità di lavorare con temperature elevate e quindi con viscosità piccole (il che facilita lo scorrimento nei condotti);
- l'assorbimento dei neutroni termici è dello stesso ordine di grandezza di quello dell'acqua naturale e quindi non esime dal prendere precauzioni per impedire il trasferimento delle radiazioni all'esterno. D'ordinario si concatenano in serie due circuiti, dei quali solo il secondo comunica con l'evaporatore dell'impianto motore;
- il contatto fra il sodio e l'acqua dà luogo ad una violenta reazione e va evitato. Per tale motivo

gli scambiatori relativi comprendono, fra sodio e acqua, uno strato intermedio di mercurio.

La parte sinistra della Fig. 5 rappresenta il circuito a Na-K di un impianto per produzione di

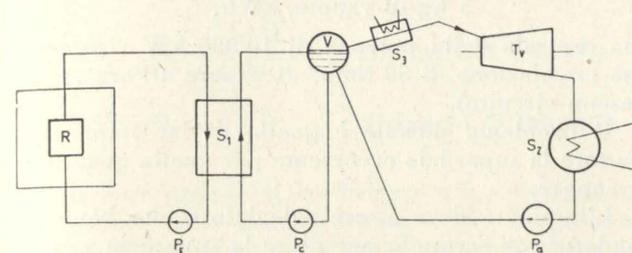


Fig. 5 - Impianto a Na-K e vapor d'acqua: R reattore; S₁ scambiatore (Na-K)—H₂O con l'intermediario Hg; P₁ pompa Na-K; P₂ pompa H₂O; V serbatoio acqua-vapore; S₂ surriscaldatore; T_v turbina a vapore; S₃ condensatore; P_a pompa del condensato.

energia. In realtà si concatenano due di questi circuiti prima della parte a vapore, e ciò per motivi di sicurezza.

Comportamento dei fluidi che trasmettono il calore dall'interno all'esterno del reattore.

Abbiamo visto che per portare all'esterno il calore prodotto nel reattore si può impiegare un gas (elio) oppure dei liquidi, tra cui alcuni metalli fusi, vantaggiosi per la loro grande conduttività termica.

Si è anche visto che, ad eccezione dell'impianto con elio, è necessario studiare l'installazione mediante stadi successivi di trasferimento del calore, per evitare pericoli derivanti dal trasferimento di sostanze radioattive nei circuiti esterni di utilizzazione (si ricordi al riguardo la tabella delle sezioni d'urto per assorbimento). I salti successivi di utilizzazione consentono di portare nelle macchine utilizzatrici un fluido nel quale la radioattività si sia abbassata a livelli di soglia compatibili con la sicurezza del personale.

Ne derivano complicazioni costruttive e di regolazione (queste ultime rivelantisi quando l'impianto deve lavorare a regimi diversi dal normale).

Studio del comportamento del vapor d'acqua come fluido vettore.

Il vapor d'acqua è il fluido meglio conosciuto in tutte le sue fasi e caratteristiche nei riguardi delle proprietà termodinamiche. Il ciclo termodinamico adottato si avvicina a quello classico del Rankine (v. Fig. 6).

Volendolo utilizzare come fluido vettore del calore prodotto nel « core » verso l'esterno, consideriamolo dapprima allo stato liquido: è noto il coefficiente di trasmissione del calore nel caso dell'acqua. Sovente nel reattore le condizioni sono tali da iniziare l'evaporazione: la miscela di liquido e di vapore saturo così ottenuta ha un coefficiente di cessione del calore all'incirca decuplicato rispetto a quello dell'acqua liquida; si ridurranno quindi in proporzione le superfici occorrenti per trasmettere la stessa quantità di calore.

Poichè nel reattore la « densità » di energia prodotta è notevole e lo spazio a disposizione non è

rilevante, occorre considerarlo come un generatore di vapore del tutto speciale.

Nelle camere di combustione ordinarie la trasmissione del calore avviene anche per conduzione e convezione, ma la maggior parte dell'energia termica viene trasmessa ai tubi percorsi dal fluido intermedio per irradiazione (all'incirca in proporzione alla 4^a potenza della temperatura assoluta).

Nel reattore, per questioni tecnologiche, non possiamo oggi raggiungere temperature troppo elevate.

In esso troveremo perciò nella parte inferiore l'acqua allo stato liquido, poi, nella parte superiore, vi sarà l'emulsione liquido-vapore (quella che ha coeff. di trasmissione più elevato), e al di sopra, ma già fuori del reattore, il vapore. Tale disposizione è opportuna essendo il coefficiente di trasmissione del calore per il vapore secco molto basso.

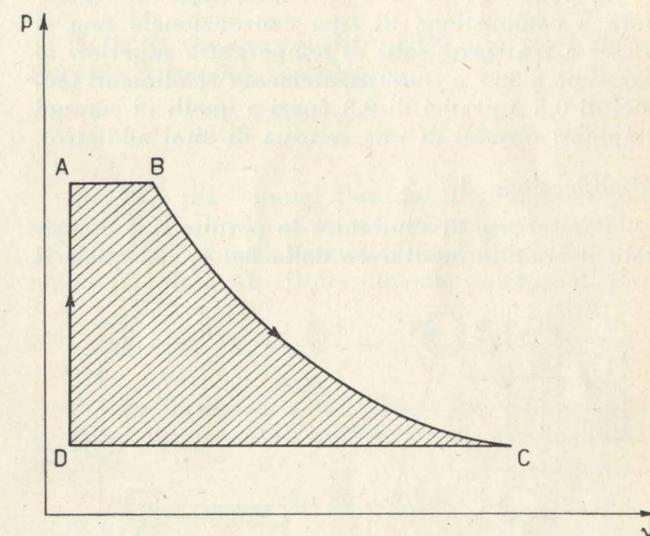


Fig. 6 - (Ciclo del Rankine: DA compressione; AB riscaldamento ed evaporazione; BC espansione; CD condensazione).

L'acqua è contenuta entro superfici metalliche di forma opportuna in acciaio inossidabile e viene protetta per quanto possibile dalle radiazioni.

Il circuito del fluido vettore è autonomo, con funzione di volano termico (per ottenere facilità di regolazione, come già si è visto).

L'insieme del reattore e di tutto il circuito del fluido vettore è schermato e contenuto in recipienti (talvolta sferici) di acciaio a tenuta ermetica, per premunirsi anche contro l'eventualità di perdite o fughe di vapore o scoppi dell'impianto (per tale motivo il collaudo del recipiente di protezione è compiuto a pressioni più elevate di quelle di esercizio).

Il circuito principale (fluido vettore) si fa funzionare a circa 70 atm. (1000 pounds per square inch) (psia = absolute, psig = at gage, cioè al manometro) e con temperature di 300°C circa.

Il circuito secondario è indipendente e scrupolosamente protetto. Per quanto si faccia esso sarà sempre percorso da fluidi radioattivi, ma si cerca di fare in modo che essi non risultino pericolosi (vedi fig. 7).

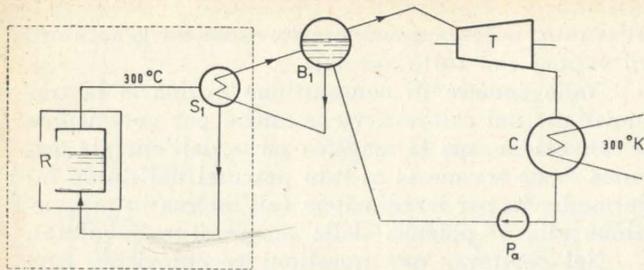


Fig. 7 - R reattore; S₁ scambiatore termico; B₁ serbatoio di acqua e vapore; T turbina; C condensatore; P_a pompa del condensato.

Si cerca di accrescere il rendimento con vari accorgimenti (isolamento termico, rigeneratori di calore, eventualmente alimentati da fonti esterne convenzionali) cercando di avvicinare la forma del ciclo a quella del Carnot.

Sappiamo però che il rendimento è limitato dalle temperature assolute estreme.

Si vede che se non si adotta un surriscaldatore a combustione di tipo convenzionale non si riesce a realizzare salti di temperatura superiori al massimo a 300° e conseguentemente rendimenti teorici di 0,5 e pratici di 0,3 (pari a quelli di comuni impianti termici di una ventina di anni addietro).

Modificazione A.

Per cercare di diminuire le perdite si è escogitato il circuito modificato della fig. 8, nel quale il

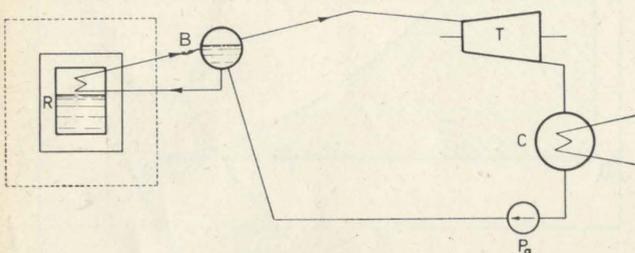


Fig. 8 - R reattore; B serbatoio di acqua e vapore; T turbina; C condensatore; P_a pompa del condensato.

fluido vettore (acqua e suo vapore) compie tutto il ciclo di evaporazione e di condensazione nell'interno del reattore.

È evidente però il maggior pericolo di emissione di radiazioni dal circuito esterno e le maggiori cure che dovranno essere poste perchè lo stesso circuito esterno sia perfettamente stagno.

Modificazione B.

Con essa il circuito esterno risulta maggiormente protetto, mentre i due primi circuiti sono entrambi schermati (fig. 9).

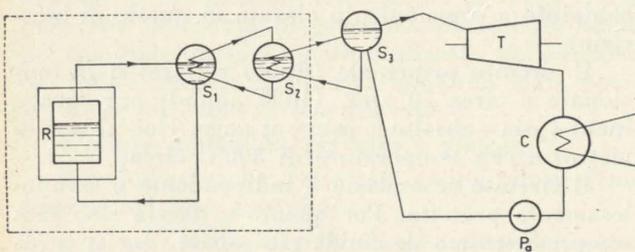


Fig. 9 - R reattore; S₁ primo serbatoio di acqua e vapore; S₂ secondo serbatoio di acqua e vapore; S₃ terzo serbatoio di acqua e vapore; T turbina a vapore; C condensatore; P_a pompa del condensato.

Quantità di vapore in circolazione.

Tenuto conto che, in prima approssimazione, il consumo di vapore risulta abbastanza elevato e cioè dell'ordine di

$$5 \text{ kg di vapore/kWh,}$$

una centrale della potenza di 10.000 kW richiede una circolazione di 50 tonn. di vapore all'ora (per ciascun circuito).

Il problema difficile è quello di far stare nel reattore la superficie occorrente per quella quantità di vapore.

L'impianto deve essere calcolato molto bene e condotto con scrupolo perchè se la superficie viene a diminuire si ha subito una corrispondente pericolosa elevazione nella temperatura.

Le 50 tonn. di vapore debbono circolare in ciascun circuito e ciò significa che occorrerà prevedere tutta la necessaria apparecchiatura per l'alimentazione e la regolazione.

Allo stato attuale della tecnica però questo non è un problema insormontabile; la difficoltà maggiore consiste come si è detto nel realizzare sufficienti superfici di trasmissione nel reattore.

Calcolo delle superfici.

La teoria della similitudine è correntemente impiegata per il calcolo numerico delle superfici di trasmissione del calore.

Esaminiamo un caso concreto di applicazione della teoria.

In molti reattori nucleari i fluidi refrigeranti sono fatti circolare nel « core » del reattore dentro tubi cilindrici o nell'intercapedine compresa fra una barra (di uranio convenientemente rivestito da uno strato protettivo) e un tubo esterno.

Esaminiamo la trasmissione del calore generato dalla barra (nel secondo caso) o proveniente dalle pareti del tubo (primo caso) verso il fluido.

D'ordinario si tratta di circolazione forzata. Il fluido viene infatti spinto attraverso il tubo o nella suddetta intercapedine con notevole velocità da apposite pompe essendo il circuito schermato per motivi di sicurezza.

I parametri della convezione forzata sono i seguenti (si adottano gli stessi simboli dei testi americani):

v = velocità del fluido (da non confondere con il volume specifico);

D = diametro della superficie efficiente per lo scambio (D_o se diametro esterno [outer] e D_i se diametro interno [inner]);

k = coeff. di conduzione del calore (il nostro λ);

μ = viscosità dinamica (ordinaria);

c = calore specifico (per gas o vapori, quello a pressione cost.);

ρ = massa specifica;

h = coefficiente di convezione termica.

Se i tubi non sono molto lunghi si tien conto anche della lunghezza dei tubi stessi in quanto nel tratto d'ingresso il regime è diverso da quello esistente nel rimanente del tubo.

I sette parametri sopra citati hanno equazioni dimensionali in funzione di M, L, T, θ (e cioè nell'ordine: massa, lunghezza, tempo, temperatura).

Si possono quindi definire $(7-4)=3$ parametri adimensionali che legano i sette sopra citati:

$$Re = N_R = \frac{v D \rho}{\mu} \quad (\text{numero di Reynolds})$$

$$Nu = N_N = \frac{h D}{k} \quad (\text{numero di Nusselt})$$

$$Pr = N_P = \frac{c \mu}{k} \quad (\text{Numero di Prandtl})$$

In esse appare il coefficiente « h » di cessione del calore dalla parete, legato a ciò che avviene nello strato aderente alla parete (e perciò detto dagli Americani « film coefficient »).

Riportando questi parametri su di un grafico logaritmico per date condizioni sperimentali e per un certo fluido si ottiene, come andamento medio dei punti, una linea rappresentabile con semplici funzioni algebriche (v. Fig. 10).

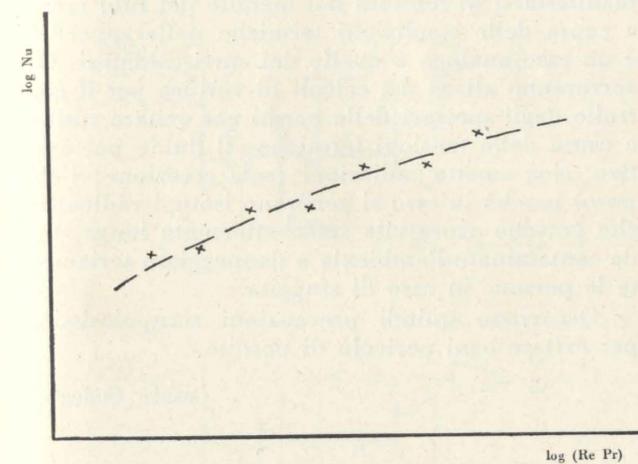


Fig. 10

L'esperienza fatta con altri fluidi, in diverse condizioni di trasmissione, ha confermato l'andamento della funzione che lega i suddetti parametri.

Il caso che ci interessa è quello del tubo cilindrico in regime turbolento.

Si trova allora che la funzione è la seguente:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

cioè

$$\log Nu = \log 0,023 + 0,8 \log Re + 0,4 \log Pr$$

La legge ora scritta è valida per gas e vapori ed anche per liquidi purchè non costituiti da metalli fusi.

Questi ultimi (mercurio, sodio e sue leghe col potassio) sono da considerare a parte perchè in essi la conduttività termica ha molto maggiore influenza che negli altri casi.

Per i metalli liquidi infatti vale la legge seguente:

$$Nu = 7 + 0,025 (Re \cdot Pr)^{0,8}$$

Poichè spesso si considera il prodotto $Re \cdot Pr$, da vari Autori si denomina tale prodotto come « numero di Peclet »:

$$Pe = Re \cdot Pr$$

Sviluppamo ora un esempio numerico:

Si abbia un reattore nell'interno del quale scorra la lega Na-K come fluido refrigerante, e precisamente la lega 55%K che è liquida a temperatura ordinaria. I dati del problema, espressi nelle unità di misura del sistema Giorgi, siano i seguenti:

$$D = 1'' = \text{cm } 2,54 = \text{m } 0,025$$

$$v = 20 \text{ ft/sec.} \cong 6 \text{ m/sec.}$$

$$k = 27,7 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0,0205 \text{ decapoise (Newton. sec./m}^2)$$

$$c_p = 0,25 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} = 1050$$

$$\text{Joule/kg.}^\circ\text{C (circa uguale a quello dell'aria)}$$

$$\rho = 775 \text{ kg/m}^3 \text{ (per temperature intorno ai } 400^\circ\text{C).}$$

$$Re = \frac{6 \cdot 0,025 \cdot 775}{0,02} = 5800 \sim (\text{numero puro}).$$

Notiamo che essendo $Re \gg 2000$ ci si trova decisamente in regime turbolento.

$$Pr = \frac{1050 \cdot 0,02}{27,7} = 0,78$$

Nei casi più comuni l'ordine di grandezza del numero di Prandtl è di circa 1; quando esso è molto prossimo all'unità la formula si semplifica ulteriormente ed allora Nu risulta funzione soltanto di Re .

$$Pe = Re \cdot Pr = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \cdot \frac{c \mu}{k} = \frac{v D \rho c}{k}$$

È tolta di mezzo la viscosità, e ciò è in accordo col fatto che prevale l'influenza della conducibilità termica.

$$Pe = 0,025 \frac{6 \cdot 775 \cdot 1050}{27,7} \cong 4600$$

Dalla legge relativa ai metalli liquidi:

$$Nu = 7 + 0,025 (4600)^{0,8} \cong 28$$

possiamo allora ricavare il coefficiente h :

$$h = \frac{Nu k}{D} = 28 \frac{27,7}{0,025} \cong 30700 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\cong 30 \text{ kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

(nei liquidi ordinari il valore di h si aggira intorno a 1/100 di questo).

Il problema pratico presenta varie difficoltà: il fluido Na-K deve scorrere nei tubi senza attaccarli o corroderli; per questo scopo si è impiegato con successo l'acciaio inossidabile e lo zirconio; occorre evitare in modo assoluto ogni pericolo di fuga e contatti con l' H_2O ; perciò, come si è già detto, negli scambiatori di calore si mette un fluido intermedio fra la lega Na-K e l'acqua, d'ordinario il mercurio.

Vediamo quanto calore porta via ogni metro di tubo:

$$\pi D = 0,078 \text{ m}^2 \text{ è la superficie interna;}$$

$$30 \cdot 0,078 = 2,34 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

In un reattore di potenza si può pensare di avere tubi della lunghezza di $3 \div 4$ m, capaci di asportare 10 kW per ciascuno, qualora il salto termico sia di 1°C . Si può peraltro contare su differenze di temperatura dell'ordine di 10°C .

Con un centinaio di tubi si otterrà una potenza termica già apprezzabile (che poi occorrerà moltiplicare per il rendimento termodinamico dell'impianto e per quello meccanico delle macchine motrici per avere la potenza fornita al generatore elettrico). Su 10.000 kW di potenza elettrica che si vuole ottenere bisogna disporre di una potenza termica da 40 a 50.000 kW.

Occorre poi vedere come si propaghi il calore nell'interno del reattore per poter stabilire la differenza di temperatura alla quale i tubi vengono a lavorare.

A grandi linee si procede così: si stabilisce la temperatura massima a cui può essere assoggettata la massa generatrice dell'energia termica (e ciò in dipendenza della natura della parte essenziale del reattore; si pensa di poterla spingere anche fino a 1000°C per l'ossido di uranio).

Se si tratta di sbarre di uranio metallico tale temperatura dovrà essere inferiore a 660°C , temperatura di transizione fra $U\alpha$ ed $U\beta$.

Per le soluzioni di sali di uranio si debbono rispettare limiti ancora minori di questo.

La geometria del reattore mette in evidenza gli assi dove si verifica la maggior temperatura. Si studia quindi l'andamento delle isoterme, indi la temperatura della superficie di trasmissione; poi si fissa la temperatura di ingresso e quella di uscita del fluido e si ottiene il salto medio di temperatura fra superficie metallica e fluido.

È un problema complesso: si tratta della propagazione in un mezzo nel quale è generata l'energia termica: ogni elemento di volume che è attraversato dal calore aggiunge esso stesso qualcosa al flusso medesimo.

In certi casi si può ritenere che la generazione interna sia uniformemente ripartita (come nel caso delle barre lunghe di uranio di piccolo diametro e con adatti riflettori); in altri casi la uniformità della generazione interna del calore non può essere accettata.

Si ricorre allora alla supposizione, molto verosimile in realtà, che la distribuzione spaziale interna del calore sia prossima a quella del flusso di neutroni che produce la fissione (e per quest'ultime teorie e leggi analitiche sono già note).

In taluni casi si ha la possibilità di giungere direttamente a risultati numerici, in casi meno favorevoli si ricorre a procedimenti grafici.

Complicazioni costruttive sono introdotte dal manifestarsi di tensioni nel metallo dei tubi create a causa delle condizioni termiche delle superfici: è un caso analogo a quello dei surriscaldatori. Occorreranno allora dei calcoli di verifica per il controllo degli spessori delle pareti per evitare rotture a causa delle tensioni termiche. Il fluido poi è attivo, cioè emette radiazioni (sola eccezione: l'elio puro) perchè in esso si generano isotopi radioattivi che possono avere vita sufficientemente lunga, tale da contaminare l'ambiente e danneggiare seriamente le persone in caso di sfuggita.

Occorrono quindi precauzioni scrupolosissime per evitare ogni pericolo di perdite.

Cesare Codegone

Il turboreattore a doppio flusso

Influenza delle condizioni di volo sulle prestazioni

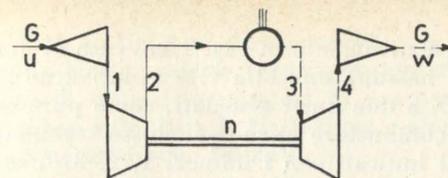
FEDERICO FILIPPI, continuando lo studio delle prestazioni del turboreattore a doppio flusso, esamina il comportamento di una data macchina al variare delle condizioni di volo, velocità e quota, confrontandone le prestazioni con quelle dell'equivalente turboreattore semplice. Vengono inoltre passate in rassegna le diverse organizzazioni meccaniche possibili concludendosi che la migliore dal punto di vista del funzionamento in condizioni diverse da quelle di progetto è quella a due alberi indipendenti ed unico compressore a bassa pressione per i due flussi. È fatto particolare riferimento al caso del turboreattore a due flussi distinti.

1. - In due note precedenti (*) sono state esaminate le prestazioni in condizioni di progetto dei diversi tipi possibili di turboreattori a due flussi, sia distinti che associati, e si è dimostrato come per ogni quota e velocità di volo esista un valore ben definito dei parametri caratteristici che rende massimo il rendimento globale della macchina. Tali parametri caratteristici sono, oltre al lavoro specifico di compressione: L_c , e la temperatura di ammissione in turbina: T_3 , i rapporti X tra la portata G (in peso) d'aria che percorre il flusso principale e quella globale $G+G'$, ed Y tra il lavoro specifico di compressione L_{c2} eseguito sul solo flusso principale ed L_c .

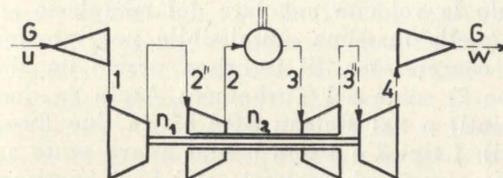
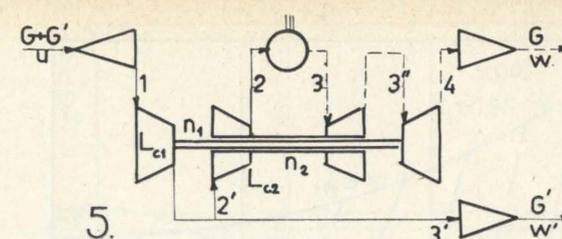
Per i simboli relativi alle altre grandezze che si incontreranno in seguito rimandiamo all'esame della Fig. 1, tenendo presente che in ogni caso quelle relative al flusso secondario saranno contraddistinte con un apice.

Ci si propone ora di studiare il comportamento di un dato turboreattore a doppio flusso, progettato per una certa quota z ed una certa velocità di volo u , al variare di tali condizioni esterne: per far que-

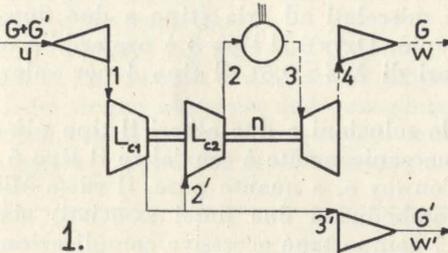
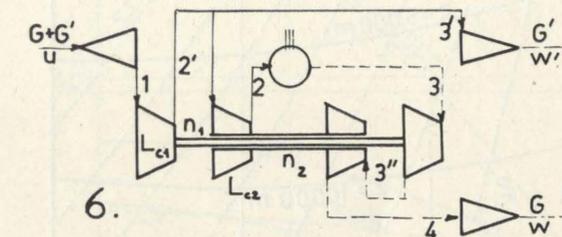
(*) Il turboreattore a doppio flusso: Impostazione dei calcoli e scelta dei parametri caratteristici, « Atti e Rassegna Tecnica », n. 7, luglio 1955; Scelta dei parametri caratteristici, « Atti e Rassegna Tecnica », n. 8, agosto 1955.



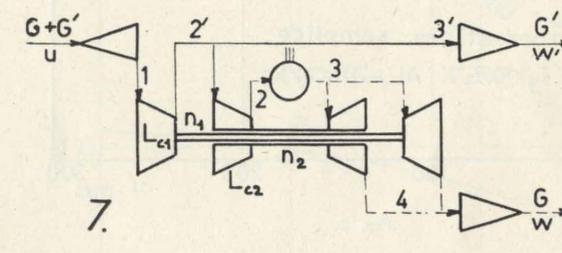
Turboreattore semplice



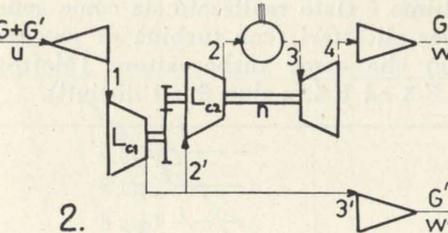
TR a due alberi



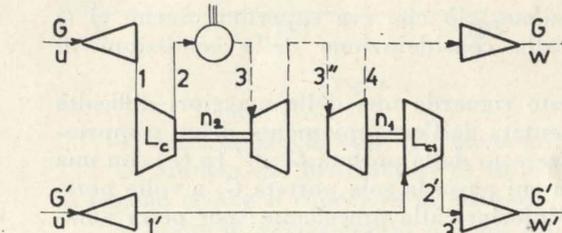
1.



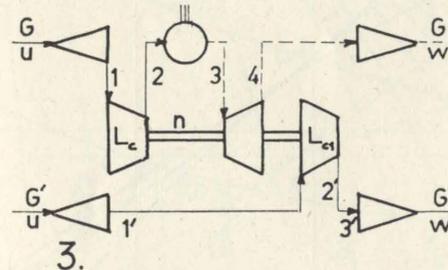
7.



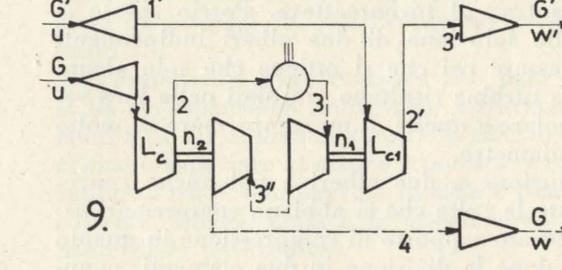
2.



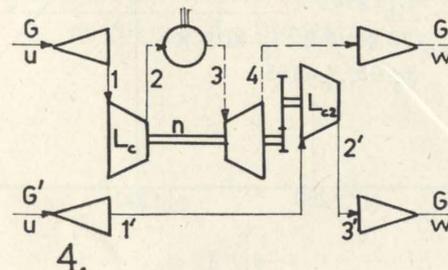
8.



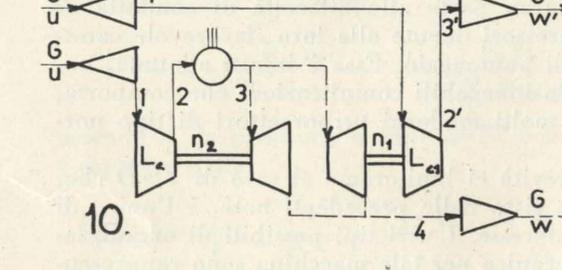
3.



9.



4.



10.

Fig. 1.

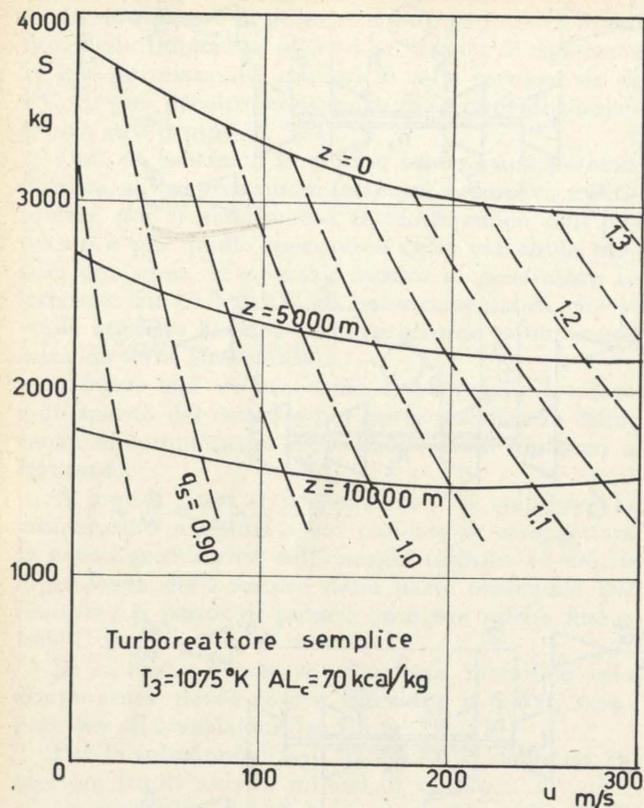


Fig. 2.

sto è quindi necessario definire l'organizzazione meccanica della macchina stessa ed il suo sistema di regolazione, ciò che era superfluo finché ci si limitava alla considerazione delle condizioni di progetto.

A questo riguardo una delle maggiori difficoltà è rappresentata dall'accoppiamento di un compressore attraversato dalla portata $G + G'$ (o G') con una turbina in cui passa la sola portata G , a volte notevolmente inferiore alla precedente: per poter adottare per ciascuna turbomacchina la velocità angolare più opportuna è necessario interporre tra turbina e compressore un riduttore che però complica ed appesantisce il turboreattore. Perciò spesso si ricorre alla soluzione di due alberi indipendenti di compressore col che si ottiene che solo alcuni stadi della turbina risultano vincolati nella loro velocità angolare a quella di un compressore di molto maggior diametro.

La soluzione a due alberi è poi anche conveniente tutte le volte che si abbiano compressori assiali ad elevato rapporto di compressione in quanto permettendone la divisione in due elementi, ognuno con la velocità angolare che più gli conviene, ovvia in gran parte alle difficoltà di condotta di tali compressori dovute alla loro sfavorevole caratteristica di pompaggio. Essa è infatti adottata, nonostante le innegabili complicazioni che comporta, anche in molti moderni turboreattori di tipo normale.

Per brevità ci limiteremo al caso di $Y > 0$ che, come si è visto nelle precedenti note, è l'unico di pratico interesse. I vari tipi possibili di organizzazione meccanica per tale macchina sono rappresen-

tati schematicamente in Fig. 1 nel caso di due flussi distinti; nessuna difficoltà vi è a derivarne gli analoghi tipi a due flussi associati, come pure ad inserire un combustore anche sul flusso secondario.

I tipi indicati con i numeri 1, 2, 3, 4 se, come logico, si ammette $T_1 = T'_1$, agli effetti della presente trattazione si equivalgono dal punto di vista termodinamico. La soluzione 1 non è mai stata adottata in pratica perché esigerebbe un numero eccessivo di stadi di compressore e di turbina, essendo la velocità angolare del complesso stabilita da quella massima ammissibile per i primi stadi del compressore. Si inserisce perciò un riduttore (tipo 2) come nel Turboméca Aspin (a due flussi distinti) o nel Rateau SRA-65 (a due flussi associati). I tipi 3 e 4 non hanno finora avuto applicazione come turboreattori: essi però corrispondono termodinamicamente ai generatori di gas per la propulsione di elicotteri « a reazione » con effusori posti all'estremità delle pale: o con aria compressa (tipo a due flussi distinti) o con prodotti della combustione miscelati ad aria (tipo a due flussi associati: Napier Oryx). Il tipo 3 è preferibile per elevati valori di X ($> 0,5$), il tipo 4 per valori inferiori.

Tra le soluzioni a due alberi il tipo più conveniente meccanicamente è senz'altro il tipo 5 (Rolls Royce Conway e, a quanto pare, il russo Mikhulin M.109, ambedue a due flussi associati) giacché i tipi 6 e 7 comportano eccessive complicazioni nella disposizione dei condotti dei gas, come del resto avviene per i tipi 9 e 10 in confronto al tipo 8. Quest'ultimo è stato realizzato sia come generatore di gas per elicotteri (con turbina di potenza indipendente) che come turboreattore (Metropolitan Vickers F-3 ed F-5, a due flussi distinti).

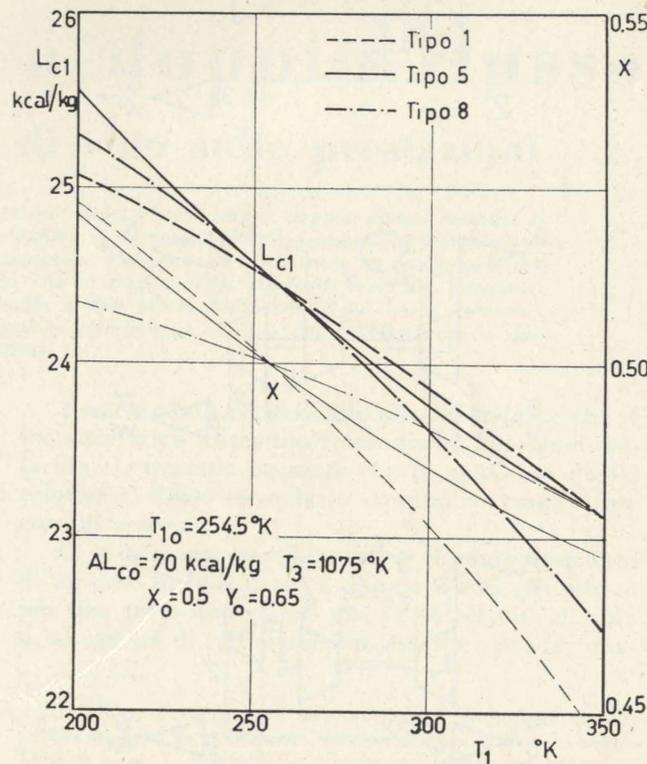


Fig. 3.

Del resto tutti i tipi di turboreattori a doppio flusso considerati possono essere considerati anche dal punto di vista di generatori di gas per elicotteri e per essi vale tutta la trattazione eseguita, con le opportune modifiche formali.

2. - Sempre per brevità ci limiteremo a considerare i turboreattori a due flussi distinti; qualitativamente però i risultati valgono anche per quelli a due flussi associati.

Una volta fissata la configurazione della macchina, cioè i valori di L_c , T_3 , X , Y o L_{c1} e G , nelle condizioni di progetto, ci interessa determinare sia le variazioni di tale configurazione al variare di u e z sia quelle corrispondenti alla spinta S e del consumo specifico della spinta q_s (o del rendimento globale). Inoltre occorre prestare particolare attenzione alle variazioni dei coefficienti di portata φ dei compressori (direttamente proporzionali alla portata in volume all'aspirazione e inversamente alla velocità angolare) ed al numero di giri dei diversi alberi per tenere conto delle limitazioni aerodinamiche e meccaniche.

Una trattazione rigorosa del problema presupporrebbe la conoscenza delle caratteristiche sperimentali dei singoli elementi della macchina, tuttavia per un esame generale si possono ammettere, senza scostarsi troppo dal vero, le seguenti ipotesi:

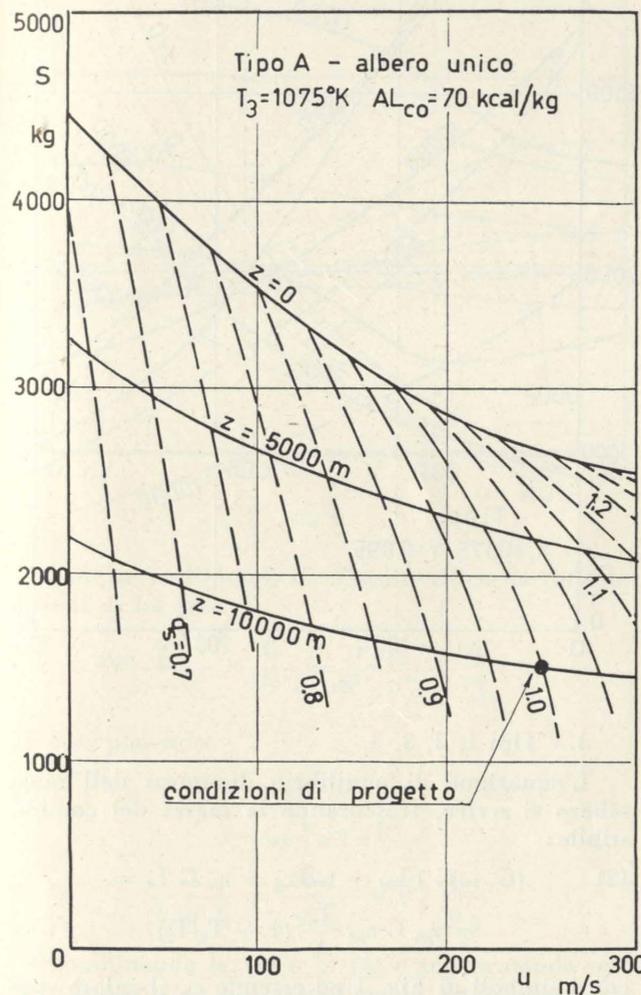


Fig. 4.

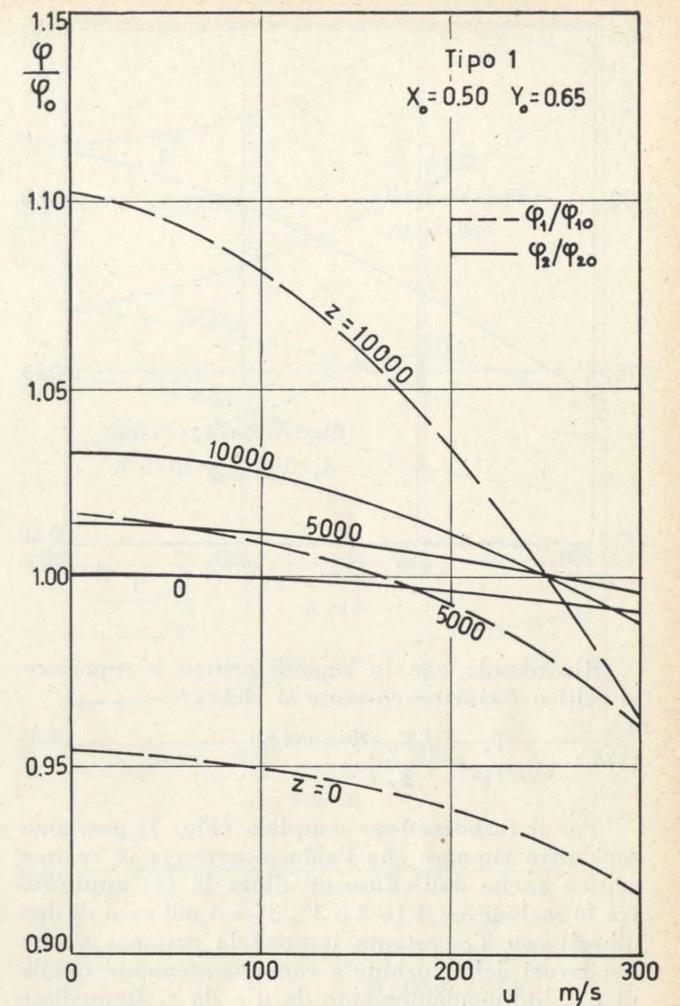


Fig. 5.

- a) rendimento di tutti gli elementi costante;
- b) efflusso dai distributori di tutte le turbine in regime critico o superiore al critico;
- c) legge di variazione di L_c con il numero di giri n identica per tutti i compressori.

Si ammette inoltre che la regolazione interna della macchina sia tale da mantenere tutte le sezioni di passaggio e, salvo contrario avviso, T_3 costanti.

Premettiamo l'osservazione che ogni qualvolta si ha un'espansione politropica attraverso due sezioni F_a e F_b di area costante con efflusso in regime critico o superiore al critico e portata G costante, il rapporto tra le temperature iniziale e finale rimane costante. Infatti, detta p la pressione ed m l'esponente della politropica:

$$\frac{p_a}{p_b} = \left(\frac{T_a}{T_b} \right)^{m/(m-1)}$$

$$G = \frac{F_a p_a}{\sqrt{T_a} f(p_a/p_b)} = \frac{F_b p_b}{\sqrt{T_b} f(p_b/p_a)}$$

essendo p_c la pressione a valle di F_b e la funzione f espressa dalla:

$$f(p_a/p_b) = \sqrt{2g \frac{m}{m-1} \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{2/m} - \left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{(m+1)/m} \right]}$$

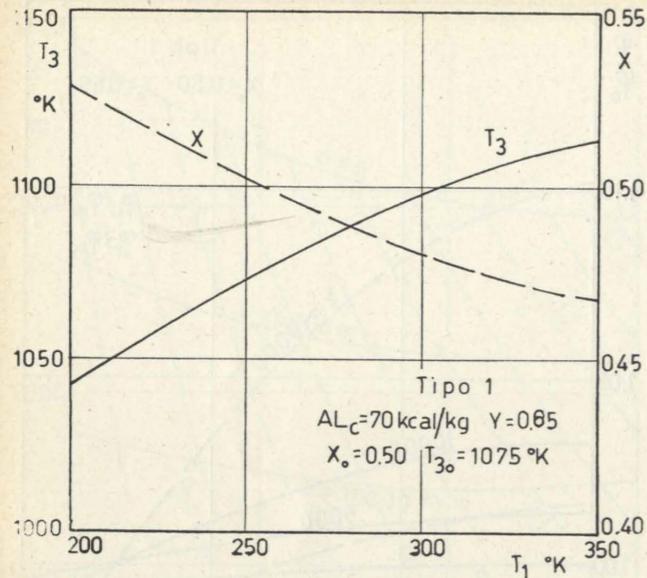


Fig. 6.

Ricordando che in regime critico o superiore al critico f rimane costante si ricava:

$$(1) \quad \frac{T_a}{T_b} = \left(\frac{F_b}{F_a} \right)^{\frac{2(m-1)}{m+1}} = \text{cost.}$$

Per il turboreattore semplice (Fig. 1) possiamo senz'altro ritenere che l'efflusso avvenga in regime critico anche dall'effusore; allora la (1) applicata tra le sezioni 3 e 4 (o 3 e 3'', 3'' e 4 nel caso di due alberi) con T_3 costante impone la costanza anche dei lavori delle turbine e conseguentemente quella di L_c , indipendentemente da u e da z . Immediato risulta quindi il calcolo delle prestazioni al variare di tali parametri i cui risultati sono presentati in

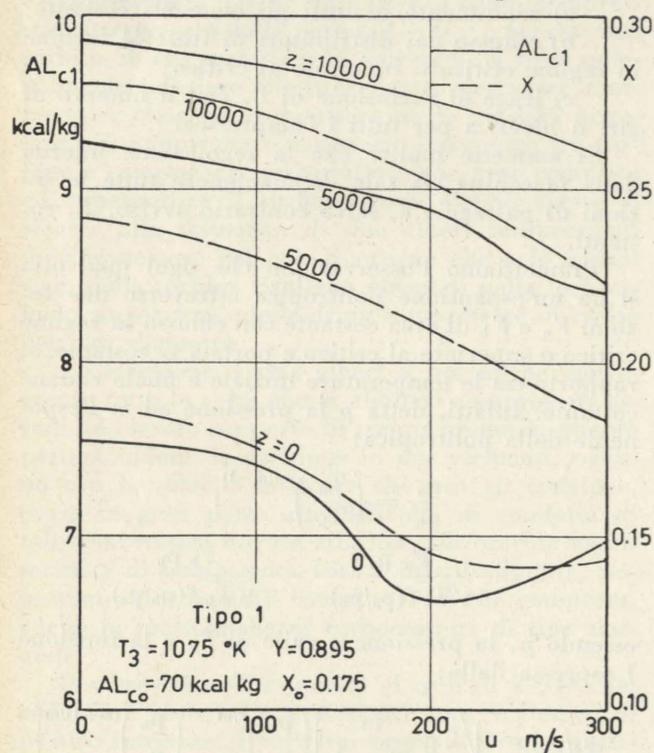


Fig. 7.

Fig. 2 per un turboreattore, assunto come termine di confronto, avente:

$$AL_c = 70 \text{ kcal/kg}; \quad T_3 = 1075 \text{ °K};$$

rendimento idraulico del diffusore $\eta_{yd} = 0.90$; del compressore, della turbina, dell'effusore $\eta_{ye} = \eta_{yt} = \eta_{ye} = 0.88$;

rendimento del combustore $\eta_b = 0.95$; pneumatico del combustore $\eta_{\pi b} = 0.97$; rendimento meccanico $\eta_m = 0.98$;

potere calorifico del combustibile = 10000 kcal/kg:

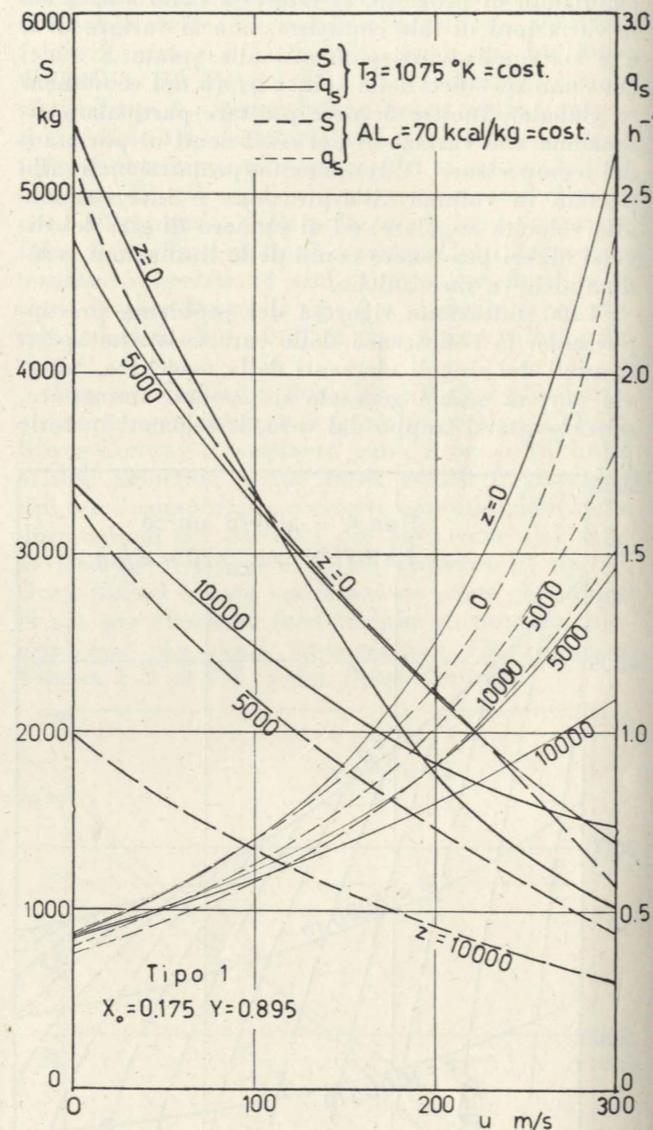


Fig. 8.

3. - Tipi 1, 2, 3, 4.

L'equazione di equilibrio dinamico dell'unico albero si scrive, trascurando la massa del combustibile:

$$(2) \quad (G + G') L_{c1} + G L_{c2} = \eta_m G L_t = \eta_m G c_{pt} \frac{T_3}{A} (1 - T_4/T_3)$$

con i simboli di Fig. 1 ed essendo c_p il calore specifico medio. Nell'ipotesi di T_3 costante ed efflusso

dagli effusori in regime critico L_t è costante per la (1) e dalla (2) si ricava, indicando con l'indice zero le grandezze corrispondenti alle condizioni di progetto:

$$(3) \quad \frac{L_{c1}}{X} + L_{c2} = \frac{L_{c10}}{X_0} + L_{c20}$$

D'altra parte per l'ipotesi c) prima posta è pure:

$$(4) \quad \frac{L_{c20}}{L_{c10}} = \frac{L_{c2}}{L_{c1}} = K_L$$

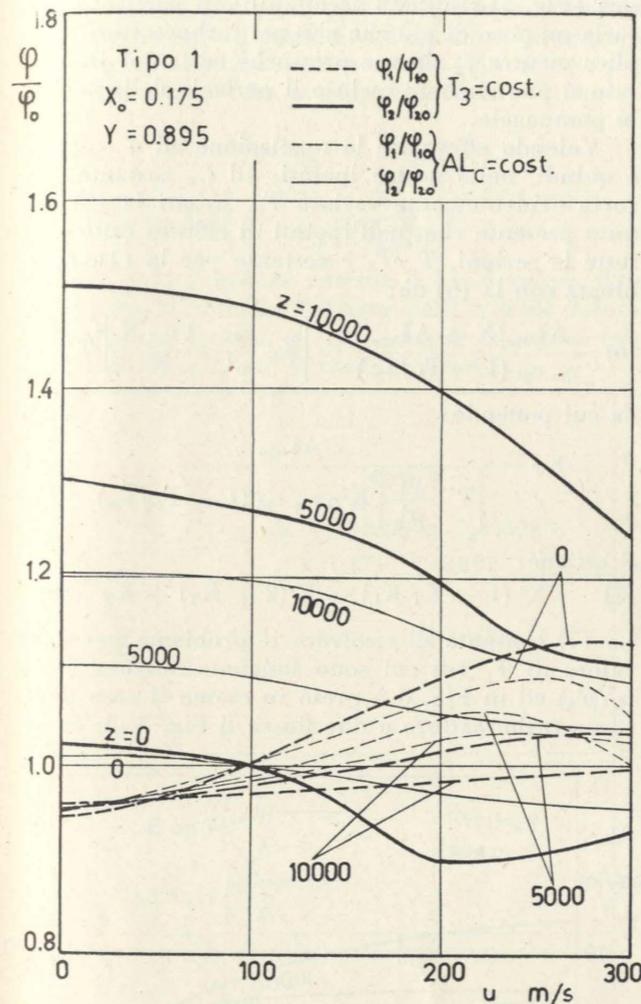


Fig. 9.

Sempre nell'ipotesi di efflusso critico da tutte le sezioni si ha poi:

$$\frac{X}{1-X} = \frac{G}{G'} = \frac{F_3 p_3}{F'_3 p'_3} \sqrt{\frac{T'_3}{T_3}}$$

da cui, ponendo:

$$(5) \quad T'_3 = T'_2; \quad p'_3 = \eta'_\pi p'_2; \quad K_C = \eta_{\pi b} F_3 / \eta'_\pi F'_3$$

$$(5) \quad \frac{X}{1-X} = \frac{K_C}{\sqrt{T_3}} \sqrt{T'_2} \frac{p_2}{p'_2}$$

Combinando la (3) e la (4) e trasformando opportunamente la (5) si ottiene in definitiva il sistema:

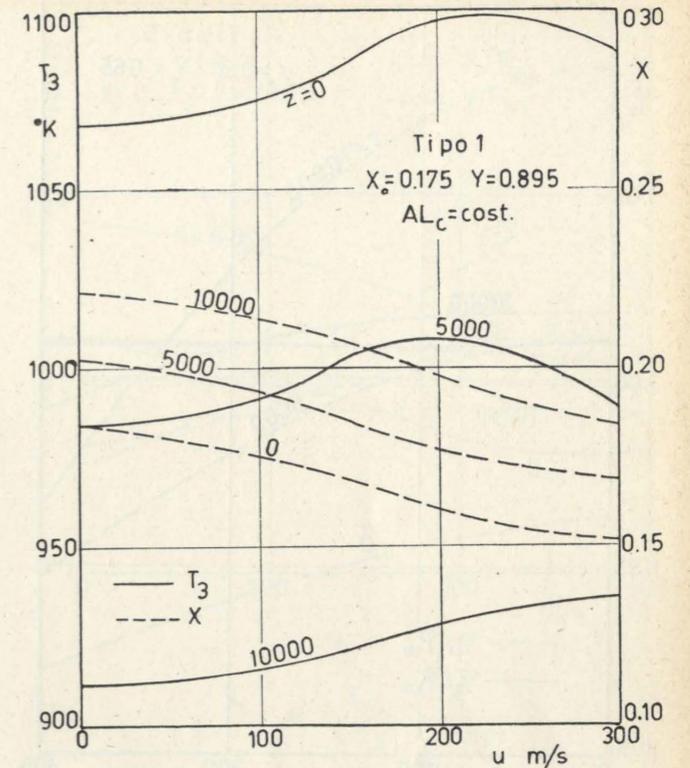


Fig. 10.

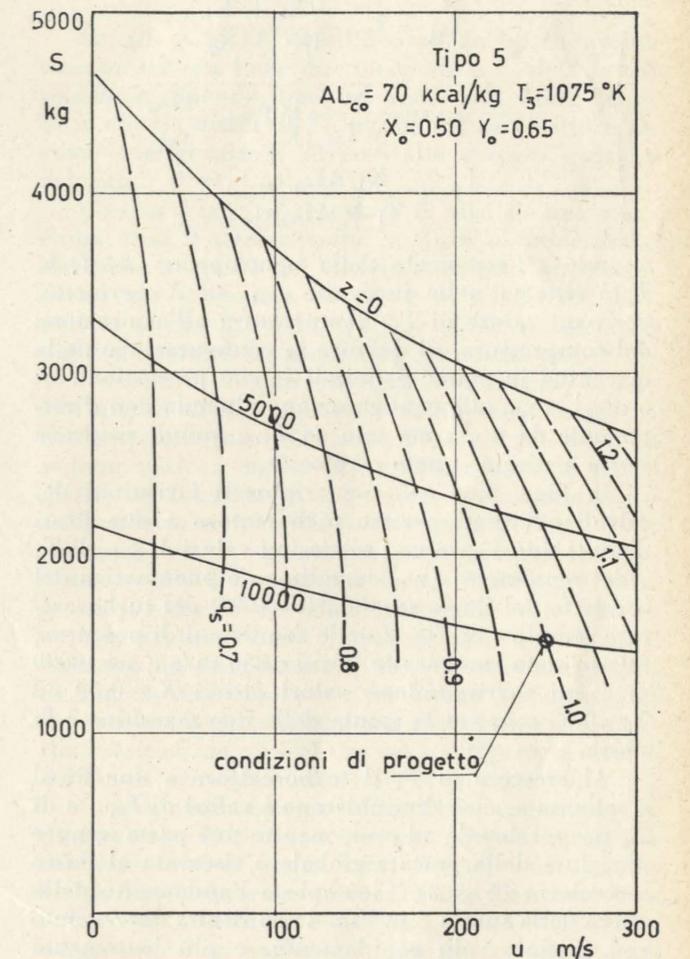


Fig. 11.

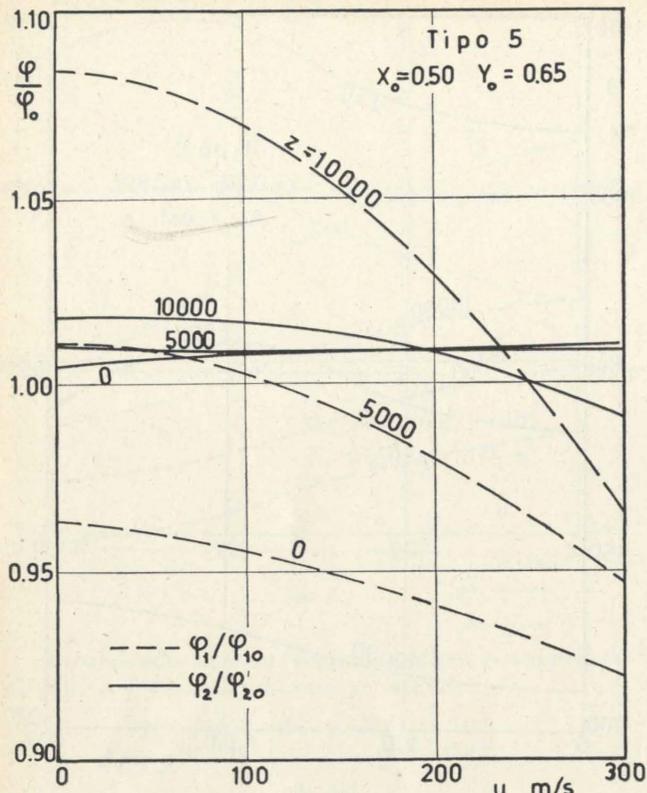


Fig. 12.

$$L_{c1} = L_{c10} \frac{1/X_0 + K_L}{1/X + K_L}$$

$$\frac{X}{1-X} = \frac{K_C}{\sqrt{T_{30}}} \sqrt{T_1 + \frac{AL_{c1}}{c_{pe}}} \left[1 + \frac{K_L AL_{c1}/c_{pe}}{T_1 + AL_{c1}/c_{pe}} \right]^{\eta_{yo}/\varepsilon_c}$$

essendo ε l'esponente della isentropica $= (k-1)/k$. Tale sistema nelle incognite L_{c1} ed X permette, per ogni valore di T_1 : temperatura all'aspirazione del compressore, di definire la configurazione della macchina in esame e quindi le sue prestazioni. Si osservi come tale configurazione dipenda non direttamente da u e z ma solo da T_1 e quindi risulti la stessa a diverse quote e velocità.

In Figg. 3, 4 e 5 sono riportati i risultati dei calcoli effettuati per un turboreattore a due flussi distinti tipo 1, avente i medesimi valori di L_c , di T_3 e dei rendimenti (η'_π = rendimento pneumatico del condotto del flusso secondario = 0.97) del turboreattore semplice di Fig. 2 nelle condizioni di progetto; queste sono state scelte per $u=250$ m/s e $z=10000$ m a cui corrispondono valori ottimi $X_0=0.50$ ed $Y_0=0.65$ e in cui la spinta delle due macchine è la stessa.

Al crescere di T_1 il turboreattore a due flussi « rallenta », cioè diminuiscono i valori di L_{c1} , e di L_c proporzionale ad esso, mentre una parte sempre maggiore della portata globale è riservata al flusso secondario (Fig. 3). Ciò spiega l'andamento delle curve della spinta S in Fig. 4 che risulta decrescente con u molto più rapidamente, e più lentamente con z , che non del turboreattore semplice.

Anche i consumi specifici della spinta seguono lo stesso andamento; essi però si mantengono sempre inferiori a quelli del corrispondente turboreattore di tipo normale entro tutto il campo considerato, salvo che per velocità elevate e quote molto basse.

Supponendo L_c proporzionale ad n^2 si ha una variazione di n di appena il 3% (da 300 m/s al suolo a 0 m/s nella stratosfera); anche le variazioni dei coefficienti di portata φ_1 e φ_2 dei due compressori (Fig. 5) risultano accettabili; in particolare φ_1 varia un poco di più che non nel turboreattore semplice mentre φ_2 rimane pressochè costante: in ogni caso si può ritenere escluso il pericolo della caduta in pompaggio.

Volendo effettuare la regolazione ad n costante e quindi, nelle nostre ipotesi, ad L_c costante, occorre evidentemente variare T_3 . Infatti la (2), tenuto presente che, nell'ipotesi di efflusso critico da tutte le sezioni, T_4/T_3 è costante per la (1), combinata con la (5) dà:

$$(6) \frac{AL_{c10}/X + AL_{c20}}{\eta_m c_{pt} (1 - T_{40}/T_{30})} = \left[K_C \frac{p_2}{p'_2} \frac{1-X}{X} \right]^2 T'_2$$

da cui ponendo:

$$K_T = \frac{AL_{c10}}{\left[T'_2 \frac{p_2}{p'_2} \right]^2 K_C^2 \eta_m c_{pt} (1 - T_{40}/T_{30})}$$

si ottiene:

$$(7) X^2 (1 - K_T K_L) - X (2 + K_T) + K_T = 0$$

La (7) consente di risolvere il problema per ogni valore di T_1 (di cui sono funzione univoca T'_2 e p_2/p'_2) ed in Fig. 6 è preso in esame il caso dello stesso turboreattore a due flussi di Fig. 3, 4, 5, re-

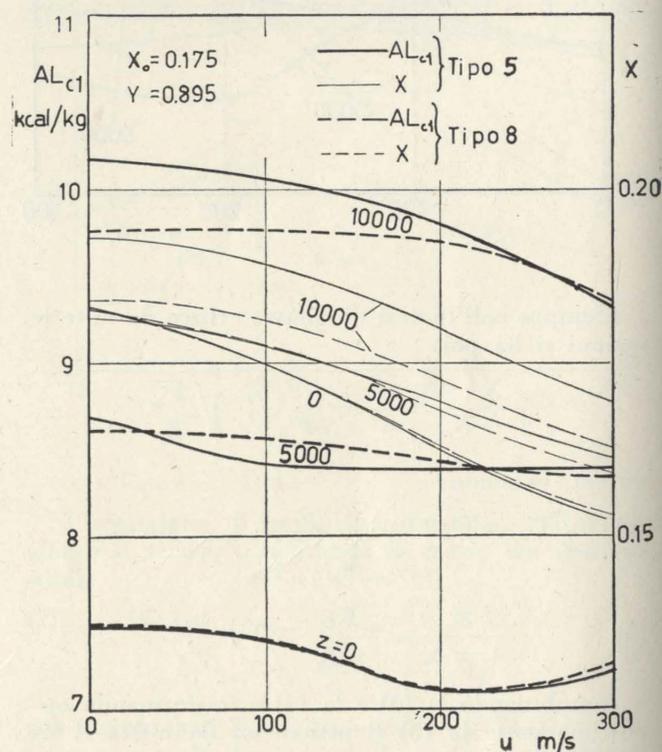


Fig. 13.

golato ad n costante. Si vede che la variazione di T_3 necessaria ad assicurare tale condizione è piccola (dell'ordine del 6-7% del valore T_{30}) e che l'andamento di X in funzione di T_1 è analogo a quello di Fig. 3.

Diversa sarebbe invece la situazione se si fosse progettata la macchina a doppio flusso per basse quote e velocità: in tal caso si devono adottare valori di X_0 molto minori e di Y_0 maggiori che non nel caso fin qui considerato sicchè l'ipotesi dell'efflusso critico attraverso gli effusori non risponde più a realtà. In tali condizioni l'equilibrio dinamico dell'albero è sempre espresso dalla (2) ma, non potendosi più applicare la (1), esplicitando si ha:

$$(8) AL_{c1} \left(\frac{1}{X} + K_L \right) = \eta_m c_{pt} T_3 \left[1 - \left(\frac{F_3}{F_4} \frac{K_3}{f(p_4/p)} \right)^{2\varepsilon \eta_{yt}/(2-\varepsilon \eta_{yt})} \right]$$

essendo p la pressione esterna e K_3 il valore (costante) che la funzione f assume nella sezione 3 dove l'efflusso, per ipotesi, avviene sempre in regime critico. Così pure la (5) si trasforma nella:

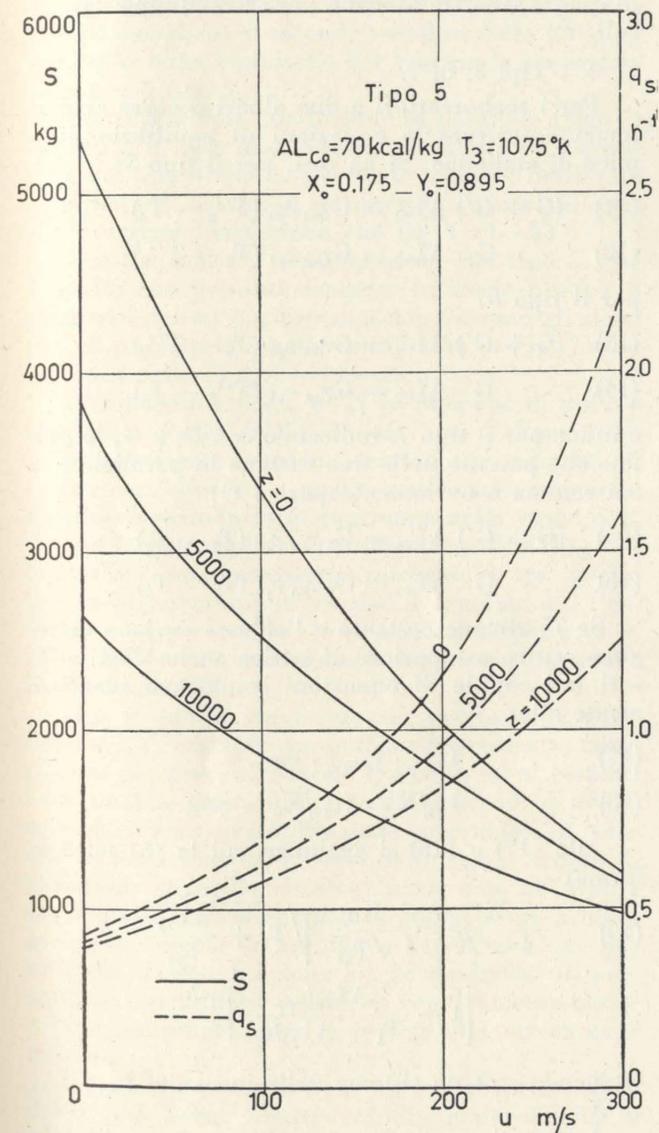


Fig. 14.

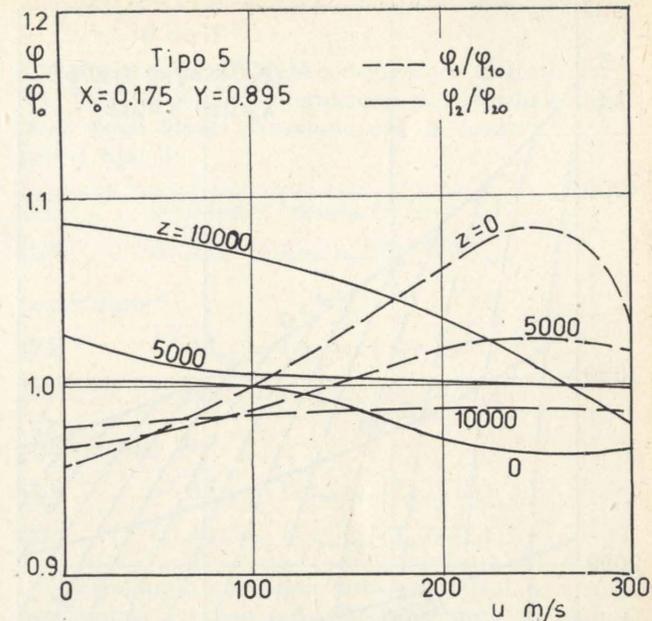


Fig. 15.

$$(9) \frac{X}{1-X} = \frac{K_C}{\sqrt{T_3}} \frac{K_3}{f(p'_3/p)} \sqrt{T_1 + \frac{AL_{c1}}{c_{pe}}} \left[1 + \frac{K_L AL_{c1}/c_{pe}}{T_1 + AL_{c1}/c_{pe}} \right]^{\eta_{ye}/\varepsilon_c}$$

La (8) e la (9) costituiscono anche in questo caso un sistema nelle due incognite L_{c1} ed X la cui soluzione dipende però ora anche dai valori di p , oltre che da quelli di T_1 , sicchè il turboreattore assume configurazioni diverse alle diverse quote e velocità.

Così in Fig. 7 è riportato il caso di una macchina tipo 1 avente tutte le altre caratteristiche identiche a quelle dei turboreattori sin qui considerati ma progettata per $z=0$ m ed $u=100$ m/s (valori ottimi $X_0=0.175$ ed $Y_0=0.895$) e capace in tali condizioni della medesima spinta del turboreattore semplice di confronto. Sia la variazione di L_{c1} che quella di X risultano sensibilmente maggiori che non nella macchina con effusori funzionanti in regime critico; inoltre alle quote minori la curva di L_{c1} in funzione di u presenta un caratteristico andamento dovuto al fatto che ora all'effetto della variazione di T_1 si sovrappone, con tendenza opposta, quello della compressione nel diffusore. Alle quote più alte invece gli effusori tendono a funzionare in regime critico o ipercritico e quindi l'andamento del diagramma di L_{c1} si accosta a quello di Fig. 3 (nel caso preso in esame l'effusore del flusso secondario funziona con il rapporto di espansione critico da $z=5000$ m ed $u=200$ m/s, quello del flusso principale da $z=10000$ m ed $u=0$).

Corrispondentemente (Fig. 8) si accentuano la diminuzione di S con u e la sua minore sensibilità alle variazioni di quota, tanto che alle più alte velocità considerate la spinta risulta funzione crescente di z . Il consumo specifico, che naturalmente raggiunge valori molto bassi per $u=0$, aumenta rapidamente con la velocità, particolarmente a

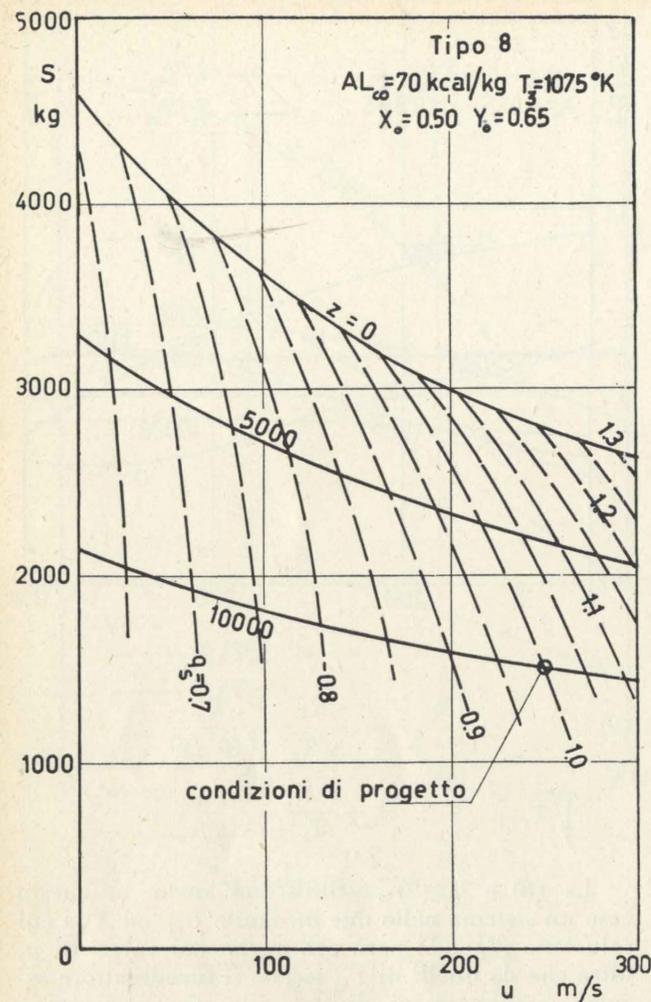


Fig. 16.

bassa quota; solo per $z=10000$ m esso rimane sempre inferiore a quello del corrispondente turboreattore semplice. Molto forte è pure la variazione di velocità angolare dell'albero (sempre supponendo L_c proporzionale ad n^2) che, nel campo considerato passa dal 95 % al 115 % di quella di progetto, e soprattutto quella dei coefficienti di portata φ (Fig. 9); quest'ultima, anzi, è tale, specialmente per il compressore ad alta pressione che è già il più « critico » dato il suo elevato rapporto di compressione, da infirmare senz'altro l'ipotesi di rendimento costante.

Le conclusioni rimangono però sempre qualitativamente valide ed appare evidente la necessità di effettuare la regolazione a velocità angolare costante e T_3 variabile, non potendosi tollerare una variazione così forte né di n (soprattutto avuto riguardo alla turbina) né di φ_2 .

In questa seconda ipotesi L_{c1} ed L_c risultano costanti e le equazioni risolutive sono ancora la (8) e la (9) in cui però ora le incognite sono X e T_3 .

Lo stesso turboreattore del caso precedente, regolato ad n costante, dà allora origine ai diagrammi di Fig. 10, i cui andamenti sono evidentemente legati a quelli di L_{c1} di Fig. 7: la diminuzione di T_3 necessaria al crescere della quota è ammissibile, anche se forte, ne derivano però sensibili diminuzioni

della spinta ed aumenti nel consumo specifico alle quote più elevate (Fig. 8) rispetto al caso di T_3 costante, anche se si ha un certo miglioramento di q_s al suolo. Notevoli vantaggi si sanno invece nell'andamento dei coefficienti di portata (Fig. 9) sicché con questo sistema di regolazione appaiono rimosse le limitazioni di natura aerodinamica, oltre a quelle meccaniche, incontrate nel caso precedente.

Se poi si volesse disporre un combustore anche sul flusso secondario, supponendo l'efflusso in regime critico in tutte le sezioni, si avrebbe, in aggiunta alla (2) la:

$$(10) \quad \frac{X}{1-X} = K_C \sqrt{\tau} \left[1 + \frac{K_L AL_{c1}/c_{pe}}{AL_{c1}/c_{pe} + T_1} \right]^{\eta_{yc}/\varepsilon_c}$$

che deriva immediatamente dalla (5) quando si ponga $\tau = T'_3/T_3$. Il sistema così ottenuto, nelle incognite L_{c1} ed X se la regolazione è a T_3 e T'_3 costanti, oppure X e T_3 se la regolazione è ad n e T'_3 costanti, permette la risoluzione del problema. Nel caso di efflusso ipocritico basterebbe sostituire alla (2) la (8) ed introdurre a secondo membro della (10) il fattore $K_3/f(p'_3/p)$: dato lo scarso interesse di questo caso tralasciamo però lo sviluppo dei calcoli.

4. - Tipi 5, 6, 7.

Per i turboreattori a due alberi occorre evidentemente scrivere le equazioni di equilibrio dinamico di ambedue. Si ha così, per il tipo 5:

$$(11) \quad (G + G') AL_{c1} = G \gamma_m c_{pt} (T''_3 - T_4)$$

$$(12) \quad G AL_{c2} = G \gamma_m c_{pt} (T_3 - T''_3)$$

per il tipo 6:

$$(13) \quad (G + G') AL_{c1} = G \gamma_m c_{pt} (T_3 - T''_3)$$

$$(14) \quad G AL_{c2} = G \gamma_m c_{pt} (T''_3 - T_4)$$

e infine per il tipo 7, indicando con G_1 e G_2 le portate che passano nelle due turbine in parallelo e la cui somma è ovviamente pari a G :

$$(15) \quad (G + G') AL_{c1} = G_1 \gamma_m c_{pt} (T_3 - T_4)$$

$$(16) \quad G AL_{c2} = G_2 \gamma_m c_{pt} (T_3 - T_4)$$

Se T_3 rimane costante e l'efflusso avviene in regime critico o superiore al critico anche dagli effusori tali coppie di equazioni conducono identicamente alle:

$$(17) \quad L_{c2} = L_{c20} = \text{cost.}$$

$$(18) \quad L_{c1}/X = L_{c10}/X_0 = \text{cost.}$$

Alle (17) e (18) si aggiunge poi la (5) sotto la forma:

$$(19) \quad \frac{X}{1-X} = \frac{K_C}{\sqrt{T_{30}}} \sqrt{T_1 + \frac{AL_{c1}}{c_{pe}}} \cdot \left[1 + \frac{AL_{c2}/c_{pe}}{T_1 + AL_{c1}/c_{pe}} \right]^{\eta_{yc}/\varepsilon_c}$$

ottenendo così un sistema nelle incognite L_{c1} , L_{c2} ed X .

Assunta la medesima macchina già considerata

per il tipo 1, progettata per $u=250$ m/s e $z=10000$ m, si ottengono i valori di L_{c1} ed X in funzione di T_1 riportati in Fig. 3 e quelli della spinta e del consumo specifico di Fig. 11. Confrontando quest'ultima con Fig. 4 si vede come con il tipo a due alberi si abbiano valori leggermente superiori di S al decollo e consumi specifici ovunque minori, salvo che per velocità molto alte alle maggiori quote. Pienamente soddisfacente il comportamento dei coefficienti di portata dei compressori (Fig. 12); migliore che nel tipo 1 e nel turboreattore semplice.

Passando a considerare anche ora il caso dell'efflusso in regime ipocritico dagli effusori, per il tipo 5 è sempre vera la (17), mentre la (18) diviene:

$$(20) \quad \frac{AL_{c1}}{X} = \gamma_m c_{pt} T''_{30} \left[1 - \left(\frac{F''_3}{F_4} \frac{K''_3}{f(p_4/p)} \right)^{2\varepsilon_1 \eta_{yt}/(2-\varepsilon_1 \eta_{yt})} \right]$$

che, unita alla (19) avente a secondo membro il solito fattore $K_3/f(p'_3/p)$ fornisce il sistema risolvibile.

Per il tipo 6 è invece valida la (18) mentre AL_{c2} risulta eguagliato al secondo membro della (20), restando la terza equazione del sistema la medesima vista per il tipo 5.

Infine avendosi due turbine in parallelo (tipo 7) sia AL_{c1}/X che AL_{c2} vanno eguagliati ad espressioni del tipo di quella a secondo membro della (20) e facilmente deducibili da questa, rimanendo sempre invariata l'equazione che dà X (1-X).

Limitandoci alla considerazione del tipo 5, che è quello che presenta maggior interesse pratico, i risultati ottenuti per una macchina avente gli stessi dati di progetto di quella considerata in Fig. 7 sono riportati nelle Figg. 13, 14 e 15.

L'andamento di L_{c1} ed X in funzione di u e z è analogo a quello di Fig. 7; ora però l'effusore del flusso principale funziona sempre con rapporti di espansione inferiori a quello critico mentre quello del flusso secondario lo raggiunge nelle stesse condizioni là viste. Spinta e consumo specifico (Fig. 14) hanno un comportamento intermedio tra quello dell'analogo turboreattore tipo 1 regolato a T_3 costante e ad n costante; lo stesso accade per φ_1 e φ_2 (Fig. 15) la cui variazione si mantiene così entro limiti accettabili.

Non è quindi ora necessario sostituire la regolazione a T_3 costante con quella ad n costante, tanto più che per avere allo stesso tempo n_1 ed n_2 costanti occorrerebbe agire sulle aree delle sezioni di efflusso con eccessiva complicazione meccanica. È vero che le variazioni di n_1 sono dello stesso ordine di grandezza di quelle viste per n nel caso del tipo 1 ma ora esse interessano solo il compressore a bassa pressione, poiché la turbina a bassa pressione per necessità di cose funziona già in condizioni di progetto ad una velocità periferica relativamente bassa, e l'appesantimento che ne deriva alla macchina è minimo.

Il caso della combustione anche sul flusso secondario può infine venire trattato analogamente a quanto visto per il turboreattore tipo 1.

5. - Tipi 8, 9, 10.

La presenza di due compressori distinti per i due flussi fa sì che le equazioni di equilibrio dinamico degli alberi assumano ora la forma: per il tipo 8:

$$(21) \quad G' AL_{c1} = G \gamma_m c_{pt} (T''_3 - T_4)$$

$$(22) \quad G AL_c = G \gamma_m c_{pt} (T_3 - T''_3)$$

per il tipo 9:

$$(23) \quad G' AL_{c1} = G \gamma_m c_{pt} (T_3 - T''_3)$$

$$(24) \quad G AL_c = G \gamma_m c_{pt} (T''_3 - T_4)$$

e per il tipo 10:

$$(25) \quad G' AL_{c1} = G_1 \gamma_m c_{pt} (T_3 - T_4)$$

$$(26) \quad G AL_c = G_2 \gamma_m c_{pt} (T_3 - T_4)$$

Ragionando come già fatto per i tipi 5, 6 e 7, nell'ipotesi $T_3 = \text{cost.}$ ed efflusso ovunque in regime critico si giunge, in ogni caso, alle:

$$(27) \quad L_c = L_{c0} = \text{cost.}$$

$$(28) \quad \frac{1-X}{X} L_{c1} = \frac{1-X_0}{X_0} L_{c10} = \text{cost.}$$

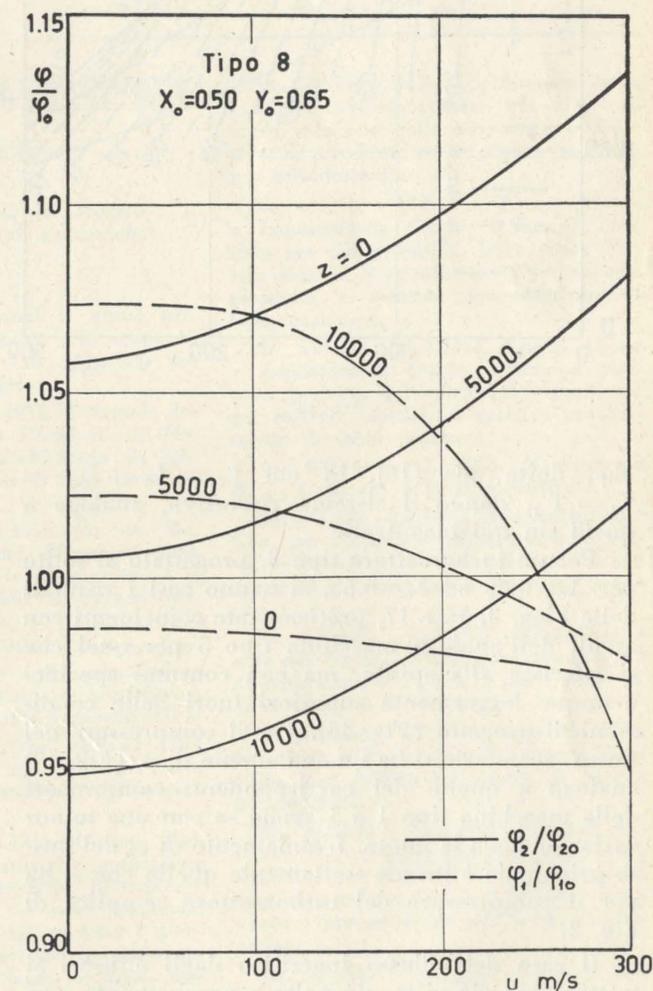


Fig. 17.

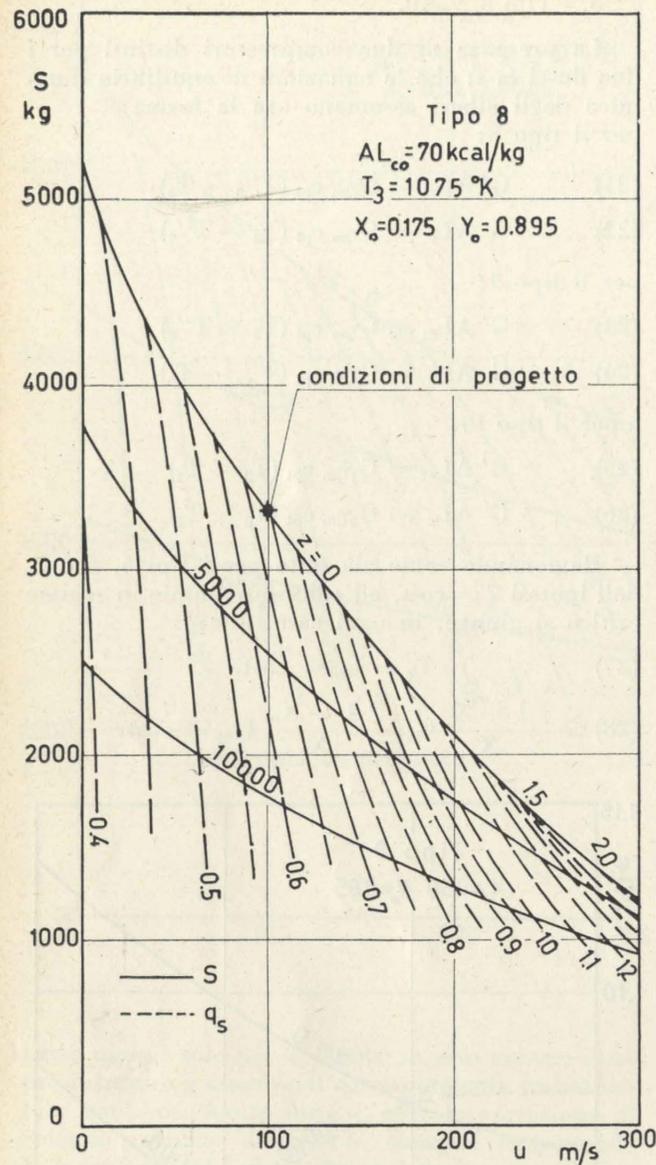


Fig. 18.

che, unite alla (19), in cui $L_{c2} = L_c - L_{c1}$ se $T_1 = T'_1$, danno il sistema risolutivo, analogo a quelli sin qui incontrati.

Per un turboreattore tipo 8, progettato al solito per $X_0 = 0.50$ ed $Y_0 = 0.65$, si hanno così i risultati delle Figg. 3, 16 e 17, praticamente coincidenti con quelli dell'analogia macchina tipo 5 per quel che si riferisce alla spinta, ma con consumi specifici ovunque leggermente superiori fuori delle condizioni di progetto (Fig. 16). Per il compressore del flusso secondario si ha un andamento di φ_1 (Fig. 17) analogo a quello dei corrispondenti compressori delle macchine tipo 1 e 5 anche se con una minor variazione con la quota. L'andamento di φ_2 del flusso principale è invece esattamente quello che si ha per il compressore del turboreattore semplice di Fig. 2.

Il caso dell'efflusso ipocritico dagli effusori si tratta come già visto più volte e precisamente esso dà luogo, per il tipo 8, al sistema:

$$L_c = L_{c0}$$

$$\frac{1-X}{X} AL_{c1} = \eta_m c_{pt} T'_{30}$$

$$\left[1 - \left(\frac{F''_3}{F_4} \frac{K''_3}{f(p_4/p)^2} \right)^{2\epsilon_1 \eta_{yt} / (2 - \epsilon_1 \eta_{yt})} \right]$$

$$\frac{X}{1-X} = \frac{K_G}{\sqrt{T_{30}}} \frac{K_3}{f(p_3/p)} \sqrt{T_1 + \frac{AL_{c1}}{c_{pe}}}$$

$$\left[1 + \frac{(AL_c - AL_{c1})/c_{pe}}{T_1 + AL_{c1}/c_{pe}} \right]^{\eta_{yc}/\epsilon_c}$$

e a sistemi analoghi per gli altri due tipi.

Per il solito turboreattore a due flussi progettato per $u = 100$ m/s e $z = 0$ e con organizzazione meccanica secondo il tipo 8 si ha, effettuati i calcoli, un comportamento non molto discosto da quello del corrispondente tipo 5 (Fig. 13) sicché le spinte nelle diverse condizioni di volo risultano pressoché identiche (Fig. 18) e solo leggermente minori nel tipo 8 per $z = 10000$ m. Anche i valori di q_s risultano praticamente gli stessi mentre le variazioni dei coefficienti di portata dei compressori della macchina tipo 8 risultano sensibilmente maggiori che non in quella tipo 5 (Fig. 19).

Per le stesse ragioni viste nel paragrafo precedente pure per il turboreattore tipo 8 non appare conveniente sostituire la regolazione a T_3 costante con quella a velocità angolare costante e analogamente nessuna difficoltà vi sarebbe poi a trattare anche il caso della combustione sul flusso secondario.

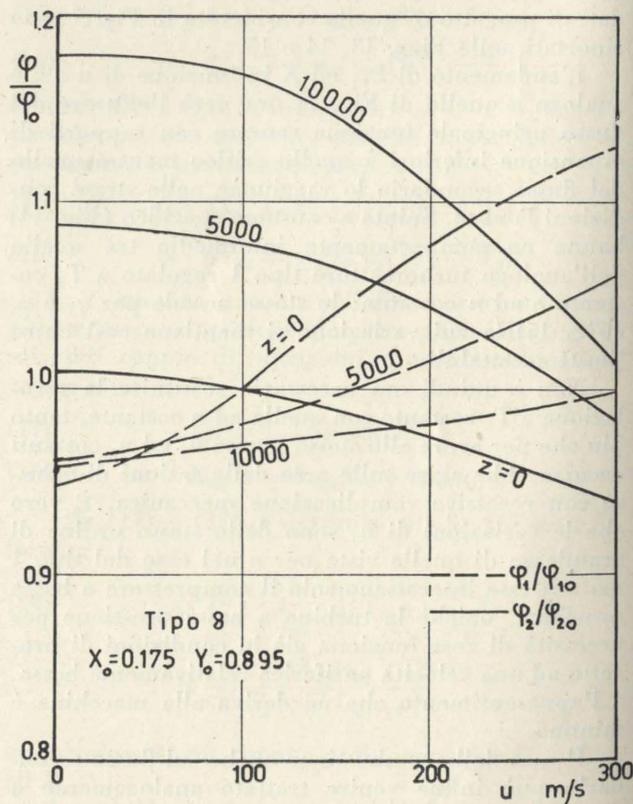


Fig. 19.

6. - Da quanto visto sopra appare innanzitutto come caratteristica peculiare del turboreattore a doppio flusso sia la forte diminuzione della spinta con la velocità, diminuzione che si accentua man mano che si scende nei valori di X_0 e si aumentano quelli di Y_0 in condizioni di progetto. Anche se effetti esattamente contrari ha la scelta di tali parametri sulla sensibilità della spinta alle variazioni di quota si può ritenere che, salvo particolari casi, agli effetti del comportamento in condizioni diverse da quelle di progetto, conviene assumere i più elevati valori di X , e i più bassi di Y , possibili, anche se ciò può andare a lieve detrimento del rendimento globale (ma, come si rammenta, ha il benefico effetto di diminuire le dimensioni ed il peso della macchina a parità di spinta).

Si noti poi come in condizioni di efflusso ipocritico dagli effusori il turboreattore a doppio flusso tenda piuttosto ad un comportamento a potenza costante che non a quello a spinta costante a cui tende il turboreattore semplice.

Si è anche visto come, tranne che per il tipo 1 con basso valore di X_0 , sia sempre possibile la più vantaggiosa regolazione a T_3 e sezioni di efflusso costanti, sia pure ammettendo una certa variazione di velocità angolare (limitata all'albero « a bassa pressione »), che per i tipi considerati è al massimo del 15 ÷ 18 % tra le condizioni estreme prese in esame.

Per quel che si riferisce alla organizzazione meccanica il tipo preferibile è senz'altro quello indicato come tipo 5 nella trattazione, almeno per il turboreattore a due flussi distinti e per i valori più alti di L_c .

In condizioni di efflusso critico dagli effusori esso dà spinte al suolo maggiori che non il tipo 1 corrispondente, e uguali a quelle del tipo 8, con consumi specifici sempre inferiori, tranne che a velocità superiori a quella di progetto alle quote più alte dove i minori q_s si raggiungono con il tipo 1.

Il tipo 8 avrebbe l'unico vantaggio di presentare una minor variazione del coefficiente di portata del compressore del flusso secondario ma in ogni caso si tratta di un elemento non determinante.

Anche volendo scegliere valori di X e Y tali da comportare il funzionamento degli effusori in regime inferiore a quello critico l'organizzazione meccanica più conveniente rimane quella del tipo 5, ogni qualvolta non vi osti la relativamente maggiore complicazione meccanica. Infatti le prestazioni di una macchina così costruita risultano superiori sotto tutti gli aspetti a quelle del corrispondente tipo 1 mentre conviene rispetto al tipo 8 per la sensibilmente minore variazione dei coefficienti di portata dei compressori.

Federico Filippi

RUBRICA DEI BREVETTI

a cura di FILIPPO JACOBACCI

Per esigenze di spazio, abbiamo limitato il nostro panorama dei brevetti italiani di recente pubblicazione, al campo delle lavorazioni meccaniche e dell'elettrotecnica.

IV.

LAVORAZIONE DEI METALLI, DEL LEGNO E DELLE PIETRE

No. 530.154 - 12.2.1955, *Aktiengesellschaft Für Unternehmungen Der Eisen und Stahlindustrie*, « Procedimento per fabbricare i corpi cilindrici di barattoli e contenitori similari ricavandoli da pezzi di lamiera tranciata ».

No. 530.158 - 16.2.1955, *Anzin Ltd.*, « Perfezionamenti nella o relativi alla protezione del ferro e dell'acciaio contro corrosione da usura ».

No. 530.205 - 18.5.1953, *Batignolles Chatillon Soc. an.*, « Dispositivo nei dispositivi di controllo del moto di avanzamento di un carrello di macchine utensili ».

No. 531.012 - 28.10.1953, *Bombrini Parodi Delfino Soc. p. a.* « Processo di stampaggio per il ricavo di corpi cavi dalla barra ».

No. 530.904 - 10.9.1952, *Bondy Tubing Company*, « Procedimento per la fabbricazione di tubi saldati a partire da lamiera metallica, e prodotto relativo ».

No. 530.119 - 1.2.1955, *Burggraf Heinrich*, « Procedimento per trasformare in

pezzi sagomati, materiali a grana prevalentemente fina, specie allo scopo di fabbricare mattonelle di materiali per trattamento metallurgico ».

No. 530.277 - 18.2.1955, *Comptoir Industriel D'Etirage et Profilage de Metaux Soc. an.*, « Procedimento di fabbricazione di profilati o tubi metallici composti ».

No. 530.126 - 14.2.1955, *Co. Se. Ma. Costruzione Separatori Magnetici Soc. p. a.*, « Gruppo per la circolazione e la depurazione del liquido refrigerante nelle macchine utensili ».

No. 531.104 - 8.4.1955, *Di Palo Giuseppe*, « Dispositivo per comandare idraulicamente l'apertura e la chiusura delle griffe di mandrini autocentranti ».

No. 530.074 - 2.2.1955, *Illinois Tool Works*, « Metodo e macchina per produrre ingranaggi ad assi sghembi, e prodotto relativo ».

No. 531.071 - 1.4.1955, *Incoma Soc. p. a.* « Macchina copiatrice automatica con tastatore del modello liberamente girevole attorno ad un asse ortogonale all'asse di rotazione del modello e utensili rotanti per la lavorazione tridimensionale di pezzi di legno o simili materiali ».

No. 530.710 - 24.3.1955, *Janneret Jules Louis*, « Perfezionamento nei dispositivi di comando dello avanzamento della testa di mandrino su un tornio parallelo per cilindratura ».

No. 530.448 - 12.3.1955, *Knapp Alfons e Lanzavecchia Guido*, « Stampo ottenuto per via galvanica, la cui base è in lega leggera, particolarmente per materie plastiche e relativo procedimento di fabbricazione ».

No. 530.658 - 24.3.1955, *Knapp Alfons e Lanzavecchia Guido*, « Stampo ottenuto per via galvanica particolarmente per materie plastiche e relativo procedimento di fabbricazione ».

No. 530.196 - 12.3.1955, *Maskinfirma R. L. Carlstedt*, « Testa alesatrice ».

No. 531.175 - 8.4.1955, *Montecatini Soc. Gen. per l'Industria Mineraria e Chimica*, « Procedimento per la produzione di strati di ossalato su ferro ed acciaio ».

No. 530.263 - 12.3.1955, *Regie Nationale des Usines Renault*, « Procedimento di fabbricazione di grossi pezzi colati in ghisa grafitica di ricottura ».

No. 530.234 - 7.12.1954, *Sutter Products Company*, « Perfezionamento nelle macchine per fabbricare anime di sabbia per fonderia ».

No. 530.841 - 11.3.1955, *Vacuum Research (Cambridge) Ltd.*, « Elemento riscaldante per dispositivi di rivestimento mediante evaporazione di metalli sotto vuoto e procedimento per la sua fabbricazione ».

No. 530.785 - 9.4.1955, *Welding Research Inc.*, « Procedimento ed appa-

recchio per la saldatura elettrica a resistenza ».

No. 530.276 - 18.2.1955, *Western Electric Company Incorporated*, « Apparecchiatura e metodo per formare piegature ad ondulazione in un tubo ».

No. 530.844 - 15.3.1955, *Wexler Emmanuel*, « Macchina utensile a ciclo di lavorazione automatico ».

Vb.

MACCHINE DIVERSE ED ORGANI DELLE MACCHINE

No. 530.563 - 26.3.1955, *Allis Chalmers Manufacturing Company*, « Puleggia a diametro della primitiva variabile, per cinghie trapezoidali ».

No. 530.986 - 19.4.1955, *Arato Achille*, « Variatore continuo di velocità a due o più gruppi di dischi conici trasmettenti sul bordo interno di anelli rotanti, particolarmente adatto per macchine operatrici ».

No. 531.088 - 2.4.1955, *Ckd Ceska Lipa, narodni podnik*, « Pressa idraulica ».

No. 531.090 - 2.4.1955, *Colombo Ermanno e Fossati Fernando* « Dispositivo per filtrare aria compressa con scaricatore automatico della condensa ».

No. 530.253 - 5.2.1955, *Crown Engineering & Development Co.*, « Apparecchio idrodinamico a piastre inclinate utilizzato come pompa o come motore ».

No. 530.090 - 12.2.1955, *Daimler Benz Aktiengesellschaft*, « Dispositivo per l'equilibramento di secondo ordine delle masse di alberi a gomiti ».

No. 531.051 - 18.3.1955, *Diaz Gomez Teodosio*, « Perfezionamenti nelle pompe centrifughe destinate al sollevamento e travaso di liquidi contenenti materie abrasive in sospensione ».

No. 530.267 - 14.3.1955, *Dorr Oliver Incorporated*, « Apparecchio decantatore a piani multipli ».

No. 530.728 - 26.3.1955, *Elgro Machine Tool Company Ltd.*, « Perfezionamento nelle macchine spazzolatrici meccaniche, particolarmente per ingranaggi ».

No. 530.676 - 22.3.1955, *Esso Standard Italiana*, « Perfezionamento nelle bombole ad aria compressa costituenti spruzzatori per liquidi ».

No. 530.095 - 14.2.1955, *Glacier Metal Company Ltd.*, « Perfezionamenti nei metodi e nei dispositivi per la fabbricazione di cuscinetti lisci ».

No. 530.884 - 30.3.1955, *Guist, Keen, & Nettlefolds (Mildlands) Ltd. e Acton Bolt Ltd.*, « Macchina per il taglio delle scanalature nelle teste delle viti e simili ».

No. 530.320 - 22.7.1954, *Imperial Chemical Industries Ltd.*, « Procedimento e dispositivo per fabbricare tubi a parete sottile ».

No. 530.490 - 16.3.1955, *Metabowerk Closs, Rauch & Schnizler Kommanditgesellschaft*, « Macchina smerigliatrice a nastro munita di motore di comando fisso ».

No. 530.136 - 25.2.1955, *National Cash Register Company*, « Dispositivo per compensare l'usura di parti in movimento ».

No. 531.250 - 6.4.1955, *Oetiker Hans*, « Dispositivo di accoppiamento facilmente smontabile per l'unione di condutture per liquidi o gas sotto pressione ».

No. 531.189 - 9.4.1955, *Officine Galileo Soc. p. a.*, « Perfezionamenti alle pompe meccaniche atte alla produzione del vuoto ».

No. 531.190 - 9.4.1955, *Officine Galileo Soc. p. a.* « Perfezionamenti ai complessi meccanici atti alla produzione del vuoto in particolare del vuoto preliminare ».

No. 530.885 - 30.3.1955, *Penicillin Gesellschaft Dauelsberg & Co.*, « Dispositivo per mescolare sostanze liquide, pastose, polverulenti, granulari o fibrose ».

No. 530.282 - 11.3.1955, *Riv Officine di Villar Perosa Soc. p. a.*, « Perfezionamenti negli ammortizzatori idraulici tubolari per applicazioni riguardanti lo smorzamento di oscillazioni orizzontali ».

No. 531.245 - 5.4.1955, *Società Applicazioni Gomma Antivibranti S.A.G.A. Soc. p. a.*, « Complesso molle-ammortizzatore a movimento di fluido ».

No. 530.040 - 20.1.1955, *Soc. an. des Usines Chausson*, « Dispositivo compensatore di usura, particolarmente per freni ad attrito e applicazioni analoghe ».

No. 530.353 - 28.2.1955, *Standard Thomson Corporation*, « Perfezionamenti nei trasduttori meccanici ».

No. 530.922 - 9.12.1954, *Tecalemit Italia Soc. p. a.*, « Perfezionamenti agli ingrassatori ».

No. 530.279 - 19.2.1955, *Vertriebs Ges. Wagner*, « Pistola a spruzzo per la polverizzazione di liquidi ».

IX.

ELETTROTECNICA

No. 530.506 - 30.4.1953, *Atlas Werke A. G.*, « Dispositivo per la registrazione magnetica del suono, con magnetizzazione ad alta frequenza particolarmente per dittafoni ».

No. 530.541 - 22.12.1954, *British Insulated Callender's Cables Ltd.*, « Perfezionamenti alla fabbricazione di cavi elettrici ».

No. 530.138 - 25.2.1955, *British Thomson-Houston Company Ltd.*, « Perfezionamento ad interruttori elettrici del tipo a soffio di aria o di gas ».

No. 530.125 - 14.2.1955, *C.E.M. Costruzioni Elettro Meccaniche Ditta*, « Relé elettromagnetico a più contatti ».

No. 530.818 - 25.1.1955, *Collins Radio Company*, « Sistema meccanico di riduzione dei disturbi che si verificano nelle comunicazioni elettroniche di segnali ».

No. 530.067 - 20.1.1955, *Compagnie Générale d'Electricité*, « Pressa leggera ad iniezione per la ricostituzione rapida

dell'isolante termoplastico di più conduttori elettrici disposti paralleli affiancati ».

No. 530.867 - 18.3.1955, *Compagnie Générale d'Electricité*, « Cavo elettrico ad alta tensione ad isolante stratificato e procedimento per la sua fabbricazione ».

No. 530.691 - 25.3.1955, *Compagnie Générale de Telegraphie Sans Fil*, « Perfezionamenti alle ceramiche ad alta costante dielettrica a base di titanato di bario ed ai loro procedimenti di fabbricazione ».

No. 530.928 - 29.3.1955, *F.I.T.R.E. Ditta*, « Dispositivo di protezione a scatto con messa a terra e segnalazione di allarme per circuiti telefonici normali e misti con altri ad alta frequenza ».

No. 530.027 - 15.11.1954, *General Electric Company*, « Apparecchio di presentazione luminescente, particolarmente per la presentazione di immagini su schermo luminescente sotto l'influenza di bombardamento atomico ».

No. 530.218 - 13.8.1954, *General Electric Company*, « Composizione di rivestimento resistente in solventi a base di acetati polivinilici, particolarmente per conduttori elettrici ».

No. 530.163 - 23.2.1955, *Industriaktiebolaget Luxor*, « Testina magnetica, comprendente un nucleo di ferrite, per apparecchi registratori-riproduttori a filo, nastro e simili ».

No. 530.078 - 4.2.1955, *International Business Machines Corporation*, « Perfezionamento nei dispositivi magnetici, di registrazione e di riproduzione ».

No. 530.561 - 26.3.1955, *Landis & Gyr A. G.*, « Contatore elettrico di eccedenza con contatto di segnalazione ».

No. 530.146 - 8.3.1955, *Marsigli Alberto*, « Dispositivo applicabile agli apparecchi telefonici automatici che indica il numero che è stato composto dall'utente mentre si gira il disco ».

No. 531.191 - 9.4.1955, *Officine Galileo Soc. p. a.*, « Conduttore passante isolato per impianti di alto vuoto ».

No. 530.049 - 19.2.1955, *Philips' Gloeilampenfabrieken (N.V.)*, « Dispositivo per produrre segnali di informazione di televisione ».

No. 531.074 - 2.4.1954, *Philips' Gloeilampenfabrieken N. V.*, « Procedimento per la registrazione magnetica di segnali in cui una corrente supplementare ad alta frequenza viene alimentata all'elemento registratore contemporaneamente alla corrente del segnale in corso di registrazione ».

No. 530.746 - 8.4.1955, *S.A.B.I. Sviluppo Applicazioni Brevetti Industriali Soc. p. a.*, « Dispositivo a pulsante per il controllo di circuiti elettrici ».

No. 531.225 - 30.3.1955, *Siemens Soc. p. a.*, « Disposizione di circuiti per gradini a doppia mescolazione parziale con cercatori in centrali automatiche di commutazione, in particolare in centrali telefoniche e telegrafiche ».

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE