

CONSIDERAZIONI INTORNO AI MODERNI MOTORI D'AVIAZIONE

Comunicazione del Socio Ing. Nicola Pavia

nell'Adunanza del 10 Novembre 1919

Dal 22 al 24 ottobre u. s. ebbe luogo a Bruxelles una riunione straordinaria della Federazione Aeronautica Internazionale per riallacciare tra i vari Paesi federati le relazioni rimaste interrotte durante i cinque anni di guerra e per discutere, nell'interesse del progredire dell'aviazione; le più vitali quistioni ad essa connesse.

In seno a quella Conferenza ebbi l'onore di portare le seguenti considerazioni, intorno ai moderni motori d'aviazione, le principali caratteristiche dei più importanti tra i quali si trovano raccolte nella tabella allegata.

Su di essi, conosciuti oramai largamente, non mi soffermerò; basta averne sott'occhio i dati essenziali per seguire quanto starò per mettere in rilievo. Di uno solo val la pena illustrare con qualche maggior parola la caratteristica; esso è il birotativo germanico Siemens Schuckert, già montato sui biplani D. IV, del quale figurano in calce alla tabella annessa le varie particolarità.

Si tratta di un motore nel quale l'insieme stellare (cilindri e carter) gira (a sinistra) con l'elica, mentre che l'albero gira esso pure, ma in senso inverso. L'elica è del tipo Wotan a 4 pale (d° m. 2, passo m. 3,6). I cilindri (in numero di 11) fanno il loro ciclo completo (4 tempi) in un solo giro del sistema stellare. L'ammissione dura per 122° (10° di avanzo, 22° di ritardo), la compressione 68°, l'espansione 60° (con un anticipo di accensione di 20°), lo scappamento 120° (con un anticipo di 20°). I cilindri si accendono nel seguente ordine: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 2, 4, 6, 8, 10. Il motore, molto ben costruito, onde capace di un funzionamento sicuro per una sufficiente durata, presenta dettagli inediti quale il meccanismo, molto semplice e robusto, impiegato per rovesciare il movimento dell'albero.

Le due masse, girando in senso inverso, sopprimono pressochè l'effetto giroscopico rimanendo la sola coppia prodotta dall'elica, con ovvio vantaggio per la condotta del velivolo; i volumi generati risultano funzione della velocità relativa dei due sistemi in moto, più esattamente della somma delle due velocità angolari, le quali permettono, ragguagliando al medesimo peso di un semplice rotativo, di aumentare la potenza ed il rendimento.

Ciò detto e premesso che il capostipite dei motori fissi, tanto per mantenerci tra questi i quali più interessano, è il noto Mercedes, vediamo subito come per tutti lo schema costruttivo sia quasi il medesimo.

« Un carter d'alluminio, a cui è fissato l'albero a gomito, un sottocarter, pure d'alluminio, che ha la sola funzione di bacinella raccogliitrice del lubrificante. Cilindri a coppie in acciaio fuso con rivestimento di lamierino per la circolazione dell'acqua di raffreddamento. Distribuzione in testa con valvole talvolta doppie; 2 magneti con due serie di candele; 2 carburatori ognuno dei quali alimenta un gruppo di cilindri; lubrificazione forzata; valvole a chiusura automatica, pompe d'acqua centrifughe; pompe per l'olio di lubrificazione a rotismi dentati od a capsulismo; potenza erogata in generale proporzionata alla densità dell'aria assorbita ».

Ne deriva, data tal premessa, la concordanza di molte cifre della tabella unita, essenzialmente quella del rendimento in HP per ogni dm³ di cilindrata generata in ogni secondo e quella della pressione media per cm² di area dello stantuffo.

Pur riconoscendo il grande contributo che i Costruttori diedero ai loro congegni durante la guerra ed i grandi, segnalati servizi resi all'Aviazione Militare, si deve tuttavia convenire come all'Aviazione Civile necessitino tipi di motori ben più industriali e di portata notevolmente più pratica, perchè, in parallelo alla maggior leggerezza specifica, al minor consumo ed alla maggior durata, ossia alla maggior vita del motore, occorre inoltre considerare che, poche eccezioni a parte (compressore Marelli, turbina Rateau, i quali tendono a mantenere costante il peso d'aria d'ogni cilindrata) il motore usuale, a circa 6000 metri di altezza dal mare, eroga circa solo più metà potenza.

Interesserebbe quindi generalizzare la potenza costante del motore alle varie altezze della linea di volo, ciò interessa tanto più se si tien conto che la resistenza al moto diminuisce, col salire, in ragione uguale a quella su ricordata, a vantaggio esclusivo della velocità di traslazione, che rappresenta il rapporto di potenza a resistenza.

Converrebbe inoltre giungere ad un ciclo a due tempi, sicuro e perfetto ovviamente più vantaggioso di quello a quattro, ora in uso.

L'impostazione di un motore, quale si vorrebbe, non riesce facile, dato che anche su quelli già costruiti non riesce agevole scoprire realmente buoni coefficienti singoli di ogni tipo, per dedurre dati sicuri da seguire. Ciò soprattutto per mancanza di strumenti capaci di registrare, a velocità tanto elevate, valori così rapidissimamente variabili (esempio: la pressione nei cilindri varia 15 e più volte al secondo da 0,9 a 50 circa Kg per cm²).

Occorre perciò tentar di dedurre dati importanti per altre costruzioni ragionando sulle cifre della tavola unita.

Velocità angolare. — La velocità comunemente adottata è compresa tra 1500 e 1600 al l'. Valori un po' discosti si riscontrano nei motori Colombo-Combi, i quali effettivamente in volo funzionano con un regime medio di 1450 giri ed un rendimento di potenza proporzionalmente maggiore. Conste-rebbe che ad un tale regime il funzionamento del motore suddetto è regola-ri-ssimo non solo, ma anche migliore che non a 1300 giri. Del resto, in prove ad andatura forzata di due anni or sono, si ebbero 160 HP circa a 1650 giri, notando che in quelle prove si avevano stantuffi di ghisa, mentre è notorio che quelli più leggeri d'alluminio consentono in genere aumento di potenza. Recentemente, in esperienze comparative sopra un motore d'automobile, si ebbe campo di constatare che gli stantuffi di alluminio (per peso 0,60 di quelli in ghisa) diedero luogo ad una *potenza resa* superiore del 15 % circa. Dei motori funzionanti a gran numero di giri vi sono il FIAT A 15 R, l'Hispano Suiza 35, il Bugatti, tutti muniti di riduttore per l'elica. L'H S 42, pur ruotando a 1800, ha il comando di elica diretto, ma devesi notare che fu ideato e costruito per applicazione su velivoli da caccia.

La velocità impressa alle rispettive eliche da tutti i motori elencati (esclu-sione fatta dei rotativi) è da ritenersi tuttavia ancora troppo elevata, oltre che per le notevoli sollecitazioni apportatevi, per lo scarso rendimento che da essa se ne può trarre.

Con le elevate velocità angolari, si va poi incontro ad altri inconvenienti costruttivi di solidità.

Il passo dell'elica risultante è in qualche caso troppo piccolo, di guisa che le pale, sensibilmente sottili, sotto lo sforzo e le pressioni; si contorcono continuamente ed in breve si sfibrano, perdendo la necessaria solidità. Con passi molto brevi poi non sono più convenienti, per deficienza di rendimento, le eliche a 4 pale, costruzione alla quale forzatamente devesi addivenire, non potendosi tollerare diametri troppo grandi voluti dall'aumentata potenza dei motori, ma sovente non consentibili dalla struttura degli apparecchi.

La velocità angolare dei motori, invece, non è ancora giunta al massimo del valore possibile.

Aumentarla ancora è possibile quando si abbia cura di raggiungere una buona equilibratura delle masse a moto alternato e rotatorio, una notevole leggerezza di esse, un buon riduttore per la trasmissione all'elica, una regolare lubrificazione ed un efficace raffreddamento degli organi, maggiormente tormentati dalla temperatura.

La lavorazione di molte parti di siffatti motori non sarebbe più gravosa di quanto lo sia per costruzioni di tipi relativamente lenti. Infatti più facil-mente si potranno avere i cilindri di piccolo diametro, gli stantuffi leggeri per diminuite dimensioni e per abbandono delle nervature di rinforzo, le bielle piccole e corte, l'albero motore con bracci di manovella corti e sollecitati da momenti assai minori.

Il raffreddamento dei cilindri, valvole e stantuffi risulterebbe allora assai più sicuro ed efficace.

Ma un vantaggio di non lieve entità risulterebbe dalla maggiore regolarità del torchio motore, quando gli sforzi tangenziali si fanno più frequenti e per contro unitariamente meno intensi. In questo starebbe la salvezza del riduttore dell'elica, che finora non si sa risolvere senza cinematismi di ruote dentate. E provato che il rendimento di ruote dentate lavorate con criteri relativamente recenti, può giungere a valori eccezionalmente elevati.

A costruzioni di grande potenza, si arriverà naturalmente coll'aumento del numero dei cilindri, ciò sarà però una complicazione più apparente che sostanziale ed in questo avrà buon gioco la genialità dei costruttori. Va da sè, ad ogni modo, che la lavorazione in larga serie di pezzi che potranno essere identici per motori di potenze assai diverse, rappresenterebbe un van-taggio tecnico ed economico di non trascurabile valore.

Compressione. — Il limite di massima compressione è stato trovato ed adottato per ogni tipo di motore dopo lunghe serie di tentativi. La impos-sibilità di stabilire con esattezza il valore dell'esponente politropico (rapporto dei calori specifici a pressione e volume costante nel caso dell'adiabatica) che figura nella formula $p v^x = K$ (e questo per l'impossibilità di registrare varia-zioni infinitesime in infinitamente piccoli istanti), ha fatto sì che vi si arrivasse sperimentalmente con successivi tentativi.

Ad ogni modo si sa che l'ostacolo ad un ulteriore aumento di compres-sione è esclusivamente dovuto al fenomeno d'autoaccensione.

Hanno grande influenza in questo fenomeno la velocità angolare, la rapi-

data della fase di compressione, la conduttività delle pareti del cilindro e della camera di accensione e il loro sviluppo (in minor misura anche la forma), il valore specifico della miscela e la sua omogeneità.

Da tutto ciò soltanto dipendono le piccole differenze riscontrate in ogni tipo di motore.

Il valore medio del grado di compressione ad ogni modo è assai prossimo a 5, ma potrà essere aumentato quando, all'aumento di velocità angolare (non di velocità media di stantuffo) sarà abbinata una notevole diminuzione di volume di cilindrata.

Il beneficio recato da un aumentato grado di compressione deriva tutto dal diminuito volume in cui è raccolta la miscela all'atto dell'accensione e dal più intimo contatto delle molecole di combustibile e comburente. La propagazione dell'accensione riesce così più rapida e la combustione si compie tutta in un tempo utile.

In conclusione: compressione elevata e rapida di volumi relativamente piccoli, di forma semplice e possibilmente sferica.

A conferma della impossibilità di aumentare il grado di compressione in motori di tipo analogo a quelli dell'allegata tabella, cito il fatto riguardante il motore S P A 6 A surcompresso e semisurcompresso.

Allo scopo di ottenere un rendimento in potenza più elevato durante la navigazione ad alta quota, si era fatto aumentare per esempio il grado di compressione del motore S P A 6 A sino al grado 5,75 creando così la categoria del surcompresso. La resistenza del motore non fu però pari allo sforzo, cosicchè subito all'atto delle prove si ebbero rotture di bielle e di alberi motori. Si tornò allora un po' più indietro e si stabilì il grado 5,45.

Altre rotture analoghe alle precedenti, per quanto meno frequenti, si rilevarono.

Ciò induce a ritenere che il primitivo grado di compressione dello S P A originale (5,2) era idoneo.

La necessità però di aumentare il grado di compressione in navigazione ad alta quota è evidente ed ha lo scopo di migliorare il rendimento e solo per questo fatto si constata un aumento di potenza resa.

Ma non è possibile, almeno per ora, costruire motori con rapporto di compressione variabile, onde coll'applicazione di un congegno atto a mantenere alla compressione un valore costante si può raggiungere un risultato più soddisfacente e cioè un reale aumento di potenza che così si può ritenere poco o nulla variante colla altitudine.

Il dispositivo è costituito da una pompa o meglio compressore e fu spe-

rimentato con successo per la prima volta dalla Ditta Isotta Fraschini di Milano verso l'agosto 1917. Detto compressore (costruito dalla Ditta E. Marelli) tende a mantenere costante la pressione al carburatore e quindi costante il peso d'aria di ogni cilindrata.

È evidente che detto compressore dovrebbe fornire un peso d'aria *teoricamente* uguale a quello assorbito dal motore a piena efficienza, ma *praticamente* di qualche cosa maggiore a compenso di inevitabili perdite. Ed allora è naturale soggiungere che questo organo, precisamente di dimensioni quasi uguali a parità di potenza, dovrebbe sussistere anche in motori funzionanti con ciclo a due tempi, motori nei quali nulla vi è che impedisca di mantenere la potenza poco o per nulla variabile in funzione della altitudine.

Peso. — Dalla tabella comparativa è facile stabilire che il peso per unità di potenza dei motori in essa elencati (o potenza massica) si mantiene in limiti assai ristretti e si ha una graduale, quanto logica decrescenza, man mano che il motore rappresenta un complesso di elevata potenza.

Poca o nessuna influenza sul peso ha il congegno di riduzione e trasmissione all'elica, specie tenendo conto dell'aumentato rendimento.

Si è precedentemente avuto occasione di ricordare che è possibile ridurre il peso di alcuni organi quali le bielle, gli stantuffi e gli alberi motori quando si aumenti la velocità angolare od il numero dei cilindri. Ora si aggiunge che, coll'aumento di velocità angolare, ciò diventa un assoluto bisogno, se non si vuole appesantire le parti immobili che ricevono da quelle in moto pressioni, urti, ecc., in funzione geometrica della velocità angolare e della massa, onde necessita alleggerire: stantuffi, valvole, bielle, alberi, ecc.

A conferma si osserva che in un motore a sei cilindri (I F V 6) funzionante a 1700 giri, le sollecitazioni a cui devono resistere molti organi e principalmente i sopporti centrali dell'albero a manovella sono per tre quarti dovute alle forze sviluppate dalle masse di moto alternato e rotativo e per un quarto al lavoro del fluido motore.

Ma una vera e notevole diminuzione di peso non può essere raggiunta che colla soppressione di organi e meglio coll'aumentare il volume utile prodotto nell'unità di tempo dall'unità di volume. Quindi si impone o l'aumento di velocità angolare o la diminuzione di corse eccessive. Coll'abbinamento dei due mezzi si raggiungerebbero vantaggi incalcolabili e questo è possibile col perfezionamento del motore funzionante secondo il ciclo a due tempi. Si avrebbe allora anche la soppressione, tanto desiderata, di numerosissimi organi, in special modo di quelli della distribuzione.

Nei motori in uso per l'aviazione, salvo forse per qualche non ben conosciuto caso, la distribuzione del fluido motore è fatta con valvole comandate da leve ed albero portante eccentrici o *câmes*.

Gli organi che formano il complesso della distribuzione son sempre numerosi e tra essi figurano dei molto costosi ingranaggi conici, dei lunghi alberi cavi, delle leve a struttura complicata, dei sopporti a sfere, delle custodie laboriose quanto ingombranti, accessori tutti ricavati da materiali difficili a trovarsi e delicati per le operazioni tecnologiche, soprattutto per il trattamento termico. È vero che buona parte di tali organi serve contemporaneamente alla trasmissione del moto alle pompe di lubrificazione e di raffreddamento, ai magneti ed ai contagiri o tachimetri ma, comunque, oltre ad un peso non trascurabile, rappresentano un costo elevato, un pericolo continuo, un ingombro notevole e più ancora un grave impedimento per l'accessibilità e lo smontaggio.

Durata o vita dei motori. — La breve vita dei motori d'aviazione non è determinata dall'usura di organi che credo utile chiamare di principale importanza, bensì dallo sregolarsi o dal rompersi di qualcuno dei tanti piccoli componenti il congegno di trasmissione e di distribuzione. Non è infatti agevole il calcolare con sufficiente esattezza gli sforzi che sollecitano le principali loro parti per proporzionarne le dimensioni alle varie resistenze, sforzi d'attrito, di compressione o di flessione, il che lascia anche perplessi circa la scelta dei materiali più opportuni.

Ecco un altro dei grandi meriti del motore con ciclo a due tempi: l'assenza cioè di organi numerosi e complessi. Con esso la velocità angolare potrà toccare valori ancora più alti, la semplicità dei pochi organi ausiliari permetterà la costruzione con buon numero di cilindri ed il conseguente vantaggio di ridurre l'importanza delle masse di moto alternato, distribuendole in guisa da ottenere quasi la perfezione nell'equilibramento tanto delle forze d'inerzia quanto degli impulsi motori. La coppia motrice già più uniforme per la maggior frequenza delle fasi utili, lo sarà ancora di più per l'aumentato numero in ogni giro delle spinte tangenziali ed allora la trasmissione del moto all'elica, con un riduttore, non presenterà più le attuali difficoltà. Inoltre coll'adozione del riduttore, non si raggiungerà solo il vantaggio di un più leggero e veloce complesso di cilindri, ma la possibilità di cedere ad un unico propulsore la potenza sviluppata da più motori ad esso congiunti con innesti a frizione.

L'impiego in aviazione di unità sempre più pesanti provocherà la richiesta di motori sviluppanti potenze sempre maggiori: non si potrà però pensare di riuscirvi soltanto ingrandendo senza limiti gli organi principali di un motore

a combustione leggero e veloce. Soltanto la possibilità di raggruppare motori di media potenza o costituiti di elementi di limitate dimensioni porterà allora alla soluzione del problema. E sarà questo un vantaggio grande anche pel costruttore dell'automobile. La regolarità del moto rotativo, l'assenza di vibrazioni notevoli, grazie alla piccolezza delle masse e più ancora la possibilità di conservare il moto ad un numero limitato di motori, senza spostare le linee di spinta e generare nuove coppie resistenti di correzione, gli renderanno facile risolvere il problema del volo veloce, sicuro e di lunga durata.

Ad alta quota la resistenza di penetrazione dell'aeromobile decresce in funzione della diminuita densità. Sarà possibile mantenere costante la velocità, impiegando una potenza di propulsione ridotta; ma i motori a carico ridotto consumano per unità di lavoro prodotto in funzione inversa del carico istesso. Di qui l'opportunità di arrestare in ogni gruppo propulsore, e, proporzionalmente alla potenza da sviluppare in meno, una parte dei motori (generalmente i gruppi propulsori saranno con vantaggio costituiti da 3 motori dei quali se ne arresterà uno navigando fra i 3000 e i 3500 metri) mentre quelli rimasti in movimento funzioneranno in pieno carico. E ciò è fattibile col motore a due tempi.

Volando con simili espedienti, si potrà disporre di macchine di riserva in numero crescente man mano che le disponibilità di combustibile e lubrificanti diminuiscono e s'alleggerisce l'apparecchio; s'aumenterà così la sicurezza del volo e la durata. E qui si aggiungerà che, raggruppando i motori intorno ad un propulsore si potrà migliorare la condizione di funzionamento di molti servizi ausiliari, ma indispensabili, quali la produzione dell'energia d'accensione, la lubrificazione, il raffreddamento e forse anche la produzione dell'aria compressa di lavaggio dei cilindri. Per ogni gruppo composto di più motori, basterà disporre di un organo per la lubrificazione, di uno pel raffreddamento, di un generatore per l'accensione e, come prima si è detto, probabilmente di un compressore d'aria di lavaggio.

Per qualcuno di questi (energia elettrica e lubrificazione) si potrà disporre di un congegno di rispetto. Si avrebbe così un ulteriore vantaggio per la semplicità e la sicurezza di funzionamento dei motori, così liberati da tanti organi parassiti, che li complicano, li rendono poco accessibili e ne aumentano le probabilità d'arresto. Per la pompa d'aria di lavaggio si potrebbe anzi osservare, a mo' d'esempio, che una di esse, sufficiente per fornire a terra aria di lavaggio a tre motori funzionanti in piena potenza, potrà bastare ancora per fornirne a 2 (due terzi della potenza) là dove la densità dell'aria è diminuita di circa un terzo. Sembra inutile ricordare che questi organi, resi indipendenti

dai motori, potranno essere mossi a velocità e con mezzi assai più appropriati per la propria struttura e dimensione.

Dopo quanto sono venuto fin qui esponendo, appare necessario che una ulteriore spinta venga data all'argomento, il quale comprende il progetto e la costruzione dei motori per l'aviazione.

Qualora lo si ritenga opportuno, ad animare l'emulazione degli specialisti in materia, converrebbe indire un Concorso Internazionale, il quale spinga allo studio pratico di un motore, che funzioni preferibilmente col ciclo a due tempi.

Le norme che si dovrebbero dare in tal caso e derivano dalle considerazioni sopra esposte, potrebbero essere le seguenti:

1° Costruzione di motori pluricilindrici fissi, con raffreddamento qual si voglia, da HP 100, 200, 350, 500, costanti fino alla quota di metri quattromila. Velocità angolare qualsivoglia, purché, con o senza riduttore, il propulsore ruoti a velocità non superiore a 1000 giri al 1'. Alla velocità di 300 giri al 1', senza carico, senza propulsore e senza volano speciale, il motore ruoti tranquillamente con assenza di vibrazioni. Peso massimo Kg. 1 per HP - Consumi massimi per HP - ora: benzina (densità 712) grammi 260 - lubrificante grammi 30.

Dev'essere previsto l'accoppiamento in parallelo con altri motori dello stesso tipo, in guisa da formare un gruppo con un unico propulsore. Un giunto a frizione, manovrabile durante il moto, deve permettere l'arresto e la rimessa in moto del motore. Deve essere prevista la possibilità dell'accentrimento del servizio di lubrificazione, raffreddamento, energia elettrica d'accensione ed aria di lavaggio (nel caso di motori a due tempi) o preventiva compressione pel funzionamento ad alta quota per quelli a quattro tempi. Avviamento automatico a distanza.

2° Costruzione di motori pluricilindrici rotativi, con raffreddamento qualsivoglia, della potenza di 30, 50, 80, 150 HP, per comando diretto di propulsore alla velocità angolare massima di 1200 giri al 1'. Peso massimo per HP rispettivamente di Kg. 1,5; 1,2; 1; 0,80. Consumo 20 % di tolleranza in più, rispetto ai motori fissi di pari potenza. Prevedere l'accoppiamento con innesto a frizione del propulsore. Avviamento automatico a distanza.

La Conferenza di Bruxelles, soprariocordata, ha fatte sue le considerazioni esposte ed ha deferito alla Commissione Tecnica della Federazione Aeronautica Internazionale l'incarico di concretare qualcosa di contingente, in riguardo alla prospettata opportunità del concorso. La Commissione stessa, della quale ho l'onore di essere segretario-relatore, riferirà in riguardo alla prossima Conferenza internazionale di Ginevra (settembre 1920).