



1ª puntata

dr. ing. luigi bovo

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITA'

1ª serie

PREMESSA

Il successo, in una qualsiasi competizione aeromodellistica, specialmente se di un certo rilievo, è quasi sempre il risultato di una somma di molti termini, ciascuno dei quali è più o meno grande; per uscire di metafora, possiamo dire che il successo viene raggiunto per mezzo di:

- a) Un razionale progetto del modello,
- b) Una buona esecuzione del progetto stesso (costruzione),
- c) Un'accurata messa a punto,
- d) Un'accorta condotta di gara,
- e) La fortuna alleata o per lo meno non contraria,
- f) L'esperienza e la pratica dell'aeromodellista.

Ciascuno di questi fattori può avere influenza più o meno grande sul risultato, a seconda dei casi; è però fuor di dubbio che, quanto più eccezionale è il valore tecnico del risultato, tanto più si deve pensare ad una concomitanza di essi. La serie di articoli che inizio a partire da questo numero di «Rassegna» vuole essere uno studio teorico, impostato su basi il più possibile scientifiche, del modello da velocità in Volo Circolare, classe A.

Cercherò, per quanto possibile, di impostare in maniera evidente ed elementare i vari problemi, indi di fare le debite ipotesi semplificative per rendere possibile lo studio teorico degli stessi e poterne trarre delle espressioni matematiche definitive, espressioni che verranno poi analizzate onde trarne le debite conclusioni pratiche che possano servire da base a chiunque si accinga a progettare un modello da velocità, ovvero a cercare di migliorarne uno già costruito.

A questo punto è opportuna una precisazione: nei periodi precedenti avete letto paroloni piuttosto altisonanti (studio teorico, basi scientifiche, espressioni matematiche, ecc.). Ciò non deve far pensare ad un articolo ricco di formuloni ed assolutamente incomprensibile: i formuloni, per forza di cose, ci saranno e qualche volta saranno anche complicatini anzicheno, però tali formuloni verranno sempre «tradotti» ed interpretati in maniera comprensibile anche per chi non abbia cognizioni matematiche elevate.

La ragione per cui le formule intendo metterle è molto semplice: è ora che agli aeromodellisti si dia la possibilità di rendersi conto del perché delle cose in modo da far sì che essi, resisi conto bene di ogni sfumatura del problema che si trovano a dover affrontare, siano poi in grado di ragionare di testa propria e non di fare una certa cosa «perché Gibbs ha fatto così».

Spero anche che questa mia iniziativa possa ottenere il risultato di aprire delle sane discussioni sui vari problemi inerenti ai modelli da velocità e di far sì che qualche altra voce, più autorevole della mia, si levi a spiegare ai velocisti in erba e a quelli già affermati «come stanno le cose». Per parte mia non mi offenderò affatto se qualcuno mi dirà pubblicamente che ho sbagliato: purché, naturalmente, me lo dimostri.

E se queste mie note non avranno nel frattempo provocato un generale coro di proteste e di sbadigli, mi riprometto di completarle ed integrarle esaminando anche il caso dei modelli classe B, C e D.

IMPOSTAZIONE GENERALE DEL PROBLEMA

Come ogni problema che si rispetti, anche quello del modello da velocità ha i suoi dati, i quali consistono nelle limitazioni imposte dal regolamento, che nel caso nostro è il Regolamento Nazionale Modelli Volanti, traduzione italiana del FAI, integrato, per quanto riguarda la classe A, dalla nuova formula.

Precisamente, i dati sono i seguenti:

- Cilindrata massima = 2,5 cm³
- Minimo rapporto Superficie totale/Cilindrata = 2 dm²/cm³
- Lunghezza minima dei cavi dall'asse della manopola al-

l'asse del modello = 15,92 m

- Diametro minimo dei cavi (se sono due) = 0,25 mm (se il cavo è uno, esso deve avere una sezione pari alla somma delle sezioni di due cavi)
- Distanza da percorrere = 10 giri (pari ad 1 km)
- Quota di volo non specificata.

Veramente nelle gare di velocità si usa talvolta squalificare chi vola sopra i 4 metri di quota o sotto l'orizzontale, e tale disposizione viene a volte inserita nel regolamento particolare di gara, però il Regolamento Nazionale non ne parla. Come la mettiamo, quando gli organizzatori, nella stesura del loro regolamento, se ne dimenticano? Mah!

In possesso di questi dati, il problema si riduce a fare in modo di riuscire a compiere dieci giri nel minor tempo possibile, il che equivale a farsi cronometrare la più alta velocità.

Pertanto lo studio del progettista deve orientarsi in due diverse direzioni, che vanno seguite in maniera paritetica, nessuna delle due essendo meno importante dell'altra:

- a) Cercare di avere un modello che, almeno nel tempo in cui è in base, voli alla massima velocità possibile sulla traiettoria,
- b) Fare in modo che il modello compia il percorso più breve possibile.

Esaminiamo quindi successivamente questi due punti.

a) Massima velocità.

Il motore, quando il modello è in volo, fornisce sull'asse una certa potenza P. Questa potenza, trasmessa all'elica, viene utilizzata per farlo volare, ma l'utilizzo, ahimè!, non è totale. Infatti, la potenza veramente utilizzata a fini produttivi, e non semplicemente a frullare l'aria, anziché P è $\eta_p P$, dove

η_p , rendimento propulsivo dell'elica, come tutti i rendimenti che si rispettino, è sempre minore di 1.

La potenza utilizzata, che chiameremo P_u , viene sfruttata sotto forma di trazione dell'elica e, in condizioni di regime, cioè quando il modello ha raggiunta la sua massima velocità e comincia a girare con moto uniforme, si ha l'equazione di bilancio energetico:

$$P_u = \eta_p P = TV \quad (1)$$

In cui TV non ha niente a che fare con la Radiotelevisione, ma è semplicemente il prodotto della trazione in kg, per la velocità in m/s. Ciò che si ottiene non è la potenza in cavalli, bensì in kgm/s, dalla quale, volendo, si può passare a quella in cavalli dividendo per 75. E poiché, se qualcuno vuole applicare la formula, la potenza dei motori ci è sempre data in cavalli, si potrà scrivere:

$$P_u = \eta_p P = TV/75 \quad (1')$$

Trovandoci in condizioni di moto uniforme, è chiaro che si dovrà avere equilibrio fra tutte le forze e i momenti agenti sul modello. In particolare a noi interessa in questo momento la condizione di equilibrio alla traslazione orizzontale nel senso longitudinale, che si traduce nell'eguaglianza: Trazione = Resistenza. Perciò l'espressione (1') si trasforma come segue:

$$\rho P = TV/75 = RV/75 = \frac{1}{2} \rho C_r S V^3 / 75$$

$$V = \sqrt[3]{\frac{150 \eta_p P}{\rho C_r S}} \quad (2)$$

Questa espressione ci dà il valore della velocità di regime, cioè della massima velocità che un determinato complesso modello + elica + motore, carburato in modo che il motore fornisca la potenza P (in cv), può raggiungere in un'aria di densità ρ . Essa però, ai fini di progetto, non si presta molto e conviene trasformarla un po'.

Come già accennato, il Regolamento impone che il rapporto Cilindrata/superficie totale, non superi il valore di 0,5 cm³/dm², ed è appunto tale rapporto che ci interessa far comparire nella (2).

A tal uopo ricordiamo che la potenza di un motore si può porre proporzionale alla cilindrata, tramite un fattore di proporzionalità che, per motori simili, dovrebbe essere all'incirca costante:

$$P = kC \quad (3)$$

La (3), sostituita nella (2), fa sì che in essa compaia il rapporto C/S che però non è ancora quello che ci interessa, poichè di solito l'espressione della resistenza viene riferita alla superficie, mentre a noi interessa far comparire la superficie totale St. Per questo basta applicare in maniera opportuna l'artificio usato in aerodinamica per riferire tutte le resistenze ad un'unica superficie. La resistenza di un qualsiasi corpo si può esprimere mediante la:

$$R = \frac{1}{2} \rho C_r A V^2$$

in cui A è un'opportuna superficie di riferimento (sezione maestra per le fusoliere, proiezione orizzontale per le vele, ecc.). Ora, se noi vogliamo prendere come superficie di riferimento anzichè la A, un'altra superficie B, è necessario che modifichiamo il valore di Cr, moltiplicandolo per il rapporto A/B, ottenendo il cosiddetto «coefficiente ridotto»:

$$C_r' = C_r \frac{A}{B}$$

$$R = \frac{1}{2} \rho C_r' B V^2$$

Pertanto, volendo far comparire nella (2) la superficie totale, è sufficiente porre:

$$C_r' = C_r \frac{S}{St}$$

$$R = \frac{1}{2} \rho C_r' St V^2$$

ottenendo infine:

$$V = \sqrt[3]{\frac{150 \eta_p kC}{\rho C_r' St}} = \sqrt[3]{\frac{150 \eta_p kD}{\rho C_r'}} \quad (4)$$

ove si è posto $D = C/St$, valore che il Regolamento limita a 0,5 cc/dm².

La (4) ci dice quali sono le grandezze su cui bisogna giocare per ottenere la massima velocità possibile:

- 1° - Usare eliche di rendimento il più elevato possibile
- 2° - Elevare al massimo k (potenza per cm³ di cilindrata)
- 3° - Il rapporto D è limitato dal Regolamento, e l'unica cosa che si può fare è di adottare il massimo consentito, calcolando esattamente la superficie totale in 2 dm²/cm³
- 4° - La densità dell'aria è quella che è (in condizioni tipo, al livello del mare essa è 0,125 e varia con il tempo e con la quota)
- 5° - Diminuire al massimo il coefficiente di resistenza totale.

Nella (4) il peso totale del modello compare, da che si deduce che esso non influisce sulla velocità massima raggiungibile. Bel colpo barone! Ve lo immaginate voi un classe A del peso di una tonnellata che se ne vola allegro e beato come uno che pesa quattro etti? In effetti la nostra formuletta nasconde l'inghippo e tanto vale chiarire le cose subito. Il coefficiente di resistenza totale è la somma dei coefficienti «ridotti» relativi ai timoni, alla fusoliera, ai cavi, al motore, all'ala; orbene, come tutti sapete, il coefficiente di resistenza dell'ala è composto di due parti: il coefficiente di resistenza di profilo e il coefficiente di resistenza indotta il quale aumenta col quadrato del Cp.

E' chiaro ora dov'è che si ritrova l'influenza del peso: a parità di superficie, un modello più pesante dovrà avere forzatamente un Cp maggiore per potersi sostenere, e quindi avrà un maggiore coefficiente di resistenza indotta e quindi anche totale. Pertanto, il problema del peso rientra nel punto 5°.

b) *Minimo percorso.*

«La distanza più breve tra due punti — diceva tanti anni fa Edward G. Robinson nel film IL VENDICATORE — può anche non essere la linea retta». Evidentemente il famoso attore era un precursore del Volo Circolare. Scherzi a parte, è ben noto che i modelli da velocità volano in cerchio. Il problema che ci angustia in questo momento si può quindi scindere in due parti, una successiva all'altra:

- 1° - Cercare di non allungare la traiettoria, rispetto alle imposizioni del Regolamento
- 2° - Cercare, pur restando nell'ambito del Regolamento stesso, di accorciarla ulteriormente.

La prima parte, data per scontata la necessità di fare i cavi lunghi esattamente m. 15,92 e non più, si riduce al problema di eliminare le montagne russe, tanto divertenti a vedersi, specialmente se al fondo di ognuna si fa la barba alla nuda terra, ma tanto deleterie sia agli effetti della velocità cronometrica, sia a quelli della possibilità di partecipare alla gara immediatamente successiva, possibilità che potrebbe essere irrimediabilmente preclusa qualora il punto più basso

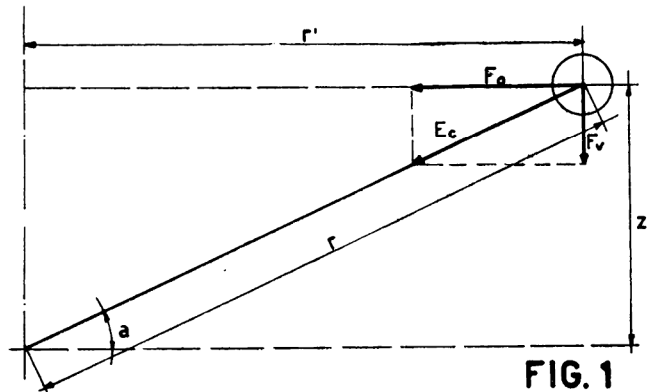


FIG. 1

di una delle montagne in questione venisse per avventura a trovarsi ad una quota inferiore a quella del terreno.

Per parlare da persone serie: stabilità longitudinale cercasi! Il punto 2° invece, richiede qualche indagine ulteriore: è ben noto ed evidente che, volando alti, il cerchio si stringe; ma attenzione!, potrebbe anche stringersi intorno al collo di chi ci prova.

Abbiamo infatti visto in precedenza che il Regolamento Nazionale non pone limitazioni alla quota di volo. Ciò è vero, però, evidentemente, si tratta di una lacuna che non potrà durare, e se nessuno se ne fosse mai accorto, cosa di cui mi permetto dubitare, mi auguro se ne accorga adesso, se avrà avuto il compiacimento di leggermi, e vi ponga rimedio.

Per quanto mi riguarda quindi, supporrò che il Regolamento porti la clausola, divenuta ormai di uso comune, in base alla quale «Il volo del modello deve svolgersi interamente fra la quota della manopola e i 4 metri».

Ciò posto, la conseguenza sembra ovvia: io volo a 4 metri di quota, così ci guadagno, perchè stringo il cerchio. Verissimo; però oltre a stringere il cerchio, si producono tanti altri piccoli effetti che fanno rallentare il modello, per cui non è detto che ci si guadagni.

Infatti (fig. 1) quando il modello vola alto, i cavi non sono più orizzontali, per cui la trazione Fc che il pilota esercita su di essi per tenere il modello in cerchio, è inclinata verso il basso e presenta quindi una componente verticale Fv che va a sommarsi al peso, per cui è come se il modello fosse più pesante, il che, come abbiamo visto, non è propriamente vantaggioso ai fini della velocità. Quindi: ci si guadagna da una parte e ci si perde dall'altra. Tutto sta a vedere quale dei due sia più forte, se il guadagno o la perdita.

Faccio una parentesi: poco sopra ho detto «... la trazione che il pilota esercita su di essi (i cavi)...». Questa frase sembra apparentemente contraria a ciò che di solito si dice parlando in gergo ucontrollistico, e cioè che «è il modello che tira sui cavi». In realtà le due cose si equivalgono, in virtù del principio di azione e reazione, che si può, in questo caso, esprimere così: se il modello tira i cavi, i cavi tirano il modello e quindi, siccome i cavi vanno a finire al pilota, è il pilota che, in definitiva tira il tutto.

Però, dal punto di vista concettuale, le due cose non sono perfettamente equivalenti, ed il perchè è il seguente: il principio di inerzia stabilisce che «un corpo tende a conservare il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, se non interviene una forza esterna a modificarlo». Pertanto, in virtù del summenzionato principio, un modello che si rispetti tende a volare dritto e non a fare il girotondo; per farglielo fare bisogna tirarlo verso il centro del cerchio, cosa che si

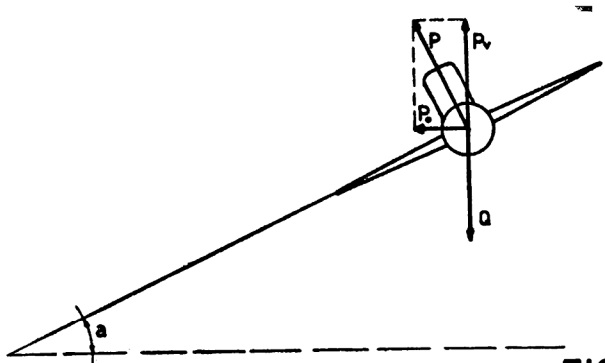


FIG. 2

ottiene tramite i cavi e i bicipiti del pilota, in modo da creare una forza centripeta, che è la F_o rappresentata in figura, la quale, come ci insegna la meccanica, deve valere esattamente:

$$F_o = \frac{mV^2}{r'} \quad (5)$$

in cui m è la massa del modello, ovvero, se si vogliono mettere i numeri, il peso in kg diviso per l'accelerazione di gravità g , che vale 9,81 m/s (circa).

Ed ora torniamo a bomba: volando ad una quota z sopra la manopola, il raggio del cerchio di volo diventa, per il teorema di Pitagora:

$$r' = \sqrt{r^2 - z^2}$$

e quindi, in 10 giri, il modello percorre metri $10.2.3.14.r' = 62,8 \sqrt{r^2 - z^2}$, in cui z , supposto di tenere la forcina del pilone a circa 1 m da terra, potrà variare tra 0 e 3 m. Peraltro, poichè la forza centripeta è espressa dalla (5), la forza F_v che va a sommarsi al peso sarà:

$$F_v = F_o.tga = F_o \frac{z}{r'} = \frac{mV^2z}{r'^2} = \frac{QV^2z}{gr'^2} \quad (7)$$

In cui Q è il peso del modello in kg.

Un esempluccio numerico non farà male, perchè il tentare di risolvere per via teorica e rigorosa il problema della quota di volo è questione talmente complessa che pochissimi avrebbero voglia di tenermi dietro, per poi giungere, ammesso che vi si giunga, ad un risultato identico.

Supponiamo dunque di avere un classe A che abbia le seguenti caratteristiche:

— Peso: $Q = 0,4$ kg

— Velocità: $V = 55$ m/s = 198 km/h

Se il modello volasse a quota $z = 0$, esso impiegherebbe, a compiere 10 giri = 1 km. Esattamente $1000/55 = 18'' 2/10$.

Volando invece a quota $z = 3$ m, in 10 giri percorrerebbe $62,8 \sqrt{15,92^2 - 3^2} = 985$ m e quindi impiegherebbe, volando alla stessa velocità, un tempo pari a $985/55 = 17'' 9/10$, il che significa che gli verrebbe cronometrata una velocità di 201 km/h.

Per contro però, la F_v varrebbe:

$$F_v = \frac{0,4 \cdot 55^2 \cdot 3}{9,81 \cdot 245} = 1,51 \text{ kg}$$

che si sommano ai 400 g di peso per dar luogo, praticamente, ad un modello di quasi 2 kg, cioè di peso quasi quintuplicato. Un po' troppo, vero? Credo proprio che non ci sia bisogno di andare oltre coi calcoli: i tre chilometri guadagnati per una via si perdono certamente, e con gli interessi, per l'altra. Per amor di precisione debbo dire che c'è un altro effetto da tenere in conto: il modello, quando vola alto, si inclina, per cui la portanza non è più verticale e si ha quindi una componente di essa, la P_o , che si sovrappone alla F_o , ed un'altra, verticale, che sostiene il peso, il quale, per sua natura, sempre verticale è. Perciò, da un lato, una piccola parte della F_o esiste già e non occorre crearla tramite i cavi, dall'altro, è necessario un C_p leggermente maggiore perchè la componente verticale della portanza è, evidentemente, minore della portanza stessa (Fig. 2). Questi effetti però, sono entrambi molto piccoli, e per di più si compensano, almeno in parte, per cui i termini della questione non subiscono sensibili spostamenti.

Concludendo quindi, possiamo riassumere i requisiti da tener presenti in sede di progetto:

- 1) Un motore che fornisca la massima potenza per cm³ di cilindrata;
- 2) Un'elica di rendimento quanto più possibile elevato;
- 3) Un complesso modello-cavi di minima resistenza aerodinamica;
- 4) Un modello stabile longitudinalmente, con qualunque tempo.

(Continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITA'

Ritengo che questo argomento vada trattato per primo, per le seguenti ragioni:

a) E' l'elica che va adattata al modello e al motore, e non viceversa;

b) La politica più saggia non è quella di disegnare il modello e poi vedere come farci stare il motore, bensì di disegnare un modello in grado di contenere il motore da noi scelto.

Vediamo quindi come si debba impostare il problema motoristico.

Al solito, premettiamo i dati del problema:

— Cilindrata massima 2,5 cm³ (Regolamento).

— Basso peso (vedi cap. precedente).

— Massima potenza per cm³ (coefficiente k), realmente sfruttabile per tutto il volo.

Prima di andare avanti, ritengo utile discutere le ultime parole scritte; sono parole che andrebbero scritte a lettere cubitali, poichè coinvolgono una tale serie di conseguenze da far passare in seconda linea il numeretto (che si trova nella pubblicità e nelle curve di potenza) che ci dice quanti cavalli fornisca il motore. Mi spiego:

— E' inutile conoscere la potenza, se non si sa con quale miscela e candela e dopo quale rodaggio è ottenuta, perchè i confronti non hanno più alcun valore.

— E' inutile avere un motore più potente di un altro, se poi non si è in grado di fargli sputare tutta la sua potenza (sia per incapacità, sia per scarsa attrezzatura, sia per mancanza di dati).

— Non sempre il motore più potente sulla carta è quello che ci permette di ottenere in realtà la massima potenza: ci sono motori suscettibili, più di altri, di miglioramenti notevoli tramite oculte modifiche, studio di miscele più adatte, uso di candele più confacenti, ecc.

— Quando si ha il motore più potente del mondo, si è ancora al punto di prima, poichè occorre mettere a punto un sistema di alimentazione che non ci faccia perdere potenza per la strada, sotto forma di voli scarburati.

Da ciò segue che le prospettive sono tutt'altro che rosee, ma la realtà mi sembra sia quella prospettata, e non trovo simpatico ignorare una difficoltà solo perchè ci farebbe comodo potervi passar sopra senza intoppi.

In questo capitolo quindi, ci occuperemo di svariati argomenti e, tanto per cominciare, vediamo un po' come va affrontato il primo gradino della scala, e cioè la scelta del motore.

a) *Scelta del motore*

Le prime due domande da porci (sia ben chiaro: non sto dicendo che i velocisti sono dei suini!) sono:

I^a) Diesel o glow plug?

II^a) Due e mezzo di cilindrata o meno?

Alla prima domanda, in tutto il mondo è già stata data una risposta: glow plug. Ma perchè? Tanto per cominciare mettiamo sul tappeto il primo gettone: stando alle curve di potenza delle riviste inglesi il più potente motore classe A di produzione commerciale è, se non vado errato, l'Oliver Tiger. Come mai allora non lo si usa, e con lui tutti i suoi potentissimi fratelli Diesel?

E' noto che la potenza di un motore è proporzionale al prodotto della coppia per il numero dei giri. E' chiaro quindi che una stessa potenza, poniamo 0,3 cv, si può ottenere con coppia elevata a basso numero di giri oppure con coppia più piccola a numero di giri più elevato.

Supponiamo quindi di avere un Diesel ed un Glow che diano la stessa potenza; ad esempio un Oliver e un G.20 che diano entrambi 0,3 cv. Ora, il G.20 fornisce fornisce tale potenza a circa 18000 giri al minuto, mentre l'Oliver la fornì-

TABELLA I

Motore	Nazione	Tipo	Potenza dedotta da		
			Aeromodeller	Model Aircraft	Costruttore
Zeiss Aktivist	Germ. Or.	Diesel			0,36 a 17000
MK 12	URSS	Diesel			0,36
MVVS 2,5/58	Cecosl.	Diesel		0,31 a 15800	0,35
Webra Mach 1 Glo	Germ. Oc.	Glo		0,27 a 16500	0,33
G 20 V Lapp.	Italia	Glo			0,33 a 18000
MAW	Germ. Or.	Diesel			0,32
Nalon Viper	G. B.	Diesel			0,32
Oliver Tiger Mk III	G. B.	Diesel		0,31 a 14000	
Webra Mach 1	Germ. Or.	Diesel	0,22 a 16700	0,29 a 15000	0,31 a 17000
PAW Special	G. B.	Diesel	0,25 a 14000	0,30 a 15500	
Enya 15 D	Giapp.	Diesel	0,25 a 14200	0,30 a 14700	
G 30	Italia	Diesel		0,29 a 16000	0,30 a 18000
Frog 2,49 BB MOD.	G. B.	Diesel	0,26 a 14800	0,29 a 14500	
ED 2,46 S.R. Spl.	G. B.	Diesel		0,29 a 15000	
G 20 S Lapp.	Italia	Glo	0,18 a 13400	0,28 a 16000	
Enya 15-1B	Giapp.	Glo		0,28 a 15000	
K & B Torp. 15	USA	Glo		0,28 a 15000	
G 20 S	Italia	Glo		0,26 a 15000	0,29 a 16500
Jaskolka 2	Polonia	Diesel			0,28 a 14500
Barbini B 40 T.N.	Italia	Glo	0,19 a 14000	0,27 a 15000	
Elfin 2,49 mod. 1949	G. B.	Diesel		0,27 a 13000	
Webra Komet	Germ. Oc.	Diesel		0,27 a 13000	
ED 2,46 Mod. da P.					
Buskell	G. B.	Diesel	0,27 a 14700		
OS Max 1	Giapp.	Glo	0,24 a 14600	0,27 a 15000	
ED 2,46	G. B.	Diesel	0,2 a 14600	0,27 a 13800	
Frog 2,49 BB	G. B.	Diesel		0,26 a 15000	0,26
Taifun Meteor	Germ. Oc.	Diesel		0,23 a 13500	0,27 a 14500
BWM 251	Germ. Oc.	Diesel			0,27 a 15000
Typhoon R 250	Olanda	Diesel		0,26 a 13700	
Vitavan 2,5	Cecosl.	Glo			0,25 a 16000
Sugden Spl.	G. B.	Diesel	0,24 a 12700		

(continua a pag. 21)

sce a 14.000, dopodiché la potenza cala. Ciò significa che l'elica optimum del G 20 (quella che gli fa fare 18.000 giri) messa sull'Oliver ne fa di meno perché a 18.000 giri l'Oliver non fornisce più i 0,3 cv del G 20, ma alquanto di meno e quindi « non ce la fa ». Ne consegue che si vorrebbe più lenti. Vedremo a suo tempo come funzioni la teoria delle eliche, però è evidente che, per sfruttare tutta la potenza dell'Oliver, è necessario usare un'elica di diametro maggiore oppure di passo maggiore.

La prima soluzione è evidentemente fasulla perché se con un passo di, poniamo, 20 cm, un G 20 fa 18.000 giri e un Oliver, con lo stesso passo, ne fa 14.000, è intuitivo pensare che il primo, montato su un modello, vada più veloce, seppur non nella proporzione dei numeri di giri per ragioni che vedremo. La seconda soluzione sembra buona, perché ciò che si perde in giri lo si dovrebbe riguadagnare sul passo. Ma, ahinoi! il modello deve anche decollare e accelerare, cosa che, con passo troppo elevato, non è affatto agevole, per cui, forse il gioco non vale la candela.

Ciò potrebbe spiegare la preferenza accordata ai Glow da tutti i velocisti, i quali tengono conto anche di una maggior praticità nella regolazione, ecc.; però un esperimento fatto con cura e in condizioni paritetiche potrebbe anche dar loro torto.

Anche alla seconda domanda, in tutto il mondo si è risposto come un sol uomo: due e mezzo e neanche un pelo di meno. E qui siamo tutti d'accordo: è ben chiaro che nella (4) cilindrata non compare e che quindi, supposto ad es. di dimezzare la cilindrata, la velocità non cambia pur di dimezzare la superficie (non cambia apparentemente, beninteso), però bisogna tener conto di un fatto importantissimo.

Evidentemente l'adozione di un motore più piccolo la farebbe solo se ciò convenisse, cioè se si trovasse un motore che fornisca più potenza per cm³ di cilindrata (cosa questa che di solito non accade, perché motori più piccoli hanno valori di k più bassi), però resta il fatto che i cavi, a norma di Regolamento, non cambiano, per cui la resistenza del modello diminuisce, perché è più piccolo, mentre quella dei cavi resta la stessa; e, come ben sapete, gran parte della resistenza totale è imputabile ai cavi...

Con ciò non credo di aver scoperto l'America al buio: ho voluto soltanto spiegare « il perché ».

Stabilito quindi di usare un motore da due e mezzo, la scelta dello stesso dovrebbe basarsi su due punti ben precisi:

- 1) Scegliere il motore più potente;
 - 2) Solo a parità di potenza scegliere il motore più leggero.
- E purtroppo il punto 1), che sembrerebbe una cosa elementare, è invece una gran cagnara, per via di tutte quelle considerazioni che abbiamo fatto all'inizio del capitolo.

In questo campo quindi la teoria non può che arrendersi e

lasciare campo libero all'unica strada possibile: il metodo sperimentale.

E qui lasciatemi spendere due parole: il metodo sperimentale è peggio del boomerang che, in mani inesperte, non solo fallisce il bersaglio, ma ammacca chi lo lancia.

Vorrei cioè richiamare la vostra attenzione su di un punto fondamentale: il metodo sperimentale ci dà dei risultati che, per essere correttamente interpretati, debbono essere ottenuti *nelle identiche condizioni*, salvo un solo cambiamento. Se no si fa come quell'entomologo che strappava le zampe alle pulci e poi gridava loro: « Salta! » e concludeva quindi la sua relazione all'Accademia delle Scienze con le storiche parole: « Dopo anni di esperimenti di laboratorio siamo in grado di annunciare che le pulci, private delle zampe, diventano sorde ».

Perché, vedi caso, le pulci non gli davano mai retta. Perciò, ripeto, se volete fare delle prove di qualunque tipo, dovete farle cambiando una sola cosa per volta, e cercando di evitare che il cambiamento fatto possa avere conseguenze di altro genere da quelle volute.

Nel caso specifico, l'unico modo di trovare il motore più potente in realtà è questo:

- 1) Comprare i vari motori da velocità da 2,5 cm³.
- 2) Mettere a punto ciascun motore in modo da portarlo a dare il massimo, con l'elica, la miscela, le candele, il rodaggio, le modifiche più confacenti.

3) Confrontare le suddette potenze massime a parità di condizioni atmosferiche e scegliere il motore che fornisce il massimo dei massimi.

E poi ti svegli! Perché tutto ciò è bellissimo però bisognerebbe che tutti fossero dei magnati del petrolio, se no, chi se lo può permettere? Beh, prendetelo per un augurio!

E allora non resta altro da fare che affidarsi ai dati altrui, sperando che tali dati siano comparabili: guardatevi quindi la tabella I e traete voi le vostre conclusioni, in base alle idee che vi ho esposto, se vi sfagiolano, oppure in base alle vostre, se preferite.

A questo punto, supposto che la vostra scelta sia illuminata e che il vostro portafogli sia ben fornito, voi acquisterete il motore che ritenete più potente e immediatamente vi si presenterà il secondo ostacolo: come spremere da questo motore il massimo della potenza? Oppure se ne avrete l'attrezzatura potrete anche pensare di costruirvi da soli il motore dei 300 all'ora ma l'imperativo categorico resta: su quali fattori bisogna giocare per ottenere un motore più potente degli altri? In ogni caso è necessaria a questo punto un po' di teoria allo scopo di smascherare quel famigerato coefficiente k (potenza per cm³ di cilindrata) di cui finora si è tanto parlato ma che nessuno vi ha ancor detto come sia fatto. Ce ne occuperemo diffusamente nel prossimo paragrafo.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1ª serie

b) Il coefficiente K

Ad ogni fase di aspirazione, se il cilindro si riempisse integralmente, entrerebbe in esso un volume di carica fresca esattamente uguale alla cilindrata V_t ; invece, per un complesso di fattori, il riempimento non è totale, ed in realtà entrano $\lambda_v V_t$ metri cubi di carica fresca, essendo λ_v il « coefficiente di riempimento », volgarmente noto come « rendimento volumetrico ».

A seconda del tipo di motore, ad ogni giro si hanno 2, 1 o mezza (una ogni due giri) fasi di aspirazione, per cui, se il motore fa n giri/1' e quindi $60n$ giri/h, il volume di carica fresca entrata è:

$$\lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \text{ m}^3/\text{h}$$

in cui ξ è un coefficiente che vale 2 per i motori a 4 tempi, 1 per quelli a 2 tempi e circa 0,5 per quelli a due tempi a doppio effetto.

Moltiplicando il volume per il peso specifico dell'aria γ_a si ha il peso d'aria che entra:

$$\lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \gamma_a \text{ kg/h}$$

Poichè l'aria è carburata in una certa proporzione, chiamando α il rapporto: kg di aria/kg di combustibile, se dividiamo per α l'espressione scritta sopra, avremo il peso di combustibile che entra:

$$\lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \frac{\gamma_a}{\alpha} \text{ kg/h}$$

A questo punto è bene notare che il ragionamento appena fatto è lievemente approssimato; infatti, dato che nel cilindro entra aria miscelata a combustibile, non sarebbe esatto moltiplicare il volume per il peso specifico dell'aria (salvo poi dividere per α) ma bisognerebbe invece moltiplicare per il peso specifico dell'aria carburata. Però, nel caso di miscele combustibili liquide, come quelle usate in aeromodellismo, l'errore che si commette seguendo il procedimento indicato, è molto piccolo e vi si può passar sopra.

Tornando in argomento, il combustibile entrato nel cilindro, si accende, brucia e sviluppa calore; precisamente, ogni kg di combustibile sviluppa H_i calorie (H_i = potere calorifico inferiore del combustibile, che si trova sui manuali), pertanto nel cilindro si sviluppano dalla combustione:

$$\lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \frac{H_i}{\alpha} \gamma_a \text{ Kcal/h}$$

Questo calore è un'energia che si trasforma in lavoro meccanico, che è poi quello che ci interessa, però purtroppo questa trasformazione è soltanto parziale (e molto parziale!). Precisamente l'aliquota che si trasforma in lavoro utile è rappresentata dal rendimento globale η_g che è assai minore dell'unità (nel caso dei nostri motori credo si farebbero salti di gioia se il rendimento globale raggiungesse il valore 0,25, valore che i costruttori di motori a scoppio giudicano quasi pietoso). Comunque non è il caso di piangere, e si può proseguire nel ragionamento: la potenza sviluppata nella trasformazione del calore in lavoro sarà:

$$P = \lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \frac{H_i}{\alpha} \gamma_a \eta_g \text{ Kcal/h}$$

e poichè a noi piace esprimere la potenza in cavalli, dovremmo scrivere:

$$P = \lambda_v V_t \frac{n \cdot 60}{\xi} \frac{H_i}{\alpha} \frac{\gamma_a \eta_g}{632} \text{ cv} \quad (8)$$

Da questa espressione è facile dedurre l'espressione di K : infatti, poichè K è la potenza divisa per la cilindrata espressa in cm^3 , ricordandoci che la cilindrata V_t è stata da noi (per ragioni di unità di misura) espresso in m^3 , avremo infine:

$$K = \frac{P}{V_t} = \lambda_v \frac{n \cdot 60}{\xi} \frac{H_i}{\alpha} \frac{\gamma_a \eta_g}{632000000} \text{ cv/cm}^3 \quad (9)$$

E' questa la formula che ci dice tutto del nostro motore: per aumentare K ci sono molte vie da seguire. Le elenco tutte, per poi esaminarle una per una:

- 1) Aumentare il rendimento volumetrico λ_v ,
- 2) Aumentare il numero di giri n ,
- 3) Aumentare il potere calorifico del combustibile H_i ,
- 4) Aumentare il rendimento globale del motore η_g ,
- 5) Diminuire il rapporto aria/combustibile α ,
- 6) Aumentare il peso specifico dell'aria γ_a ,
- 7) Diminuire il coefficiente ξ .

Di questi, i punti 1), 2) e 4) si riferiscono al motore propriamente detto, il 3) e il 5) hanno a che fare con la miscela, e gli ultimi due, pur riferendosi sempre al motore o a qualche suo accessorio, coinvolgono questioni molto più vaste, richiedendo un rifacimento del motore stesso o l'aggiunta di organi del tutto nuovi. Comincerò quindi col trattare i primi punti, poi gli ultimi e infine, in un paragrafo dedicato alle miscele, gli altri.

c) Aumento del rendimento volumetrico

Nella normale tecnica motoristica, le maggiori cure dei progettisti vengono dedicate proprio a questo punto perchè, fra tutti, è quello che permette di ottenere sostanziali aumenti di potenza, dato che ormai tutte le altre vie sono state indagate a fondo e sfruttate fino all'osso. Come tutti i problemi di grande importanza, anche questo è stato molto discusso ed esiste in materia un trattato del List che si può dire definitivo in materia. Ha un solo difetto: è scritto in tedesco. Ciò premesso, se vogliamo affrontare il problema dell'aumento del rendimento volumetrico, dobbiamo evidentemente sapere che cosa è questo signore che noi volgiamo sottoporre a cure ricostituenti a scopo di farlo crescere.

Si definisce rendimento volumetrico il rapporto tra il peso di carica fresca effettivamente entrata nel cilindro, e quello che occuperebbe un volume pari alla cilindrata in condizioni di pressione e temperatura ambiente:

$$\lambda_v = \frac{A}{\gamma_a V_t} \quad (10)$$

In questa formula il denominatore è quello che è, perchè la cilindrata è fissa, e il peso specifico dell'aria ambiente è un qualche cosa che troviamo sul posto e che dobbiamo accettare senza discutere. Perciò, per aumentare λ_v , l'unica via è aumentare A , peso di carica fresca che entra ad ogni ciclo nel cilindro. Facile come mettersi le dita nel naso! Di conseguenza, la cura ricostituente dobbiamo propinarla ad A , dato che il resto è tabù. E' possibile dare un'espressione matematica della quantità A :

$$A = \int_{\Theta_a}^{\Theta_r} \Omega c \gamma \frac{d\Theta}{\omega} \quad (11)$$

(in cui Θ_a = angolo di manovella in cui si apre il travaso; Θ_r = angolo di manovella in cui il travaso si chiude; Ω = sezione della luce di travaso; γ = peso specifico della carica fresca; Θ = angolo di manovella; ω = velocità angolare di rotazione dell'albero motore; c = velocità istantanea dei gas).

Non tutti gli aeromodellisti hanno dimestichezza col calcolo integrale, per cui il dare un'espressione come la (11) credo servirebbe a poco. Mi sforzerò quindi di calcolare l'integrale che figura nell'espressione stessa. (continua a pag. 30)

(Teoria Velocità, da pag. 22)

Senza stare a spiegarvi come ci si arriva, vi dirò che lo spostamento del pistone a partire dal punto morto superiore, si può esprimere con la formula approssimata:

$$x = r \left(1 - \cos\Theta + \frac{\sin^2\Theta}{2\mu} \right) \quad (12)$$

(in cui r = raggio di manovella; $\mu = l/r$, essendo l la lunghezza della biella).

Possiamo quindi esprimere l'area della luce di travaso aperta in un determinato istante mediante la:

$$\Omega = B (x - x_a) = Br \left(-\cos\Theta + \frac{\sin^2\Theta}{2\mu} + \cos\Theta_a - \frac{\sin^2\Theta}{2\mu} \right)$$

Per quanto riguarda la c , essa è variabile da istante a istante e non è facile darne un'espressione matematica; ne considereremo quindi un valore medio, costante al variare di Θ . Potremo così integrare la (11):

$$A = \frac{2 \gamma B r c}{\omega} \left[-\sin \Theta_a + \frac{\sin^2 \Theta_a}{8 \mu} - \frac{\Theta_a}{4 \mu} + (\pi - \Theta_a) \right. \\ \left. \left(\cos \Theta_a - \frac{\sin^2 \Theta_a}{2 \mu} \right) \right] \quad (13)$$

Questa formula è alquanto complicata e non è che serva a gran che, se non a mostrare su quali fattori bisogna agire per aumentare il rendimento volumetrico:

a) Aumentare la larghezza B delle luci di travaso,

b) Alzare le luci di travaso,

c) Aumentare r,

d) Aumentare la velocità media dei gas,

e) Diminuire ω ,

f) Aumentare il peso specifico della carica fresca γ .

Di questi, alcuni sono possibili, altri no, altri sono soggetti a dei limiti. Vediamo un po':

a) Nei motori a scarico contrapposto al travaso, la larghezza B può al massimo essere portata a circa una semicirconferenza. Si vede subito che, sotto questo punto di vista, il motore a pistone lappato presenta un vantaggio rispetto a quello con fascie elastiche, perchè non necessita delle colonnine che fatalmente restringono la sezione di passaggio.

b) Alzare la luce di travaso è possibilissimo, ma occorre pensare che l'apertura di tale luce è preceduta da quella della luce di scarico, per cui aprirla troppo presto significa fare espandere i gas combusti nell'ambiente esterno anzichè contro il pistone, e quindi perdere dell'energia. Poichè in prossimità del p.m.i. questa energia perduta è minima, si tratta di determinare sperimentalmente fino a quale punto l'innalzamento della luce di travaso porti un beneficio sotto forma di aumento di potenza, e fermarsi lì.

c) L'aumento della corsa significa, essendo fissa la cilindrata, diminuzione dell'alesaggio e quindi della larghezza B, per cui ciò che si guadagna da una parte lo si perde dall'altra. Pertanto, ai fini del rendimento volumetrico, il rapporto corsa/alesaggio non riveste grande importanza. Ne ha però, e non poca, in considerazione di altri suoi effetti, soprattutto dal punto di vista meccanico.

d) I gas di lavaggio si muovono ad una velocità c che è funzione della pressione nel carter, e precisamente:

$$c = \varphi \sqrt{2 v m \cdot \Delta p} \quad (14)$$

(in cui vm = volume specifico del gas; Δp = differenza di pressione fra carter e cilindro; φ = coefficiente di riduzione della velocità per effetto dell'attrito). Si vede subito che il mezzo più semplice è quello di aumentare Δp , cioè il rapporto di compressione nel carter, il che significa diminuire il volume del carter stesso, cosa altamente commendevole perchè è ben noto che, riducendo lo spazio nocivo in una pompa alternativa (quale è appunto il carter dei nostri motori), se ne aumenta il rendimento.

E' però evidente che la compressione nel carter viene effettuata spendendo una parte dell'energia utile prodotta nel cilindro; vi sarà quindi un limite oltre il quale non conviene andare poichè il guadagno non uguaglierebbe più la spesa. Ma c'è un altro fatto assai più grave, che consiglia di andarci piano con la compressione nel carter: maggior velocità del gas significa maggiori perdite di potenza per vincere gli attriti (perdite proporzionali a $1 - \varphi^2$) per cui vediamo che in realtà un aumento di velocità dei gas è utile in maniera inequivocabile solo se realizzato aumentando φ , cioè diminuendo le perdite di attrito. Ciò significa, come è ben noto: condotti lisci come specchi, il più possibile ad asse rettilineo e con le curve, laddove sono assolutamente indispensabili, ampie e ben raccordate.

e) Poichè è ben noto che:

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (14)$$

per diminuire ω non c'è altro da fare che diminuire il numero di giri del motore, il che, ai fini della potenza, è esiziale come risulta dalla (9). Cioè, se noi aumentiamo i giri del motore, da un lato abbiamo maggior potenza, dall'altro un minor rendimento volumetrico e quindi minor potenza.

f) Il peso specifico della miscela aria-combustibile è quello che è e parrebbe che non ci fosse niente da fare per aumentarlo, ed in effetti è così. Però è opportuno evitare almeno che questo peso specifico non diminuisca.

E' evidente infatti che la miscela, quando entra nel carter, si riscalda, per cui si dilata ed il suo peso specifico diminuisce. Evitare questa dilatazione dovuta al riscaldamento, significa guadagnare in rendimento volumetrico e quindi in potenza. La via da seguire è elementare: fare in modo che il motore sia ben raffreddato, e soprattutto che siano raffreddati il carter e il travaso.

Inoltre un ulteriore beneficio lo si può avere impiegando adatti componenti nella miscela, ma questo lo vedremo quando parleremo delle miscele.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1^a serie

ancora della potenza dei motori

(Continua dal n. 32)

Tutto quanto si è detto sopra è riferito al travaso, ma un problema analogo vale per la valvola di aspirazione. Anche per essa si ha una formula uguale alla (11), che però è di più difficile integrazione, dati i tipi svariati di valvole di aspirazione, e la difficoltà ad esprimere l'area di passaggio mediante formule matematiche.

Per quanto riguarda però le conclusioni, esse sono perfettamente analoghe:

- ingrandire il condotto di aspirazione;
- anticipare, entro giusti limiti, l'apertura della valvola;
- posticipare, entro giusti limiti, la chiusura.

A proposito del condotto di aspirazione però, esiste un problema particolare, legato al fatto che in esso il flusso della miscela è intermittente e rapidissimo. In tal caso infatti, è possibile, con un adatto proporzionamento, far sì che nel tubo stesso si stabilisca un regime di oscillazioni forzate in risonanza, che permette di far entrare la miscela nel carter sotto una certa pressione, e quindi in quantità maggiore che se l'aria carburata entrasse per effetto della sola aspirazione nel carter. Si tratta di una cosa semplicissima: allungare il tubo del venturi fino a trovare la lunghezza optimum, cosa che si può fare con un contagiri alla mano.

In un articolo pubblicato su Model Airplane News di qualche tempo fa, si diceva che, applicando questo procedimento ad un Dooling 29 si ottenne un aumento di 800 giri/T; e scusate se è poco!

d) *Il numero dei giri.*

Se prendiamo in esame la (9), vediamo che, al crescere di n dovrebbe, proporzionalmente, crescere la potenza (linea tratteggiata in fig. 3).

Se però guardiamo la (13), tale conclusione si rivela fallace, ed in realtà, come tutti sanno, la potenza di un motore, al crescere dei giri, aumenta sempre meno rapidamente fino a raggiungere un massimo a poi diminuisce (linea continua in fig. 3).

Il responsabile di questa diminuzione della potenza rispetto all'andamento teorico è, come già abbiamo visto, il rendimento volumetrico, gioia e delizia dell'anima nostra.

E' interessante quindi sapere come va carburato un motore, allo scopo di ottenere la massima potenza. Per far ciò, se non si ha la ventura di possedere una curva di potenza su cui fare sicuro affidamento, occorre determinarsela sperimentalmente.

Le vie per arrivarci sono molte; ne accennerò due:

1) La misura della coppia mediante un banco oscillante o un freno; nota la coppia e il numero di giri corrispondente, esiste una semplice formuletta che ci dà la potenza:

$$P = C \omega \quad (15)$$

Questa formula, per usi pratici, è più opportuno scordarsela ed utilizzare la seguente, che ha il vantaggio di darci la potenza in cavalli, se si misura la coppia in kg.cm e il numero di giri al 1' del motore:

$$P = \frac{C \cdot n}{71620} \quad (15')$$

2) Le eliche tarate, corredate cioè di una tabella o curva di assorbimento che permette, montandole sul motore e misurando il numero di giri, di sapere quant'è la potenza assorbita e quindi anche quella sviluppata dal motore. Qualcosa del genere è già stato fatto in Inghilterra, dove la rivista «Aeromodeller» ha pubblicato qualche grafico di assorbimento di potenza per alcune famiglie di eliche commerciali.

e) *Aumento del rendimento globale.*

Si definisce rendimento globale di una qualsiasi macchina

termica, il rapporto tra il lavoro utile fornito sull'asse e la quantità di calore che svilupperebbe il combustibile immesso nello stesso periodo di tempo, supposto che bruciasse completamente. Per dirla in formula:

$$\eta_g = \frac{Lu}{q \cdot Hi} \quad (16)$$

(in cui q è il consumo specifico in grammi di miscela per cavallo ora).

Questa definizione è bella, ma in pratica non serve a niente. Per usi pratici si usa scomporre il rendimento globale nel prodotto di tre rendimenti, ognuno dei quali è più facilmente manipolabile:

$$\eta_g = \eta_m \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_b \quad (17)$$

(in cui: η_m = rendimento meccanico; η_{tr} = rendimento termico reale; η_b = rendimento di combustione).

Perciò la nostra smania di aumentare il rendimento globale del motore, si tradurrà nel cercare di elevare il più possibile ciascuno dei tre rendimenti parziali: meccanico, di combustione, termico reale, che andremo ora brevemente ad analizzare. Resta inteso che ciascuno di tali rendimenti, per sua stessa definizione, è sempre minore di uno e a tale valore si avvicina più o meno; nostro compito sarà vedere come si può tentare di renderlo il più possibile prossimo all'unità, supposto che si possa.

1) Il rendimento meccanico è quello che ci dice quanta energia si perde per attriti meccanici. Più esso è alto, minore è la perdita. Riduciamo quindi gli attriti e saremo a cavallo. Premetto che intendo trattare per primo e più diffusamente questo rendimento, perchè ritengo che nei nostri motori esso sia indecentemente basso in confronto ad altre macchine, e quindi sia quello su cui c'è più da lavorare per conseguire un miglioramento sensibile nelle prestazioni del motore.

Ridurre gli attriti significa innanzitutto realizzare una efficiente lubrificazione, naturalmente senza sprecare più olio del minimo indispensabile.

Affrontiamo quindi il problema della lubrificazione con un robusto colpo di scopa: ragazzi, toglietevi dalla testa qualsiasi fissima riguardante la lubrificazione in regime fluido! Nei nostri motori essa è soltanto un pio desiderio, l'unico regime possibile essendo in pratica quello untuoso.

Regime untuoso significa che il lubrificante agisce come segue: le sue molecole a forma di bastoncini, si orientano tutte, per ragioni che sarebbe indiscreto indagare, perpendicolarmente alle superfici da lubrificare e vi aderiscono fortemente disponendosi in tanti strati paralleli. Quando ciò accade, lo scorrimento, anzichè fra superfici metalliche, avviene fra i vari strati di lubrificante, con grande sollievo di tutti, escluso l'olio che, naturalmente, a farsi fregare da mane a sera proprio non ci gode.

Ritourneremo ancora sull'argomento olio quando parleremo delle miscele; per ora preoccupiamoci soltanto di rendergli grazie.

Supposto dunque di aver realizzato una buona lubrificazione, dedichiamo le nostre attenzioni alle sedi di attrito; esse sono principalmente due: albero e pistone.

Quando l'albero è montato su cuscinetti a sfere (o a rulli), tutti si fregano le manine e, con un ghigno satanico, pensano: «attrito, se ci sei batti un colpo!» rallegRANDOSI del fatto che non ottengono mai risposta. La ragione per cui non la ottengono però non è dovuta al fatto che attrito non ce n'è, bensì al fatto che lo stesso non sa suonare la grancassa. Perchè se la sapesse suonare...

(continua a pag. 22)

(Continua da pag. 12)

In effetti un supporto con cuscinetti può essere assai più deleterio di una volgare bronzina, e questo non perchè i manuali dicano che il coefficiente di attrito delle bronzine è minore di quello dei cuscinetti, ma per ragioni costruttive.

In effetti un bel supporto a cuscinetti può ridurvi l'attrito a valori ridicoli se...

— ... se gli alloggiamenti dei cuscinetti sono ben fatti in modo che il cuscinetto stesso vi alloggi senza subire distorsioni;

— ... se i cuscinetti sono montati esattamente allineati;

— ... se i cuscinetti sono di tipo adatto alle condizioni di lavoro (elevatissimo numero di giri);

— ... se i cuscinetti sono sempre in perfetto stato di pulizia, lubrificazione, conservazione (sfere e alloggiamenti delle stesse senza acciacchi di sorta).

Passiamo ora al pistone. Esso è quello che frega di più, e su questo erano già d'accordo i velocisti assiro-babilonnesi, ma fin da quel tempo c'era chi diceva che, dal punto di vista dell'attrito era meglio il pistone lappato, e chi invece diceva che come le fasce elastiche non c'è niente. Probabilmente, quando sbarcheremo sui pianeti delle nebulose extragalattiche troveremo degli aeromodellisti immersi in vivaci discussioni in merito. Io, personalmente, opto per il lappato, ma questi sono casi miei. Comunque, lappato o no, è chiaro che quel che ci vuole è un rodaggio magistrale, dopodichè i nostri attriti si ridurranno a valori ridicoli.

Ed ora mi chiederete: rodaggio a bassa velocità, oppure al massimo dei massimi? Rodaggio lungo o rodaggio breve?

Alla prima domanda io risponderei così: se, durante il rodaggio, il motore non gira forte, non scalda, se non scalda non si dilata, se non si dilata non grippa ma non si realizza neppure quel sano sfregamento fra le superfici, che le rende speculari. Perciò io direi che è saggia politica rodare il motore con misceia un po' più ricca di olio del necessario e con un'elica di diametro normale per velocità, ma di passo sensibilmente minore, carburandolo secondo i criteri esposti qui appresso.

Supponiamo di avere un motore che, in volo, debba girare a 15.000 giri; è chiaro che con l'elica da rodaggio esso girerebbe più forte, diciamo a 18.000, per esempio. Se allora noi, con tale elica, lo carburiamo a 15.000, ciò significa che non lo avremo smagrato al massimo e quindi noi condurremo il rodaggio in condizioni analoghe (come velocità) a quelle di

impiego, ma con un eccesso di lubrificazione che ne impedisca il grippaggio e la morte precoce.

Ciò non proibisce naturalmente di fare un certo periodo iniziale di rodaggio con elica più grande ed a velocità sensibilmente minori, per garantirsi da brutte sorprese iniziali, e di andare per contro, alla fine, a velocità « spinte », allo scopo di far fare al motore delle sane scaldate. A questo proposito dirò che esiste una teoria, lapalissiana ma tutt'altro che stupida, la quale dice questo: se un motore sopravvive ad un rodaggio molto spinto, possiamo essere sicuri che è un signor motore; quelli che non resistono... ebbene la strada del progresso è lastricata di macchine rovinate, perchè insufficienti. Passando ora alla seconda domanda, riguardante la durata del rodaggio, direi che esso dev'essere lungo, tanto lungo... quanto basta e non di più. Cioè il rodaggio va continuato fintantochè esso produca dei miglioramenti nelle prestazioni, e fermato quando non ne produca più.

In pratica si può eseguire una politica di questo genere: ad intervalli di tempo regolari nel corso del rodaggio (mezz'ora, 15 minuti, quanto vi pare) si misurano i giri massimi che il motore fa con una certa elica (sempre la stessa), tracciando una curva che porti in ordinate i giri in funzione del tempo (fig. 4).

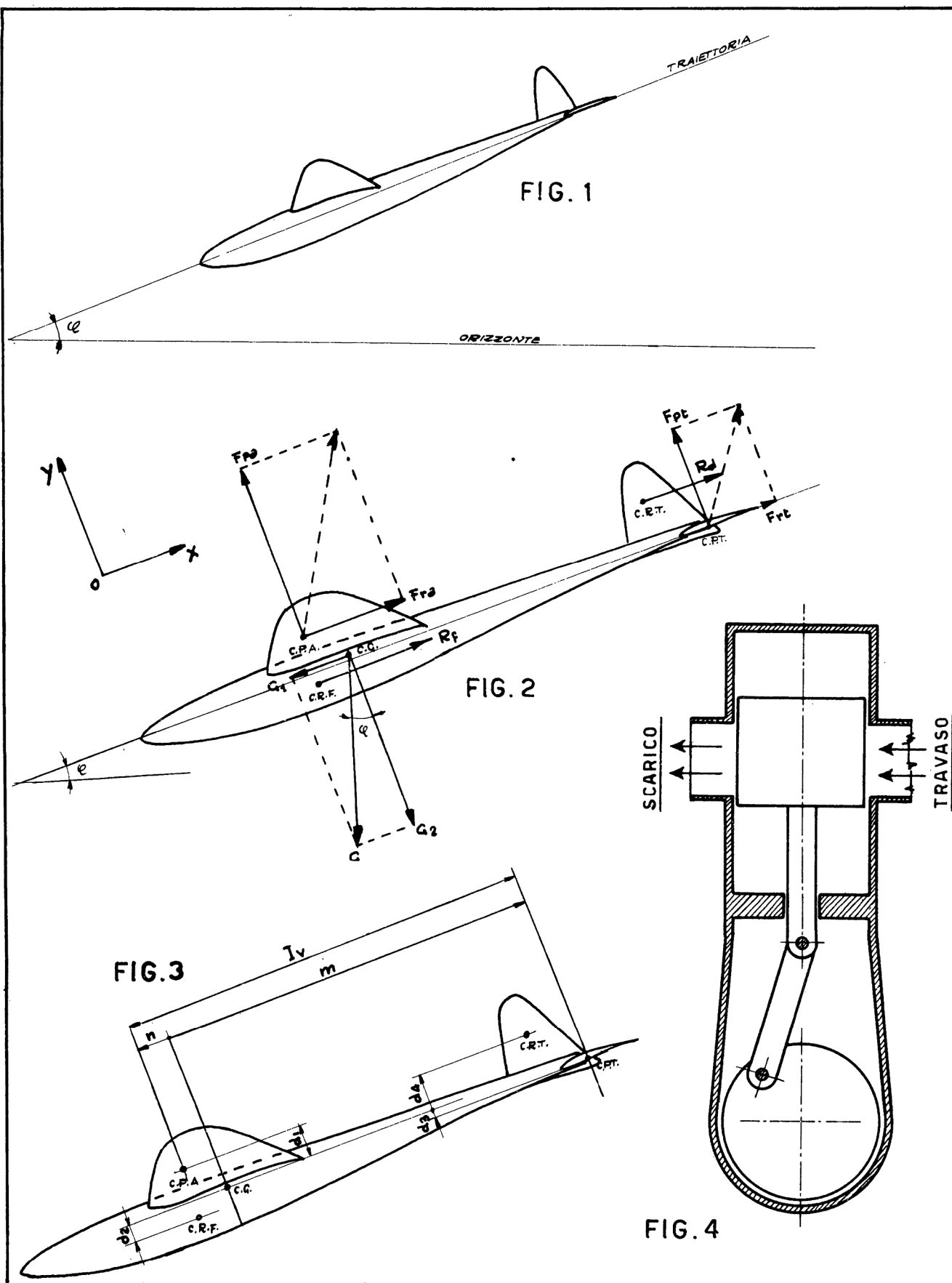
Questa curva, a rigor di logica, dovrebbe avere l'andamento della figura. Quando essa comincia ad appiattirsi, preannunciando un massimo, è giunto il momento di piantarla lì col rodaggio e montare il motore sul modello. Naturalmente non è detto che l'ultima parte del rodaggio non possa essere fatta sul modello, in fase di prove preliminari di messa a punto. Questione di gusti e di abilità nel condurre la messa a punto stessa.

Per chiudere l'argomento del rodaggio e del rendimento meccanico, restano da spendere due parole in favore della « preparazione delle superfici ».

Abbiamo spiegato che cos'è la lubrificazione untuosa. Ebbene, l'adesione dell'olio al metallo dipende dalle caratteristiche dell'olio e del metallo. In particolare, è interessante che il materiale costituente pistone e cilindro, albero e bronzina, presenti grande affinità per l'olio, perchè se l'olio vi aderisce fortemente, il film lubrificante non si distruggerà mai e quindi la lubrificazione sarà sempre perfetta.

Fra i materiali che presentano grande affinità per l'olio, possiamo citare la ghisa, il cromo, la grafite.

(Continua)



LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

particolari accorgimenti

1ª serie

(Continua dal numero precedente)

Perciò, per migliorare il rendimento meccanico possiamo:

— cromare il pistone (preferibile questo che non la camicia la quale, essendo solitamente di ghisa, ha già caratteristiche ottime; per contro non conviene cromarli tutti e due perché l'attrito, fra materiali uguali, è sempre maggiore che non fra materiali diversi, purché dello stesso tipo);

— far girare un certo numero di ore il motore attaccato ad un motore elettrico, facendovi gocciolare dentro dell'olio grafitato che deposita grafite sulle pareti in moto relativo, colmandone le piccole cavità e rendendole assai più affini all'olio.

I risultati sperimentali hanno sempre confermato la validità di questi accorgimenti.

2) Il rendimento termico reale è il più basso dei tre, ma non è possibile portarlo a valori anche solamente prossimi agli altri due. Esistono ragioni termodinamiche che lo proibiscono, prima fra tutte quella che discende dal principio di Carnot, che è inutile andare qui a spiegare, ma che pone dei limiti teorici piuttosto bassi al rendimento di una macchina termica. Quando poi dai limiti teorici si passa a quelli pratici si trovano dei valori addirittura disastrosi, tanto che più di un tecnico ha già pensato che se quel signore avesse continuato a fare l'ufficiale del Genio, anziché occuparsi di fisica, non sarebbe stato poi tanto male.

Il rendimento termico dipende da molti fattori, di cui possiamo citarne due, molto importanti: distribuzione e rapporto di compressione.

— Il rapporto di compressione: in teoria, al crescere di esso cresce, ma sempre meno rapidamente, il rendimento termico; in realtà però ciò è vero fino ad un certo punto. Il valore optimum, lo si può trovare solo sperimentalmente; superando tale valore, il rendimento termico cala.

— La distribuzione: con questa parola si intende raggruppare tutto quel complesso di angoli di anticipo di apertura e ritardo di chiusura delle luci rispetto ai punti morti, e inoltre l'anticipo di accensione.

Il massimo rendimento termico possibile lo si ottiene armonizzando tutte queste caratteristiche in un complesso armonico di massima efficienza. E qui cascano tutti, asini e scienziati, perché il problema, affascinante quant'altri mai, non è suscettibile neppure di una impostazione teorica. La miglior distribuzione è stata sempre trovata in pratica.

Comunque, tanto per inquadrare le cose dirò che, parlando del rendimento volumetrico, abbiamo visto a quale trattamento bisogna sottoporre le luci di aspirazione e travaso; resta la luce di scarico la quale può essere ampliata per migliorare lo scarico dei gas combusti, ma non troppo per non perdere troppa energia. Si noti che la luce di scarico deve aprirsi prima di quella di travaso; di quanto bisogna, al solito determinarlo praticamente.

Resta quindi soltanto il problema dell'anticipo di accensione. Ormai, morti e sepolti i motori ad accensione elettrica, l'anticipo è regolato praticamente dalla miscela, in relazione al rapporto di compressione e, nel caso di motori a spirulina, anche in relazione alle caratteristiche della candela. Ne parleremo in sede di studio delle miscele.

Ora mi permetterò solo di dichiarare che, collegato all'accensione, è anche il problema della detonazione, la quale va evitata come la peste bubbonica nei motori a glow plug, mentre è la benvenuta nei diesel. Ce ne ricorderemo a suo tempo (miscele).

3) Aumentare il rendimento di combustione significa cercare di realizzare una combustione completa della miscela carburata, in modo che essa sviluppi tutto il calore che contiene sotto forma di energia chimica.

Ciò richiede soprattutto lo studio della forma della camera

di combustione, allo scopo di avere una buona turbolenza. Tale studio è di tipo sperimentale e gli orientamenti in merito possono essere trovati soltanto sulle trattazioni specializzate.

f) *Aumento del peso specifico dell'aria entrante.*

Se ragioniamo a rigor di logica, non possiamo far altro che dir questo: l'aria è quella che è e noi, poveri mortali, non possiamo cambiarla. Se però vogliamo per un momento lasciare da parte la teoria e le definizioni rigorose, possiamo trattare a questo punto il problema che mi interessa affrontare.

Mi spiego: se supponiamo di avere un compressore che aspiri aria, la comprima e la cacci a forza nel carburatore, poiché il peso specifico dell'aria compressa è maggiore di quello dell'aria che si trova sparsa per il nostro pianeta, abbiamo realizzato ciò che ci proponevamo. E' questo, detto in poverissime parole, il concetto-base della sovralimentazione.

Naturalmente il compressore non si muove per far piacere alle nostre belle facce, ma assorbe potenza per cui ci deve essere qualcuno che lo fa girare; questo qualcuno, di solito, è il motore stesso.

Perciò sorge subito il dubbio atroce: il guadagno, alla fin fine, c'è o non c'è? In altre parole: comprimendo l'aria, aumenta il suo peso specifico e quindi la potenza, però, per comprimere quest'aria si spreca potenza utile. Orbene, siamo certi che ciò che si guadagna è più di ciò che si spende?

A suo tempo i fratelli Dooling avevano condotte molte esperienze nel campo della sovralimentazione, realizzando compressori di ogni tipo, applicati a motori di serie e ad esemplari costruiti appositamente. La conclusione era chiarissima: la potenza spesa a muovere il compressore era maggiore dell'incremento di potenza ottenuto tramite la sovralimentazione. E tutto questo è per lo meno spiegabile con le piccole dimensioni del compressore le quali impediscono di realizzare una macchina con un rendimento di paletatura appena decente. Recentemente però (le esperienze Dooling risalgono ad una decina d'anni fa e forse più) l'americano Bill Mitchener ha messo a punto un compressore che, a sentir lui, funziona come desiderato, permettendo di guadagnare una decina di km/h. Il che, tutto sommato, non è poi da disprezzarsi!

Naturalmente, non so quale credito gli si si debba dare, perché purtroppo «io non c'era», però mi consta che Mitchener abbia intenzione di mettere i suoi compressori in commercio. In tal caso potrebbe valer la spesa di cacciar qualche dollaro e provarne uno. Le conclusioni potrebbero essere molto interessanti.

Sarebbe anche possibile impostare un calcoletto preliminare per vedere se il guadagno ci sia o meno; stabilito il rapporto di compressione (del compressore, non del motore!) e la portata d'aria, si calcola la potenza necessaria per comprimerla, quindi, moltiplicando per il rendimento del compressore, la potenza necessaria a muoverlo; per contro, l'aumento di potenza che si può ottenere è facilmente calcolabile mediante la (8), una volta calcolato l'aumento di peso specifico dell'aria in base al rapporto di compressione stabilito.

Questo confronto, possibile e facilissimo in teoria, è però in pratica fuori dalla nostra portata, non foss'altro perché non si conosce il rendimento del compressore; ma ci sono anche alcune grandezze della (8) che sono incognite, per cui è meglio lasciar perdere la teoria.

La conclusione? Si tratta di tradurre bene in pratica ciò che teoricamente è certamente esatto, cioè di realizzare un compressore che vada bene, e non uno sfruttatore dell'altrui lavoro.

Ci sarebbe poi un'altra strada: il compressore mosso da una turbina azionata dai gas di scarico. In tal caso naturalmente, a parte il manifestarsi di una contropressione allo scarico che potrebbe creare delle perdite, non si spreca potenza a muovere il compressore e quindi è certo che il guadagno c'è. Però se è già difficile fare un compressore di buon rendimento, figuriamoci un turbocompressore!

g) *Diminuzione del coefficiente ξ .*

Abbiamo visto che ξ vale 1 per i motori a 2 tempi, mentre vale 0.5 (circa) per quelli a 2 tempi a doppio effetto.

Questi ultimi non sono altro che motori i quali hanno due camere di combustione, una su una faccia del pistone e la seconda dall'altra parte (Fig. 4 a pag. 13), per cui anziché aversi un'esplosione ogni giro, se ne ha una ogni mezzo giro il che, a parità di cilindrata, ci permette di ottenere una potenza quasi doppia. Ho detto «quasi» perchè, per ragioni che è inutile approfondire (scarso rendimento della seconda camera di combustione) il coefficiente ξ non vale proprio 0.5, ma un po' di più.

Voi vedete che la prospettiva è allettante, però si richiede non più di modificare più o meno a fondo un motore, bensì di progettarne e costruirne uno ex-novo, senza per di più avere alcuna base di appoggio, cioè un modello già realizzato, cui ispirarsi. Inoltre le difficoltà non sono indifferenti, soprattutto dal punto di vista meccanico per cui la realizzazione di un motore a doppio effetto non è affatto uno scherzo. Tuttavia credo che proprio nel doppio effetto, più ancora che nel compressore (che d'altro canto non lo esclude, poiché sovralimentare un doppio effetto è altrettanto complesso come sovralimentare un semplice effetto), stia la possibilità di ottenere sostanziali aumenti di velocità.

Io ho buttato là un'idea; se qualcuno trova che non sia proprio cretina, ma meriti di essere approfondita, non gli chiedo neanche i diritti d'autore...

h) *Riepilogo.*

Al termine di questa lunga chiacchierata sui motori, ritengo non sia inutile ricapitolare in uno stringatissimo elenco, tutte le cose che si possono fare su di un motore per ottenerne la massima potenza:

- 1) Allargare al massimo tutte le luci (aspirazione, scarico, travaso), entro i limiti della convenienza.
- 2) Aumentare la compressione nel carter, finché ciò conviene.
- 3) Curare il raffreddamento.
- 4) Aumentare la lunghezza del carburatore fino a trovare quella che ci dà le migliori prestazioni.
- 5) Cambiare eventualmente i cuscinetti con altri più veloci.
- 6) Realizzare, ante-rodaggio, una buona preparazione delle superfici in moto relativo.
- 7) Rodare il motore alla perfezione.
- 8) Trovare e mantenere sempre la giusta carburazione.
- 9) Aumentare, entro i giusti limiti, il rapporto di compressione.
- 10) Trovare qual è la candela più adatta al motore (e alla miscela).
- 11) Studiare la miglior forma della camera di combustione.
- 12) Sovralimentare il motore.
- 13) Realizzare il doppio effetto.

Come vedete, le cose che si possono fare sono molte, ma nessuna si trova lì bell'e pronta su un piatto d'argento: occorre fare delle serie prove e soprattutto interpretare queste prove come vanno interpretate, con spirito critico, senza preconcetti e, principalmente, con molta cautela.

(Continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1ª serie

nozioni fondamentali sulla composizione della miscela

(Continua dal numero precedente)

1) Bibliografia.

Prima di chiudere definitivamente il capitolo sui motori, desidero riportare un breve elenco di articoli e libri che trattano gli argomenti ora terminati. In essi potrete trovare le idee che vi ho esposte, le teorie su cui si basano, e gli ulteriori sviluppi teorici e pratici, nonché utili dati sperimentali. Infatti non mi illudo affatto di avere, in poche pagine, esaurito l'argomento, per cui chi intendesse valersi di ciò che ho scritto, dovrebbe per forza approfondirlo. Lo stesso farò al termine dei capitoli che seguiranno.

Divise per argomento, le pubblicazioni che vi segnalo sono le seguenti:

1) Sui motori in generale:

- *Motori a combustione interna* - dispense pubblicate presso la facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova;
- *GIACOSA - Motori endotermici* - ed. Hoepli;
- *Know your engine* - serie di articoli pubblicata su « Aeromodeller » dal Marzo 1956 al Settembre 1957; oppure:
- *RON MOULTON - Model Aero Engine Encyclopaedia* - ed. Model Aeronautical Press, Watford (G. B.).

2) Sul rendimento volumetrico:

- *LIST - Der Ladungswechsel der Verbrennungskraftmaschine - Der Zweitakt* - ed. Springer.

3) Sulla forma della camera di combustione:

- Articolo pubblicato in « SAE Journal » del Settembre 1955.

4) Sull'attrito e la lubrificazione:

- *ANTONIO AGOSTINO CAPOCACCIA - Meccanica applicata alle macchine, Volume I* - ed. Rodolfo Malfasi, Milano.

5) Sulle candele ad incandescenza:

- *TED MARTIN - Which plug?* - Articolo pubblicato su « Model Airplane News » dell'Agosto 1953.

6) Sulla sovralimentazione:

- *W. A. MITCHENER - Faster than fast* - articolo pubblicato su « Model Airplane News » del Settembre 1958.

Esistono poi molti articoli completi od accenni alle modifiche apportate ai motori. In genere nella presentazione dei vari modelli da velocità, il costruttore espone più o meno dettagliatamente le modifiche fatte. In tali articoli si potranno trovare molte informazioni pratiche.

Quasi tutti questi scritti però, benché dovuti a gente che, in fatto di velocità, è degna di tutto il nostro rispetto, hanno quasi sempre un inconveniente: sono scritti riferendosi ad un particolare motore di cui spiegano per filo e per segno il « prima della cura e dopo la cura », per cui, se si tratta di dover modificare un altro motore, non sempre tali articoli sono utili.

Qui di seguito vi elencherò qualcuno degli articoli più generali sull'argomento:

- *Engine tune-up* di W. Hughes - Air Trails, Agosto 1950
- *Tuning for speed* di E. C. Martin - Model Airplane News, Aprile 1954
- *Adding RPM's to piston ring engines* - di W. Hughes - Air Trails, Marzo 1952
- *Tuning up for Winning speeds* - di R. J. Moore - Air Trails Hobbies for Young Men, Luglio e Agosto 1955.
- *Hotting up an engine* - Aeromodeller Annual 1958-59
- *How Bill Winsniewsky reworks his engine* - American Modeler, Giugno 1957.

4 - LA MISCELA

Non sono un chimico, perciò non aspettatevi una trattazione a fondo di questo argomento, perchè è fuori della mia portata. Ciò che dirò, saranno dei concetti generali che inquadrino il problema delle miscele e diano una guida su come risolverlo alla luce della teoria dei motori a scoppio. Come approfondire i vari concetti, e soprattutto come metterli in pratica, non posso dirvelo io, perchè non lo so; spero comunque che fra gli appassionati velocisti ci sia qualche chimico in gamba che voglia riprendere queste note e portarle a conclusione, eventualmente correggendo là dove potrei aver sbagliato.

a) Considerazioni generali.

Un carburante per motore a scoppio deve essere essenzialmente un combustibile che bruci generando quanto più calore è possibile, perchè più calore uguale più potenza. Perciò, come punto di partenza, si deve dir questo: riempite i serbatoi dei vostri modelli con una sostanza (evidentemente un liquido, salvo smentite) che abbia tale requisito spinto al massimo grado.

In poche ma sentite parole, ciò che si dovrebbe fare, sarebbe questo: cercarsi una tabella dei poteri calorifici dei vari combustibili (tabelle di tale tipo si trovano sui manuali, sui libri di termodinamica, di chimica applicata, ecc.), andare a vedere quale di essi ha il potere calorifico più alto, comprarlo e cacciarlo a viva forza nel serbatoio.

Spero avrete notato che nel periodo precedente ho usato i verbi al condizionale. Infatti esistono varie ragioni per cui non si può agire in maniera così semplice.

Tanto per cominciare, non è possibile impiegare, ad esempio, benzina pura, perchè la lubrificazione se ne andrebbe a Patrasso con grande allegria del mio amico Garofali che vedrebbe immediatamente salire le vendite di motori, causa la precoce morte degli stessi per cause facilmente identificabili. Nei nostri motori infatti, non esiste una lubrificazione indipendente, e il motore deve essere lubrificato dalla miscela stessa, la quale, di conseguenza, deve contenere un lubrificante in dosi adeguate.

Poichè è universalmente noto che i lubrificanti hanno il brutto vizio di essere cattivi combustibili, si possono scegliere due strade:

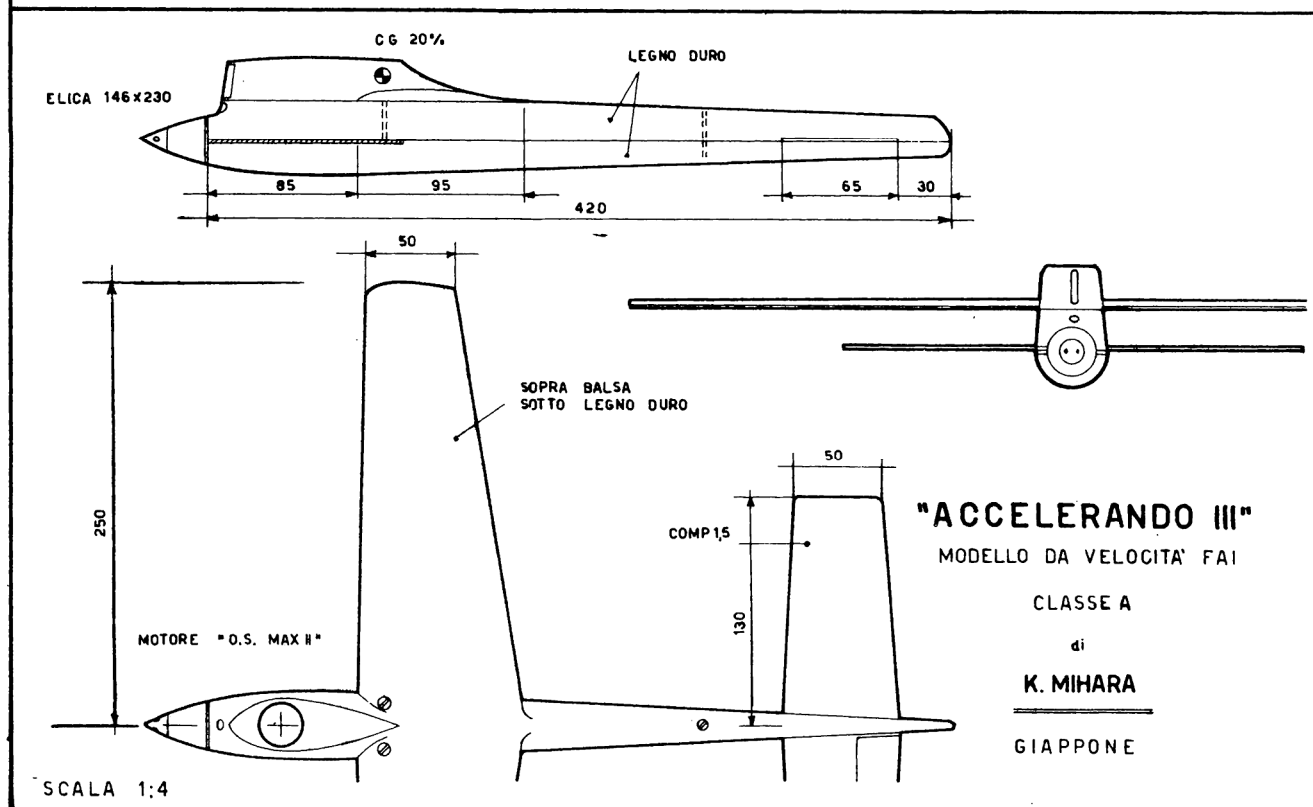
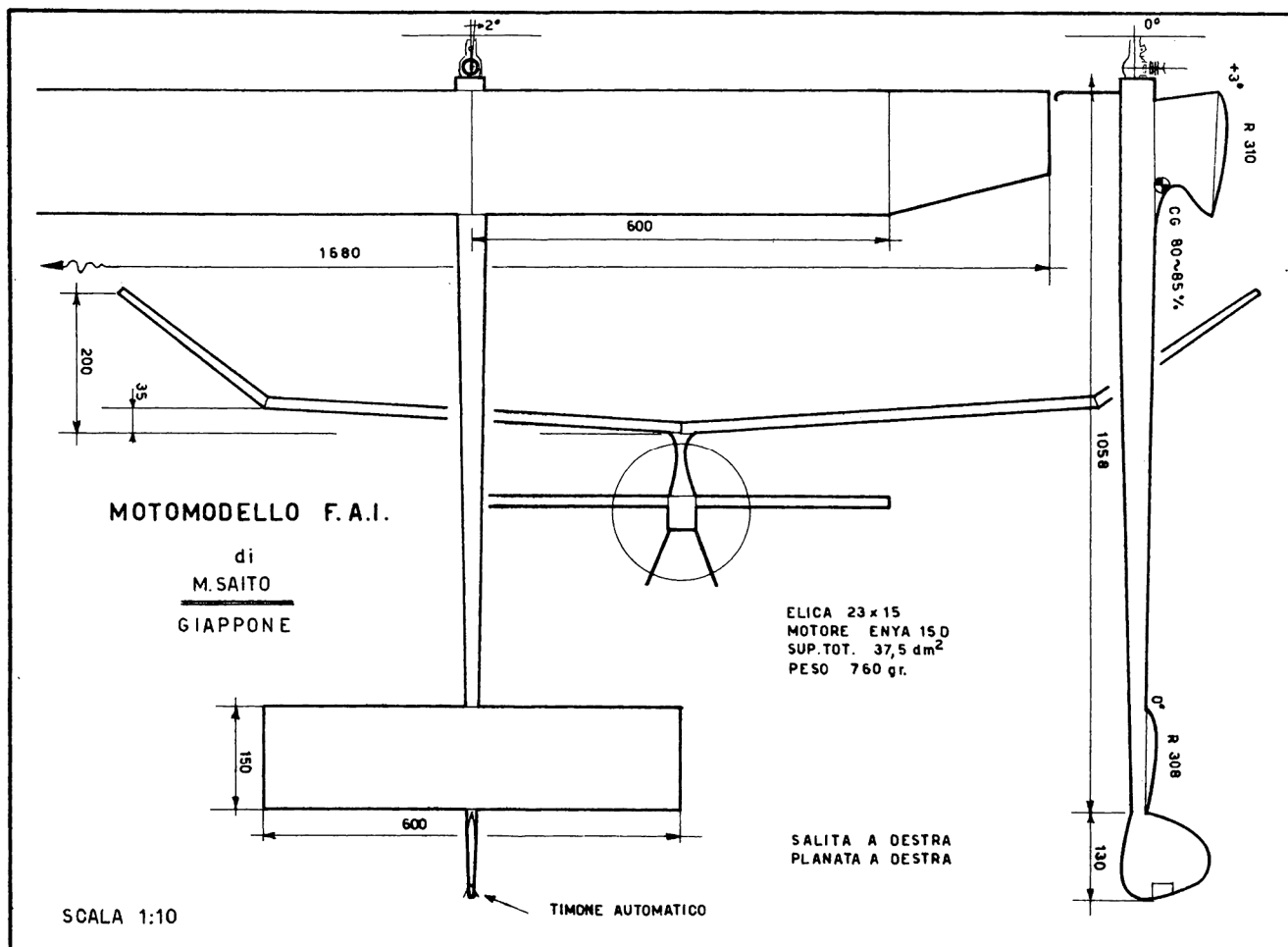
1) Impiegare un lubrificante che, una volta adempiuta la sua missione, bruci fornendo quanto più calore possibile.

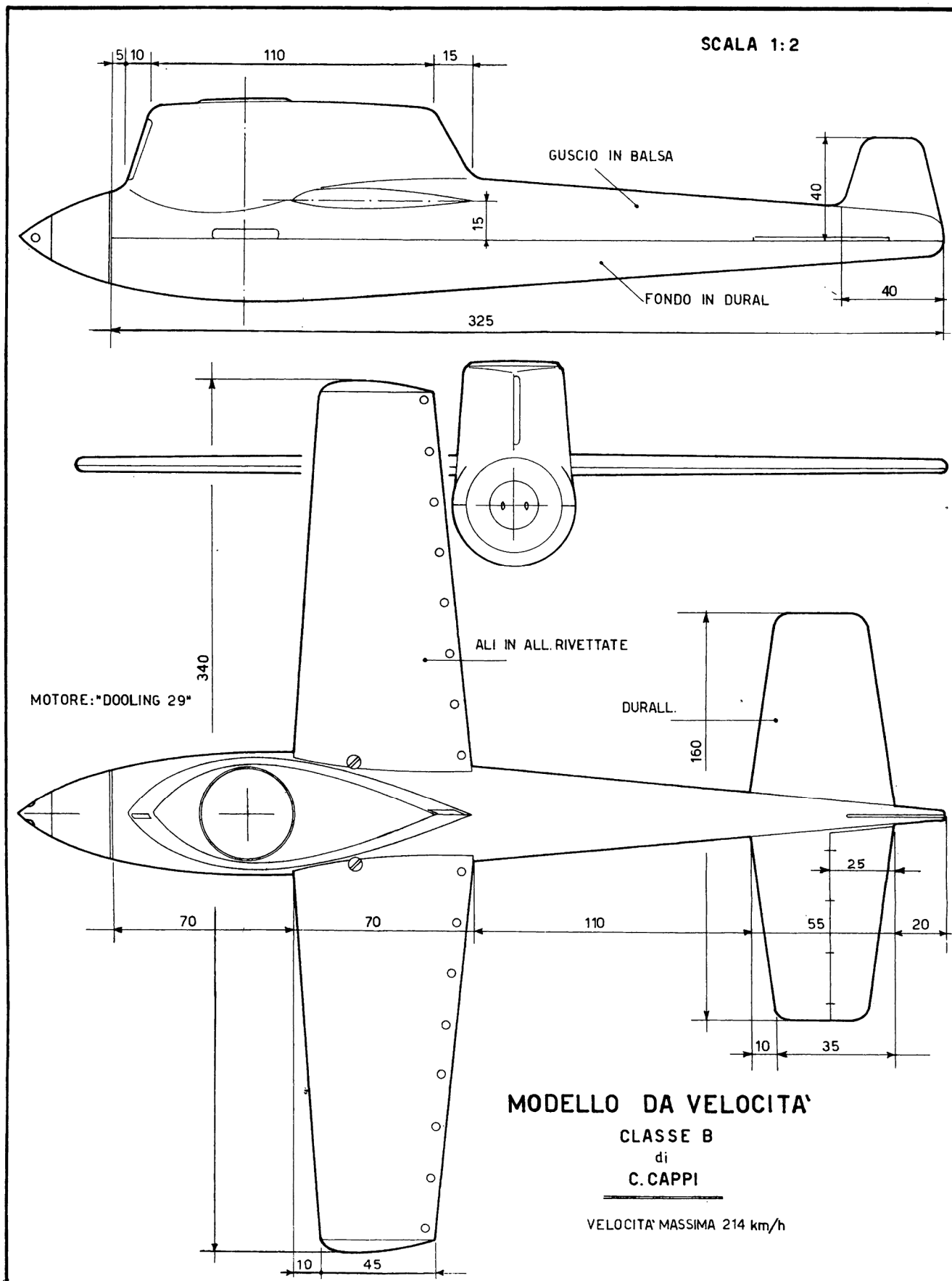
2) Impiegare un lubrificante di caratteristiche eccelse e mettercene dentro il meno possibile.

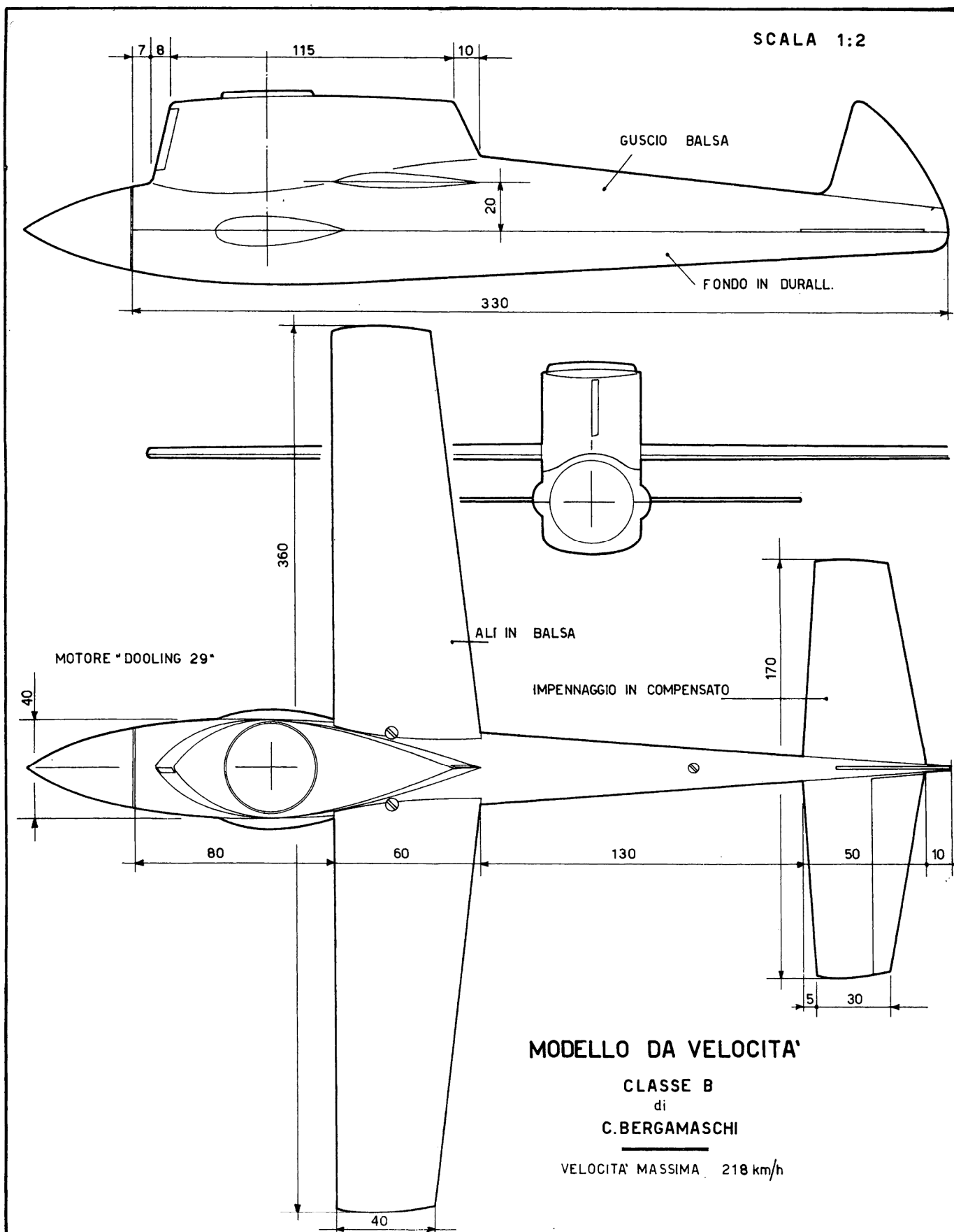
La prima soluzione appare un po' rischiosa, perchè nessuno di noi, credo, vorrebbe che l'olio sulle pareti del cilindro bruciasse tutto, lasciando il povero pistone in balla degli attriti più spaventosi. Il rischio però mi sembra più teorico che pratico.

La seconda, apparentemente, è impeccabile; resta però da vedersi se esista un lubrificante del sogno quale lo si desidera, e se il guadagno, tutto sommato, ci sia. Tanto per fare un esempio, vi dirò che, qualche tempo fa, i miei amici genovesi avevano scoperto tale lubrificante; esso si chiama Turboil ed è una cannonata: basta impiegarne un 5% ed anche meno per avere una lubrificazione magnifica. Ebbene, se non si sono sbagliati, i motori non hanno guadagnato un giro, rispetto ai tempi in cui usavano miscele col 20% di olio di ricino.

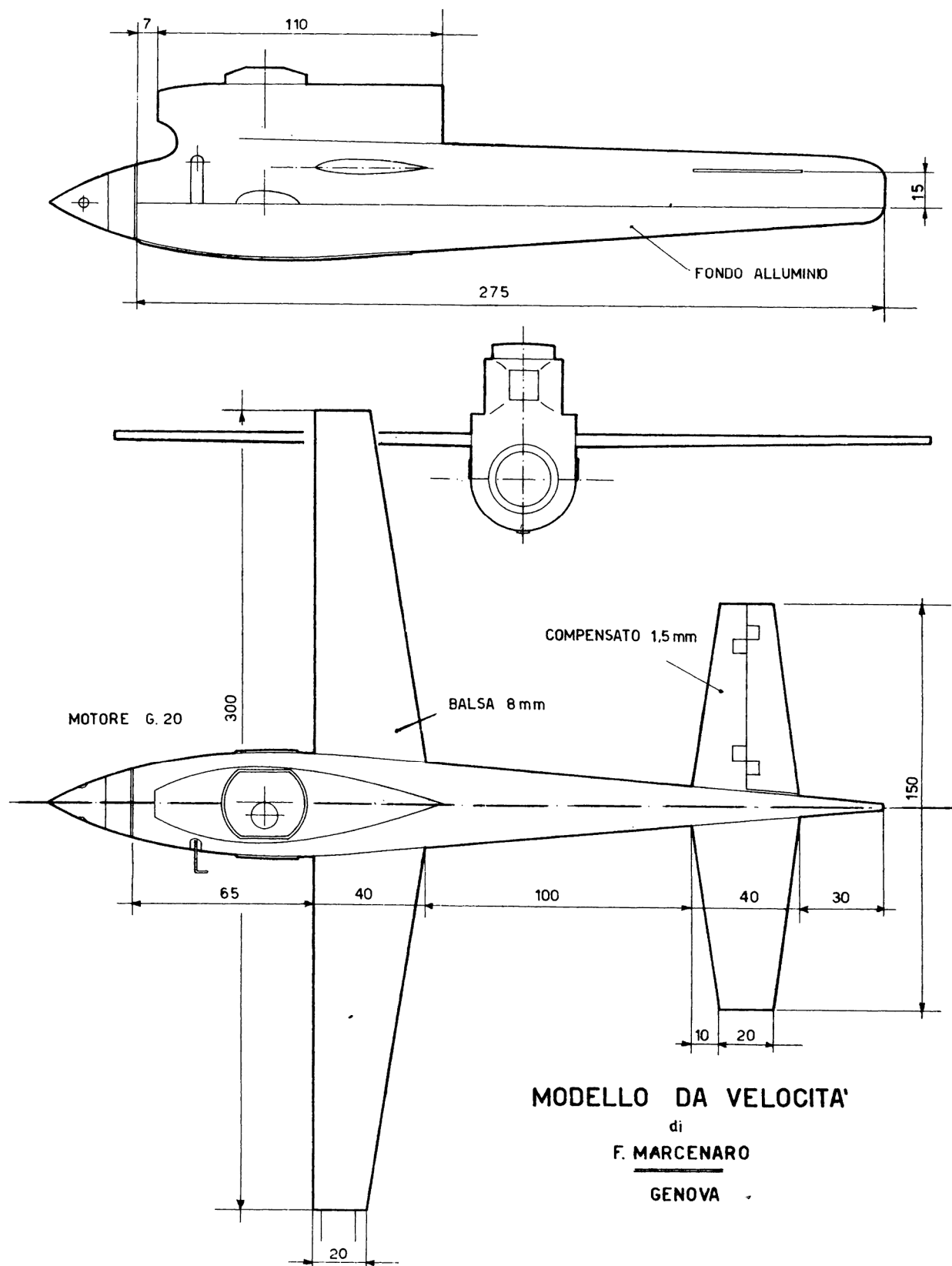
(Continua)







SCALA 1:2



dr. ing. luigi bovo

7^a puntata

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

ancora sulle miscele

1^a serie

(Continua dal numero precedente)

Comunque, sta di fatto che, in base a tali considerazioni, il carburante non può essere costituito dal solo combustibile, ma dev'essere una miscela almeno binaria.

E se sopra ho scritto «almeno», è perchè le miscele binarie i velocisti le adoperano, sì e no, quando rodano il motore. Infatti, come tutti sapete, la miscela, per poter bruciare, deve accendersi, e per far questo, se nei motori a spirulina c'è la suddetta che ci pensa, nei diesel non c'è nessuno, perchè il contropistone, ahinoi!, è freddo come una notte senza sole. E' fatale quindi che nei diesel si debba impiegare una miscela che contenga, in opportune dosi, un liquido con un punto di accensione così basso che la temperatura di fine compressione sia sufficiente a farlo accendere, in modo che poi esso accenda tutta la miscela.

Abbiamo parlato solo di diesel, però anche nei motori a glow plug non è detto che l'accensione sia perfetta, per cui potrebbe anche essere necessario l'uso di una sostanza acconcia allo scopo di migliorarla. Mi consta che certe miscele americane contengono appunto dei componenti, detti «ignitors», che hanno tale compito.

E siamo a tre, almeno per i diesel, ma non è mica finita, perchè a questo punto salta fuori la detonazione e quindi la nostra miscela deve essere altamente antidetonante se cacciata in un glow, mentre deve detonare il più allegramente possibile, se destinata ad un diesel.

Il perchè è una lunga storia che vi risparmio per pietà e che d'altronde, potrete trovare nei testi di macchine termiche, esposta in maniera ben più chiara di come saprei esporvela io.

E' finita? No signori miei, perchè, come tutti sanno, per ottenere da una miscela una potenza veramente elevata, è necessario, nei motori a spirulina, usare gli ossidanti, cioè, solitamente, quei nitroderivati degli idrocarburi, che impiegati in proporzioni sempre più elevate hanno condotto a prestazioni veramente notevoli.

Con ciò si vede come una miscela che si rispetti sia composta da almeno quattro ingredienti, mescolati in opportune proporzioni.

Ciò detto, agitate bene prima dell'uso e... preparatevi ad aggiungere un quinto componente, nel caso che il brodo da voi preparato non fosse limpido ed omogeneo. Infatti, due o più liquidi, non sempre hanno piacere di mescolarsi insieme in un tutto omogeneo: la miscibilità dipende, oltre che da eventuali odi atavici, cioè dalle caratteristiche dei singoli componenti, anche dalle rispettive proporzioni, perchè spesso accade che due liquidi che si mescolavano bene fino al giorno prima, improvvisamente rompano i rapporti diplomatici e se ne stiano ognuno per conto proprio, a causa del fatto che uno dei due è esageratamente abbondante.

In tali casi, esattamente come in diplomazia, è necessario interporre i buoni uffici, solitamente di un componente di

nessun peso in campo internazionale, il quale metta tutti d'accordo. In altri termini, occorre aggiungere una piccola percentuale di un adatto solvente che stabilizzi la miscela. Naturalmente, tale solvente deve essere oculatamente scelto in modo che ne occorra solo qualche goccia, perchè se per stabilizzare un litro di miscela, ne occorressero quattro di solvente, non ci sarebbe, probabilmente, alcuna convenienza...

b) Miscele per motori a glow plug.

Nel corso del precedente capitolo sui motori, abbiamo visto quali sono i requisiti ai quali bisogna cercare di soddisfare nell'affrontare il problema delle miscele. Sono i cosiddetti «dati del problema». Il primo dato è costituito dal tipo di motore e dalle sue caratteristiche peculiari. In questo paragrafo ci occupiamo dei motori a spirulina e quindi consideriamo tale dato come acquisto, per quanto riguarda le caratteristiche particolari di quel certo motore, non possiamo certo qui affrontarle caso per caso. Ci limiteremo quindi ad elencare i requisiti che deve avere la nostra miscela:

- 1) Elevato potere calorifico,
- 2) Basso rapporto aria combustibile,
- 3) Elevato calore latente di evaporazione,
- 4) Elevato potere lubrificante,
- 5) Bassa detonabilità.

Esaminiamo singolarmente questi punti.

1) Il potere calorifico di un combustibile è la quantità di calore, espressa in Kcal, sviluppata da esso quando bruci completamente. Si considerano due poteri calorifici, quello cosiddetto superiore e quello inferiore, che si differenziano in questo: nel primo caso si considera che nei fumi l'acqua si trovi allo stato liquido; nel secondo invece la si considera presente allo stato di vapore. A noi interessa quest'ultimo valore, che si indica con H_i e si misura in Kcal/kg. Come già detto, esistono ricche tabelle dei poteri calorifici, nonché di tutte le altre grandezze che interessa conoscere, e che esamineremo man mano. Vi riporto qui di seguito una tabella tratta dai manuali Colombo e Malavasi che potrà esservi utile per trarre le vostre deduzioni.

Combustibile	H_i	Pot	$\alpha_{st} = A/C$	λ
Pentano	10850	841	12,9	
Esano	10670	833	12,85	
Eptano	10606	833	12,8	
Benzina Avio	10500	913	11,5	130
Benzina Aauto	10500	916	11,46	138
Benzina pes.	10420	921	11,31	158
Gasoli	10250	931	* 11,1	
Petrolio	10000	781	12,8	
Toluolo	9680	925	10,47	86
Benzolo	9585	931	10,29	106
Naftalina	9370	859	10,9	
Etere etil.	8075	930	8,68	91
Alcool etil.	6400	917	6,98	220
Alcool metil.	4675	931	5,02	290

N.B. - I valori dati per i combustibili composti (benzine, petrolio, gasoli) sono da ritenersi dei valori medi, dato che tali sostanze hanno composizioni variabili entro certi limiti.

* Valore calcolato teoricamente, non ricavato dalle tabelle dei manuali.

La tabella II non è soltanto un'arida esposizione di cifre: per chi abbia le idee chiare in merito, e vedrò di darvi le necessarie lampadine per rischiararle, essa è una fonte di dati interessantissima, in grado di spiegarvi molti «perchè», a tutta prima inesplicabili. Mi spiace solo che non sia completa, dato che mi mancano molti dati, e soprattutto perchè non ho trovato elementi relativi a molti altri ingredienti che solitamente impieghiamo nelle nostre miscele. Se posso darvi un consiglio disinteressato, cercatevi questi dati e completatevi la tabella, estendendola il più possibile: vedrete che non sarà fatica vana.

E vediamo un po', dato che ve l'ho tanto decantata, di utilizzarla subito. Dato che in questo momento stiamo discutendo di poteri calorifici, limitiamoci alla prima colonna di essa. La conclusione che se ne trae è sconsolante: o gli aeromodellisti sono tutti dei salami, oppure... Infatti, perchè non

usano quel bravo signor pentano che elargisce calorie con tanta liberalità, ostinandosi invece ad amoreggiare con quel poco di buono volgarmente chiamato metanolo, che di calorie è avaro come i miei conterranei? Calma fratelli, non disprezzate troppo i genovesi (ovverossia il metanolo) perchè saranno avari, ma hanno il senso degli affari: loro tirano fuori di tasca il meno possibile, ma i risultati, alla fine sono brillantissimi lo stesso. E vedremo presto il perchè. Per ora vi prego di rassicurarvi: non siete tutti dei salami, ma degli «oppure». Cioè dei dritti. Magari senza saperlo.

Prima di terminare il discorsetto sul potere calorifico, è necessario fornirvi un'ultima idea. Siamo in possesso di una tabella che ci dà i valori di H_i per vari combustibili che potremmo chiamare elementari; e se ne facciamo una miscela, che succede? Niente paura: supponiamo di avere una miscela composta di: a% di un componente di potere calorifico A, b% di potere calorifico B, c% di potere calorifico C, ecc., ebbene, il potere calorifico della miscela sarà:

$$H_i = \frac{a.A + b.B + c.C + \dots}{100} \quad (18)$$

Con ciò, qualunque sia l'infernal mistura (un tempo, bei tempi!, le chiamavano zuppe bollenti) che volete prendere in considerazione, siete in grado di conoscerne il potere calorifico inferiore.

2) Si definisce «Potere comburivoro» di un combustibile, la quantità d'aria occorrente per bruciarne completamente un kg, supponendo la combustione perfetta, cioè secondo le equazioni chimiche di combustione. Come si vede, il potere comburivoro è un particolare rapporto aria/combustibile, e precisamente il rapporto stechiometrico, per cui lo indichiamo con α_{st} . I valori di α_{st} sono stati riportati nella terza colonna della tabella II. Nel caso di miscele di vari combustibili, il potere comburivoro si può calcolare con una media ponderale, cioè utilizzando ancora la formula (18), in cui però A, B, C, ecc. siano ora i poteri comburivori dei singoli componenti di percentuali a, b, c, ecc.

Orbene abbiamo visto che si può aumentare la potenza di un motore funzionando con un basso valore di α , per cui saremmo tentati di correre ad esaminare la tabella e cercare combustibili poco «famelici». Tutto questo è giusto... ma con le opportune cautele mentali. Infatti la tabella ci dà i valori di α_{st} che sono valori puramente teorici; noi non sappiamo se il nostro motore viene alimentato con miscela carburata in proporzioni stechiometriche oppure con un eccesso o un difetto d'aria. La questione dell'eccesso o del difetto d'aria è molto complessa ed io mi limiterò a fornirvi le conclusioni teoriche e sperimentali cui sono giunti i tecnici. Eccovole: nei motori a scoppio conviene lavorare con un leggero difetto d'aria ($\alpha < \alpha_{st}$), mentre nei diesel è meglio avere un eccesso d'aria anche abbastanza forte.

Poichè noi stiamo parlando di motori a spirulina, dovremmo essere in condizioni piuttosto vicine a quelle dei motori a scoppio, ma i dati in merito non si trovano da nessuna parte e quindi c'è poco da fare. L'unica cosa che si può supporre è questa: che il rapporto α/α_{st} , per un determinato motore si mantenga costante, il che è da vedersi, al variare del combustibile. In tale ipotesi la tabella è utilizzabile non più con valore assolutistico, ma a scopo di confronto.

Ma invece di utilizzare la terza colonna, è più comodo impiegare la seconda che ci dà i «potenziali termici» dei vari combustibili. Il potenziale termico di un combustibile è la quantità di calore che si sviluppa nella combustione, supposta completa, di un chilogrammo di miscela aria/combustibile, miscela dosata nelle proporzioni stechiometriche.

Se ora vogliamo avere la compiacenza di tornare per un momento ad esaminare la (9), vediamo che in essa figura il rapporto H_i/α il quale, vedi caso, è proprio il signor potenziale termico; pertanto, invece di affannarci a cercare un combustibile ad alto potere calorifico, poi cercarne un altro che abbia un basso potere comburivoro (perchè non ne esiste uno che assumi i due pregi), indi vedere quale conviene oppure cercare un compromesso, è sufficiente un'occhiata alla seconda colonna della tabella 2: i combustibili a potenziale termico più alto sono i migliori.

Ed ecco la prima bella notizia: il tanto bistrattato alcool metilico, cenerentolo dei poteri calorifici, grazie alla sua scarsa fame d'aria, balza in testa alla classifica, sia pure in coabitazione con benzolo e gasoli. E vedrete presto che questa coabitazione non durerà a lungo!

Rendiamo perciò le dovute scuse a questo combustibile e non imprechiamo più che esso fornisce poche calorie! Semmai vedete un po' di cercare, al di fuori di ciò che son riuscito a racimolare nella tabella 2, qualche altro combustibile che abbia un potenziale termico maggiore di lui: solo quel giorno sarete autorizzati a dirne male, ma fino a quel momento pregategli salute.

Come vedete i dati della tabella sono abbastanza interessanti, come vi avevo preannunciato.

Tanto per completare il quadro, vediamo cosa succede quando si mescolano due o più componenti. Siano essi in percentuali a, b, c, ecc., ed abbiano rispettivamente poteri calorifici A, B, C, ecc. e poteri comburitori A', B', C', ecc. Allora, il potenziale termico della mistura si trova in maniera molto semplice:

$$\text{Pot} = \frac{a.A + b.B + c.C + \dots}{a.A' + b.B' + c.C' + \dots} \quad (20)$$

Quanto abbiamo appena finito di dire, spiega perchè nei motori a glow plug si usino gli ossidanti. Parlare di potere comburitivo, significa dire che il motore deve aspirare il combustibile insieme ad una certa quantità di ossigeno, perchè se non brucia niente; l'aria è appunto l'ingrediente che mette a disposizione l'ossigeno. Ora, se non lo sapevate ancora, vi dirò che ogni chilo d'aria, contiene poco più di due etti di ossigeno, mentre il resto è roba di scarto. Ne segue che se noi mettiamo dentro il combustibile un qualcosa che sviluppi ossigeno a iosa, possiamo diminuire l'aria e cioè α . E' quanto si fa con gli ossidanti i quali, di per sè, hanno poteri calorifici scarsi, ma, in complesso, fanno aumentare il potenziale termico.

3) Vediamo innanzitutto di chiarire che cosa sia il calore latente di evaporazione. Se noi abbiamo un liquido e vogliamo vaporizzarlo, dobbiamo scaldarlo, cioè fornirgli calore. Perciò un liquido che evapori sottrae calore all'ambiente, e precisamente le calorie che un chilo di esso sottrae per evaporare completamente, costituiscono quel dato che si chiama « calore latente di evaporazione », dato che potrete trovare nell'ultima colonna della tabella 2 indicato con λ . La ragione per cui interessa avere una miscela a forte calore latente di evaporazione la potrete ricercare nel paragrafo dedicato al rendimento volumetrico dei motori.

In esso, ad un certo punto dicevamo: « il peso specifico della miscela è quello che è... però è opportuno evitare almeno che questo peso specifico diminuisca... un ulteriore beneficio lo si può avere impiegando adatti componenti della miscela ». Vediamo allora dove sta la convenienza ad avere un elevato calore latente di evaporazione: poichè il combustibile viene polverizzato nell'aria, esso tende a vaporizzare e perciò sottrae calore all'aria, tanto più, quanto più elevato è il suo calore latente di evaporazione. Maggior sottrazione di calore significa maggior raffreddamento della carica fresca e quindi aumento del suo peso specifico. Capita l'antifona?

Ed ecco allora che la nostra tabella ci viene a dire qualcosa di estremamente gradito: non solo l'alcool metilico ha il più elevato potenziale termico (a parità con altri), ma ha anche il più alto valore di λ (stavolta a parità con nessuno). Perciò più che mai hanno ragione coloro che hanno introdotto l'impiego del metanolo quale carburante base. Veramente nella tabella mancano alcuni valori e in particolare quello del gasoil che ha lo stesso potenziale termico. Però vi prego di credermi sulla parola se vi dico che il valore di λ per il gasoil è più piccolo, e di molto, di quello del metanolo.

4) Di solito le caratteristiche lubrificanti di un olio si valutano mediante la sua viscosità; in questo caso però un simile dato non serve a niente perchè la lubrificazione nei nostri motori non avviene in regime viscoso ma in regime untuoso. Interessa quindi avere un olio lubrificante dotato delle più spiccate caratteristiche di untuosità.

Purtroppo, a quanto mi consta, l'untuosità od oleosità non è mai stata definita nè tanto meno misurata. Esistono molti studi sperimentali in merito, i quali riportano delle graduatorie di merito, più o meno attendibili, e nulla più.

Comunque sta di fatto che gli oli vegetali ed animali hanno caratteristiche untuose migliori degli oli minerali, per cui si capisce come nei nostri motori si usi di preferenza l'olio di ricino, il quale presenta tali caratteristiche molto spiccate; però non escludo ne esistano di migliori. Gli americani ad esempio hanno sempre decantato l'olio sintetico, che fra l'altro non sono mai riuscito a capire cosa sia.

In ogni modo, per concludere il discorso sui lubrificanti vi dirò: cercate di trovare l'olio di migliori caratteristiche possibili ed impiegate il meno che potete, compatibilmente con la necessità di avere una buona lubrificazione, indispensabile per ridurre le perdite per attrito meccanico.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITA'

miscele ed alimentazione

1ª serie

5) La detonabilità di una miscela si esprime mediante particolari indici di riferimento. A noi interessa una bassa detonabilità, quindi un Numero di Ottano (ve ne risparmio la definizione) quanto più possibile elevato.

Questo perché un carburante ad elevato N.O. permette, senza che si verifichi la detonazione, di adottare rapporti di compressione più elevati, migliorando quindi il rendimento del ciclo termico.

Una miscela per motori può essere portata ad avere un elevato N.O. in due modi:

- Impiegando componenti poco detonanti (cioè ad alto N.O.)
- Aggiungendovi degli antidetonanti.

Solitamente i due metodi vengono seguiti contemporaneamente. Per quanto riguarda gli additivi antidetonanti, ne esistono moltissimi. Il più efficace è il piombo tetraetile: ne basta circa l'un per mille per bloccare la detonazione. E' tanto poco che val la pena di usarlo, perché non rovina nessun'altra caratteristica della miscela.

Vedi caso, i meriti del metanolo vengono sempre più a galla! Per quanto riguarda gli additivi antidetonanti, ne esistono moltissimi. Il più efficace è il piombo tetraetile: ne basta circa l'un per mille per bloccare la detonazione. E' tanto poco che val la pena di usarlo, perché non rovina nessun'altra caratteristica della miscela.

Usarne di più non serve, perché non si hanno che miglioramenti irrisori, mentre per contro cominciano a farsi sentire i guai. Infatti, il piombo tetraetile, come dice chiaramente il suo nome, contiene piombo. Ora, nel meccanismo di bloccaggio della detonazione, il nostro amico si decompone liberando piombo che tende a depositarsi in camera di combustione, cosa altamente riprovevole.

Nella tecnica dei carburanti si ovvia al guaio impiegando, anziché piombo tetraetile puro, una miscela chiamata ethylfluid e composta di circa il 65% di piombo tetraetile e il 35% di bromuro di etilene, il quale ha il pregio di reagire col piombo, non appena esso si libera, e di formare con esso prodotti gassosi che se ne escono tranquillamente dallo scarico. Comunque sta di fatto che non conviene tirare la corda più del necessario, anche perché non serve a niente; perciò siate parchi (non giardini pubblici, mi raccomando!) con l'ethylfluid e vi troverete bene.

Resta da fare un cenno sugli additivi usati per scopi vari: — Solventi: abbiamo visto che si usano per stabilizzare miscele che non vogliono saperne di amalgamarsi, ma preferiscono vivere in emulsione. Molto usato è l'acetato d'amile che favorisce la soluzione dell'olio nel metanolo, specie se di tipo commerciale. Ne basta qualche percento, comunque meno se ne mette, meglio è. Per sciogliere elevate percentuali di nitrometano è indicatissimo il nitrobenzolo che, fra l'altro, funge anch'esso da ossidante, seppur meno energico. — Ignitori: servono a controllare le caratteristiche di accendibilità della miscela. In caso di fenomeni di preaccensione per presenza di depositi carboniosi in camera, è consigliabile, specie con miscele contenenti ethylfluid, un'aggiunta di tricresilfosfato che elimina o almeno combatte tali fenomeni. Comunque il controllo dell'accensione è più agevole a farsi sfruttando i gradi termici delle varie candele in commercio ed eventualmente tirando un po' più fuori o spingendo un po' più dentro la spirulina rispetto al suo alloggiamento. In genere, comunque, questi composti non sono necessari perché è la stessa spirulina, se fatta di platino, a fungere da catalizzatore, indipendentemente dalla sua incandescenza.

c) Miscela per Diesel.

Elenchiamo, al solito, le caratteristiche desiderate:

- 1) Elevato potere calorifico,
- 3) Elevato calore latente di evaporazione,

- 4) Elevato calore latente di evaporazione,
- 4) Elevato potere lubrificante,
- 5) Elevata detonabilità,
- 6) Buone caratteristiche di autoaccendibilità.

Per quanto si riferisce ai punti 1, 2, 3 e 4 non resta che richiamarsi ai corrispondenti punti considerati nel precedente paragrafo. Unica osservazione da fare è che non si spiega l'uso del petrolio al posto della nafta, come a volte si fa, perché si ha contemporaneamente un più basso valore del potenziale termico e peggiori caratteristiche lubrificanti, dato che, come sapete, la nafta possiede lievi proprietà lubrificanti che permettono di usare un po' meno olio.

5) La detonabilità di un combustibile viene valutata mediante il Numero di Cetano, che è un qualche cosa di simile al Numero di Ottano, ma al contrario. Quanto più esso è alto, tanto più è basso il Numero di Ottano e tanto più facilmente il combustibile detona.

Non possiedo tabelle del N.C., ma posso rimandarvi a quanto detto per il N.O. e concludere quindi che, dei tre combustibili che hanno il più elevato potenziale termico, il migliore, dal punto di vista del N.C. è la nafta leggera o gasoil. E questo spiega il perché la si usi nei diesel.

Anche in questo caso, oltre ad usare combustibili fortemente detonanti, si può aumentare il N.C. della miscela usando dei prodetonanti. Sono quegli additivi che in gergo vengono detti eccitanti e sono, di solito, il nitrato e il nitrito di amile, che si impiegano sempre in percentuali inferiori al 5%.

6) Dato che, nei diesel, la miscela si accende per compressione, è necessario che il punto di accensione sia convenientemente basso. Sotto tale aspetto, di tutti i combustibili considerati, la nafta leggera (gasoil) è il migliore, perché si infiamma a circa 270°C. Ma questo non è ancora sufficiente, soprattutto per l'avviamento. E' per questo che si aggiungono sostanze ancor più facilmente infiammabili, quale l'etere che è il più diffuso.

Il punto di accensione o « Spontaneous Ignition Temperature » si può definire come il minimo valore della temperatura cui si verifica l'accensione della sostanza in esame, senza la presenza di una fiamma o scintilla.

Nella tabella 3 vi riporto alcuni dati in merito, riferentisi rispettivamente all'accensione in ossigeno (colonna O), aria (colonna A) e aria viziata (colonna V).

TABELLA III

Combustibile	O	A	V
Fosforo giallo		30°	
Nitrito di etile			426°
Nitrito di isoamile			437°
Nitrito di amile			496°
Nitrato di amile			524°
Nitrito di etile		90°	580°
Sesquisolfuro di fosforo		100°	
Solfuro di carbonio	107°	120°	610°
Aldeide benzoica	168°	180°	744°
Perossido di dietile		189°	
Etere metiletilico		190°	
Etere butilico		194°	
Etere di-n-esilico		200°	
Acetale	174°	230°	768°
Etere allilico	200°		749°
Etere etilico	178°	343°	794°
Aldeide acetica	159°	275°	869°
Gasoil	270°	336°	

Poichè, nei nostri motori, la carica fresca si mescola con i gas di scarico, si deve pensare ad una combustione in aria viziata, e quindi, delle tre, la più interessante dovrebbe essere, a mio modo di vedere, l'ultima colonna. Facendo comunque dei raffronti di analogia, è possibile vedere quali sono presumibilmente i valori di quelle colonne per cui non ho trovato sufficienti dati.

Sia pur con qualche limitazione, dovuta ad incompletezza di dati, la tabella 3 ci dice varie cosette molto interessanti:

1) La scelta dell'etere come promotore dell'accensione non è affatto buona: sono certamente migliori, trascurando il fosforo giallo che non saprei se sia facilmente impiegabile, il sesquisolfuro di fosforo (stessa considerazione), il solfuro di carbonio; per non parlare dei nitroprodotti di cui accenneremo or ora.

2) L'uso degli eccitanti, seppur in piccole dosi, deve permettere, data la loro bassa temperatura di accensione, di ridurre l'etere (o chi lo sostituisce) nella miscela, il che è tanto di guadagnato perchè meno etere si usa, più la miscela è potente.

3) Anche la scelta, quali eccitanti, dei nitrati o nitriti di amile, non è la più felice; infatti il nitrato di etile, non solo ha una più bassa temperatura di accensione, ma come prodetonante è ancora migliore.

In definitiva, la soluzione teoricamente ideale quella di eliminare completamente l'etere dalla miscela, aumentando eventualmente, se occorre, la percentuale di nitrato di etile (da usarsi al posto degli eccitanti odierni). Supposto che ciò non sia possibile per una qualche ragione di praticità di avviamento o di funzionamento, ovvero di durata del motore, converrebbe sempre provare a sostituire l'etere con qualche suo concorrente più infiammabile, in modo da poterne usare di meno, per le ormai ben note ragioni.

d) *Bibliografia.*

Spontaneous ignition of liquid fuels di MULLINS - ed. Butterworths Scientific Publications - Londra.

Dopes for Fuels - Aeromodeller Annual 1958-59.

Does your engine suffer from tired blood? di H. DE BOLT - American Modeler, Agosto 1957.

Jim Dean vi parla delle miscele - Modellismo nn. 48, 49 e 50. *Studio sulle miscele* di P. BELLAVITA - Italmodel, Gennaio e Maggio 1951.

IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

a) *Impostazione generale del problema.*

Nei due capitoli precedenti abbiamo visto quali strade si debbano seguire per far sì che il motore sviluppi la sua massima potenza, e spero vi sarete resi conto che non è una cosa semplicissima arrivarvi. Sarebbe quindi per lo meno stupido affannarsi col motore per trarne fin l'ultimo millesimo di cavallo e poi sprecare il tutto prima che questa potenza arrivi all'organo utilizzatore, che è poi l'elica.

Vorrei scrivere qui una massima da inserire nella bibbia del velocista: meglio un motore normale con un buon serbatoio che un motore eccezionale con un cattivo serbatoio.

Perchè sono certo che se, per ogni aeromodellista che abbandona scoraggiato la velocità per darsi, il più delle volte, al pattinaggio a rotelle, si dovesse scrivere un'epigrafe, nel 99% dei casi quest'epigrafe suonerebbe a un dipresso così: «Qui giace la passione velocistica di X Y, aeromodellista di belle

speranze, immaturamente stroncata da un serbatoio incurabile».

Di articoli sui serbatoi ne sono stati scritti molti, e tutti pregevolissimi, sia per i principianti, sia per gli esperti. Poichè è inutile ripetere ciò che persone ben più qualificate di me hanno già detto, in questa sede cercherò di fare qualcosa di diverso: impostare teoricamente i vari problemi che un serbatoio dovrebbe risolvere, esaminare criticamente le soluzioni escogitate per risolverli, studiare quello che dovrebbe essere il serbatoio perfetto.

Il motore viene carburato col modello fermo al suolo ed è certamente possibile, se lo si conosce a fondo e si possiede un buon contagiri, carburarlo a quel regime che ci darà in volo la massima potenza; e fin qui tutto bene. Però, appena l'aiutante apre le mani e abbandona il modello al suo destino, esso passa da uno stato di quiete ad uno moto, per di più accelerato.

Sia pur trascurando il fatto che, all'inizio, il modello accelera, il solo fatto del passaggio dalla quiete al moto porta, agli effetti della carburazione, una importantissima conseguenza: il motore sale di giri perchè diminuisce la coppia frenante sull'elica. Questo pone subito due problemi:

1) Il motore fornisce la sua massima potenza, supponiamo, a 15.000 giri al minuto. E' evidente come il sole che questi 15.000 giri deve farli in volo; a terra occorrerà carburarlo in modo che ne faccia di meno. Ma quanti di meno? Il problema è grave perchè, se è facile contagirare un motore a terra, non è altrettanto agevole compiere la stessa operazione in volo. E siccome non tutti possiedono o possono costruirsi un contagiri acustico (frequenzimetro) che è l'unico, che io sappia, adatto alla bisogna, è necessario andare a occhio.

Di solito gli esperti dicono che un motore, quando va in volo, aumenta del 10% i suoi giri. Quanto ci sia di vero in questa affermazione non saprei proprio dirvelo. Comunque questo problema non riguarda i serbatoi per cui, dopo averlo segnalato, lo lascio cadere, in attesa che qualcuno possa trovare come risolverlo praticamente o teoricamente.

2) Supponiamo di aver seguito i consigli degli esperti, supponiamo pure che essi siano giusti, e supponiamo infine di aver carburato il nostro motore a 13.600 giri (più il 10% fa circa 15.000). E' chiaro che, quando il modello raggiunge la sua massima velocità, il motore dovrebbe essere arrivato a 15.000 giri. E invece no!

Vediamo di spiegarne il perchè: ad ogni giro entra nel motore un volume di carica fresca $\lambda \sqrt{Vt}$; ne segue che, se au-

menta il numero di giri, aumenta proporzionalmente la carica fresca entrata nell'unità di tempo. E poichè quest'aria deve passare attraverso lo strozzatura del venturi, che ha un'area ben definita, è legittimo dedurre che, quanta più aria deve passare, tanto maggiore dovrà essere la sua velocità, cioè, in definitiva, supposto il rendimento volumetrico costante, la velocità nel venturi sarà proporzionale al numero di giri del motore:

$$V = K.n \quad (21)$$

(Continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

difficoltà di carburazione

1ª serie

(Continua dal numero precedente)

Senza bisogno di andare a scomodare il sig. Bernoulli e il suo famosissimo teorema, voi sapete perfettamente che la depressione nel venturi è proporzionale al quadrato della velocità, cioè:

$$\Delta p = H \cdot n^2 \quad (22)$$

Le leggi del moto della miscela carburante nello spruzzatore, si possono far governare dalla legge di Poiseuille, relativa al moto dei liquidi nei capillari:

$$Q = k \frac{\Delta p \cdot r^4}{L} \quad (23)$$

(dove: Q = portata; r = raggio del tubo; L = lunghezza del tubo).

Vediamo allora come queste semplici formulette possano spiegare il comportamento del motore passando da terra al volo. Abbiamo detto che la quantità di carica fresca che entra nel motore nell'unità di tempo è proporzionale ad n . E poiché in una certa quantità di aria deve trovarsi una ben determinata quantità di carburante, ne segue che anche la portata del carburante varia proporzionalmente al numero dei giri. Applicando la (23) ai due regimi: statico e in volo, avremo che le depressioni necessarie allo scopo di far entrare nel motore la giusta quantità di carburante, dovranno stare nel rapporto:

$$\frac{\Delta p''}{\Delta p'} = \frac{15.000}{13.600} = 1,1$$

invece le cose non vanno così, infatti le depressioni nel venturi, applicando la (22), si trova che stanno nel rapporto:

$$\frac{\Delta p''}{\Delta p'} = \frac{H \cdot 15.000^2}{H \cdot 13.600^2} = 1,21$$

Si conclude che nel venturi si ha, passando dal regime statico a quello di volo, un aumento della depressione maggiore di quello occorrente, per cui il motore aspira più carburante del necessario e si forma così una miscela troppo grassa.

Ciò spiega quel categorico «E invece no!» che ho scritto all'inizio di queste considerazioni.

Tutto quello che abbiamo scritto fin'ora, non faceva alcuna ipotesi riguardo al tipo di traiettoria descritta durante il volo. Vediamo ora quali altri effetti si generano, agli effetti della carburazione, a causa del volo in cerchio (trascuriamo naturalmente i loopings al decollo, le montagne russe, i passaggi in verticale, perchè, anche se talvolta si ammirano, sono esclusi dal programma-base delle gare di velocità).

L'unico grande effetto della traiettoria di volo circolare è il fatto che si sviluppa, sulla miscela, una reazione centrifuga, alla quale compete una accelerazione (centrifuga) che vale:

$$a_c = \frac{V^2}{r} \quad 24$$

Tanto per farci un'idea, consideriamo un modello che voli ad una velocità di 198 km/h = 55 m/s:

$$a_c = \frac{55^2}{15,92} = 190 \text{ m/s}^2$$

Ne segue che, essendo l'accelerazione di gravità 9,81 m/s², la miscela si trova soggetta ad un'accelerazione centrifuga pari a circa 20 volte quella di gravità, cioè è come se il suo

peso fosse diventato 20 volte quello normale, non solo ma questo peso (o l'accelerazione, come preferite) non è più verticale, bensì quasi orizzontale, in quanto, per la nota regola del parallelogrammo, si trova che l'angolo di inclinazione dell'accelerazione risultante rispetto all'orizzontale è dato da:

$$\begin{aligned} \text{tg } \alpha &= \frac{9,81}{190} = 0,0515 \\ \alpha &= 3^\circ \end{aligned}$$

E poiché i liquidi hanno la bella abitudine di disporsi con la loro superficie perpendicolare all'accelerazione risultante, ne segue che nel serbatoio la miscela, durante il volo si disporrà verticale, cosa del resto ben nota a tutti.

Le conseguenze che ne derivano sono sostanzialmente due:

1) A seconda della posizione del serbatoio, il livello, passando dal regime statico al volo circolare può disporsi in posizione diversa rispetto allo spruzzatore. Posto ad es. che il livello nel serbatoio fermo fosse all'altezza dello spruzzatore, se il serbatoio si trova spostato verso l'interno del cerchio rispetto ad esso, in volo il livello si disporrà pure verso l'interno e il serbatoio si troverà a funzionare in pressione (il motore ingrassa). Il contrario accade se il serbatoio è spostato verso l'esterno.

2) Poiché i motori hanno tutti il brutto viz'io di bere, il livello, durante il volo, si sposta gradualmente verso l'esterno, producendo un progressivo smarrimento del motore.

Ora, poiché tutti i serbatoi sono larghi al massimo qualche centimetro, una tale variazione di livello sarebbe allegramente sopportata da qualsiasi motore, per quanto critico di carburazione. Dove sta allora la preoccupazione?

La preoccupazione sta nella forza centrifuga: infatti il liquido non è più soggetto ad un campo gravitazionale, bensì ad un campo centrifugo di intensità 20 volte maggiore; ne segue quindi che, per superare un dislivello di un cm occorre un lavoro, e quindi una depressione 20 volte maggiore.

In pratica, anziché parlare di astrusità quali il lavoro e la depressione, si usa un accorgimento suggerito dai fratelli Dooling: si moltiplica la variazione di livello in senso orizzontale per il rapporto tra l'accelerazione centrifuga e quella di gravità, ottenendosi così una variazione di livello puramente fittizia ma che riproduce esattamente le condizioni in cui deve lavorare il povero motore.

Per spiegarci meglio: se un serbatoio è largo 2 cm, il motore non sopporta una variazione di livello di 2 cm, bensì è come se la variazione fosse di 40 cm. Tutti sapete che forse neppure i migliori motori da acrobazia sopportano una variazione di livello di 40 cm senza var'are di regime; figuriamoci quindi i capricciosissimi motori da velocità!

Vediamo quindi come si può rimediare a questo ed agli altri guai esaminati prima.

A mio modo di vedere occorre cercare di realizzare quello che io ritengo il serbatoio perfetto, il quale dovrebbe avere i seguenti requisiti:

— Supposto di aver carburato il motore a terra al massimo dei giri possibile con l'elica montata su di esso, il serbatoio dovrebbe essere tale che:

a) passando al regime di volo circolare il motore faccia ancora il massimo dei giri possibile in volo con quell'elica;

b) durante tutto il volo la carburazione non cambi e quindi il massimo dei giri venga mantenuto per tutto il volo.

(Continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1^a serie

il serbatoio

(continua dal n. 38)

Ogni altra soluzione, per mio conto, è imperfetta, richiede di carburare a terra più grasso o più magro del necessario, di aspettare il momento propizio per entrare in base, ecc. In altre parole crea dei problemi di condotta di gara che, per quanto possibile, sono da evitarsi perchè più sono le cose cui bisogna pensare, più è facile dimenticarne o sbagliarne qualcuna.

Prima di affrontare questo studio è opportuno un chiarimento: abbiamo parlato del massimo dei giri possibile con una certa elica a terra e poi in volo, regimi che, per quanto già visto sono differenti. Pertanto il problema del serbatoio è collegato a quello della scelta dell'elica in questo senso: è necessario scegliere quell'elica che, in volo, raggiunga esattamente, col motore carburato al massimo, la velocità di massima potenza del motore. A terra naturalmente, col motore al massimo, essa farà meno giri ma, con un serbatoio come quello che vogliamo ottenere, ciò non darà alcun fastidio.

Su questo argomento, naturalmente, torneremo più diffusamente quando parleremo delle eliche.

b) Esame delle soluzioni finora adottate

Alla luce dei concetti teorici esposti nel capitolo precedente, esaminiamo i vari tipi di serbatoio usciti dalle meningi dei velocisti di tutto il mondo. Per brevità di linguaggio chiameremo:

— Effetto A: l'ingrassamento del motore derivante dall'aumento di giri che si produce nel passaggio dal regime statico al volo.

— Effetto B: la variazione di carburazione che può determinarsi allorchè, dopo il decollo, la superficie liquida si dispone quasi verticale.

— Effetto C: la variazione di carburazione durante il volo per effetto dello spostamento della superficie liquida man mano che il motore consuma carburante.

Pur nelle loro molteplici varianti costruttive, i serbatoi studiati per velocità possono essere raggruppati in quattro soluzioni fondamentali:

- 1) Serbatoio stretto;
- 2) Serbatoio pressurizzato;

3) Serbatoio a palloncino;

4) Serbatoio a livello costante.

1) *Serbatoio stretto*: l'esigenza di utilizzare un serbatoio stretto venne chiaramente posta in luce fin dai primordi della velocità in un famoso report pubblicato a cura della Dooling Bros., ma una illustrazione dettagliata dei principi teorici e pratici che governano tale soluzione si trova in un bellissimo articolo di De Bolt, pubblicato su « Model Airplane News », articolo la cui lettura consiglio a chiunque si occupi di velocità perchè, nella sua semplicità, è di una chiarezza e di una importanza tali da non poter assolutamente essere assente dal bagaglio delle cognizioni di qualunque velocista, principiante o recordman mondiale. Dove si dimostra che i campioni non hanno bisogno delle formule e delle definizioni fisiche. Vero Bovo?

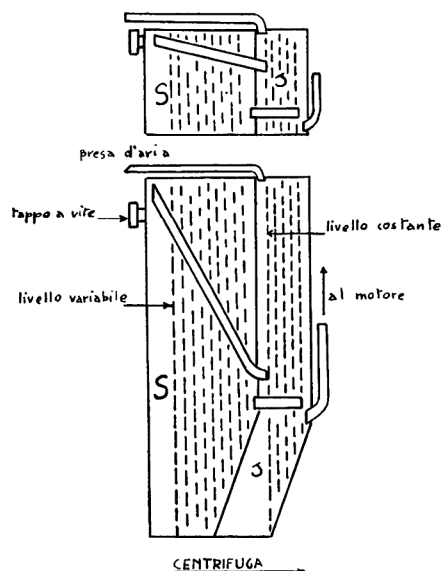
In poche parole, con questo tipo di serbatoio si cerca, facendolo appunto il più possibile stretto, di limitare le variazioni di livello in senso trasversale e cioè l'effetto C: è evidente che se il serbatoio è largo un cm, la variazione massima di livello non potrà essere di tre cm, per cui, dopo aver moltiplicato il tutto per quel famoso rapporto delle accelerazioni, si potrà contenere l'effetto C in limiti per quanto possibile ristretti.

E' evidente che con questo serbatoio non si risolve il problema, ma si cerca di limitarne le conseguenze dannose. Per contro, con questo serbatoio è possibile eliminare gli effetti A e B; infatti, poichè l'effetto A è un ingrassamento, spostando opportunamente verso l'esterno il serbatoio si può ottenere, grazie all'effetto B, uno smagrimento uguale e contrario, in modo che in definitiva i due effetti si compensino. Con un po' di buon senso ed una serie di accurate prove durante la messa a punto, è possibile una soluzione perfetta del problema. Unica necessità: prevedere sufficiente spazio in fusoliera per far passeggiare opportunamente il serbatoio.

2) *Serbatoio pressurizzato*: è salito recentemente ai fasti della gloria, ma è una soluzione abbastanza anzianotta. Non so se sia stato lui l'inventore, però chi lo ha illustrato esaurientemente al colto e all'inclita è stato ancora il solito immarcescibile De Bolt, in due famosi articoli pubblicati otto o nove anni fa su Air Trails.

Il concetto è sano: facciamo un serbatoio con un'unica presa d'aria che, anzichè nell'atmosfera, vada a finire nel carter-pompa del motore e venga aperta dalla valvola rotativa quando nel carter c'è pressione.

Ora, a detta di chi è andato a metterci il naso, in tutti i carter che si rispettino la pressione raggiunge valori di qualche decimo di atmosfera in più che all'esterno; di conseguenza, anche nel serbatoio si stabilirà una sovrappressione costante la quale, sommandosi con i valori della pressione idrostatica del carburante, la quale è invece variabile, ne limiterà notevolmente la variazione percentuale. In parole povere: supponiamo di avere un serbatoio largo un cm e posto tutto in depressione rispetto allo spruzzatore; moltiplicando per quel famoso valore 20, avremo che, all'inizio, il dislivello fittizio che la miscela deve superare sarà nul-



lo, mentre alla fine sarà di 20 cm (in depressione). Se però nel serbatoio creiamo una pressione costante, pari ad esempio a 100 cm di colonna liquida (corrispondenti a circa 0,07 + 0,08 atm) avremo che all'inizio il dislivello sarà di 100 cm (in pressione) e alla fine di 80 cm (sempre in pressione). E con ciò, direte voi, abbiamo ottenuto che la variazione è rimasta sempre di 20 cm, quindi il risultato è zero! Esatto, però mentre prima 20 cm rappresentavano una variazione del 100%, nel secondo caso essi rappresentano una variazione da 100 a 80, cioè del 20%, ed è appunto questo il valore indicativo della variazione di carburazione. Come si vede, questo tipo di serbatoio cura l'effetto C molto meglio del semplice serbatoio stretto, col quale però non deve rompere i rapporti di colleganza, nel senso che un serbatoio pressurizzato, pur essendo migliore del serbatoio normale, sarà bene sia tenuto il più stretto possibile. Per quanto riguarda gli effetti A e B, dato che essi, di solito, hanno un'influenza più modesta del C, si può pensare che la sovrappressione imposta con questo sistema sia sufficiente a rendere trascurabili le variazioni di livello fittizio da essi prodotte. Comunque, anche in questo caso nulla vieta di far passeggiare opportunamente il serbatoio in fusoliera fino ad ot-

tenere che i due effetti, già opportunamente ridotti dalla pressurizzazione, si uccidano a vicenda.

3) *Serbatoio a palloncino*: Quando gli americani scoprirono questo tipo di serbatoio gridarono al miracolo e le velocità in quei periodi fecero dei balzi colossali, specie in classe A. Personalmente rimasi molto scettico di fronte a questo toccasana e col passar del tempo il mio scetticismo, anziché diminuire, aumentò dopo aver visto in azione i tanto decantati palloncini.

Mi spiego: il mio scetticismo era basato su considerazioni teoriche le quali non riuscivano a darmi una spiegazione del miracolo, mentre, per contro, le spettacolose velocità raggiunte in classe A dagli americani erano molto più pedestremente spiegabili con una coincidenza: il palloncino era nato praticamente insieme al Torp 19... Capita l'antifona?

E se, col passar del tempo, il mio scetticismo non è diminuito, è perché in tutte le gare di velocità cui ho assistito, mentre mi divertivo a punzonar cavi e a far arrabbiare il Carletto Bergamaschi perché ai suoi cavi ci mancava sempre mezzo centesimo, ho potuto notare la impressionante regolarità di questo serbatoio: motori che a terra urlavano tanto da far pensare ad un imminente « bang » supersonico e che poi, in volo, mantenevano per decine di giri, con una pervicacia degna di miglior causa, la loro carburazione senza variare di un pelo. Peccato che spessissimo il regime era di 4.728 giri/1' con fumate degne di Toro Seduto, oppure presentava un interessantissimo andamento ondulatorio-sussultorio: ondulatorio perché il regime variava, con periodicità matematica, fra i suddetti 4.728 e i 18.000 giri o giù di lì, sussultorio perché i sussulti degli spettatori e dei concorrenti, nel vedere le manovre cui era costretto il pilota, raggiungevano il grado massimo della scala Mercalli.

Espressa così in chiari termini la mia opinione sui « penny », cerchiamo di vedere come funzionino.

Il principio è lo stesso del serbatoio pressurizzato: assoggettare la miscela ad una pressione *costante* piuttosto elevata in modo da rendere percentualmente basse le variazioni dovute ai vari effetti considerati.

Ho sottolineato la parola « costante » perché mi ha sempre lasciato un po' perplesso. I sostenitori del palloncino dicono che, se si eccettua il momento in cui il palloncino è quasi vuoto, per il resto del tempo la miscela viene cacciata nel carburatore a pressione costante. Io ho cercato di spiegarmi il perché di tale costanza ed ho trovato un paio di spiegazioni plausibili; eccole:

I) Il palloncino tiene pochi cm³ ma viene gonfiato fino a contenerne varie decine; con ciò si supera il campo di proporzionalità della gomma per lavorare oltre il limite di snervamento, dove la pressione potrebbe considerarsi costante o quasi.

II) La gomma, durante il gonfiaggio, si tende ma si assottiglia per cui il maggior sforzo per millimetro quadrato di gomma, che si tradurrebbe in maggior pressione, è compensato dalla minor sezione (meno millimetri quadrati).

Quanta verità ci sia in queste spiegazioni non saprei: potrebbero essere vere tutte e due contemporaneamente come no; comunque sta di fatto che, durante il volo, il palloncino esercita bene la sua funzione, mantenendo una buona costanza di carburazione; dove non funziona affatto è nei confronti degli effetti A e B, poiché ho notato che, col palloncino, è necessario ricercare sperimentalmente una carburazione a terra che non coincide affatto col massimo, poiché solo in questa maniera si raggiunge il massimo in volo. Il perché proprio non lo so spiegare, però ho notato che tutti i palloncini tendono, dopo il decollo, a far smagrar, in maniera abbastanza pronunciata, il motore.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1^a serie

il serbatoio

(continua dal numero precedente)

4) *Serbatoio a livello costante*: è stato divulgato dai cecoslovacchi, però mi consta che, qualche anno prima, lo avesse scoperto ed utilizzato sui suoi rumorosissimi tubi il mio conterraneo Marcenaro.

Esso (v. figura) consta di due serbatoi: quello a livello costante *s* ed un altro *S* che lo alimenta. Finché c'è miscela in *S*, il motore viene alimentato da *s* a livello rigorosamente costante, per cui, pur di prevedere un volume di serbatoio opportunamente maggiore dello stretto necessario a compiere la base, è possibile percorrere il chilometro cronometrato, più tutti i giri di accelerazione che si desiderano, con una carburazione costante. E con ciò l'effetto *C* è bello e fritto! Per quanto riguarda gli effetti *A* e *B*, questo serbatoio non si discosta da quello normale, e quindi è possibile ripetere la solita solfa: basta sistemarlo a dovere e spostarlo in sede di messa a punto per far sì che essi si eliminino a vicenda.

c) *Il serbatoio ideale*

Possiamo riassumere le considerazioni fatte, nella seguente tabella IV, in cui si classifica il comportamento dei vari tipi di serbatoio nei confronti dei tre effetti considerati

TABELLA IV

Serbatoio	Effetto A	Effetto B	Effetto C
Stretto	bene	bene	così così
Pressurizzato	ottimam.	ottimam.	bene
Palloncino	male	male	bene
Cecoslovacco	bene	bene	perfettam.

Come si vede, a questo punto la discussione può essere limitata solo a due tipi: il pressurizzato e il cecoslovacco; però, in realtà, per quanto visto prima, il serbatoio ideale è il quarto poiché, se gli effetti *A* e *B* sono, col pressurizzato, notevolmente limitati, possono, con entrambi i tipi essere eliminati completamente, ed in maniera perfettamente identica, in fase di messa a punto.

Comunque, per coloro che amano perfezionare ciò che è già perfetto e complicare ciò che è già complicato (e il serbatoio cecoslovacco, pur essendo alla portata di tutti, è certamente complicato!), ho in serbo un'idea strana: perché non provare a pressurizzare anche il serbatoio cecoslovacco?

Non mi sembra che ciò sia irrealizzabile e neppure che possa portare inconvenienti, se si eccettua la maggior complicazione; comunque non dovrebbe nemmeno arrecare grandi vantaggi, per quanto detto in precedenza.

d) *Bibliografia*

H. DE BOLT: 150 mph. plus. Air Trails, Giugno e Luglio, 1950.
H. DE BOLT: Speed can be fun! Model Airplane News. Maggio 1951.

G. BATTISTELLA: G. B. 16. Aeromodelli. Aprile-Maggio, 1954.
FUEL FEED: Articoli pubblicati su « Aeromodeller » nella serie « Know Your Engine » (Marzo e Aprile 1957).

Molte altre informazioni sui serbatoi, possono essere trovate, specialmente nelle riviste inglesi e americane, laddove i vari velocisti descrivono i loro modelli e quindi anche i loro serbatoi. Sono naturalmente trattazioni più particolari, nel senso che l'autore si limita a descrivere il proprio serbatoio, a dire che va molto bene, che meglio di così lui non ne ha ancora trovati, e a spiegare come comportarsi per farlo funzionare a dovere. In questo campo, è superfluo fare un lungo elenco di articoli: potete sbizzarrirvi a leggervi ciò che dicono o dissero Mahieu, De Bolt, Newberger, Wallick, Hall e Massey, Holliday, Davis, Grogan, Mueller, Baker, Wright,

ecc., ma è chiaro che, alla fine, avrete le idee più confuse che al principio perché, a credere ad ognuno, dovreste mettere sul modello 20 tipi diversi di serbatoio.

LA RESISTENZA AERODINAMICA

a) *Generalità*

A questo punto, dopo aver esaminato il problema della potenza, bisognerebbe parlare dell'organo utilizzatore di essa, cioè dell'elica. Tuttavia, dato che è l'elica che deve essere adattata al modello e non il modello all'elica, parleremo prima di quelle caratteristiche del modello che interessano la scelta dell'elica. Tali caratteristiche sono in definitiva... una sola: la resistenza.

Abbiamo visto al capitolo 2 che è necessario contenere in limiti il più possibile bassi il coefficiente di resistenza ridotto:

$$Cr' = Cr_a \cdot \frac{Sa}{St} + Cr_s \cdot \frac{Ss}{St} + Cr_f \cdot \frac{Sf}{St} + Cr_c \cdot \frac{Sc}{St} \quad (25)$$

(in cui Cr_a , Cr_s , Cr_f , Cr_c sono i Cr rispettivamente di: ala, stabilizzatore, fusoliera e cavi, mentre Sa , Ss , Sf , Sc sono rispettivamente: superficie alare e dello stabilizzatore e sezione maestra di fusoliera e cavi).

Poiché St è un dato del regolamento, dipendente solo dalla cilindrata del motore e quindi, una volta scelto il motore è automaticamente fissata (praticamente essa è sempre 5 dm³), la quantità da rendere minima è la somma:

$$Cr_a \cdot Sa + Cr_s \cdot Ss + Cr_f \cdot Sf + Cr_c \cdot Sc$$

Il che significa che occorre rendere minimo ciascuno dei termini della somma.

Ogni aeromodelista che si rispetti, conosce decine di punti in cui si può eliminare la resistenza, nonché tutti i criteri per elaborare modelli il più fini possibile; di conseguenza non starò a tediarvi con un elenco di tutto ciò che si potrebbe fare in questo campo, limitandomi invece a toccare quattro argomenti interessanti da un punto di vista concettuale, e probabilmente meno noti degli altri, e precisamente:

- Cavi
- Motore
- Volo in cerchio
- Distribuzione delle superfici

E poiché, come tutti sanno, la maggior parte della resistenza totale è imputabile ai cavi, comincerò col parlare di questi signori, tanto sottili eppur tanto rognosi.

b) *Resistenza aerodinamica dei cavi*

Di questo problema si era occupato un paio d'anni fa su questa stessa rivista l'amico e collega Marcenaro. Poiché la trattazione da lui fatta era completa, non vedo la necessità di ripeterla. Partirò invece dal suo punto di arrivo per esaminare criticamente i risultati e completare il quadro. Nelle sue « Riflessioni sul Monoline », egli era pervenuto alla seguente formula:

$$R_c = \frac{1}{6} \rho Cr_c \cdot S_c \cdot V^2 \quad (26)$$

(in effetti l'aspetto formale della sua formula era un po' diverso ma io mi sono permesso di cambiarlo, per adottare gli stessi simboli letterali finora usati).

Di questa, egli diceva, circa 3/4 sono sopportati dal modello mentre 1/4 viene sopportato dal pilota. Ciò significa che la resistenza dovuta ai cavi, che va a pesare sulle spalle del povero motore è data dalla:

$$R_{c \text{ eff}} = \frac{1}{8} \rho Cr_c \cdot S_c \cdot V^2 \quad (27)$$

Tutto questo è vero ed io non posso che associarmi a quanto dice il Franco, salvo per un particolare, e cioè che 1/4 della resistenza viene sopportato dal pilota *dritto*. Ma poichè, sui campi di gara c'è posto solo per i dritti, effettivamente tutti i piloti si sopportano ben volentieri quella tal frazione della resistenza più, se possono, un altro po'.

Comunque, visto che ho voluto anch'io fare il dritto e andare a stuzzicare il Marcenaro, bisogna che spieghi il perchè di ciò che mi son permesso di dire.

Supponiamo per un momento che il pilota non ci sia e che il modello sia tanto bravo da volare, vincolato ad un pilone montato, se è rispettabile, su cuscinetti a sfere. In tal caso sul perno rotante del pilone agiranno due forze: la centrifuga e quell'1/4 di resistenza di cui si parla. Composte tali due forze mediante la regola del parallelogrammo, avremo la forza risultante che agisce sui cuscinetti. E siccome tutti i cuscinetti, per bravi che siano, un po' di attrito lo fanno, avremo che questa forza risultante, che rappresenta il carico dei cuscinetti stessi, si traduce in un certo quale momento resistente sul perno, il quale cioè ne ostacola la rotazione. Di conseguenza, in questo caso, siccome il pilota non c'è, non può sopportare niente. Però lo stesso succederebbe se ci fosse un pilota poco sveglio o troppo onesto, il quale si lasciasse tirare dal modello. Ve lo immaginate voi?

Invece, tutti i piloti smalzati, si danno un gran da fare a pedalare intorno al pilone, che tengono ben stretto con una mano, in modo da essere ben sicuri di farlo girare onde conferirgli almeno un momento motore uguale al momento resistente di attrito. E se poi nell'entusiasmo del gioco ci scappa un momento motore maggiore di quello d'attrito... beh, si fa quel che si può per aiutare la barca... Pardon, il modello! Ciò detto, abbiamo visto come si possa evitare di tener conto di una parte della resistenza del cavo; rimane il resto, espresso dalla (27). In essa, come già detto all'inizio di questo capitolo, ciò che bisogna rendere minimo, dato che tutto il resto è fisso, esclusa la velocità del modello che nessuno desidera diminuire, è il prodotto $C_r \cdot S \cdot \rho \cdot R \cdot d$ (essendo R il raggio del cerchio di volo, ρ , più precisamente la lunghezza dei cavi e il loro diametro).

Posto che la lunghezza dei cavi è fissa e che il diametro da usare è fissato dal regolamento e non c'è nessuno tanto poco furbo da usare diametri maggiori di quelli prescritti (salvo casi di necessaria prudenza se ci fosse pericolo di strappo) le strade da seguire sono due:

- Usare il monoline
- Disporre i cavi in tandem

Col primo sistema, il Marcenaro ha già mostrato una possibilità di notevole diminuzione della resistenza (18%), ed i fatti hanno confermato tale asserto, in quanto, soprattutto in America, l'impiego del monoline ha permesso dei balzi tutt'altro che disprezzabili nelle velocità.

Per il secondo, ferma restandone la validità teorica, che permette di pronosticare vantaggi ben maggiori, restano notevoli difficoltà di pratica realizzazione, già poste in luce in una « polemichetta » tra il summenzionato Marcenaro e il signor Palasciano, polemica che non intendo riaprire e che ha comunque posto sufficientemente a fuoco il problema. Non è quindi il caso, a mio modo di vedere, di tornare sull'argomento.

c) Resistenza del motore

Abbiamo a suo tempo visto la convenienza che c'è a raffreddare bene il motore e soprattutto il cilindro. Tale convenienza non è sempre da tutti valutata nella sua importanza e può darsi che la pratica abbia mostrato che, tutto sommato, c'è la convenienza a raffreddare poco o niente il motore.

Il presupposto su cui si basa questo dilemma è il seguente: per raffreddare il cilindro, bisogna esporlo all'aria, e poichè esso è tutt'altro che un corpo di buona penetrazione, la resistenza aerodinamica che ne deriva non è poca. A questo punto voi vedete chiaramente il nocciolo della questione: se il guadagno di velocità derivante dalla maggior potenza ottenuta con un buon raffreddamento fosse minore della perdita per maggior resistenza, conviene non raffreddare il motore. Salvo il pericolo di rovinarlo, ma questa è un'altra faccenda.

A questo punto, poichè nessuno, a quanto mi consta, ha mai tentato di spiegare come mai una cappottina ben fatta faccia diminuire la resistenza del motore, ci proverò io, esponendovi una mia personale teoria.

Io partirei da questo presupposto: se noi racchiudiamo il motore entro una cappottina, esso motore non viene miracolosamente sottratto al flusso d'aria che lo lambisce, mentre per contro l'aria lambirà anche la cappottina; di conseguenza motore più cappottina uguale resistenza maggiore. Confesso che nessun ragionamento è mai riuscito a togliermi tale dubbio dalla testa, dato che nessuno mi ha spiegato in termini fisici i fenomeni che avvengono nelle cappottine dei nostri motori. Però, siccome delle careniture dei motori si è occupato anche il NACA, evidentemente non è possibile che il ragionamento sia giusto. Per controbattere tale argomentazione che, badate bene, mi pare molto logica, anzi troppo, ho escogitato quanto segue.

Consideriamo l'espressione della resistenza aerodinamica; in essa compare il termine velocità al quadrato, che possiamo evidentemente scomporre nel prodotto $V \times V$. Ora, la velocità relativa dell'aria, è la distanza da essa percorsa nella unità di tempo (L/t), per cui possiamo scrivere:

$$R = \frac{1}{2} \rho C_r S \cdot \frac{L}{t} \cdot V = \frac{1}{2} \rho C_r S \cdot V^2 \quad (28)$$

Applichiamo ora questa formula al nostro cilindro da raffreddare; il prodotto $S \cdot L$ è evidentemente un volume e precisamente il volume di un prisma d'aria di base pari alla sezione maestra e altezza (o meglio lunghezza) L . Dividendo per t avremo evidentemente una portata volumetrica, e precisamente quella che investe il nostro cilindro quando marciamo alla velocità V . Moltiplicare tale portata per la densità, significa ottenere la portata in massa, che chiamiamo Q . Di conseguenza si ottiene questo interessante risultato: la resistenza è data da:

$$R = \frac{1}{2} Q \cdot V \cdot C_r \quad (29)$$

cioè essa è data dalla metà del prodotto del coefficiente di resistenza, per la quantità di moto dell'aria che investe il cilindro nell'unità di tempo.

Ciò detto, posto che il C_r di un cilindro è quello che è, e che la velocità nessuno vuole che diminuisca, ma tutti cercano di farla aumentare, l'unico modo di diminuire la resistenza del cilindro è di diminuire la portata dell'aria che lo investe.

Ora tutti sanno che per far diminuire la portata d'acqua dal rubinetto di cucina, occorre chiudere tale rubinetto, e che per diminuire il vento che entra dal finestrino del treno bisogna chiudere tale finestrino.

Il problema che afflisce i primi velocisti fu probabilmente il seguente: dato che non ci sono finestrini né rubinetti sui modelli da velocità, come fare a chiuderli? E si giunse così alla grande conquista: si costruì una cappottina profilata come un corpo di ottima penetrazione, in modo che essa offrisse la minor resistenza possibile, indi in tale cappottina si praticò una apertura anteriore assai più stretta di quanto sarebbe occorso per ottenere una superficie di ingresso pari alla sezione maestra del motore, ed ecco trovato il finestrino che, volendo si può chiudere ed aprire, dato che nessuno vieta di allargare con opportuni colpi di temperino tale apertura, oppure di tapparla con acconce zeppe di balsa.

Naturalmente, dato che l'aria entra, dovrà pure uscire, quindi tutte le cappottine che si rispettano hanno anche una apertura dietro! in poche parole sono, internamente, dei condotti di forma opportuna che convogliano al motore una minor quantità d'aria, mentre esternamente sono dei corpi aerodinamicamente puliti il più possibile, onde offrire la minima resistenza. Questa, in termini un po' romanzati, è,

secondo me, la vera storia delle cappottine dei modelli da velocità.

Ciò posto, il ragionamento fatto all'inizio vale ancora, in quanto è un ragionamento logico, però deve essere corretto in base ai ragionamenti più o meno scientifici svolti or ora. Ciò, è ben vero che le resistenze del cilindro e della cappottina si sommano, però convogliando al motore meno aria, si diminuisce la resistenza del cilindro, in proporzione alla sezione dell'apertura anteriore.

Di conseguenza, si avrà un beneficio dell'adozione della cappottina tutte le volte che:

$$C_{r_m} \cdot S_m^{-2} < C_{r_m} \cdot S_e + C_{r_c} \cdot S_c$$

(essendo i coefficienti e le superfici riferiti: quelli con indice m al cilindro, quelli con indice c alla cappottina considerata come chiusa, e quella con indice e alla feritoia di entrata).

E' superfluo dire che è bene far sì che tutti i valori relativi alle grandezze al secondo membro della disuguaglianza, siano fatti il più possibile piccoli.

d) *Volì in cerchio*

Il titolo di questo paragrafo non è che la traduzione, più o

meno letterale dell'espressione « circle flight » introdotta molti anni fa da Harold de Bolt. Non so se egli ne sia stato l'inventore, certo si è però che fu colui che lo divulgò tramite un interessantissimo articolo pubblicato da *Air Trails*.

Il concetto è semplice: quando il modello gira attaccato ai cavi, esso, *se tutto è ben disposto*, vola tangente al cerchio di volo; di conseguenza, il perno della squadretta, essendo attaccato ai cavi che si comportano come se fossero rigidi, descrive un moto circolare. Il resto del modello però, volando tangente, ha un moto più complesso, come si studia nella cinematica dei sistemi rigidi.

Vi risparmio tale teoria e salto alla conclusione, che d'altro canto è intuitiva e « si vede »: se la parte centrale della fusoliera viene investita da un flusso d'aria esattamente assiale, ciò non è vero per il naso e la coda del modello.

Precisamente il flusso sulla parte anteriore è diretto verso l'esterno del cerchio, mentre sul dietro si ha un flusso verso l'interno. Detti flussi si sommano a quello perfettamente assiale dovuto al moto del perno, dando luogo ad un andamento circolare delle linee di corrente relative al modello. L'idea prima del volo in cerchio è pertanto la seguente: anziché disegnare la fusoliera ad asse rettilineo, disegniamola a banana, con un asse curvo di raggio uguale a quello del cerchio di volo.

(continua a pag. 32)

(Velocità, continua da pag. 25)

Ciò fatto però, sorge immediato il secondo problema; poco più in alto ho sottolineato le parole « se tutto è ben disposto », infatti, se così non è, noi avremo sì una banana che offre meno resistenza perché è in ogni punto tangente alle linee di corrente, però tale banana si disporrà di traverso e il modello volerà in derapata, con aumento, anche notevole, della resistenza. Per evitare ciò occorre che vi sia equilibrio alle rotazioni nel piano orizzontale.

Per far ciò, la cosa migliore è di porre il C.G. sul prolungamento dei cavi di comando, tenendo presente che, siccome in volo i cavi si dispongono secondo una curva funicolare, è sul prolungamento di tale curva, o meglio sulla sua tangente nel punto di attacco all'ala, che va posto il C.G., e non semplicemente sul prolungamento dei cavi considerati rettilinei.

Questo problema è stato esaurientemente trattato da Pelegi su queste stesse colonne qualche tempo fa, per cui, essendo uno sfaticato per natura, mi guardo bene dal ripetere la sua trattazione, limitandomi a riportare la formula conclusiva:

$$b = \frac{c \cdot Cr \cdot Q \cdot d \cdot V^2 \cdot g}{8 \cdot \omega^2 \cdot Q} \quad (30)$$

(in cui: c = semiapertura alare; d = diametro dei cavi; g = accelerazione di gravità; ω = velocità angolare di rotazione del modello = V/R ; Q = peso del modello; b = distanza del C.G. avanti del perno della squadretta).

e) Distribuzione delle superfici

Il lavoro fatto finora, è servito a porre in luce alcuni aspetti particolari relativi agli ultimi 2 termini della somma (25); restano gli altri due, i quali, pur essendo in parte indipendenti, risultano legati l'uno all'altro per il fatto che la somma $S_a + S_s$ è uguale alla S_t , cioè è una costante.

Stabilito quindi, come è ovvio, che c'è interesse a ridurre i due coefficienti di resistenza di ala e stabilizzatore, punto sul quale non intendo soffermarmi, è interessante cercare di mettere a fuoco un altro problema.

Ecco di che si tratta: una volta fissati i profili e quindi i rispettivi coefficienti di resistenza, esiste una qualche disposizione optimum delle superfici? Oppure esiste un qualche rapporto optimum dei Cr?

Dal punto di vista teorico, si tratta di determinare il minimo della funzione $Cr_a \cdot S_a + Cr_s \cdot S_s$ nelle due variabili S_a e S_s , le quali sono legate dalla ulteriore condizione: $S_a + S_s = S_t$. Il che si risolve secondo gli insegnamenti dell'analisi infinitesimale. Posto:

$$\begin{cases} F = Cr_a \cdot S_a + Cr_s \cdot S_s & (a) \\ S_a + S_s = S_t & (b) \end{cases}$$

Sostituendo nella (a) il valore di S_s che si ricava dalla (b), si ottiene, derivando, la condizione richiesta:

$$dF/dS_a = Cr_a - Cr_s = 0 \quad (30)$$

La quale ci dice due cose interessanti:

- 1) La superficie totale può essere suddivisa tra ala e timone come meglio si crede, agli effetti della resistenza totale;
- 2) E' opportuno che ala e timone abbiano lo stesso Cr.

f) Bibliografia

Sul problema della resistenza in genere:

— Nicolò — Aerodinamica applicata al volo - ed. Associazione Culturale Aeronautica, Roma.

— Stelio Frati — L'aliante - ed. Hoepli.

Sulla resistenza dei cavi:

— Marcenaro — Riflessioni sul monoline - « Rassegna » dicembre 1956.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

1^a serie

la scelta dell' elica

(continua dal numero precedente)

a) Problema del massimo rendimento

Abbiamo visto, all'inizio di questa serie di articoli, che una delle vie da seguire per raggiungere elevate velocità, è di aumentare quanto più si può il rendimento dell'elica tramite, evidentemente, un'oculata scelta della medesima.

Una persona piuttosto sprovvista, potrebbe quindi porre il problema in questi termini:

— Dati:

1) La potenza del motore e i giri corrispondenti,

2) il coefficiente di resistenza del modello.

— determinare le caratteristiche geometriche e aerodinamiche dell'elica di massimo rendimento.

Questo modo di porre il problema è alquanto drastico, infatti, non appena lo si affronta, formule alla mano (ve le risparmio per evidenti ragioni), si trova immediatamente che il diametro di tale elica deve essere infinito. Inutile evidentemente proseguire su questa strada perchè bisognerebbe usare... un dolly troppo alto.

Scendiamo quindi dall'Olimpo della teoria e, piantati saldamente i piedi in terra, diciamo:

I) il rendimento è sempre minore di uno;

II) cerchiamo di realizzare un'elica che raggiunga un rendimento pratico il più possibile elevato, il che è quanto dire che assorba relativamente poca coppia in modo da impiegare la potenza del motore a sviluppar velocità e non calore. Dopodichè, sempre coi piedi ben piantati in terra, prendiamo le mani e piantiamocene altrettanto bene nei capelli perchè, a maggior nostra disperazione, questo problema si risolve coi coefficienti delle formule di Renard, che mi guardo bene dal riportarvi, perchè di grafici dei suddetti coefficienti,

relativi alle eliche per modelli, non ne esiste uno neanche se lo pagate a peso d'uranio.

Di conseguenza è perfettamente inutile proseguire ad insegnarvi come si adoperano tali grafici, e quanti insegnamenti se ne possono trarre. Infatti, come insegna l'algebra superiore, zero moltiplicato zero è uguale sempre ed eternamente a zero.

Non mi resta che sperare che qualcuno si decida...

b) Scelta dell'elica

Dopo quanto abbiamo visto al paragrafo precedente, non ci resta che una via da seguire: il metodo sperimentale.

Ci sono troppi aeromodellisti che affrontano il problema dell'elica in questo modo: scelgono un'elica, solitamente una Tornado, di un certo passo e un certo diametro che a loro sembra vadano bene e poi si danno da fare col motore onde fargli fare più giri possibili. Quando il loro motore gira come quelli dei fratelli Rossi, ammesso che ci riescono, fanno un saltino di gioia e pregustano già il titolo nazionale. Salvo tornare a casa con un mediocre piazzamento.

Ora, è sacrosantamente doveroso cercare di far girare il motore più che si può, non lo nego, però non è sufficiente. Vediamo allora quali sono le direttive che debbono guidare il povero aeromodellista nelle numerose prove necessarie per giungere alla scelta della migliore elica.

1) L'elica, in volo, deve girare al regime di massima potenza.

2) L'elica, in volo, deve fornire una trazione uguale alla resistenza aerodinamica.

3) L'elica deve far volare il modello alla massima velocità possibile.

Vediamo un po' di esaminare singolarmente questi punti.

1) Più di una volta mi è capitato di sentirmi fare un certo

discorso, al quale ho sempre risposto allo stesso modo. Cercherò di riferirvi i punti salienti del dialogo, alla maniera di Platone: (Personaggi: il Bovo e il Velocista)

Velocista: Ci ho un motore che è una potenza: figurati che mi fa i diciottomila a terra con la sei-otto!

Bovo: Molto benissimo! E qual'è il regime di massima potenza del prefato motore di sì brillante avvenire?

Velocista: Sedecimila.

Bovo: Molto malissimo. Il tuo motore gira troppo forte per il mio carattere.

Velocista: E che ci posso fare? Vorrai mica che lo mandi via grasso per far piacere alla tua bella faccia e alla sua curva di potenza?

Bovo: Prova a metterci una sei-nove.

Velocista: Niente da fare non va: solo sedecimila, mentre i Rossi girano a diciassette.

Bovo: Con che elica?

Velocista: E che ne so? Ma ora io giro a diciotto e la prossima gara li fr...., pardon! li batto.

Bovo: Lascia perdere i Rossi. Non sai che girando così forte butti via della potenza preziosa?

Velocista: E chi l'ha mai vista in faccia questa potenza? Io so soltanto che se il motore fa più giri, va più forte, perché la velocità è data dal prodotto dei giri per il passo.

Bovo: Meno il regresso. Comunque, se tu, aumentando del 10 % il passo, ottenevi una diminuzione di giri del 5 % non credi che il prodotto da te magnificato sarebbe maggiore?

Velocista: Sì.

Bovo: E se anche così non fosse, non potresti, con opportuni colpi di lametta, ridurre il diametro e guadagnare i giri perduti.

Velocista: Credo di sì.

Bovo: Però attenzione a non ridurre troppo il diametro, se no l'elica non tira più.

Velocista: Non mi interessa: ora vado a casa e preparo una quattro per dodici che mi fa i sedecimila, poi i Rossi sentiranno parlare di me. *(Cala la tela).*

A parte qualche esagerazione, nessuno immagina quante volte mi sia capitato di sostenere discorsi di tal fatta, e il grave è che simili idee non si riesce a cacciargliele dalla testa in nessun modo.

Eppure il regime di massima potenza è fondamentale, infatti esso è quello che permette di mantenere in rotazione la miglior combinazione ai fini della velocità, cioè un'elica di passo abbastanza elevato ad un numero di giri abbastanza elevato, in maniera tale che il prodotto dei due valori raggiunga il massimo, e così pure la velocità.

2) Di eliche che facciano esattamente il numero di giri sopra decantato, ce ne sono tante; precisamente, per ogni valore del passo, esiste un diametro che è capace di far tenere tale regime.

Come ben sapete, ad un certo numero di giri, la coppia fornita dal motore è quella che è; ne segue che, siccome la potenza (o la coppia) necessaria a muovere l'elica cresce sia col diametro che col passo, onde raggiungere il regime desiderato, con un'elica di passo maggiore dobbiamo usare un diametro minore e viceversa.

E fin qui niente di male; solo che c'è da tenere presente la necessità che l'elica sviluppi una certa trazione per vincere la resistenza, e per far questo ci vuole del diametro. Il passo non basta, perché la massa d'aria interessata deve essere sufficientemente abbondante e, a tale scopo, il diametro deve avere almeno un certo valore minimo, al di sotto del quale l'elica non tira più abbastanza.

3) Da tutte queste discussioni più o meno accademiche, la morale che si ricava è una sola: l'elica migliore si trova

facendo tante belle prove. E queste prove, salvo alcune preliminari, non possono essere condotte al banco, bensì in volo, sia per le ragioni appena viste, sia per quella difficoltà a suo tempo accennata, che cioè il motore, in volo, aumenta di giri, e non si sa esattamente di quanto.

Di conseguenza, a questo punto potrei dirvi: sbizzarritevi con tutte le eliche possibili e fate volare il modello: quella elica che lo fa andare più forte, è la migliore. A questo però ci sarebbe arrivato anche il gatto di Monsieur de La Palisse, il quale non aveva la laurea in Ingegneria.

Ciò che mi propongo, visto che non sono in grado di darvi dei criteri teorici per scegliere l'elica, è di suggerirvi un metodo scientifico per programmare e condurre le prove di volo, in modo da ridurle al minimo indispensabile.

Partirò dal presupposto che voi abbiate già:

— Un motore coscienziosamente messo a punto e di cui, possibilmente conosciate il regime di massima potenza. Se non lo conoscete, pazienza.

— Una miscela fatta con tutti i sentimenti.

— Un serbatoio che risponda ai requisiti del serbatoio ideale, già discusso nelle precedenti puntate.

— Un buon modello, aerodinamico, stabile e robusto.

Ciò che voi non conoscete ancora sono:

— L'elica optimum.

— L'aumento di giri dopo il decollo.

La procedura che vi propongo è, concettualmente, molto semplice, però a descriverla è piuttosto complicata; perciò io baserò la mia descrizione su di un esempio numerico.

Supponiamo che il regime di massima potenza del vostro motore sia 16.000 giri al minuto.

La prima operazione dovete farla al banco, cercando di trovare un'elica, di diametro leggermente alto e passo leggermente basso, che, al massimo dei giri, ne faccia proprio 16.000. Apro una parentesi per dirvi che nel caso non conosciate il regime di massima potenza, dovete fare un'ipotesi, la quale poi non servirà a niente, però dovrete pur partire da qualcosa! In tal caso è bene partire da un regime piuttosto elevato, esagerando cioè nel supporre i giri di massima potenza. Chiusa la parentesi, ritorniamo al nostro caso pratico. Supponiamo che l'elica trovata al banco secondo il criterio precedentemente esposto sia una 15x20. A questo punto prendete tale elica, mettetela sul modello e fatelo volare. La velocità raggiunta è il vostro punto di partenza; il punto di arrivo sarà la velocità massima.

Per arrivare a ciò, fate volare il modello con una 15x21. Sarei pronto a scommettere che esso andrà più forte, perché con l'elica precedente, in volo si superavano i giri di massima potenza, mentre con questa ci si andrà più vicino.

A proposito del cambio dell'elica, date le premesse fatte a proposito del serbatoio, è chiaro che voi, qualunque sia l'elica che montate, decollerete al massimo dei giri raggiungibile a terra con quell'elica, infischiaandovene del regime di massima potenza e dell'aumento dei giri in volo.

Continuando sulla strada intrapresa provate ora con una 15x22, poi con una 15x23, ecc. Ogni volta che voi aumentate il passo, la velocità cambierà e precisamente, dapprima andrà aumentando, poi raggiungerà un massimo, poi comincerà a diminuire. Supponiamo che il massimo sia stato raggiunto con la 15x23, e che la 15x24 abbia dato luogo ad una diminuzione di velocità. Tanto per fissare una cifra, sia 210 il massimo e 205 la velocità con la 15x24.

A questo punto resistete alla tentazione di buttare alle ortiche la 15x24 e cominciate a darvi da fare a diminuirne leggermente il diametro, vedrete che, man mano che lo riducete (poco alla volta, per carità!) la velocità risalirà.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

13ª puntata

dr. ing. luigi bovo

1ª serie

(continua dal n. 43)

A questo punto possono darsi due casi:
a) la velocità risale fino a 210 o meno, poi cade di nuovo. In tal caso buttate alle ortiche l'elica e rifate lo stesso scherzo con la 15x23 diminuendo il diametro finché non troviate il massimo (ad. es. 215 con la 14,5x23). A questo punto il lavoro è finito ed avete trovata l'elica che fa al caso vostro.
b) la velocità risale oltre i 210, poi cade di nuovo. Supponiamo che essa sia risalita a 215 con la 14,5x24. In tal caso voi ricominciate da capo, partendo da questa elica e aumentando il passo, poi, una volta trovato il massimo, diminuendo il diametro, e così via, finché ad un bel momento voi potete gridare «Eureka, ho trovato l'elica!».

Ma non basta, perchè, oltre all'elica avete trovato anche varie altre cosette interessanti: l'aumento di giri dopo il decollo, il regime di massima potenza (se già non lo conosceste) la miglior carburazione, ecc.

Intendiamoci, non è che voi abbiate potuto conoscere il numero che esprime l'aumento di giri o il regime massimo, però avete trovato il modo di realizzare tale regime, tramite una opportuna carburazione che rimane automaticamente al disotto di esso di quel tanto che corrisponde all'aumento di giri in volo.

E per essere due grosse incognite non è neppure che vi sia costato molta fatica arrivarci; infatti, con un pomeriggio di prove intensive, potete arrivare al risultato. Basta infatti che voi predisponeiate con cura:

- un complesso modello-motore-serbatoio-carrello perfettamente a punto e che non vi dia grane a ripetizione,
- un bidone di miscela,
- un mazzetto di eliche assortite,
- un pacco di candele ed una batteria carica,
- molta pazienza ed una certa dose di buon senso per interpretare e programmare correttamente le prove.

E mi sento di potervi garantire che un bel pomeriggio di prove sarà ampiamente sufficiente, nella maggioranza dei casi.

Col vantaggio non indifferente di poter sperare in condizioni atmosferiche abbastanza costanti.

c) BIBLIOGRAFIA

Sulla teoria:

NICOLO' - *Aerodinamica applicata al volo* - op. cit.

CONTI - *Elementi di Aerotecnica* - op. cit.

Sulla pratica:

R. L. BROWN - *150 Mph?* - *Model Airplane News*-Giugno 1947.

MAHIEU - *Add 10 miles to your speed* - id. Giugno 1950.

HODGKINS - *Model prop design* - id. Ottobre 1949.

J. L. MC LARTY - *R.P.M.* - id. Novembre 1950.

WARRING - *Speed Controlline Models* - op. cit.

WNOW YOUR ENGINE - *Aeromodeller* - Agosto e Sett. 1957.

LA STABILITÀ.

a) Introduzione

Non tutti, credo, hanno ben chiari in testa i concetti basilari da cui si parte per trattare il fondamentale problema della stabilità. Mi riprometto quindi, per prima cosa, di chiarire bene i concetti di: equilibrio, centraggio, stabilità statica, stabilità dinamica, fra i quali si fa spesso una confusione del diavolo.

— **EQUILIBRIO**: un corpo rigido si dice «in equilibrio», quando la somma delle forze e la somma dei momenti agenti su di esso sono nulle. Notiamo che, in genere, non ha senso parlare di equilibrio in senso generale, bensì di «posizioni di equilibrio». L'equilibrio cioè, non è qualcosa di intrinseco nel corpo, ma dipende solitamente dalla posizione del corpo stesso.

In particolare, riferendoci ai modelli da

velocità, a noi interessa evidentemente considerare l'equilibrio solamente per le posizioni che si verificano effettivamente durante il volo normale.

— **CENTRAMENTO**: è detto anche centraggio e consta di quel complesso di operazioni che si compiono, sia in sede di progetto sia durante la messa a punto, per realizzare effettivamente l'equilibrio.

— **STABILITÀ STATICA**: in una certa posizione di equilibrio, lo stesso si dice «stabile» se il corpo, spostato da tale posizione tende a ritornarvi, il che equivale a dire che il corpo, una volta spostato dalla posizione di equilibrio, va a finire in un'altra posizione che non è più di equilibrio, nella quale però le forze e i momenti che si generano, sono tali da riportare il corpo verso la primitiva posizione. In tal caso si dice che si ha stabilità statica.

E' chiaro, per quanto detto, che la stabilità presuppone l'equilibrio poichè non ha senso parlare della stabilità o instabilità di uno squilibrio.

— **STABILITÀ DINAMICA**: un «equilibrio stabile» si dice «stabile anche dinamicamente» se il ritorno alla posizione di equilibrio, cui abbiamo sopra accennato, avviene mediante oscillazioni smorzate.

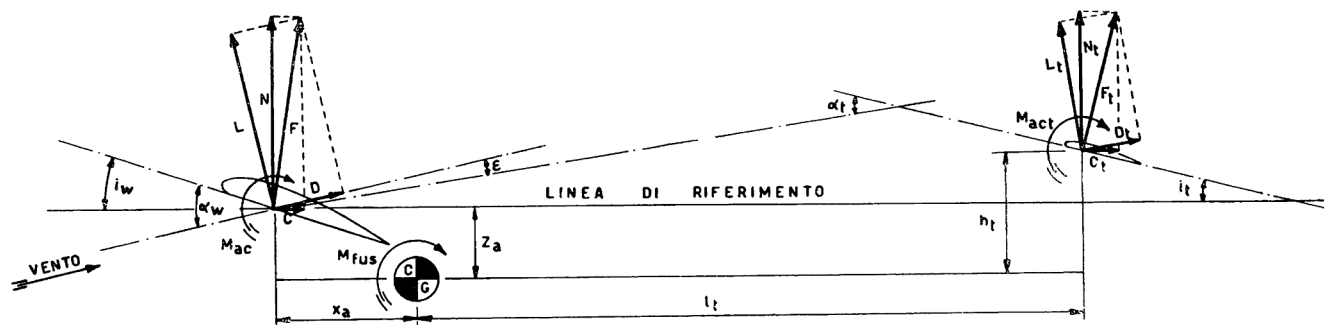
Anche qui, evidentemente, la stabilità dinamica deve presupporre quella statica, se no non esiste ritorno alla posizione di equilibrio e non ha quindi senso parlare delle relative oscillazioni.

L'analisi pratica di tali concetti urta contro una difficoltà: i movimenti dei corpi in genere sono bizzarri e difficilmente esprimibili; perciò, nel caso dei modelli, si ricorre all'artificio di decomporli secondo i tre assi: longitudinale (X), trasversale (Y) e verticale (Z). Avremo quindi:

— Traslazioni longitudinali, laterali e verticali;

— Rotazioni di beccheggio, rollio e direzionali.

Per ciascuno di questi movimenti, si do-



Gli angoli sono stati volutamente esagerati allo scopo di conferire alla figura la necessaria chiarezza; in realtà si tratta sempre di angoli piccolissimi.

vrebbe considerare dapprima l'equilibrio, indi cercarne le condizioni di stabilità. Tuttavia alcune di queste trattazioni possono essere eliminate perchè superflue, e precisamente:

— L'equilibrio alla traslazione laterale, dato che è un problema esclusivamente di forza centrifuga, che non dà luogo ad alcun sviluppo interessante, a parte la resistenza a rottura dei cavi. Comunque, per vostra buona pace, vi dirò che durante il volo circolare tale equilibrio teoricamente non sussiste mai, tant'è vero che il modello non cammina dritto, ma fa il girotondo. Tuttavia, in pratica, tutto funziona come se tale equilibrio ci fosse.

— La stabilità di tale equilibrio, per evidenti ragioni.

— L'equilibrio alle rotazioni direzionali, perchè già considerato nel paragrafo « Volo in cerchio ».

— L'equilibrio e la stabilità alle rotazioni di rollio, in quanto la presenza dei cavi assicura tale stabilità.

— L'equilibrio alle traslazioni longitudinali, perchè già trattato nella prima puntata di questa serie di articoli.

— La stabilità di tale equilibrio, che è automatica.

Restano quindi i seguenti argomenti:

I) Equilibrio e stabilità alle rotazioni di beccheggio (stabilità longitudinale); II) Stabilità alle rotazioni direzionali (stabilità direzionale);

III) Equilibrio e stabilità alle traslazioni verticali (stabilità nel vento).

b) *Stabilità longitudinale statica*

Questo argomento lo svolgerò sulla falsariga della trattazione di Perkins e Hage, opportunamente sfrondata dei passaggi più aridamente matematici, e chiarita laddove essa è più condensata, specialmente per quanto concerne i concetti.

Cominceremo col considerare il modello in volo planato, senza considerare gli effetti dell'elica in moto, poi completeremo la trattazione tenendo conto dell'influenza dell'elica.

Inoltre, dato che nessun aeromodellista che si rispetti è uso abbandonare la manopola mentre il modello è in volo, tanto più che verrebbe squalificato, potremo limitare la trattazione al caso dei

comandi bloccati. Cioè, pur sapendo che il pilota corregge sempre le variazioni di assetto del modello, a scopo di dare incremento al turismo esamineremo come sia possibile arrivare alla stabilità automatica che non richieda l'intervento del pilota, in modo da permettergli di godersi il panorama mentre il modello se ne va tranquillo per i fatti suoi, senza sgarrare.

Prima di iniziare, ricordiamo che si chiama Centro Aerodinamico (C.A.) di un profilo, quel punto tale che il coefficiente di momento rispetto ad esso non varia al variare del coefficiente di portanza, cioè dell'incidenza. Gli effetti aerodinamici di un profilo si possono quindi sintetizzare in una portanza L e una resistenza D applicate nel C.A. e variabili con l'incidenza, e in un momento M_{ac} costante.

Schematizziamo ora il nostro modello come in fig. 7, in cui le forze aerodinamiche F e F_t , risultanti delle rispettive L e D , sono state decomposte secondo le N e C , una verticale e una orizzontale. L'equilibrio alle rotazioni intorno al C. G. è espresso da:

$$M_{cg} = N \cdot x_a + C \cdot z_a + M_{ac} + M_{fus} + M_{act} + C_t \cdot h_t - N_t \cdot l_t = 0 \quad (31)$$

E' conveniente esprimere questa equazione in termini di coefficienti, anzichè di forze e di momenti; ciò si può fare dividendo ciascun termine per $qSwc$ ($q = \frac{1}{2} \rho V^2$; $Sw =$ Superficie alare; $c =$ corda alare). Si trova allora:

$$Cm_{cg} = C_n \cdot x_a / c + C_c \cdot z_a / c + Cm_{ac} + Cm_{fus} + Cm_{act} \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{c_t}{c} - \eta_t + C_{ct} \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{h_t}{c} - N_t \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{l_t}{c} \eta_t = 0 \quad (31')$$

Come si vede anche ad occhio nudo, questa espressione è piuttosto complessa e ragionare su di essa è alquanto scomodo. Perciò la prima cosa cui si è pensato è stata di andare a vedere se per caso qualcuno dei termini della somma non fosse così piccolo da poterne trascurare l'influenza; si è così stabilito

che sono trascurabili il 5° e il 6° termine. E se lo dicono gli studiosi, non abbiamo nessuna ragione di dubitarne. Pertanto, a partire da questo momento poniamo al bando tali termini e ragioniamo sulla seguente equazione, *condizione di equilibrio*:

$$Cm_{cg} = C_n \cdot x_a / c + C_c \cdot z_a / c + Cm_{ac} + Cm_{fus} - C_{Nt} \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{l_t}{c} \eta_t = 0 \quad (32)$$

La condizione di stabilità impone che, ad un aumento di incidenza, e quindi del coefficiente di portanza, si generi un momento picchiante, mentre per una diminuzione di incidenza deve verificarsi il contrario. Ciò equivale a porre la condizione:

$$\frac{dCm_{cg}}{dC_L} < 0 \quad (33)$$

Perciò, derivando l'espressione del Cm data dalle (32) rispetto a C_L , si ha la *condizione di stabilità*:

$$\frac{dC_n}{dC_L} \cdot x_a / c + \frac{dC_c}{dC_L} \cdot z_a / c + \frac{dCm_{ac}}{dC_L} + \frac{dCm_{fus}}{dC_L} - \frac{dC_{Nt}}{dC_L} \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{l_t}{c} \eta_t < 0 \quad (34)$$

In cui sono distinti i contributi che le varie parti del modello portano alla stabilità o instabilità longitudinale in volo planato; questi contributi, che andremo ora ad esaminare separatamente e dettagliatamente, sono:

- 1) Contributo dell'ala: è espresso dai primi tre addendi,
- 2) Contributo della fusoliera: è espresso dal quarto addendo,
- 3) Contributo dell'impennaggio orizzontale: è espresso dall'ultimo addendo,
- 4) Contributo dell'elica: non è espresso perchè non ne è stato, per ora, tenuto conto; lo esamineremo quindi per ultimo, anche perchè la presenza dell'elica altera alcuni dei termini precedenti, rendendo il problema assai più complicato.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

14^a puntata

dr. ing. luigi bovo

1^a serie

1) *Contributo dell'ala:* è espresso da:

$$\frac{dC_N}{dC_L} \cdot x_a / c + \frac{dC_c}{dC_L} \cdot z_a / c + \frac{dC_{mac}}{dC_L}$$

Vediamo se e come si possa semplificare tale espressione.

— Alle incidenze cui volano i modelli da velocità, la N e la L formano un angolo molto piccolo, per cui si può porre, con ottima approssimazione, $N = L$ e quindi $dC_N/dC_L = 1$.

— Per analoghe ragioni (e vi prego di credermi sulla parola, risparmiandomi una sfilza di formule che non dice assolutamente niente di interessante) si può scrivere:

$$\frac{dC_c}{dC_L} = \frac{dC_D}{dC_L} - C_L \cdot \frac{d\alpha_w}{dC_L}$$

espressione sulla quale possiamo ancora ragionare in questo modo: la resistenza è somma della resistenza di profilo e di quella indotta; la prima, alle basse incidenze si può considerare praticamente costante, quindi con derivata nulla, pertanto si potrà scrivere:

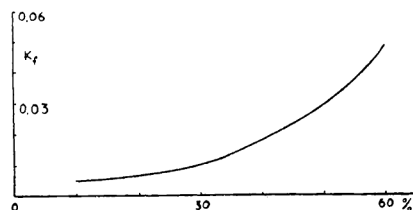
$$\frac{dC_c}{dC_L} = \frac{2C_L}{\pi e \lambda} - C_L \cdot \frac{d\alpha_w}{dC_L}$$

$$C_L \left(\frac{2}{\pi e \lambda} - \frac{0,035}{(dC_L / d\alpha_w)^0} \right)$$

(in cui e = fattore di correzione della resistenza indotta, che vale 1 per distribuzione ellittica della portanza e circa 0,85 per i casi normali). Il numero 0,035 salta fuori dai calcoli allo scopo di esprimere le incidenze in gradi, come si trovano sui grafici, anziché in radianti, che molta gente non sa neppure cosa siano.

— Infine, per la definizione stessa di centro aerodinamico, il CM è costante al variare del CL , e quindi la sua derivata è nulla.

Fatte le suestposte semplificazioni, il contributo dell'ala può essere quindi espresso molto semplicemente da:



Posizione del 25 per cento della corda alare rispetto alla fusoliera, in per cento di L_f ; la sua tendenza ad arretrare diminuisce con l'aumentare del coefficiente K_f .

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{ala} = x_a / c + \frac{C_L}{\pi e \lambda} \left(\frac{2}{(dC_L / d\alpha_w)^0} - \frac{0,035}{c} \right) \cdot \frac{z_a}{c} \quad (35)$$

Occorre però osservare ancora che, adottando valori normali per i termini entro parentesi, la (35) si può ridurre a

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{ala} \approx x_a / c - \frac{C_L}{10} \cdot z_a / c \quad (35')$$

Si vede quindi che l'influenza del secondo termine è molto minore di quella del primo, tanto più quanto minore è il CL , cioè alle basse incidenze, per cui soprattutto nel caso dei modelli da velocità, tale termine si può trascurare, ricordando però che esso è stabilizzante quando il CG è sotto l'ala (ala alta), e considerare quindi il contributo dell'ala espresso solamente da:

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{fus} = x_a / c \quad (36)$$

cioè dalla posizione del CG rispetto al CA in per cento della corda.

2) *Contributo della fusoliera:* è espresso da:

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{fus}$$

Lo sviluppo di tale espressione è stato dedotto da studi sperimentali, che hanno permesso di giungere ad espressioni più o meno accurate, e di calcolo più o meno complesso. Una formuletta molto semplice, anche se non precisissima, è quella di Gilruth e White:

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{fus} = \frac{K_f \cdot w_f^2 \cdot L_f}{S_w \cdot c \cdot a_w} \quad (37)$$

(in cui: K_f = coefficiente sperimentale ricavabile dalla fig. 8; w_f = massima dimensione trasversale della fusoliera; L_f = lunghezza totale della fusoliera; a_w = pendenza della curva del CL)

3) *Contributo della coda:* è espresso da:

$$\frac{dC_{N_t}}{dC_L} \cdot \frac{S_t}{S_w} \cdot \frac{l_t}{c} \cdot \eta_t$$

Vi prego di credermi sulla parola se vi dico che con un certo numero di sostituzioni e di passaggi matematici, si arriva all'espressione:

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L} \right)_{coda} = - \frac{a_t}{a_w} \cdot \bar{V} \eta_t \left(1 - \frac{d\Sigma}{dx_w} \right)$$

$$\approx - \bar{V} \eta_t \left(\frac{a_t}{a_w} - \frac{2}{\pi \lambda} \cdot a_t \right)$$

(in cui: $\bar{V}$ = rapporto volumetrico di coda — $S_t l_t / S_w c$; η_t = rendimento della coda; a_t = pendenza della curva dei CL_t).

LA STABILITÀ

A questo punto siamo in grado di discutere il problema della stabilità, semplificato eliminando gli effetti dell'elica. Possiamo scrivere la *condizione di stabilità*:

$$\frac{dC_m}{dC_L} = x_a / c + \frac{K_f \cdot w_f^2 \cdot L_f}{c \cdot S_w \cdot a_w} - \bar{V} \eta_t$$

$$\left(\frac{a_t}{a_w} - \frac{2}{\pi \lambda} a_t \right) < 0 \quad (39)$$

Se ora definiamo punto neutro del modello in planata (N^0), quella tal posizione del C.G. in per cento della corda, tale che $dC_m/dC_L = 0$ (stabilità indifferente), la condizione di stabilità del nostro modello risulta espressa da:

$$\frac{dC_m}{dC_L} = x_{cg} - N_o < 0 \quad (40)$$

(in cui: x_{cg} = posizione del CG in % della corda)

Ne segue quindi che, in sede di progetto, occorrerà prevedere di avere il punto neutro il più arretrato possibile; quanto più avanti ad esso cadrà il CG, tanto più stabile sarà il modello. Pertanto, se un modello già costruito, si dimostra instabile, l'unica cosa da fare, come tutti sanno, è di avanzare il CG.

Però, siccome non è nè bello nè istruttivo centrare un modello mezzo metro avanti all'ala, in sede di progetto occorrerà prendere in esame tutti gli accorgimenti necessari a che il punto neutro si trovi il più arretrato possibile. E' appunto quanto mi accingo ad esporre brevemente, a conclusione di questo primo esame del problema della stabilità.

Mi rendo perfettamente conto che voi della stabilità in planata di un modello da velocità ve ne fate un baffo quadrato, perchè ciò che voi desiderate è un modello stabile durante la parte più importante e più lunga del volo, che si svolge col motore ben in moto, però, dato che il problema si complica notevolmente, è bene, prima di proseguire, soffermarsi dopo questo primo passo, per fare qualche considerazione preliminare, anche perchè, alcune di queste considerazioni, conservano tutto

il loro valore quando si tenga conto pure degli effetti dell'elica. Arretrare il punto neutro equivale a rendere quanto più grande sia possibile la seguente espressione:

$$N_o = x_{ac} \cdot \frac{K_f \cdot w_f^2 \cdot L_f}{c \cdot S_w \cdot a_w} + \bar{V} \eta_t$$

$$\left(1 - \frac{2}{\pi \lambda} \cdot a_w\right) \cdot \frac{a_t}{a_w} \quad (41)$$

(in cui x_{ac} = ascissa del C.A. in % della corda).

Per arrivare a tale scopo, le cose che si possono fare sono molte; c'è solo una piccola difficoltà nell'analisi della (41): in essa compaiono termini fra loro collegati e in contrasto, nel senso che un certo termine può, da un lato contribuire alla stabilità e da un altro contrastarla. Per poter capire come comportarsi in tali casi, la strada migliore è di scendere a considerazioni quantitative, calcolando, con i valori usuali dei vari parametri, l'importanza dei vari termini. Vi risparmio per pietà le mie genialissime elucubrazioni in tal senso e arrivo alle conclusioni. Per aumentare la stabilità si può

— Scegliere un profilo che abbia il C.A. arretrato; questo però è possibile più in teoria che in pratica, dato che il C.A. giace sempre nei dintorni del 25% della corda, anche per profili molto differenti.

— Fare il naso della fusoliera corto (compatibilmente col centraggio).

— Fare la fusoliera molto sottile.

— Usare uno stabilizzatore a forte allungamento.

— Impiegare un lungo braccio di leva.

— Usare un'ala a forte allungamento, perchè permette di diminuire la corda e quindi di avere, senza allungare la fusoliera, un elevato valore del rapporto volumetrico di coda.

— Fare lo stabilizzatore di grande superficie, per aumentare ulteriormente il rapporto volumetrico di coda:

4) Contributo dell'elica: è molto meno noto degli effetti precedentemente esposti, perciò quello che vi espongo è, almeno per le riviste aeromodellistiche, una novità assoluta.

Consideriamo la fig. 9: il momento delle forze dovute all'elica, rispetto al C.G. è:

$$M_{egP} = T \cdot h + N_p \cdot l_p \quad (42)$$

che va a sommarsi agli altri termini

della condizione di equilibrio (31). Posto.

$$T_c = T/\rho V^2 D^2 \quad e \quad C_{NP} = N_p / q S_p$$

Si trovano i corrispondenti termini da inserire nella (32):

$$\frac{dC_{mp}}{dC_L} = \frac{dT_c}{dC_L} \cdot \frac{2D^2}{S_w} \cdot \frac{h}{c} + \frac{dC_{NP}}{dC_L} \cdot \frac{l_p}{S_w} \cdot \frac{S_p}{c}$$

(essendo S_p l'area del disco dell'elica). E' questo il contributo dell'elica alla stabilità (o all'instabilità, come più spesso accade). Se ne deduce allora che, affinché tale contributo sia stabilizzante, occorre che i due termini siano negativi e quindi che siano negativi h e l_p , il che, in altri termini significa: — linea di trazione sopra il CG, più alta possibile.

— elica propulsiva anziché trattiva (dietro il C.G.).

In effetti, posto che la prima condizione non è poi così difficile da realizzarsi, seppure in maniera non molto accentuata, sarà bene cercare di limitare gli effetti dannosi dell'elica trattiva, dato che l'altra sistemazione è piuttosto foriera di complicazioni. Ciò significa cercare di tenere il più possibile basso il secondo termine della (43), mentre per il primo, posto di aver fatto h negativo, sarà conveniente farlo grande in valore assoluto.

Per vedere come ottenere ciò, occorre esplicitare le due derivate. A ciò si giunge mediante espressioni più o meno empiriche, di cui vi risparmio la deduzione, scrivendovele senz'altro qui di seguito:

$$\frac{dT_c}{dC_L} = \frac{3}{2} K \eta_p C_L^{0.5} \quad (44)$$

nella quale si è posto:

$$K = \frac{P \cdot \rho^{0.5}}{(2Q/S)^{0.5} \cdot D^2} \quad (45)$$

(P = potenza in cavalli; Q/S = carico alare; D = diametro dell'elica):

$$\frac{dC_{NP}}{dC_L} = \frac{(dC_N/d\alpha)_p \cdot (1 + \frac{d\varepsilon}{d\alpha})}{a_w} \quad (46)$$

Perciò, in definitiva, tutto ciò che si può fare può riassumersi in quel che segue:

— porre la linea di trazione il più possibile alta;

— usare un motore potente, con una elica di massimo rendimento;

— tenere il peso basso e la superficie ridotta (alare);

— piazzare l'elica il più possibile indietro, in modo da avvicinarla al CG. Quello considerato, sarebbe il contributo dell'elica alla stabilità, se non ci fosse anche la scia vorticoso che l'elica si lascia dietro. Tale scia infatti altera il flusso dell'aria dietro all'elica e, in particolare, agli effetti della stabilità, sullo stabilizzatore.

In effetti, si hanno delle perturbazioni su tutti gli organi situati dietro alla elica e quindi anche su ala e fusoliera; però tali effetti, ai fini della stabilità, sono molto piccoli e quindi trascurabili. Non si può invece trascurare ciò che si verifica sulla coda.

Affrontare completamente il problema è cosa piuttosto complessa e soprattutto barbosca. Preferisco saltare alla conclusione, che vi prego di accettare tal quale credendomi sulla parola. E se non volete credere alla mia, credete almeno a quella di Perkins e Hage che ne sanno più di me. In sostanza, che cambia è il valore del contributo della coda alla stabilità: cioè il secondo membro della (38), il quale diventa ora:

$$\left(\frac{dC_m}{dC_L}\right) = - \frac{a_t}{a_w} \cdot \bar{V} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha} - \frac{d\varepsilon_p}{d\alpha}\right) \quad (47)$$

$$(v_s/v)^2 - C_{L1} \cdot \bar{V} \cdot \frac{d(v_s/v)^2}{dC_L}$$

Il primo termine è uguale a quello della (38), con l'aggiunta del fattore $d\varepsilon_p/d\alpha$ che rappresenta l'effetto di deflessione dei filetti fluidi sulla coda, deflessione che la presenza dell'elica ha alterato. Tale termine è instabilizzante. Il secondo termine nasce dalla variazione della velocità di scia al variare del coefficiente di portanza e cioè della incidenza.

Esso è stabilizzante quando la coda è portante, instabilizzante quando la coda è deportante.

Con ciò non pretendo di aver sviscerato il problema della stabilità con la elica in moto, comunque vi ho dato qualche informazione in merito.

Per riassumere, onde ottenere la massima stabilità longitudinale occorre:

— fare il naso della fusoliera corto e la fusoliera sottile,

— impiegare uno stabilizzatore portante e a forte allungamento,

— piazzare lo stabilizzatore al termine di un lungo braccio di leva, e farlo di grande superficie, rispetto all'ala,

— usare ali di allungamento elevato,

— porre la linea di trazione alta,

— stare bassi col peso,

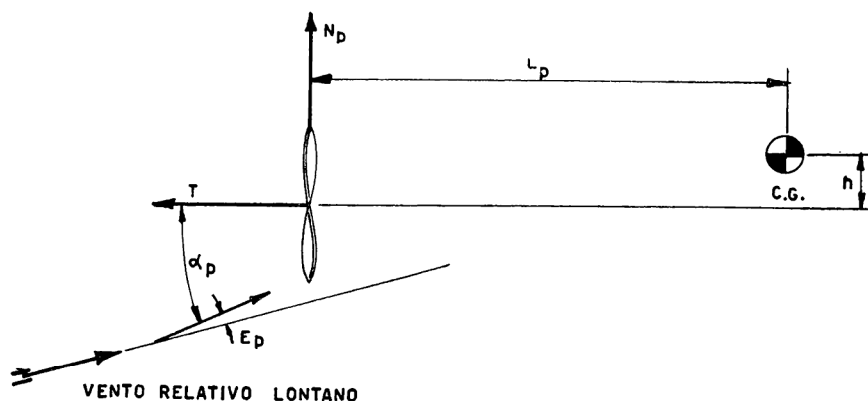
— curare al massimo la potenza resa dal motore.

(continua)

ERRATA CORRIGE

A pag. 25 del n. 42, prima colonna, la formula va letta come segue:

$$Cr \cdot Se + Cr \cdot Sc < Cr \cdot S$$



LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

15ª puntata

dr. ing. luigi bovo

1ª serie

c) Stabilità longitudinale dinamica

Supponiamo di avere un modello dotato di buona stabilità statica: tale modello dovrebbe, come si suol dire, «volare da solo», permettendo al pilota di godersi il panorama. E invece ciò non è sempre vero, per colpa della signora Stabilità Dinamica.

Abbiamo visto che se il modello è stabile, quando sorge una perturbazione che lo fa cabrare o picchiare, si sviluppano delle forze che tendono a farlo tornare alla posizione primitiva.

E' però evidente che, affinché tali forze sorgano, occorrerà che lo spostamento dalla traiettoria di volo si sia verificato. E tale spostamento sarà più o meno grande a seconda della maggiore o minore stabilità statica. In altre parole, supponiamo che la perturbazione abbia fatto cabrare il modello; per tornare alla posizione iniziale il modello compirà una montagna russa la quale sarà tanto più alta quanto minore è la stabilità statica.

Tutto questo sarebbe niente se il nostro modello fosse dotato di grande stabilità dinamica, ma se così non è, le montagne russe saranno più di una e addirittura potrebbero diventare sempre più ampie se il modello fosse assolutamente instabile dinamicamente, pur essendo stabile staticamente. Ma prescindendo da tale condizione catastrofica, una elevata stabilità dinamica è opportuna per far sì che queste dannate montagne russe si riducano rapidamente di ampiezza per la ragione vista all'inizio di questa serie di articoli: evitare che il modello compia un cammino più lungo del chilometro regolamentare.

Orbene, con lunghe e complicate trattazioni di alta matematica, si dimostra che le oscillazioni con cui un modello ritorna alla posizione iniziale sono due, una sovrapposta all'altra.

La prima di queste oscillazioni è di periodo brevissimo e rapidamente smorzata ed inoltre su di essa non si può praticamente agire. Pertanto d'ora in poi non ne terremo più conto.

La seconda è detta in inglese «phugoid» termine che non so come si possa tradurre in italiano; tanto per intenderci la chiamerò «oscillazione fugoide» con tante scuse ai puristi della nostra madrelingua.

L'oscillazione fugoide ha un periodo abbastanza lungo e non è eccessivamente smorzata, se non si adottano opportuni provvedimenti per ottenere questo risultato.

I risultati che si deve cercare di ottenere sono due:

1) Massimo smorzamento dell'oscillazione fugoide,

2) Far sì che il periodo di tale oscillazione sia il più lungo possibile, poi-

ché in tal caso il pilota ha tempo di intervenire con opportune correzioni che si traducono in un ulteriore smorzamento delle oscillazioni.

Vediamo quindi quali sono i fattori che hanno influenza su questi due parametri: smorzamento e periodo.

1) Smorzamento: dipende dal coefficiente di portanza, da quello di resistenza dallo smorzamento dell'aereo (o modello), dall'inerzia e dalla posizione del C.G.

Vediamo come influiscono questi parametri:

— Coefficiente di portanza: lo smorzamento cresce al diminuire del C.L.

— Coefficiente di resistenza: lo smorzamento cresce al crescere del C_D , ma è evidente che nessuno cercherà di ottenere la stabilità aumentando la resistenza e quindi a scapito della velocità. Comunque è un fatto sperimentalmente assodato che certi casi di instabilità fugoide si curano a meraviglia con dei diruttori.

— Coefficiente di smorzamento: al crescere di esso cresce lo smorzamento. Questo coefficiente è espresso da:

$$C_s = 1,1 \cdot a_t \cdot \bar{V} \cdot \eta_t \cdot \frac{l_t}{c \mu} \quad (48)$$

(in cui μ = fattore di densità relativa dell'aereo).

Questa espressione ricorda molto da vicino quella del coefficiente di stabilità dovuto alla coda ed in effetti, tutto ciò che si fa per aumentare lo effetto stabilizzante dell'impennaggio si traduce in aumento di questo coefficiente. Dove si dimostra che, come era prevedibile, la stabilità statica ha influenza pure su quella dinamica.

Notiamo però che, nell'espressione (48), il rapporto del braccio di leva alla corda compare due volte: una esplicitamente, l'altra nel rapporto volumetrico di coda $\bar{V}$. Ne segue che, mentre ai fini della stabilità statica, un identico risultato si ottiene con un grande stabilizzatore e un piccolo braccio di leva, ovvero con un piccolo stabilizzatore ed un grande braccio di leva, per la stabilità dinamica non è lo stesso, poiché il secondo, a parità di rapporto volumetrico, avrà maggiore stabilità statica (purché naturalmente non si giunga ad un eccesso tale da compromettere l'efficacia dello stabilizzatore).

Per quanto concerne poi il cosiddetto fattore di densità relativa, esso dovrà essere il più piccolo possibile, cioè più il modello sarà leggero, più sarà stabile dinamicamente (maggiore smorzamento).

— Inerzia: al crescere del momento di

inerzia attorno all'asse di beccheggio, diminuisce lo smorzamento. Ciò spiega perché certi modelli a fusoliera chilometrica sono instabili longitudinalmente malgrado si sia appena visto che un lungo braccio di leva contribuisce a smorzare le oscillazioni.

Come è noto un piccolo valore del momento di inerzia si ottiene, oltre che facendo il modello leggero, procurando di concentrare i vari pesi, e soprattutto i più notevoli, in vicinanza del C.G.

— Posizione del C.G.: esistono particolari posizioni del C.G. che danno luogo ad instabilità dinamica. Non è possibile fare in questa sede una trattazione teorica del problema. Basta sapere questo: se si ha instabilità dinamica, e questa è dovuta alla posizione infelice del C.G., basta spostarlo avanti o indietro e tutto si sistema.

2) Periodo: dipende dal coefficiente di portanza, dalla posizione del C.G. e da altri fattori di scarsissima importanza. Vediamo come influiscono i due fattori più importanti:

— Coefficiente di portanza: il periodo aumenta al diminuire di C_L .

— Posizione del C.G.: il periodo aumenta arretrando il C.G., il che però è pericoloso poiché diminuisce la stabilità statica.

In definitiva ciò che si può fare per ottenere una buona stabilità dinamica, senza naturalmente compromettere quella statica, può riassumersi in quanto segue:

— Ridurre il peso (in modo da ridurre sia il coefficiente di portanza che il momento di inerzia).

— Fare uno stabilizzatore molto grande, ad elevato allungamento e con forte braccio di leva, pur di fare la coda molto leggera onde non aumentare il momento d'inerzia (1).

— Non esagerare nell'avanzare molto il C.G., poiché ciò che si guadagna in stabilità statica, lo si potrebbe perdere in dinamica.

— Concentrare il più possibile i pesi in senso longitudinale, portandoli il più possibile vicini al C.G. E' questo a mio modo di vedere il punto più importante e non sempre giustamente valutato nei suoi effetti.

E con ciò si conclude questo rapido sguardo a volo d'uccello sulla stabilità dinamica.

(1) E' qui che si vede soprattutto il vantaggio delle ali a forte allungamento: si può aumentare il braccio di leva pur facendo la fusoliera corta.

d) Stabilità direzionale

Scopo primo della stabilità direzionale non è quello della sopravvivenza del modello o del minimo percorso, come per la stabilità longitudinale, bensì quello della minima resistenza. Precisamente, abbiamo visto nel paragrafo sul « volo in cerchio » che c'è interesse a realizzare una opportuna architettura ed un arrangiamento di forze tale da far sì che, durante il volo, tutte le parti costituenti il modello, vengano investite da un flusso esattamente assiale, nella direzione di minima resistenza.

Scopo della stabilità direzionale è di far sì che il modello tenda a conservare per tutto il volo, anche se disturbato da raffiche o altre perturbazioni esterne, tale posizione assiale di minima resistenza.

Nel caso nostro, a differenza di quanto accade negli aerei o nei modelli a volo libero, c'è un grande alleato a tal fine: la presenza dei cavi attaccati all'estremità alare; tuttavia, a quanto pare, essi non sono sufficienti alla bisogna, tanto è vero che qualche anno fa, dopo che in un primo tempo erano state sacrificate sull'altare del « via tutto ciò che fa resistenza! », sono tornate in auge le derive.

Per contro, se l'alleato esiste, e come!, c'è anche un avversario, e cioè la cap-pottina che, piazzata là sul naso del modello, costituisce proprio un bella banderuola che sembra fatta apposta per far sì che il modello si metta di traverso, con tanti saluti al flusso assiale e compagnia cantante.

Perciò la trattazione che segue, dovrà leggermente discostarsi da quella classica, per tener conto della particolare situazione in cui si trovano i modelli in volo circolare, rispetto agli altri. Se chiamiamo N il momento rispetto al C.G. delle forze agenti sul modello nel piano orizzontale, porremo, analogamente a quanto fatto per la stabilità longitudinale:

$$C_n = \frac{N}{q S_w b}$$

(essendo b l'apertura alare)

Si avrà stabilità direzionale quando:

$$C_{\psi} = \frac{dC_n}{d\psi} < 0 \quad (49)$$

(ψ = angolo fra la linea di simmetria e la direzione di volo).

Anche in questo caso il coefficiente di stabilità è la somma di vari termini, rappresentanti i contributi, dei vari elementi costituenti il modello, alla stabilità:

$$C_{\psi} = C_{ala} + C_{fus} + C_{el} + C_{capp} + C_{der} + C_{cavi} \quad (50)$$

1) Ala: Il contributo dell'ala alla stabilità direzionale è molto piccolo e vale:

$$C_{ala} = -0,00006(A^\circ)^{1/2} \quad (51)$$

(dove A° = freccia alare in gradi).

Si vede subito che ci sarebbe convenienza a far l'ala a freccia ma, date le difficoltà strutturali, si può anche farne a meno, proprio in considerazione del fatto che il contributo è comunque molto piccolo e che, comunque, facendo l'ala dritta, il suo contributo è zero, cioè non è instabilizzante.

2) Fusoliera: Una formula empirica stabilita dalla North American A.C. è la seguente:

$$C_{fus} = \frac{0,6 [K_b]}{57,3} (S_w / S_w) (L_f / b) (h' / h'')^{1/2} \cdot (w_2 / w_1)^{1/2} \quad (52)$$

(dove: K_b = coefficiente dato dalla fig. 10; S_w = superficie laterale della fusoliera; h' e W_1 = altezza e larghezza della fusoliera al 25% della sua lunghezza; h'' e w_2 = idem, ma al 75%).

Questo contributo è instabilizzante, per

cui occorre cercare di minimizzarlo, coi seguenti accorgimenti:

- Porre il C.G. avanti, in % di L_f ,
 - Ridurre l'altezza massima della fusoliera rispetto ad L_f ,
 - Ridurre la superficie laterale,
 - Fare la fusoliera corta,
 - Usare un'ala a forte allungamento,
 - Disegnare la fusoliera in modo tale da ridurre quanto è possibile i rapporti h'/h'' e W_2/W_1 (naso basso e largo, coda alta e stretta).
- 3) Elica: Il contributo dell'elica è instabilizzante e vale:

$$C_{el} = \frac{3\pi D^2 \cdot l_p \cdot K}{8 S_w \cdot b} \quad (53)$$

In tale formula compare il coefficiente K per il quale vengono dati i seguenti valori sperimentali:

per eliche bipale	$K = 0,00165$
» » tripale	$K = 0,00235$
» » quadripale	$K = 0,00296$
» » a 6 pale	$K = 0,0051$

Ne consegue che, onde diminuire l'effetto instabilizzante dell'elica occorre:

- Naso corto
- Eliche bipale di piccolo diametro (compatibilmente naturalmente col rendimento che è più importante).
- Ali a forte allungamento.

4) Deriva: Il contributo della deriva alla stabilità direzionale è espresso dalla formula seguente, di cui ometto tutti i passaggi matematici che si fanno per arrivarci:

$$C_{der} = -a_d \cdot \frac{S_d \cdot l_d}{S_w \cdot b + D} \quad (54)$$

(in cui a_d = pendenza della curva dei C_p della deriva, crescente al crescere del suo allungamento; S_d = superficie della deriva; l_d = braccio della deriva; D = coefficiente aggiuntivo che si ricavava dalla fig. 11).

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

16ª puntata

dr. ing. luigi bovo

1ª serie

(continua dal n. 46)

Tali effetti, in definitiva, si compendiano in un moderato contributo instabilizzante relativamente maggiore per l'ala bassa.

Per quanto riguarda invece il primo termine della somma, vediamo che in esso compare un'espressione analoga al rapporto volumetrico di coda, che già ben conoscete, riferita però alla deriva anziché allo stabilizzatore.

Avremo quindi benefici effetti ai fini della stabilità direzionale facendo:

- Deriva a forte allungamento,
- Braccio di leva lungo,
- Ala a forte allungamento,
- Deriva di grande superficie (senza naturalmente esagerare!)

5) Cappottina: Non è altro che una deriva che si trova al posto sbagliato, cioè davanti dove ha effetto instabilizzante, anziché dietro. E' quindi chiaro che, ai fini di ridurne i deleteri effetti, sarà bene fare su di essa tutto al contrario di come si deve fare per la deriva, e cioè:

- Basso allungamento
- Superficie ridotta,
- C.P. quanto più prossimo possibile al C.G..

C'è però un altro fatto da tenere in considerazione, fatto di cui i libri non fanno cenno dato che gli aerei non hanno sul dorso le enormi cappottine dei modelli da velocità; l'interferenza cappottina-fusoliera. Ciò fa sì che i due effetti instabilizzanti non possano essere semplicemente sommati come ho fatto io.

In altri termini, la presenza della cappottina modifica, e Dio solo sa come, ma certamente in più, il valore di C_{fus} . Sarebbe quindi da ricercarsi un raccordo fusoliera-cappottina che mantenesse un flusso bidimensionale cosa che, fra l'altro, era già stata proposta da Marcenaro nelle sue « Riflessioni sul monoline », anche se a tutt'altro scopo, seppure altrettanto commendevole, quello cioè di diminuire la resistenza.

6) Cavi: Questo organo manca negli aerei, anche perchè è stato ampiamente dimostrato che un aeroplano attaccato ad un cavo sarebbe di impieghi pratici molto limitati, a meno di fare un cavo molto lungo e quindi pesante e costoso...

Di conseguenza nei trattati non si trova il minimo accenno al corrispondente contributo alla stabilità, per la stessa ragione per cui non si è ancora studiato il contributo dei camini e delle grondaie. Sono quindi costretto ad abbozzare io una teoria, sperando che stia in piedi. Consideriamo solo la forza centrifuga (o centripeta), trascurando la resistenza dei cavi, non perchè sia trascurabile (magari!) ma perchè il suo contributo alla stabilità direzionale è nullo o quasi. Se il modello viene spostato orizzontalmente di un angolo ψ , nasce, per effetto

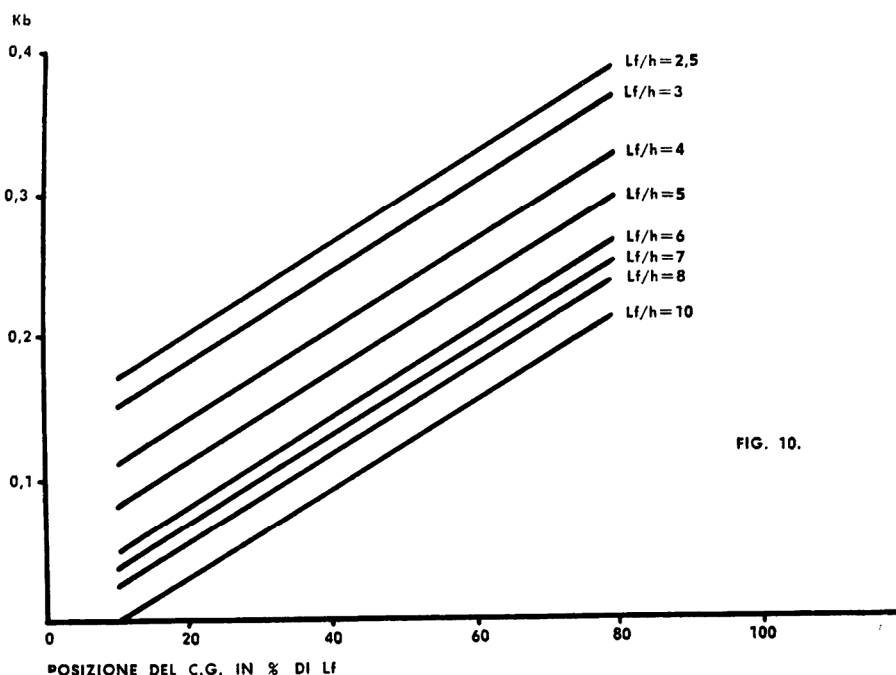


FIG. 10.

di ciò, un momento raddrizzante dovuto ai cavi che vale:

$$M = - F_{c.b.} \sin \psi$$

Dividendo al solito per $q \cdot S_w \cdot b$ e derivando rispetto a ψ si ha:

$$C_{cavi} = \frac{-F_c \cdot \cos \psi}{p \cdot S_w} \approx -F_c / q \cdot S_w \quad (55)$$

Dove si dimostra che, maggiore è la centrifuga, maggiore l'effetto stabilizzante, ma qui ci rimane ben poco da fare dato che, dei tre elementi che influiscono sulla centrifuga, il raggio è fissato e non può essere diminuito, pena l'esclusione

dalle gare, la velocità non può certo essere aumentata a piacimento, anche se tutti si danno da fare in tal senso, e il peso, tutto sommato, conviene tenerlo piuttosto basso.

Per riassumere, ai fini di ottenere un modello dotato di buona stabilità direzionale, sarà bene tener presenti, in sede di progetto, i seguenti accorgimenti utili tutti allo scopo (ho deliberatamente ommesso quei punti già considerati nella trattazione della stabilità longitudinale, per evitare di ripetere troppe volte la stessa musica):

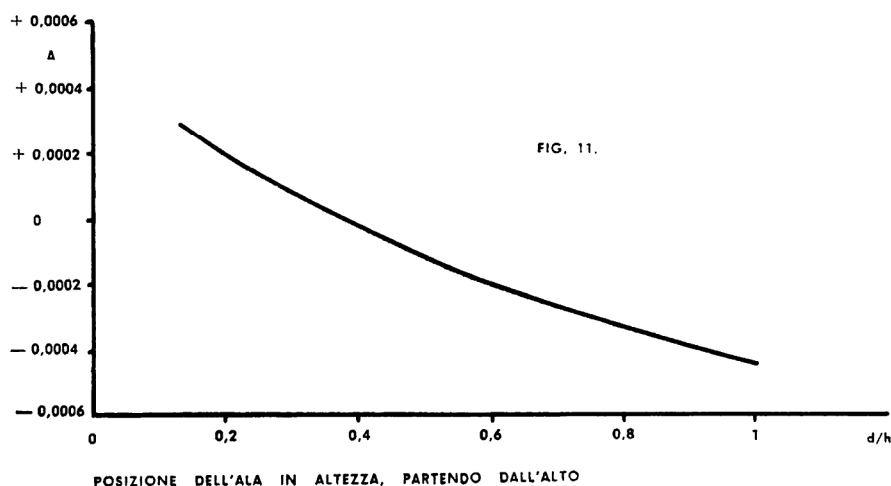


FIG. 11.

— Fusoliera bassa e di piccola superficie laterale (esclusa naturalmente la deriva che, più è grande, più è stabile il modello);

— Deriva a forte allungamento;

— Elica bipala;

— Braccio di leva della deriva quanto più lungo possibile, in rapporto alla corda alare;

— Cappottina piccola e vicina al C.G.

— Ala bassa o, quanto meno, media.

Quest'ultimo punto deve essere preso con le debite cautele, dato che abbiamo visto che, seppur non esageratamente, l'ala bassa influisce negativamente sulla stabilità longitudinale.

Occorre quindi raggiungere un compromesso, e per far ciò si possono fare due considerazioni:

a) La più semplice è di fare l'ala media la quale limita il più possibile l'effetto negativo sulla stabilità longitudinale, pur conservando un piccolo effetto stabilizzante direzionalmente.

b) Un ragionamento più completo sarebbe invece il seguente: ai fini della stabilità direzionale interessa l'ala bassa rispetto alla vista laterale della fusoliera, mentre ai fini della stabilità longitudinale interessa l'ala alta rispetto al C.G.; in linea teorica quindi le due con-

dizioni potrebbero essere soddisfatte abbassando quanto più possibile il C.G., il che è sempre commendevole.

Tuttavia è chiaro che con le normali soluzioni costruttive la posizione del C.G. in altezza è sempre all'incirca la stessa. Una soluzione radicale sarebbe il motore invertito, magari utilizzando la candela come pattino di atterraggio, ma forse, a questo punto c'è qualcuno che mi guarda male. Comunque, se non è gradita ai velociari, mi permetto di segnalare tale soluzione a chi si occupa di altre branche di aeromodellismo dove parlare di motore invertito non suona bestemmia.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

17^a puntata

dr. ing. luigi bovo

1^a serie

(continua dal numero 48)

e) *Stabilità nel vento.*

All'inizio di questo capitolo sulla stabilità, abbiamo identificato la stabilità alle traslazioni verticali con la «stabilità nel vento». Infatti è soltanto con tempo ventoso che il problema si pone in termini veramente preoccupanti. Credo che ognuno di noi, assistendo a gare o prove effettuate con vento abbastanza forte, avrà potuto ammirare quelle specie di sarabande che i modelli da velocità compiono quasi sempre in tali condizioni atmosferiche: il modello si alza sempre più nel semicerchio in cui il vento è di fronte, mentre scende paurosamente a far da barbitonsore ai prati nel semicerchio opposto. E credo anche che molti si saranno chiesti: ma possibile che non ci sia proprio niente da fare?

In effetti, qualcosa da fare c'è, ma non è poi molto, per cui a quel poco bisogna prestare molta attenzione. Infatti, allorché il modello si alza da una parte e si abbassa dall'altra, la sua traiettoria è un cerchio inclinato rispetto all'orizzontale, che divento punto di partenza di un nuovo innalzamento da una parte e conseguente abbassamento dall'altra, i quali, in definitiva, fanno sì che l'inclinazione del cerchio aumenti ulteriormente, e così via fino alla trivellazione petrolifera.

Cioè, ripeto, l'instabilità del modello u-control con tempo ventoso, si manifesta come una instabilità del suo piano di volo che, una volta inclinosi, tende ad esaltare da solo l'inclinazione. Ciò premesso, faccio notare che questo problema è tipico del volo circolare e non trova riscontro in altri tipi di aeromobili, i quali sono tutti privi di guinzaglio, per cui, nel trattarlo, dovrò fare a meno, mio malgrado, dei lumi di autorevoli studiosi, ed esporre soltanto ragionamenti scaturiti dalle mie fertili meningi.

Per trattare da un punto di vista teorico un problema collegato con le perturbazioni atmosferiche, occorre naturalmente sapere come sono fatte tali perturbazioni. Ora, poichè nessuno è in grado, io credo, di dire come esattamente esse siano fatte, dovremo fare qualche ipotesi semplificativa circa l'andamento delle stesse. Nel caso nostro, mi limiterò a considerare due casi estremi, in mezzo ai quali dovrebbero essere compresi tutti i casi reali:

- 1) Raffica improvvisa,
- 2) Vento teso.

1) Consideriamo un modello in volo perfettamente orizzontale, in aria perfet-

tamente calma, e supponiamo che, per uno scherzo del destino, arrivi uno sbuffo di vento perfettamente orizzontale e di brevissima durata. Supponiamo inoltre, per metterci nel caso più sfavorevole, che la raffica arrivi in modo da investire il modello esattamente di fronte.

E' chiaro allora che, per qualche istante, la velocità della raffica U si sommerà con quella di volo V , col risultato di far aumentare bruscamente la portanza.

In conseguenza di ciò il modello si alzerà piuttosto bruscamente, fino ad una quota tale che la componente verticale della forza centripeta venga a controbilanciare la portanza così aumentata, disponendosi così in una nuova posizione di equilibrio.

Come si vede, nel caso di raffica improvvisa, si ha stabilità indifferente. Questo sarebbe esattamente vero se non ci fossero i comandi. Infatti è ben noto che, tenendo ferma la manopola, quando si usa il sistema bicavo, ad un innalzamento del modello parallelamente a se stesso corrisponde automaticamente un comando a picchiare il quale quindi si oppone, seppur blandamente allo spostamento del modello per cui, pur di non usare il Monoline, una certa dose di autostabilità la si ha automaticamente.

Il problema è quindi duplice:

- Limitare per quanto possibile gli spostamenti per effetto della raffica;
- Esaltare l'effetto autostabilizzante dei comandi.

Per quanto riguarda gli spostamenti, se vogliamo cercare il modo di limitarli, dobbiamo vedere da cosa dipendono.

Supponiamo, per semplicità, che il modello voli all'altezza della manopola; in tal caso sarà:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p S V^2 = Q$$

Al sorgere della raffica invece si avrà:

$$P' = \frac{1}{2} \rho C_p S (V + U)^2 = \frac{1}{2} \rho C_p S$$

$$(V^2 + 2UV + U^2) > Q$$

Il modello si alzerà fino alla quota in cui la componente verticale della centripeta, sommata al peso, non venga a bilanciare il nuovo valore della portanza:

$$\frac{1}{2} \rho C_p S (V^2 + 2UV + U^2) = Q +$$

$$+ \frac{mV^2}{r} \cdot \frac{z}{r}$$

Da cui si ricava:

$$z = \frac{\rho C_p S (2UV + U^2) r^2}{2 m V^2} = \frac{\rho C_p S r^2}{2 m} \left(\frac{2U}{V} + 1 \right) \quad (56)$$

Quindi, per limitare lo spostamento in altezza, c'è interesse a:

— Fare i cavi lunghi esattamente quanto prescritto, non più.

— Avere un modello veloce.

— Non serve a niente invece un modello pesante, e quindi inerte, dato che, per sostenere maggior peso occorre maggior portanza e quindi maggior prodotto $C_p S$, che controbilancia esattamente nella (56) l'aumento di m .

Quanto sopra è piuttosto scoraggiante perchè ci dice che non esistono accorgimenti speciali per contrastare le raffiche. Resta quindi, unico santo cui votarsi, l'effetto stabilizzante del comando bicavo. E qui il discorso è assai semplice: meno i comandi sono demoltiplicati, maggiore è tale effetto, per cui conviene avere:

- manopola alta
- squadretta stretta
- rapporto di trasmissione dalla squadretta al timone elevato
- timone mobile di grande superficie
- niente Monoline.

Con ciò si ottiene un modello piuttosto nervoso nel pilotaggio normale, data la grande sensibilità ai comandi, tuttavia, a quanto mi consta, l'unica via efficace da battere per debellare le raffiche, è quella descritta.

Fra l'altro, nessuno di voi si è mai chiesto come mai gli acrobatici, in volo orizzontale, si comportino così bene quando c'è il vento? Beh, secondo me la spiegazione potrebbe essere proprio nei loro comandi così poco demoltiplicati.

2) Supponiamo ora che, al contrario di prima, il vento soffi regolare, a velocità perfettamente costante, in direzione orizzontale. In questo caso, il quadro fatto precedentemente si altera notevolmente, proprio a causa della regolarità del vento. Infatti si può ritenere, in via di prima approssimazione, che il modello non sia investito improvvisa-

mente da una folata, ad esempio frontale, di vento ma che, durante il percorso circolare, esso vi si introduca gradualmente, in virtù del fatto che, prima di avere il vento di fronte, si troverà ad averlo di fianco, poi di sbieco, e così via, tanto da poter ritenere che la componente assiale del vento che investe il modello, abbia un andamento di tipo sinusoidale.

Viene quindi a mancare, rispetto alla condizione di raffica, l'istantaneità della variazione di velocità, e di conseguenza diventano poco sensibili gli effetti di inerzia. Ciò posto, mi pare sia piuttosto arduo poter pensare che la velocità del vento si sommi vettorialmente a quella del modello e che quindi, in particolare, la componente assiale della velocità del vento si sommi algebricamente con la velocità V . Infatti, posto di poter trascurare completamente gli effetti di inerzia, se un modello è capace, per virtù proprie, di volare e cioè di attraversare la massa d'aria ambiente, supponiamo a 200 km/h, è un po' difficile pensare che, per il solo fatto di avere un vento costante in coda, esso diventi improvvisamente una scamorza e non riesca più a farsi strada nell'aria alla stessa velocità, ma rallenti, beninteso rispetto all'aria! Infatti, se così fosse, esso volerebbe più lento anche quando l'aria è ferma.

Segue da ciò che il modello, pur mantenendo rispetto all'aria, (e non esiste ragione al mondo, nell'ipotesi di assenza di effetti d'inerzia, per cui non debba essere così!) la sua velocità costante V , rispetto al suolo esso rallenterà quando avrà il vento di fronte e accelererà col vento in coda.

Ciò posto, immaginiamo un modello che voli ad una certa quota, più alta della manopola, in aria mossa a velocità costante. E' chiaro che, se ad un certo momento (vento di fronte) la sua velocità rispetto al suolo diminuisce, diminuirà pure la forza centripeta, che varia col quadrato della velocità, ed in particolare diminuirà la sua componente verticale. Ne segue che il modello, che era tirato verso il basso da una certa forza, al momento in cui questa diminuisce, tenderà a salire, essendo soggetto ad una esuberanza momentanea di portanza.

Dal lato opposto, invertendosi le cose, esso scenderà, per cui inizia quel famoso processo di progressiva inclinazione del cerchio di volo che, dopo i serbatoi, è il principale responsabile di tante delusioni velocistiche.

Se il modello volasse al disotto della quota della manopola, le cose andrebbero in maniera analoga ma, dato che le componenti della centripeta sono ora verso l'alto e non verso il basso, l'inclinazione si manifesterebbe in senso contrario: abbassamento col vento di fronte, innalzamento col vento in coda.

E' questo però un problema che non ci

interessa dato che il regolamento prescrive di volare sopra la quota della manopola (o meglio prescriveva, perchè oggi come oggi, con tutti i cambiamenti che si succedono, mi sembra di essere in una repubblica del Centro America dove non si sa mai a quale governo, a quali leggi, a quali tribunali prestar fede, specialmente al mattino appena svegli).

Comunque, più che i Regolamenti, croce e delizia del Direttore di questa Rivista, e chi li partorisce, interessano i fatti, i quali sono così combinati che gli effetti del vento, sono ineluttabili perchè si generano automaticamente e contro di essi bisogna ben premunirsi, cercando comunque di porre loro dei freni.

E questi freni si trovano, più che in sede di progetto, sul campo di prove, riguardando essi soprattutto la tecnica di pilotaggio.

Infatti è sufficiente, subito dopo il decollo, stabilizzare il modello alla quota della manopola, mancando qualsiasi componente verticale della forza centripeta, il cerchio di volo non possa cominciare ad inclinarsi.

Perciò con tempo ventoso sono particolarmente deleteri, ai fini della stabilizzazione di cui sopra, i carrelli a sgancio che fanno sì che, poco dopo il decollo, a causa del repentino distacco di un peso notevole quale quello del carrello, il modello faccia uno zompo che, se non è controllato bene, può anche essere di qualche metro. E allora, a riportare il modello alla quota desiderata, se il vento soffia allegro, vi assicuro che ci fa caldo.

Naturalmente, opportuni comandi a picchiare e a cabrare, in punti prestabiliti del cerchio, possono giovare, ma è sempre un'alea che si corre, anche perchè i modelli da velocità non rispondono mai istantaneamente ai comandi, per cui gli stessi debbono essere dati con un certo anticipo, il che non è che giovi molto ad una delle caratteristiche principali del comando bicavo: la sua istintività.

Oltre a ciò, come già visto al punto 1),

dei comandi molto poco demoltiplicati, sono assai giovevoli, evidentemente, a contrastare efficacemente le variazioni di quota.

3) Nella realtà, nessuna delle due ipotesi-limite si verifica, ma succede sempre qualcosa di intermedio, per cui, ad esempio, il volare esattamente alla quota della manopola, che sarebbe il toccasana teorico con vento teso, in realtà non è sufficiente nei casi pratici, anche se contribuisce efficacemente a limitare i guai.

Possiamo quindi concludere questo paragrafo riunendo in un unico calderone sia le raffiche che il vento teso e riepiologare i punti che contribuiscono a limitare gli effetti instabilizzanti del vento:

- Comando bicavo, non monocavo;
- Comandi poco demoltiplicati;
- Elevatore di grande superficie;
- Cavi corti il più possibile, nei limiti del regolamento;
- Evitare i carrelli a sgancio;
- Allenarsi al pilotaggio con vento (quota di volo, anticipo sui comandi, ecc.).

E, perchè no?, avere un modello ultraveloce.

APPENDICE I

I modelli 2^a e 3^a serie.

Quando iniziai questa serie di articoli, era mia intenzione, dopo aver diffusamente trattato i modelli prima serie, esaminare quali differenze teoriche si sarebbero manifestate in virtù del fatto che la formula FAI per le altre serie era diversa, non imponendo alcuna limitazione di superficie in rapporto alla cilindrata.

Ora, a seguito delle recenti decisioni dei nostri supremi reggitori, tale differenza è stata abolita e perciò, in considerazione del fatto che queste note appariranno verso la fine della stagione,

TABELLA VI

Motore	Nazione	POTENZA DEDOTTA DA		
		Aeromodeller	Model Aircraft	Costruttore
DOOLING 61 Mod. da Franny	U.S.A.			2cv circa
DOOLING 61	U.S.A.		1,8 a 17500	1,5 a 16000
G. 24	Italia			1,4 a 17000
MC COY 60	U.S.A.			1,4 a 16000
NORDEC SPL II	G.B.		1,2 a 15200	

quando più nessuno penserà a progettare modelli con la formula destinata a scomparire, ma tutti penseranno al futuro, ritengo inutile teorizzare per il bel gusto di farlo, senza che ciò possa presentare alcun interesse pratico. Se poi le proteste già comparse su queste colonne dovessero sortire l'effetto auspicato, basterà un fischio dell'amico Fermi perchè io ritorni sull'argomento. Per il momento quindi, non resta da dire altro se non che tutte le deduzioni teoriche tratte nelle precedenti puntate, si trasportano tal quali anche ai modelli da 5 e da 10.

Allo scopo però di non lasciare la mia trattazione incompleta, è necessario solamente tornare sull'argomento motori. Fermo restando tutto quanto detto allora, mi limiterò a riassumere in due tabelle le caratteristiche di potenza e giri dei motori da velocità rispettivamente da 5 e 10 cc, unicamente a scopo orientativo e per risparmiare ad altri un noioso lavoro di ricerca tra montagne di riviste.

Faccio notare che, purtroppo, il mercato dei 5 e dei 10 è assai meno vasto di quello dei 2,5, ragion per cui le mie

tabelle saranno assai meno corpulente di quelle pubblicate tempo fa.

C'è ancora da osservare che nelle due categorie superiori il dilemma: diesel o glow plug? non si pone più, dato che la produzione attuale di motori da velocità delle due massime cilindrata è

limitata ai motori con candela incandescente.

Ciò premesso, guardatevi pure le tabelle seguenti, le quali si riferiscono rispettivamente: la tabella VI ai motori per la terza serie e la tabella V a quelli per la seconda serie.

TABELLA V

Motore	Nazione	POTENZA DEDOTTA DA		
		Aeromodeller	Model Aircraft	Costruttore
FOX 29 R MOD.	U.S.A.	0,61 a 17500	0,83 a 18000	1 a 18000
FOX 29 R	U.S.A.			0,8 a 18000
G.21	Italia	0,6 a 17200		0,75 a 17500
DOOLING 29	U.S.A.			0,65 a 16000
ETA 29	G.B.	0,59 a 18000		0,65 a 16000
MC COY 29 RH	U.S.A.			
CARTER SPL	G.B.	0,48 a 14800	0,51 a 14000	
MC COY 29 STUNT	U.S.A.			
RED HEAD	Giapp.	0,46 a 14000	0,54 a 15.000	
VLTAVAN 5	Cecosl.			
FOX 29 X	U.S.A.	0,4 a 12400		
FUJI 29	Giapp.			

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

18ª puntata

dr. ing. luigi bovo

1ª serie

3) Spinta statica

Ritorniamo ora a parlare, nostro malgrado, dei tubi e dei loro misteri, e vediamo da quali fattori dipende la spinta. La (60) parla chiaro in proposito: la spinta dipende dal volume della camera di combustione, dal coefficiente di riempimento, dal rapporto combustibile aria, dalla velocità di scarico, dalla sezione di entrata. Faccio notare subito che in questo momento si sta parlando di spinta statica, pertanto i valori di η_v , v , W , sono quelli corrispondenti al funzionamento a punto fisso e quindi andrebbero muniti tutti dell'indice „; dato però che ciò porterebbe ad una complicazione delle scritture assolutamente inutile, sopprimerò tale indice, restando inteso che, fino a nuovo ordine, i valori delle tre grandezze summenzionate sono quelli relativi al pulsoreattore immobile.

Ciò premesso, chiediamoci se esistano particolari valori delle grandezze suaccennate, i quali rendano massima la spinta.

A tale scopo, onde evitare di trascinarsi dietro delle espressioni chilometriche, poniamo per semplicità: $(1 + a) \cdot W = b$; supponiamo poi per il momento che S , a , e W siano costanti (non parlo di q perchè la densità dell'aria si assume sempre costante). Si tratterà quindi di determinare i punti (eventuali) di massimo della funzione:

$$T = f(C, \eta_v, v) =$$

$$b \cdot q \cdot C \cdot \eta_v \cdot v - q \cdot C^2 \cdot \eta_v^2 \cdot v^2/S \quad (67)$$

Ora ricordo che esiste un teorema che dice che negli eventuali punti di massimo di una funzione di tre variabili, si annullano le tre derivate parziali prime. Di conseguenza calcoliamo per prima cosa tali derivate:

$$\frac{\delta T}{\delta C} = b \cdot q \cdot v \cdot \eta_v - 2 q \cdot C \cdot \eta_v \cdot v^2/S$$

$$\frac{\delta T}{d \eta_v} = b \cdot q \cdot C \cdot v - 2 q \cdot \eta_v \cdot C^2 \cdot v^2/S$$

$$\frac{\delta T}{\delta v} = b \cdot q \cdot C \cdot \eta_v - 2 q \cdot v \cdot C^2 \cdot \eta_v^2/S$$

Se esistono dei punti di massimo, essi potranno trovarsi solo in corrispondenza della soluzione del sistema:

$$b \cdot q \cdot v \cdot \eta_v - 2 q \cdot C \cdot \eta_v^2 \cdot v^2/S = 0$$

$$b \cdot q \cdot C \cdot v - 2 q \cdot \eta_v \cdot C^2 \cdot v^2/S = 0$$

$$b \cdot q \cdot C \cdot \eta_v - 2 q \cdot v \cdot C^2 \cdot \eta_v^2/S = 0$$

cioè allorquando:

$$C = 0; v = 0; \eta_v = 0;$$

oppure

$$C \cdot v \cdot \eta_v = \frac{b \cdot S}{2} \quad (69)$$

Ho scritto poc'anzi « se esistono dei punti di massimo... »; infatti, per il momento, nessuno ci garantisce che le soluzioni trovate rappresentino dei punti di massimo. Esiste però un altro teorema che ci insegna a verificare quanto ci interessa.

E' però una verifica un po' lunga e irta di calcoli noiosi e per nulla interessanti. Io questi calcoli li ho fatti ed ho appurato (salvo errori!) che effettivamente la soluzione (69) rappresenta un massimo, mentre l'altra no.

Mi sembra invece più interessante calcolare quanto vale il massimo che abbiamo appena scoperto; basta, a tal fine, sostituire nella (67) al valore $C \cdot v \cdot \eta_v$ l'espressione $bS/2$ e quindi tornare ad esprimere b in maniera esplicita. Si trova:

$$T_m = \frac{q \cdot b^2 \cdot S}{2} - \frac{q \cdot b^2 \cdot S}{4} = \frac{q \cdot b^2 \cdot S}{4} = \frac{q \cdot (1 + a)^2 \cdot W^2 \cdot S}{4} \quad (70)$$

Al solito, questa formula ci dà la spinta in Newton; per averla in kg bisogna dividere per 9,81.

La formula trovata merita un commento. Abbiamo parlato di spinta massima, ma bisogna ricordare che non si tratta di un massimo assoluto, bensì relativo. Relativo a che cosa? Mi spiego: il massimo datoci dalla (70) è quello relativo ai valori fissati per le tre grandezze a , W , S , che all'inizio del calcolo erano state assunte costanti e quindi, ovviamente, con un certo valore prestabilito. Variando tali valori è chiaro che il massimo varia e precisamente aumenta al crescere di essi, pur continuando a valere la (69). Mi pare anzi che di quest'ultima formula sia il caso di occuparci un po' diffusamente. Essa equivale alla seguente:

$$A = \frac{(1 + a) \cdot WS}{2C \cdot v \cdot \eta_v} = 1$$

La quale ci dice che la spinta è massima quando un certo rapporto vale uno; tale rapporto, evidentemente assai importante, merita un nome e perciò mi sono permesso di chiamarlo « rapporto caratteristico del pulsoreattore » e di indicarlo, per brevità, con la lettera A .

Vediamo di trasformarlo ulteriormente, onde mettere in evidenza le caratteristiche costruttive e termodinamiche del pulsoreattore che su di esso influiscono. Cominciamo dalla frequenza; come è noto, per essa si può assumere l'espressione:

$$v = \frac{v_s}{4L} \quad (71)$$

(dove: v_s = velocità del suono nel tubo; L = lunghezza del tubo).

Passiamo ora alla velocità di scarico e notiamo innanzitutto che, a differenza di quanto avviene negli altri tipi di propulsore, nei pulsogetti la velocità di scarico

non è costante ma varia, e notevolmente, nell'ambito di un ciclo.

Per tener conto di ciò e poter quindi prendere in considerazione un valore di W da poter sostituire nella (57) e nelle formule da essa derivate, si sono elaborate varie teorie, la più semplice delle quali è quella cosiddetta della « quasi stazionarietà del moto ».

Lascio perdere le ipotesi che stanno alla base di questa teoria e vengo al dunque. In sostanza, dato che la (57) è stata dedotta sfruttando il teorema della quantità di moto, si considera, al posto della W variabile da istante a istante, una « velocità equivalente W_e » che è, in ultima analisi, una particolare velocità media, e cioè quella che, restando costante in tutto il ciclo, dà luogo ad una variazione della quantità di moto identica a quella reale. Per calcolarla si pone:

$$v \cdot dm = M \cdot W_e$$

$$W_e = \frac{1}{M} \int_0^T v \cdot dm \quad (72)$$

(essendo: M = massa complessiva di fluido evolvente in un ciclo; v = velocità istantanea; T = durata di un ciclo).

Lascio perdere tutti i complicati passaggi matematici occorrenti per calcolare la integrale della (72) e arrivo pari pari alla conclusione:

$$W_e = K \cdot v_s \cdot f(p_2) \quad (73)$$

(essendo p_2 la pressione di fine combustione).

Possiamo allora sostituire le espressioni (71) e (73) nella formula (70) e nell'espressione di A , ottenendo:

$$A = \frac{2(1 + a) \cdot K \cdot S \cdot L \cdot f(p_2)}{C \cdot \eta_v} \quad (74)$$

$$T_m = \frac{q(1 + a)^2 \cdot K^2 \cdot f(p_2)^2 \cdot S}{4} \quad (75)$$

Mi sono divertito a calcolare il valore di A per il Dynajet, per il quale avevo a disposizione un certo numero di dati sperimentali provenienti dall'università di Palermo. Ammesso pure un certo qual margine di errore sperimentale, il risultato è stato piuttosto deludente: il rapporto caratteristico del Dynajet è superiore a 10. Altro che uguale a 1!

E siccome il Dynajet è da considerarsi il progenitore dei tubini e tuboni per modelli, e ad esso si sono ispirati, più o meno pedestremente, molti costruttori successivi, ritengo di non errare di molto dicendo che i reattori oggi esistenti funzionano con un rapporto caratteristico maggiore di uno.

E' quindi questo un punto da considerare molto attentamente da parte di chi cerca sempre maggiori potenze, nella ricerca del miglioramento delle velocità ottenute: diminuire per quanto possibile il rap-

porto caratteristico per portarlo, se non ad uguagliare, per lo meno ad avvicinarsi maggiormente al valore optimum, che è appunto l'unità.

Contemporaneamente a ciò tuttavia, non dobbiamo dimenticare che il nostro scopo primo è quello di aumentare la spinta ottenuta, non quello di funzionare in condizioni optimum, per la qual cosa, sia dall'esame della (60), sia da quello della (70), si vede a prima vista che velocità di scarico, rapporto combustibile/aria e sezione di entrata debbono essere grandi, quanto più è possibile.

Se ora trasferiamo tali considerazioni alla (74), noi vediamo che aumentando i valori delle tre grandezze summenzionate, aumenta anche il rapporto caratteristico, allontanandosi ulteriormente dalla unità. Tuttavia questo è un male necessario, in considerazione dello scopo per il quale lo si commette, perciò lo si sopporta allegramente, cercando di limitarlo, ad ulteriore vantaggio della spinta, lavorando sulle altre tre grandezze che compaiono nella (74) e precisamente aumentando C ed η_v e diminuendo L .

Vediamo di chiarire meglio l'involuto ragionamento con un esempio numerico. Supponiamo di avere un Dynajet che dia circa due kg di spinta e funzioni con $A = 10$. Se si riesce ad aumentarne la velocità di scarico, il rapporto combustibile/aria (senza pregiudicarne il funzionamento) e la sezione d'entrata, si avrà una spinta, supponiamo, di 2,5 kg, quindi un risultato soddisfacente.

Nei confronti del rapporto A e della T però, si sarà fatto un passo indietro. Mi spiego: se prima la spinta massima relativa era di, supponiamo, 5 kg, dopo le modifiche di cui sopra, A sarà passato da 10 a 15 e la spinta massima relativa non sarà più 5 ma, per esempio, 10 kg.

Con tali modifiche quindi si è raggiunto un aumento di spinta, ma ci si è allontanati dal massimo ottenibile. Infatti prima la spinta era i $2/5$ del massimo, ora è solo $1/4$.

Se però, unitamente alle modifiche di cui sopra, riusciamo ad agire sul rendimento volumetrico e sulla lunghezza del tubo in maniera tale da riportare A al valore 10, la spinta salirà ancora ai $2/5$ del massimo e cioè a 4 kg, mentre se riuscissimo ad abbassare ulteriormente A , essa crescerebbe ancora, fino a raggiungere i 10 kg quando A fosse uguale ad 1.

Pertanto, riassumendo, le direttive da seguire per aumentare la spinta dei pulsoreattori a punto fisso sono le seguenti:

- aumento del rapporto combustibile/aria,
- aumento del coefficiente K ,
- aumento della pressione di fine combustione,
- aumento della sezione d'entrata,
- diminuzione della lunghezza del tubo,
- aumento del volume della camera di combustione,
- aumento del coefficiente di riempimento.

Passiamo quindi ad esaminare singolarmente questi punti.

a) Rapporto combustibile/aria.

Al crescere di esso cresce anche, in teoria indefinitamente, la spinta. Ciò è intuitivamente spiegabile col fatto che più combustibile in una certa massa d'aria significa più energia di scarico e quindi più spinta. In pratica però, ciò è vero fintantochè l'aumento del combustibile si traduce effettivamente in energia meccanica, cioè fintantochè tutto il combustibile viene completamente bruciato. E ciò ac-

cade solo se il combustibile è mescolato all'aria in proporzioni inferiori o, al limite, uguali a quelle stechiometriche.

Quale sia l'esatto eccesso d'aria e quindi l'esatto valore di a , non è calcolabile teoricamente, ma si determina facilmente per via sperimentale: basta, in un intervallo ristretto di tempo (per avere condizioni atmosferiche costanti), provare vari spruzzatori e misurare la spinta ottenuta. Si trova così il miglior valore del rapporto combustibile/aria, valore che chiameremo a , anche se non è sempre quello stechiometrico.

E' chiaro anche che, ai fini dell'aumento della spinta, sarà opportuno impiegare un combustibile che abbia un rapporto il più possibile basso (e quindi a alto). Ne parleremo a proposito delle miscele.

b) Coefficiente K .

Può considerarsi praticamente costante, salvo un coefficiente di riduzione che tien conto degli attriti all'interno del reattore. Logico quindi cercare di ridurre detti attriti, facendo delle belle superfici speculari, delle curve ben raccordate, ecc.

Ma credo che da questa parte ci sia ben poco da grattare.

c) Pressione di fine combustione.

Nei pulsoreattori, a differenza dei turboggetti, la combustione non è a pressione costante, bensì con aumento di pressione. Tale andamento del fenomeno, onde poterlo rappresentare mediante una trasformazione elementare, si considera perciò a volume costante, anche se ciò è vero solo in parte. Nella realtà invece si ha una combustione con aumento sia di pressione, sia di volume.

Comunque, cominciamo a partire dal caso teorico della combustione a volume costante, scrivendone l'equazione:

$$T_2 - T_1 = \frac{a \cdot H_i}{c_v}$$

$$p_2 = p_1 + \frac{a \cdot R H_i}{v \cdot c_v} \quad (76)$$

Perciò, essendo p_1 teoricamente coincidente con la pressione ambiente, ciò che si può fare per aumentare la p_2 è di scegliere un combustibile il quale:

- richieda un basso rapporto aria/com-bustibile,
- abbia un elevato potere calorifico.

Il che significa, riunendo tali due considerazioni, che il combustibile scelto deve avere un potenziale termico il più elevato possibile.

Le altre grandezze della (76) dipendono invece quasi esclusivamente dall'aria e quindi sono da considerarsi costanti, o quasi.

In definitiva quindi, la pressione teorica di fine ciclo dipende dalle caratteristiche del combustibile impiegato. La pressione effettiva invece, minore di quella teorica, è influenzata dalle caratteristiche del reattore, mentre il tipo di combustibile non esercita influenze apprezzabili sulla maggiore o minore caduta di pressione rispetto a quella teorica.

E' di evidenza solare la necessità di fare in modo che la pressione effettiva si mantenga il più possibile vicina a quella teorica, calcolata mediante la (76). A tale scopo sembra sia altamente consigliabile fare il convergente che raccorda la camera di combustione al tubo, piuttosto corto in modo, tanto per spiegarci in maniera elementare, da creare un brusco restringimento a valle della camera di combustione, il quale faciliti, per quanto possibile, l'aumento di pressione durante la combustione.

Naturalmente, parlando di restringimento, si viene a stabilire la necessità di fare il tubo di scarico più piccolo della camera di combustione, ed è intuitivo pensare che, più detto tubo sarà piccolo di diametro, più la combustione si dovrebbe avvicinare all'andamento teorico. Ciò però non significa che si debba fare un tubo filiforme perché, in tal caso, aria non ne passerebbe più e addio spinta!

Quindi una buona via da battere quando si realizzano nuovi prototipi sarà quella di provare vari rapporti fra il diametro della camera e quello del tubo, nonché varie forme di convergenti, fino a giungere, per via sperimentale, alla miglior combinazione dei tre costituenti in questione.

d) Sezione d'entrata.

Abbiamo detto che conviene farla grande. Ciò significa, ad esempio, che i reattori attualmente in commercio, a causa del venturi che hanno davanti, non sono quanto di meglio si potrebbe escogitare. La ragione però esiste, e risiede nella necessità di aspirare il combustibile, specialmente durante il funzionamento statico, e carburarlo con l'aria, cosa per la quale occorre un venturi.

Per poterlo eliminare, e sfruttare quindi tutta la sezione maestra come sezione di entrata (o, se non tutta, quasi), occorrerebbe eliminare lo spruzzatore davanti ed iniettare invece il combustibile direttamente in camera di combustione. Con ciò, naturalmente, non si scopre niente

di nuovo poiché già vent'anni fa, la progenitrice dei moderni pulsogetti, la famosa V 1, era priva di venturi ed aveva l'iniezione direttamente in camera, a valle delle lamine.

E' chiaro che una tale realizzazione comporterebbe delle complicazioni nell'impianto di alimentazione ma, stando ai « si dice », dovrebbe dare degli incrementi di spinta abbastanza interessanti.

e) Lunghezza del tubo.

Diminuire la lunghezza del tubo è, fra tutte, la modifica più semplice: basta un seghetto da metalli e qualche minuto di tempo. Però...

Eh, già! come in tutte le cose c'è un però! Sarebbe troppo bello che, con due colpi di seghetto, si potesse arrivare a battere Ivanikov. Infatti il tubo non è un'appendice messa lì a bella posta per mandare a pallino il rapporto caratteristico; è invece elemento essenziale ai fini del funzionamento dei nostri reattori. Il motivo teorico è piuttosto lungo e complesso a spiegarsi: c'entrano delle onde di compressione e di rarefazione, dei fenomeni di risonanza e di urto, ecc.

Comunque basta dire quanto segue: accorciare il tubo a poco per volta, dovrebbe portare dei vantaggi fino ad un certo limite, oltre il quale il funzionamento del motore diventa critico o addirittura impossibile. Sta al buon senso di chi maneggia il famigerato seghetto, sapersi arrestare in tempo.

f) Cilindrata e coefficiente di riempimento.

Questi due elementi li ho messi insieme perché insieme vanno considerati. Non è sufficiente infatti aumentare la camera di combustione per essere sicuri di avere più spinta. Sarebbe bello, ma non basta. Infatti ciò che conta è la quantità di miscela fresca che entra. Che poi essa entri in una camera più piccola o più grande, sono affari suoi.

Spieghiamoci con un esempio: sia $C = 200 \text{ cm}^3$ e $\eta_v = 0,5$; ciò significa che entrano 100 cm^3 di miscela. Se ora io faccio $C = 400 \text{ cm}^3$, i 100 di miscela staranno più comodi, ma non è educato pensare che essi aumentino per virtù magiche; di conseguenza η_v diventa uguale a $0,25$ ed il prodotto dei due vale sempre 100 , per cui A non cambia di una virgola. Perciò, mentre è indispensabile cercare ogni accorgimento per far aumentare η_v , non serve aumentare C , salvo nel caso, invero poco probabile, che fosse $\eta_v > 1$. E' facile vedere quindi che i condotti di adduzione dell'aria debbono essere ben

lisci ed opportunamente disegnati onde evitare tortuosi cammini e spigoli vivi, ma questa non è una novità. Ci sono però altri due punti da esaminare in relazione al rendimento volumetrico.

Il primo di questi è l'analogo di quanto visto parlando di motori a scoppio: la possibilità di sfruttare gli effetti dinamici nella presa d'aria, facendola di lunghezza opportuna in modo da introdurre l'aria ad una certa pressione ed in accordo col ciclo di funzionamento del reattore. Ciò richiede di mettere in risonanza il condotto della presa d'aria con il tubo, per ottenere la qual cosa occorre, ad occhio e croce, fare la presa d'aria più lunga di quelle attualmente in uso.

Il secondo organo che interessa particolarmente ai fini del rendimento volumetrico sono le lamine, le quali dovrebbero essere realizzate in modo da permettere la massima sezione di passaggio con la minima perdita di carico.

E qui è necessario dire che le valvole a petalo attualmente in uso su tutti i reattori per modelli sembrano state escogitate per ottenere il risultato contrario.

Io credo che se a qualche tecnico venisse affidato l'incarico di progettare valvole che diano luogo alla massima perdita di carico possibile, lo stesso non riuscirebbe a trovare configurazione più adatta di quella a petalo.

Infatti il percorso che è costretto a compiere l'aria passando attraverso di essa è qualcosa di apocalittico e i vortici addirittura si sprecano. D'accordo che i vortici permettono una miglior miscelazione tra combustibile e comburente, ma non mi sembra il caso di esagerare, anche perché qualsiasi valvola, per geniale che sia, una certa turbolenza in camera di combustione la produrrà sempre...

Conclusione: ma allora le meningi dei progettisti di pulsogetti sono proprio atrofizzate? In effetti io credo che si tratti di una certa pigrizia mentale, dovuta anche al fatto che, dal punto di vista puramente costruttivo, la valvola a petalo è indubbiamente geniale in quanto risolve con la massima semplicità e col minimo di grane un problema tecnologico tutt'altro che elementare. Ciò detto, non mi resta che segnalare ai futuri costruttori l'opportunità di far lavorare la materia grigia onde cercare di vedere se non vi siano altre soluzioni più o meno nuove, più o meno geniali, più o meno complesse, che permettano di migliorare le prestazioni di un organo, tanto piccolo eppure così vitale ai fini del buon funzionamento e delle prestazioni dei nostri reattori.

Ma di questo ripareremo ancora.

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

19^a puntata

dr. ing. Luigi Bovo

1^a serie

APPENDICE II - I MODELLI A GETTO

1) Considerazioni preliminari sui pulsoreattori

Mentre sui motori a scoppio esistono montagne di pubblicazioni che ne svolgono la teoria, corredata da tutti i possibili dati sperimentali, per i pulsoreattori la notte è fonda e senza luna: pochi cenni su qualche rivista, qualche paginetta ad essa dedicata sui libri più compiacenti, e soprattutto una carenza di dati sperimentali addirittura sconcertante.

Anch'io dovrò quindi forzatamente brancolare nel buio e buttare giù qualche idea, completata da quel poco di dati di cui sono in possesso. Non aspettatevi quindi una teoria dei pulsoreattori così estesa come quella dei motori a scoppio. Se volete saperne di più, il mio consiglio è disinteressato: fate una petizione al Marcenaro il quale ne sa più di me in proposito, ed inoltre possiede molti dati sperimentali che io non ho.

Con ciò, dopo aver proceduto a smascherare pubblicamente il Franco (non quello pesante, anche se è lungo!), passerò a raccontarvi innanzitutto come nasca la spinta in un reattore che voli ad una certa velocità V : si tratta di una certa massa d'aria che entra con una certa velocità relativa, viene carburata, brucia ed esce a velocità maggiore. Semplice, no?

Ora accade che, per il teorema della quantità di moto (che non è un momento, checché ne dicessero gli esperti di Campanile Sera) si può scrivere:

$$T = Q [(1 + a) W - U] \quad (57)$$

(dove: T = spinta in Newton; Q = portata massica d'aria; W = velocità relativa di scarico in m/s; U = velocità relativa di ingresso; a = rapporto combustibile/aria).

La suddetta formula ha un solo difetto: ci dà il valore della spinta in Newton, unità di misura rispettabilissima ma quanto mai sconosciuta: gli aeromodelisti la spinta la misurano a chili e di Newton conoscono solo il bozzo prodottogli dalla famigerata mela, (magari sarà stata pure bacata!).

Niente paura: basta dividere il valore dato dalla (57) per il numero cabalistico 9,81 e si ottiene la spinta in kg. Fossero tutti così i difetti della formula! Vedrete invece presto che essa ne presenta di quelli assai più gravi, compendiabili nella storica frase: la (57) non serve a niente!

Si presenta infatti immediatamente un problema: è possibile, come si fa per i turboreattori, identificare la U con la V ? La risposta che ci dà la teoria è negativa, infatti, posto anche che ciò sia esatto quando le lamine sono aperte, il che è da vedersi, non lo è più quando le lamine sono chiuse, dato che allora è $U = 0$, e quindi, mentre V è costante,

U varia da 0 ad un valore massimo, valore che per il momento è incognito.

Anzi, dato che a noi non interessa il valore istantaneo della spinta, bensì quello medio, si può disinteressarsi completamente dell'incognita suddetta e prendere in considerazione il valore di U medio nel corso di un ciclo, valore che riterremo quindi costante e che, d'ora innanzi, indicheremo ancora con U , per non trascinarci dietro dei simboli troppo complicati, ricordando però che da questo punto in poi, salvo contrario avviso, il simbolo U indicherà la velocità media di entrata dell'aria. In questa ipotesi, detta velocità è evidentemente uguale alla portata volumetrica divisa per la sezione di passaggio:

$$U = \frac{C \eta_v v}{S} \quad (58)$$

essendo C il volume della camera di combustione, η_v il coefficiente di riempimento, v la frequenza.

Il guaio di questa impostazione teorica è che si elimina l'incognita U per introdurre un'altra: il coefficiente di riempimento il quale è più sconosciuto che mai. Un altro modo per girare l'ostacolo sarebbe quello di considerare, come ha proposto qualcuno, che la U sia una percentuale della W , cioè di porre $U = kW$, dopodiché la (57) diventerebbe:

$$T = Q [(1 + a) W - kW] = Q W (1 + a - k) \quad (57')$$

ma con ciò non si risolve niente perché non si saprebbe dire come varia k con la velocità e con le caratteristiche del reattore, né quanto vale.

Ma non basta, perché anche nell'espressione della portata compare il rendimento volumetrico:

$$Q = q \eta_v C v \quad (59)$$

E allora, dato che tale grandezza c'entra per forza, tanto vale lasciar perdere la (57') e sostituire nella (57) i valori di Q e di U dati dalle (58) e (59), col vantaggio, se non altro, di avere una incognita di meno:

$$T = q C \eta_v v [(1 + a) W - C \eta_v v / S] = q C \eta_v v (1 + a) W - q C^2 \cdot \eta_v^2 \cdot v^2 / S \quad (60)$$

E' interessante, ai fini di ulteriori deduzioni, vedere come varia la spinta al variare del coefficiente di riempimento. Basta per far ciò considerare le prime due derivate di T rispetto a:

$$\frac{dT}{d\eta_v} = q C v \cdot (1 + a) W - 2 \eta_v \sigma$$

$$C^2 \cdot v^2 / S$$

$$\frac{d^2T}{d\eta_v^2} = - 2 q C^2 \cdot v^2 / S < 0$$

La derivata prima si annulla per:

$$\eta_v = \frac{(1 + a) W \cdot S}{2 C v} \quad (61)$$

Perciò, in base agli insegnamenti dell'analisi matematica, possiamo concludere che, al crescere del rendimento volumetrico, la spinta cresce, fino ad un valore massimo corrispondente al valore di η_v dato dalla (61), poi diminuisce.

Prendiamo ora in considerazione un fatto sperimentale assodato da prove innumerevoli: al crescere della velocità di volo V , la spinta dei pulsoreattori diminuisce.

E' abbastanza logico dedurre da tale fatto sperimentale che al crescere di V diminuisca η_v facendo quindi diminuire la spinta, in base alle considerazioni appena svolte; però il modo con cui la spinta diminuisce è ancora un mistero e per il momento dobbiamo accontentarci di porre:

$$T = T_0 - f(V) \quad (62)$$

(in cui T_0 = spinta a punto fisso; f = funzione incognita della velocità di volo). E con ciò, dato che questo non è un libro giallo, stimo giunta l'ora di smetterla di sciorinar misteri, ragion per cui abbandonano per un momento i tubi per passare a considerare più propriamente i modelli.

2) Condizione di massima velocità

Il modello a reazione raggiunge la sua massima velocità allorquando, come del resto è del tutto evidente, la resistenza aerodinamica complessiva eguaglia la spinta:

$$T = R = \frac{1}{2} q C r' \cdot St \cdot V^2 \quad (63)$$

Da cui, se la spinta si mantenesse costante al variare di V , si otterrebbe:

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2T}{q C r' \cdot St}} \quad (64)$$

Invece, come abbiamo finito di dire appena qualche riga più su, la spinta non è costante e non sappiamo come varia. Siccome non è proprio degli aeromodelisti arrendersi di fronte alla prima difficoltà ed accontentarsi di un semplice: « non si sa », vediamo un po' di fare qualche semplice ipotesi che possa in qualche modo e almeno parzialmente permetterci di rappresentare in termini matematici la funzione f di cui alla (62).

Da considerazioni teoriche e da risultanze sperimentali si è trovato a suo tempo che una delle ragioni per cui, al crescere di V , diminuisce la spinta è l'effetto dele-

rio del risucchio dietro al reattore, il quale disturba il formarsi dell'onda di compressione nel tubo, onda che è quella che permette uno svolgimento della combustione a volume costante (all'incirca) con aumento di pressione.

Lungi da me l'idea di studiare l'equazione dell'onda eccetera eccetera, anzi lungi da me l'idea di considerare più a lungo questi fenomeni. Supponiamo, per amor di semplicità, che non esistano e buona notte ai suonatori!

In tale ipotesi, la variazione della spinta con la velocità può essere visualizzata fisicamente in maniera assai semplice, anche se, in virtù di tale semplificazione un po' troppo sbrigativa, niente affatto rigorosa.

Il ragionamento che vi propongo è il seguente: posto che (ipotesi di cui sopra) la velocità non influenza i fenomeni fluidodinamici che si svolgono nel reattore (combustione, onde, ecc.) la diminuzione di velocità non può derivare altro che dalla diminuzione del coefficiente di riempimento e quest'ultima diminuzione è facilmente spiegabile col fatto che maggior velocità significa maggior resistenza e quindi meno fluido che entra nella camera di combustione. Elementare Watson, elementare! E allora tutto si spiega e si traduce in formule: la resistenza aerodinamica varia col quadrato di V , quindi il rendimento volumetrico e la spinta diminuiranno proporzionalmente al quadrato di V :

$$T = T_0 - K \cdot V^2 \quad (65)$$

E il tragico della faccenda è questo, che effettivamente l'esperienza dimostra che la diminuzione della spinta con la velocità ha proprio un andamento di tipo parabolico, come prescrive la (65). Per cui, quella che, dal cognome del suo inventore, potremmo chiamare la « teoria bovina del pulsogetto » non è poi così sbalata come le premesse potrebbero far credere.

Possiamo ora applicare l'ultima relazione trovata, alla formula (63), e risolvendo rispetto a V otteniamo:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2 T_0}{2K + \rho \cdot Cr' \cdot St}} \quad (66)$$

Espressione che, presumibilmente, dovrebbe avvicinarsi alla realtà in maniera maggiore che non la (64); ed è proprio in forza di questa presunzione che, d'ora innanzi metteremo in castigo quest'ultima espressione, dedicando tutte le nostre attenzioni alla (66).

Prima di trarre le opportune deduzioni da tale formula, ricordo che, già quando parlavo dei modelli a elica sottolineavo la necessità che il modello, oltre a correre veloce, non facesse più cammino del necessario. Poiché, dal punto di vista del cronometraggio, i reattori non differiscono dai loro parenti ad elica, è chiaro che tale necessità si trasporta pari pari anche qui, trascinandosi dietro fatalmente l'esigenza di una buona dose di stabilità longitudinale.

Ciò premesso, gli insegnamenti che si possono trarre dalla (66) si possono così elencare:

- a) Massima spinta statica del reattore.
- b) Minimo valore del coefficiente K , che, tanto per dargli un nome, battezziamo pomposamente « fattore di perdita in volo ».
- c) Minimo valore del coefficiente di resistenza ridotto.
- d) Superficie totale minima.
- e) Modello longitudinalmente stabile.

Procederemo ora ad analizzare dettagliatamente tutti questi punti, come già fatto per i modelli ad elica, ma limitandoci naturalmente alle sole « novità », cioè alle nuove deduzioni da trarsi in conseguenza della presenza a bordo di un reattore anziché di un motore a scoppio, e passando invece sotto silenzio tutto ciò che rimane tal quale. Il tutto nel pietoso intento di provocare il minor numero di sbadigli e di lettere di protesta alla Direzione.

Infine, dopo aver analizzato singolarmente tali punti, procederò a riunirli insieme in un tutto (possibilmente!) organico, riferentesi punto per punto ai vari costituenti un modello normale. Dopodiché questa lunga e dolorosa istoria in più puntate di un romanzo d'appendice, finirà lasciando (oh, potenza dell'illusione!) un eterno rimpianto nei miei milioni di lettori, mentre una lacrima scenderà lentamente ad irrorare la tastiera della mia fida dattilomacchina.

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

20° puntata

Ancora sui modelli a getto

dr. Ing. Luigi Bovo

4) Fattore di perdita in volo.

Nel secondo paragrafo di questa appendice, avevamo fatto l'ipotesi che le variazioni della spinta per effetto della velocità fossero causate dalla diminuzione del rendimento volumetrico. In effetti, non è da escludersi che ciò sia vero, ma non è nè l'unica, nè la più importante causa del fenomeno in questione. La diminuzione della spinta con la velocità è dovuta innanzitutto al fatto che l'onda di compressione che si forma nel tubo dopo la fase di scarico, e che permette lo svolgimento della combustione con aumento di pressione, quando cresce la velocità trova condizioni ambientali che ne ostacolano, in misura più o meno grande, la formazione.

E' questo un fenomeno complesso, sul quale non dispongo di dati teorici e sperimentali; per cui, dopo averlo ricordato, lo tralascio considerandolo come incurabile, fintantochè qualcuno che ne sappia più di me non voglia illuminarmi in proposito.

Un altro elemento che influenza notevolmente il fattore di perdita in volo è dato invece dalle lamine. Al crescere della velocità, infatti, la pressione dinamica $\rho V^2/2$ tende ad aprire le lamine, la qual cosa, se è bella e commendevole nella fase di aspirazione, lo è assai meno in quella di scoppio, perchè lamine aperte vuol dire perdita di fluido, e quindi pressione finale minore di quella che si avrebbe a reattore fermo. E siccome abbiamo visto che la pressione finale è quella che genera la spinta, questo è un fenomeno altamente indesiderabile.

Perciò una delle poche vie a mia conoscenza per diminuire il fattore di perdita in volo è quella di fare le lamine più rigide, in maniera che non si aprano quando non debbono, o perlomeno che si aprano il meno possibile. Naturalmente la cosa richiede un saggio compromesso, perchè se le lamine sono troppo rigide, cosa facilissima a realizzarsi, è ovvio ritenere che esse non si aprano mai, nemmeno quando sarebbe necessario, con tanti saluti al funzionamento del motore.

5) Coefficiente di resistenza.

In merito al coefficiente di resistenza abbiamo detto poche parole parlando di modelli ad elica; qui ne diremo ancor meno, dato che quasi tutto ciò che avevo scritto in quella sede vale anche in questa, con l'ovvia esclusione della cappottina, che, sui modelli a getto, non esiste.

Esiste in compenso il reattore, il quale di resistenza ne fa a bizzeffe, data la sua forma tutt'altro che aerodinamica. Mi limiterò quindi a parlare dei problemi di resistenza ad esso connessi:

a) Abbiamo visto a suo tempo la convenienza che c'è a fare la fusoliera a ba-

Avvertiamo i nostri lettori che, a causa di un disguido tipografico, le ultime due puntate dell'articolo dell'ing. Bovo sui modelli da velocità sono state invertite. Pertanto la puntata pubblicata sul n. 53 deve intendersi come la diciottesima, mentre quella pubblicata sul n. 51 è la diciannovesima.

nana, onde realizzare le migliori condizioni di flusso locale. Ciò resta vero anche per i modelli a reazione, ma limitatamente alla fusoliera. Il tubo infatti non mi pare possa essere fatto a banana, anche se spesso lo diventa con l'uso.

E' bene però, per varie ragioni, che il tubo sia tangente alla direzione di volo nel punto giusto, e precisamente là dove si deve supporre applicata la spinta. Tale punto, a rigor di logica, lo si deve supporre in corrispondenza del banco delle lamine, per cui è in corrispondenza di esso che il tubo dovrebbe essere tangente. Così facendo si evita che spinta e direzione di volo formino un certo angolo, con conseguente perdita, sia pur minima, di spinta utile.

Inoltre, dato che in corrispondenza delle lamine si ha la sezione trasversale massima, si ha il vantaggio di avere il flusso assiale proprio in corrispondenza di quella parte del reattore che, se fosse investita di traverso dall'aria, farebbe la massima resistenza.

Un flusso assiale sul reattore poi combattere anche un terzo guaio, e cioè la diminuzione di spinta effettiva che si ha sui reattori quando l'aria non li investe assialmente. Qui però la questione è assai più misteriosa, perchè non saprei dirvi se tale diminuzione di spinta sia dovuta al flusso non assiale nella presa d'aria, o ai disturbi che detto flusso non assiale produce in corrispondenza dello scarico; e pertanto non sono in grado di stabilire se chi deve essere posto esattamente nel flusso sia il venturi o lo scarico. Nel dubbio, la soluzione consigliata all'inizio è quella che evita di sbilanciarsi eccessivamente in un senso o nell'altro; e quindi, se non altro, rappresenta un discreto compromesso di fronte all'ignoranza. Chi ne sapesse di più è naturalmente pregato di farsi vivo.

b) Abbiamo visto che, agli effetti della spinta statica, il venturi anteriore è dannoso e andrebbe eliminato, mentre al termine della camera di combustione andrebbe posta una marcata strozzatura. Quella descritta è un'architettura che sembra fatta apposta per creare della resistenza inutile. Ed in effetti, anche nelle prove alla galleria del vento, si è riscontrato che il coefficiente di resistenza di un reattore è molto, troppo elevato; per cui bisognerebbe escogitare qualcosa per

ridurlo, impresa molto ardua dato che abbiamo appena finito di ripetere che la forma deve essere quella e non un'altra.

In effetti l'unica idea diabolica che potrei suggerirvi sarebbe quella di carenare la parte posteriore del tubo, dalla camera di combustione allo scarico, onde cercare di eliminare, almeno in quella zona, i maltrattamenti cui sono sottoposti i filetti fluidi, maltrattamenti particolarmente feroci in corrispondenza del convergente.

L'idea in sé non è nuova e neppure geniale, ma è sempre meglio che niente. C'è però una difficoltà: la carenatura in questione creerebbe una camera d'aria stagnante a contatto col tubo, cosa non propriamente indicata agli effetti del raffreddamento. E' vero che si potrebbe escogitare qualche accorgimento per agevolare il raffreddamento stesso, ma è indubbiamente un fastidio, finchè non si possa dimostrare coi fatti che il raffreddamento, pur con la camera d'aria stagnante, è ancora sufficiente. Il che potrebbe anche essere.

6) Superficie totale.

Da dire ci sarebbe ben poco: impiegate una superficie minima, e usate un profilo alare il quale riesca, con tale superficie minima, a sostenere il modello senza farlo spacciare, come fanno quasi tutti i modelli delle classi superiori che si vedono in giro.

7) Stabilità longitudinale.

Parlando dei modelli ad elica, abbiamo dapprima considerato la stabilità in planata (motore spento); quindi siamo passati a considerare il contributo alla stabilità (sarebbe più pertinente dire «alla instabilità») dovuto all'elica in moto. Nel caso attuale l'elica non c'è più, e c'è invece un reattore. Pertanto, fermo restando tutto ciò che si dedusse in merito alla stabilità in planata, parleremo ora soltanto del contributo del reattore.

Tale contributo si può suddividere in tre sottocontributi:

- a) contributo diretto della spinta,
- b) effetti dovuti alla presa d'aria,
- c) effetti del flusso indotto dallo scarico sull'impennaggio orizzontale.

Passiamo ad esaminare separatamente i tre punti suddetti

a) Il momento della spinta rispetto al C.G. è dato da:

$$M_t = T \cdot z_t$$

(in cui z_t , distanza tra il C.G. e la linea di trazione, si considera positiva quando il C.G. sta sopra la L.T.).

Al solito però, anzichè il momento si considera un coefficiente adimensionale:

$$Cm_t = \frac{T \cdot z_t}{q S_w c} = \frac{T \cdot z_t \cdot C_L}{W \cdot c}$$

(dove: W = peso del modello).

Il contributo alla stabilità si ottiene derivando:

$$\left(\frac{d C_m}{d C_L} \right)_t = \frac{T \cdot z_t}{W \cdot c} \quad (76)$$

Da cui si vede che, nei nostri modelli, essendo la L.T. alta e quindi z_t negativo, detto contributo è stabilizzante. Onde esaltarne l'effetto stabilizzante si dovrà:

- Abbassare il C.G. rispetto al reattore;
- Fare un modello leggero;
- Usare un'ala a forte allungamento (piccola corda);
- Avere una spinta elevata, ma questo non è più una novità.

b) Il contributo alla stabilità dovuto alla presa d'aria è espresso da:

$$\left(\frac{d C_m}{d C_L} \right)_j = K \frac{Ma \cdot l_n}{c \cdot a_w \cdot \rho \cdot S_w \cdot V} \quad (77)$$

(dove: Ma = portata massima d'aria; l_n = distanza della presa d'aria dal C.G., positiva se la presa d'aria è avanti). Questo contributo è instabilizzante, data l'impossibilità di porre la presa d'aria dietro al C.G. Per diminuirlo, sarà opportuno:

- Avvicinare il più possibile la presa d'aria al C.G.;
- Fare un'ala di grande superficie ed elevato allungamento;
- Avere un modello veloce (bella scoperta!);
- Porre l'ala il più indietro possibile rispetto alla presa d'aria, onde diminuire il coefficiente K .

c) Gli effetti dovuti alla deflessione dei filetti fluidi indotta dall'aria di scarico sull'impennaggio, sono di difficile valutazione. L'unica cosa concreta che si può dire è questa: se si pone l'estremità dello scarico dietro all'impennaggio, tali effetti sono nulli, e quindi si può evitare di parlarne ulteriormente, dato che, in definitiva, tutti i nostri modelli a getto sono fatti così, magari solo per la pedestre ragione di non rischiare di bruciare l'impennaggio.

d) Riassumendo le conclusioni di cui al capitolo sulla stabilità in planata, e aggiungendovi quelle appena tratte, possiamo elencare i principali punti concernenti la stabilità longitudinale dei modelli a reazione:

- Scegliere un profilo col C.A. arretrato;
- Fare il naso della fusoliera corto e la fusoliera sottile;
- Usare ali e stabilizzatori di ampia superficie e forte allungamento;
- Fare il braccio di leva della coda piuttosto lungo;
- Abbassare il C.G. rispetto al reattore;
- Fare un modello leggero;
- Arretrare per quanto possibile la presa d'aria;
- Sistemare l'impennaggio avanti allo scarico.

(continua)

LA TEORIA DEI MODELLI DA VELOCITÀ

21ª puntata

Ancora sui modelli IV serie

dr. Ing. Luigi Bovo

8) IL MOTORE

L'unica restrizione posta fino a poco tempo fa dal Regolamento ai pulsoreattori, era quella che ne limitava il peso a mezzo chilo. Restrizione molto cervelotica, ma che tuttavia, visto che esiste, bisogna rispettare, anche se di rispetto non è affatto degna. Negli ultimissimi tempi, però, si è introdotta (solo in Italia) anche la limitazione della sezione maestra, che è poi l'unica che abbia un senso per i pulsoreattori.

Restando nell'ambito di tali limitazioni, gli obiettivi da raggiungere nel progetto o nella messa a punto di un pulsoreattore, sono quelli già dettagliatamente esaminati, e che ora vedremo di riassumere, traducendoli in consigli pratici.

Teniamo però presente che, pur avendo finora parlato di spinta statica, quello che interessa in realtà è la spinta netta in velocità, che dev'essere la più alta possibile. Che cosa sarebbe la spinta netta? Semplicemente la differenza tra la spinta e la resistenza aerodinamica del reattore. E' chiaro che, se la spinta diminuisce con la velocità, ancor più diminuirà la spinta netta. Tale diminuzione ha ancora un andamento parabolico.

E dopo queste premesse più o meno doverose, possiamo cominciare a prendere in considerazione le varie parti, organi, elementi ed ammenicoli costituenti un pulsoreattore per modelli, e condensare la nostra scienza al loro riguardo:

a) dimensioni generali

E' evidentissima l'opportunità di fare un reattore grosso e leggero (per poterlo fare grosso senza superare il famigerato mezzo chilo di peso). Sottolineo, pur essendo pacifico, che reattore grosso non significa reattore lungo, bensì... reattore grasso. Ovverossia ciò che bisogna ingrandire è la sezione maestra del reattore, anzi, più precisamente, la sezione maestra della camera di combustione. Il tutto, restando nei limiti delle dimensioni fissate dal Regolamento.

b) presa d'aria

Abbiamo detto che il venturi non è utile ai fini dell'ottenimento della spinta massima; sarebbe quindi del tutto inutile piazzare una qualsiasi presa d'aria davanti alle lamine, e si potrebbe benissimo (supposto di aver risolto il problema dell'iniezione diretta in camera di combustione) eliminarla del tutto, facendo iniziare il reattore in corrispondenza del banco delle lamine, analogamente cioè a quanto fatto a suo tempo dai progettisti della V 1. Tuttavia una presa d'aria praticamente cilindrica dovrebbe, se fatta di lunghezza acconcia, dare un discreto guadagno di spinta, grazie allo sfruttamento degli effetti dinamici del moto ondoso nel condotto stesso.

Ciò che invece non deve illudere è la speranza di ottenere una precompressione dell'aria, sfruttando l'effetto di diffusore di una presa d'aria a sezione crescente nel senso del moto. Infatti, alle velocità cui volano attualmente i modelli a getto, tale compressione assume valori talmente irrisori da renderla del tutto trascurabile.

Non sono in grado di dirvi quanto si dovrebbe far lunga la presa d'aria; chi volesse tentare tale strada dovrebbe armarsi di pazienza, tempo e quattrini (non molti!), e provare varie lunghezze del condotto e, già che c'è, varie forme, da quella perfettamente cilindrica ad altre a sezione leggermente crescente e con diverse profilature, onde vedere praticamente quale sia la presa d'aria ottima.

c) valvole

Debbono soddisfare a tre esigenze:

- massima sezione di passaggio,
- minima perdita di carico,
- rigidità sufficiente per impedire una eccessiva caduta della spinta in velocità.

Per quanto concerne i primi due punti, credo di aver già chiaramente espresso il mio pensiero sulle valvole a petalo, che non sono esattamente quanto di meglio si potrebbe escogitare dal punto di vista fluidodinamico. Naturalmente, è molto comodo criticare; molto meno comodo suggerire dei rimedi. Ma siccome io non sono amante della vita comoda, cercherò di prospettarvi qualche altra soluzione da considerarsi in alternativa a quella delle valvole a petalo.

Desidero comunque mettere ben in chiaro che la soluzione «petalo» è la più semplice dal punto di vista della realizzazione e del funzionamento, che è perfettamente sicuro, pur di fare una costruzione sufficientemente accurata. Anche il problema della «tenuta» è certamente di più semplice soluzione con le valvole a petalo che con altri tipi. Ciò posto, se qualcuno non ha preoccupazioni di carattere costruttivo, e se la sente di tentare nuove vie alla ricerca dell'ultimo milligrammo di spinta, ecco pronte un

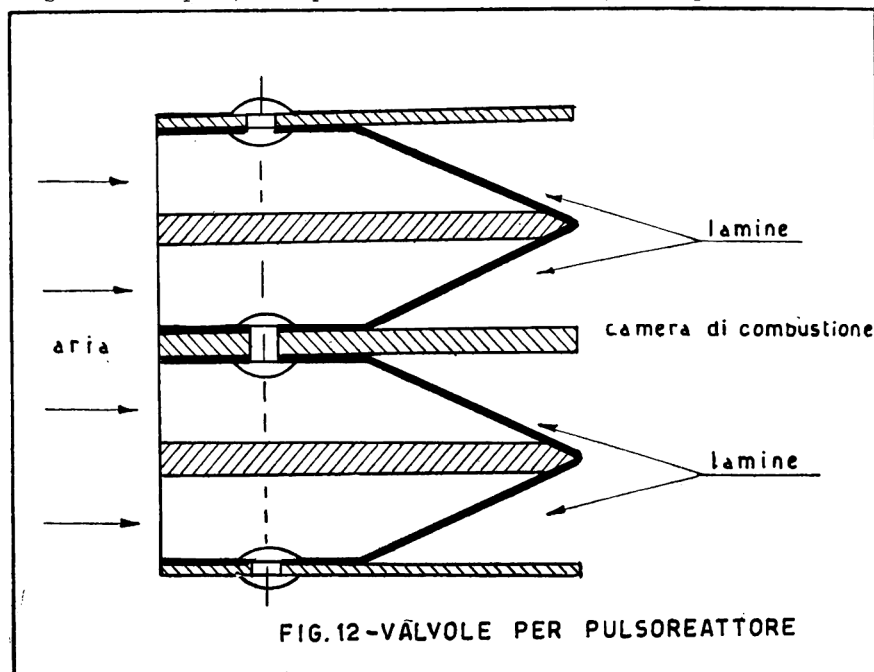
paio di idee meritevoli di qualche tentativo.

Un tipo di valvole certamente migliori dal punto di vista della sezione di passaggio e delle perdite di carico, è quello che potremmo chiamare «piramidali», schematizzate in fig. 12. Tale figura non vuole avere valore costruttivo, ma solo indicativo, onde dare un'idea di come si potrebbero fare delle valvole che permettano un flusso meno tortuoso dell'aria nel suo passaggio attraverso di esse.

Valvole del genere, sia ben chiaro, non le ho inventate io, bensì, credo, i tedeschi, in tempo di guerra ed anche prima; esse furono anche applicate su vari reattori di grosse dimensioni, dove naturalmente i problemi costruttivi erano meno gravi di quelli che si potrebbero incontrare su un reattore per modelli.

Una soluzione ancora più radicale sarebbe quella di... eliminare del tutto le valvole, realizzando un reattore tipo Escopette. Le prestazioni di tale motore sembrarono, a suo tempo, assai lusinghiere; ora però è da molto che non ne sento più parlare, e non saprei quindi dirvi se la pratica applicazione abbia confermato o meno la bontà dell'invenzione dei tecnici francesi. Comunque è un argomento che meriterebbe di essere approfondito sulle pubblicazioni a suo tempo uscite al riguardo.

Le due soluzioni da me accennate, riguardo al problema delle valvole, sono quelle che mi son saltate alla mente, dall'esame delle caratteristiche costruttive di pulsoreattori già costruiti. Non pretendo che esse siano le sole possibili, e neppure le migliori; è un campo in cui si possono escogitare tanti accorgimenti e idee brillanti, che il pretendere di li-



mitarsi a due è quanto meno ridicolo. Naturalmente, poichè in aeromodellismo la manna non esiste, per trovare qualcosa di buono occorrerà far lavorare la materia cerebrale. Chi non ne ha eccessiva voglia può continuare con le valvole a petalo.

Dove invece difficoltà concettuali non ne esistono assolutamente, è nel problema della rigidità flessionale delle valvole. Qui infatti è questione unicamente di provare, impiegando valvole di spessore sempre maggiore, oppure, come fa Ivannikov, applicando delle controvalvole di irrigidimento (valvole a più strati).

Siccome poco sopra ho parlato della possibilità di realizzare reattori privi di valvole, resterebbe da dire qualcosa circa il problema della rigidità di tali valvole che non esistono. In effetti non si tratta di un problema di valvole, bensì dell'andamento della spinta al crescere della velocità. Purtroppo, oltre a non possedere informazioni teoriche e costruttive sull'Escopette e i suoi discendenti, non possiedo neanche grafici e dati sperimentali riguardanti le sue prestazioni. Non posso quindi precisare come si possa affrontare l'argomento, a meno che qualche lettore non sia in possesso di materiale sull'argomento. In tal caso chi si fa faccia avanti.

d) Alimentazione.

Abbiamo già parlato dei vantaggi dell'iniezione a valle delle lamine. Tali vantaggi esistono realmente e, da prove pratiche, sembra si possa affermare che sono notevoli. La ragione di ciò non mi è molto chiara. Nei precedenti paragrafi ho dato una spiegazione plausibile, ma nutro fieri dubbi sul fatto che essa sia la sola possibile. Probabilmente, pur essendo vero ciò che allora ho detto al riguardo, esiste anche qualche altro fatto, che al momento mi sfugge, e che è in grado di spiegare più precisamente i benefici dell'iniezione in camera di combustione.

Comunque, più che la mia ignoranza sull'argomento, contano i fatti, ed i fatti parlano chiaro. Con l'iniezione in camera si ottengono sostanziosi aumenti di spinta. Naturalmente tale guadagno deve essere in qualche modo pagato, per legge di compensazione, ed il prezzo, in questo caso, è rappresentato dalle com-

plicazioni costruttive che comporta la realizzazione di un efficiente sistema di iniezione diretta.

Tali complicazioni dipendono dal fatto che il combustibile non viene aspirato come nel sistema tradizionale, e non entra in camera già debitamente miscelato all'aria. Con l'iniezione diretta, infatti, occorre realizzare un sistema di alimentazione a pressione ed uno spruzzatore, il quale non si limiti a far entrare un ruscelletto di liquido in camera di combustione, ma ve lo diffonda convenientemente nebulizzato.

Non è difficile come andare sulla luna, ma è sempre qualcosa, dato che occorrerà un serbatoio a palloncino od altro a pressione, un sistema di intercettazione a spillo, tipo carburatori dei motori ad elica, e tante altre cosette che la applicazione pratica farebbe apparire necessarie.

Per ottenere alcuni dei vantaggi dell'iniezione in camera, senza eccessive complicazioni costruttive, qualcuno ha escogitato il cosiddetto «postbruciatore», che consiste nell'aggiungere ad un reattore tradizionale, con carburatore normale, un arrivo di combustibile nella parte posteriore della camera di combustione.

E qui è bene fare una digressione su questo argomento, sul quale, a quanto mi consta, le idee non sono molto chiare. Il postbruciatore venne inventato allo scopo di non buttar via l'enorme eccesso d'aria che si ha normalmente, per motivi di resistenza di materiali, nei turboreattori. Tale enorme quantità di aria, pensarono i costruttori, se opportunamente carburata a valle della turbina, dove non esistono più problemi di resistenza alle alte temperature, può consentire di ottenere, sia pur per brevi intervalli, dato che il rendimento del ciclo, termico è basso, per ragioni che qui è inutile spiegare, degli aumenti di spinta addirittura favolosi. E così infatti avviene.

Tornando ora ai reattori per modelli, chi ci vieta di fare una pensata analoga? Evidentemente nessuno. Tuttavia occorre, prima di accingersi alla pensata, riflettere che i reattori per modelli non sono turboreattori, bensì pulsogetti.

Da tale ovvia considerazione segue immediatamente che non esistono i problemi di limitazione della temperatura sulle palette della turbina, e quindi non è

necessario l'enorme eccesso d'aria che si impiega nei turboreattori. Questo significa che, una volta avvenuta la combustione, nei gas di scarico l'ossigeno disponibile non è gran che, ammesso che ci sia.

Ora, in effetti, un po' di ossigeno dovrebbe esserci, in quanto da prove da me condotte presso l'Istituto di Macchine dell'Università di Genova, è emerso che il Dynajet funziona con un rapporto aria/combustibile uguale a 17, superiore quindi di alcune unità al valore stechiometrico. Tuttavia tale ossigeno:

- è poco,
- è diluito nei prodotti della combustione, che sono neutri,
- è in un certo senso reso meno attivo, quasi avvelenato dai gas combusti.

Di conseguenza il combustibile che si può sperare di bruciare bene è molto poco, e la spinta che se ne ricava, dato il basso rendimento del sistema, è minima.

Ma non basta. Infatti il dar luogo ad una combustione in una zona arretrata del tubo, provoca inevitabilmente dei disturbi nell'andamento del flusso. Ora noi tutti sappiamo che l'onda di compressione che si forma nel tubo è una cosa assai importante ai fini di ottenere una combustione a volume quanto più possibile costante. Penso quindi che andare a disturbare il pacifico andamento di tale onda, creando nel suo seno una combustione, possa anche non essere quanto di meglio si possa desiderare...

Tutte queste, naturalmente, sono considerazioni dettate da un po' di buon senso, e non da solide deduzioni teoriche e sperimentali. Vi prego quindi di prenderle con le dovute cautele. Anche perchè c'è stato qualcuno che dai postbruciatori, qualche aumento di spinta, tutto sommato, ce lo ha cavato...

Resta da vedere se il merito è del postbruciatore o se invece non fosse piuttosto la inefficiente carburazione che impediva, prima dell'aggiunta del postbruciatore, l'ottenimento di tutta la spinta di cui il reattore era capace.

E' per questo che io sono del parere che una simile soluzione si possa anche tentare, dato che, alla peggio, si può rapidamente eliminare, ma soltanto dopo aver perso fior di giornate sul campo di prova per trovare la carburazione perfetta.