

L'AQUILONE

Notiziario di S.A.M. 2001

SPECIALE STELLARI

Allegato al Numero 34

Novembre – Dicembre 2007



Il magnifico 14 cilindri doppia stella costruito da Lamberto Balestrazzi

Redazione testo: *Giovanni Ridenti*

Revisione tecnica e disegni: *Ing. Giacomo Mauro*

Fotografie: *Ing. Luigi Spalla, Internet*

Impostazione grafica: *Giuseppe Carbini*

Copyright © 2007 by *Giovanni Ridenti*

A proposito dei motori “stellari” a quattro tempi.

di **Ninetto RIDENTI.**

Generalità

Tutti sappiano cos'è il motore a stella oppure, con diversa terminologia, “radiale”. In Italia usiamo i due termini quasi indifferentemente mentre altrove si propende per l'una o per l'altra terminologia. La prima la preferiscono i tedeschi che parlano di “Sternmotor” e la seconda tutto il mondo anglosassone che parla di “Radial engine”. Tutti sanno di cosa sto parlando ma forse è utile richiamarne al volo le caratteristiche essenziali.

Il motore stellare ha una conformazione molto adatta all'uso aeronautico in quanto si presta bene al raffreddamento dato che tutti i cilindri sono direttamente investiti dalla stessa quantità di aria ed alla stessa temperatura ambiente.

Questo tipo di raffreddamento offre pure il vantaggio di una maggior leggerezza del motore, elimina il radiatore, le pompe, il serbatoio del liquido di raffreddamento, il liquido medesimo, guadagnando anche in affidabilità e vulnerabilità se per uso bellico. Per contro presenta una maggiore area frontale che però può essere ben carenata da una buona cappottatura (naca). I motori stellari più famosi sono ad 1 oppure 2 file di stelle, ma ne sono stati prodotti anche a 4 file di sette cilindri ciascuna, per un totale di 28 cilindri e circa 3.000 c.v. (*Vedi riquadro alla pagina seguente. Ndr*)

Prima di aver raggiunto l'apice delle loro potenzialità progettuali, sono stati spazzati via dall'arrivo del turboreattore.



Lo splendido 7 cilindri realizzato da Luigi Spalla ispirandosi al Pratt & Whitney Wasp

Questo preambolo tende a diventare troppo lungo quindi è meglio entrare in argomento.

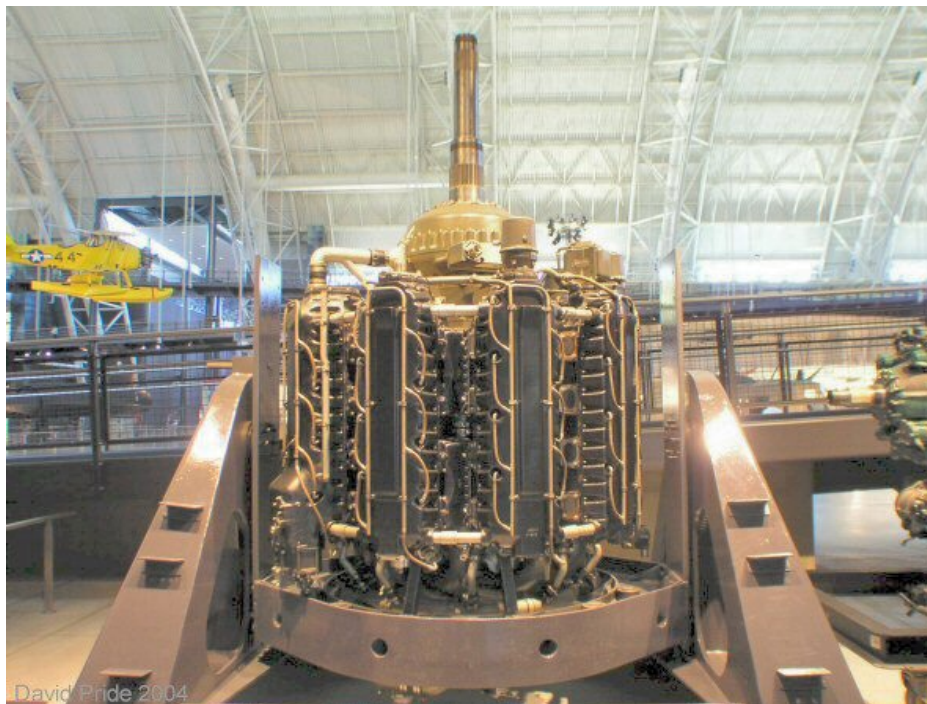
Scopo di queste note non è fare un trattato universitario su una tipologia di motori che ormai è solo d'epoca. Si vuole soltanto fornire, a chi ha già esperienza di progettazione e costruzione di motori in scala modellistica, un contenuto di dati e riflessioni che possano spingerlo ad intraprendere la costruzione anche di uno stellare. La progettazione e la costruzione di motori per modellismo è un aspetto molto legato al movimento Old

Nel 1943, La Lycoming iniziò la costruzione di alcuni esemplari del più grande motore stellare mai costruito. Si trattava del modello XR-7755, destinato al gigantesco bombardiere Convair B-36 Peacemaker. Era strutturato su quattro stelle da 9 cilindri, per un totale di 36 cilindri. Era dotato di una doppia serie di camme, di compressore e di due alberi portaelica controrotanti.

Caratteristiche tecniche:

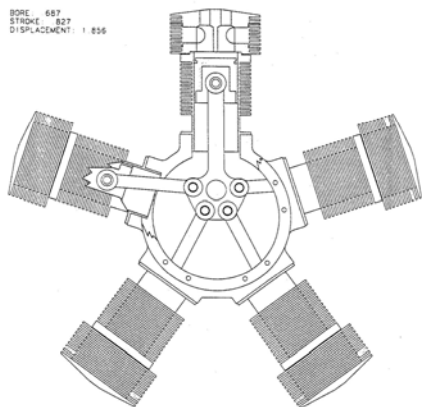
- Alesaggio: 162 mm
- Corsa: 171 mm
- Cil. unitaria: 3.529 cc
- Cil. Totale: 127.040 cc
- Peso: 2.783 kg.
- Potenza: 5.000 hp a 2.600 giri/min

Come si vede nella foto, che ritrae l'esemplare restaurato nel 2002 e conservato al National Air and Space Museum di Washington DC, i banchi non sono sfalsati, e si tratta di un motore raffreddato a liquido. Lo sviluppo fu sospeso nel 1946 e, per il B-36, gli fu preferito il Pratt & Whitney R-4360 a 28 cilindri, la cui ultima versione sviluppava una potenza di 3.800 HP. L'adozione di sei di questi motori si rivelò comunque insufficiente ad assicurare buone prestazioni al decollo e la Convair aggiunse due coppie di reattori General Electric J47-19 da 2.360 kg di spinta che venivano accesi solo per il decollo ed in prossimità dell'obbiettivo.



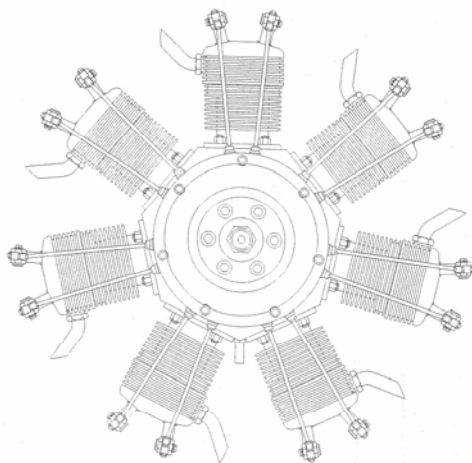
David Pride 2004

BORE - 667
STROKE - 827
DISPLACEMENT - 1.856

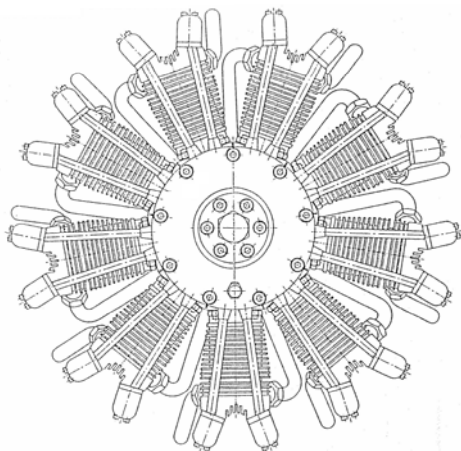


▲ - Fig. 1 Vista frontale, parzialmente sezionata, di uno stellare a 5 cilindri.

Fig. 2 Vista frontale di un 7 cilindri. - ►



▼ - Fig. 3 Vista frontale di un 9 cilindri



Timer italiano. Il modellismo dei padri fondatori frequentava la costruzione del proprio motore come l'ultimo livello di specializzazione. Comunque denari ne avevamo tutti molto pochi quindi, per chi ne aveva la possibilità, era l'opzione più concreta per disporre di un motore. Ora all'interno del nostro movimento si va rapidamente diffondendo il desiderio delle costruzioni motoristiche per aeromodellismo. Già più

di qualche appassionato, superata la fase iniziale dei monocilindrici e dei bicilindrici a due o quattro tempi, ha realizzato il suo motore a stella a quattro tempi a 5, 7 e, perché nò, anche a 9 cilindri (vedi Fig. 1, 2, 3). Il limite superiore al crescere del numero dei cilindri viene dal fatto banale che di più non ce ne stanno in una sola stella. Comunque, non a caso, sono tutti numeri dispari. E' questa una delle caratteristiche base del motore

stellare (ad 1 fila). Il numero dei cilindri è per forza dispari, perchè il ciclo quattro tempi si effettua in 2 giri di albero motore. Se si tratta di un 7 cilindri, al primo giro si ha lo scoppio al cilindro uno, poi al tre, poi al cinque e con il sette si completa il primo giro dell'albero motore. Il secondo giro inizia con lo scoppio nel cilindro due, poi quattro poi sei. Il terzo giro dell'albero motore torna ad essere uguale al primo e così via. Per un 7 cilindri 4 tempi, quindi, c'è una fase attiva ogni 102° circa. Agli usi pratici della compressione il motore stellare possiamo vederlo come un monocilindrico la cui testa di biella madre, altro organo tipico del motore a stella che fa presa sul bottone di manovella, presenta una corona, anzi due parallele fra loro di sei orecchie che sono la portata dei sei spinotti che uniscono le sei bielle "figlie" alla biella "madre". Per evitare confusioni in Fig. 4 si riporta la vista assonometrica di una biella madre di un motore a 7 cilindri (con candele glow).

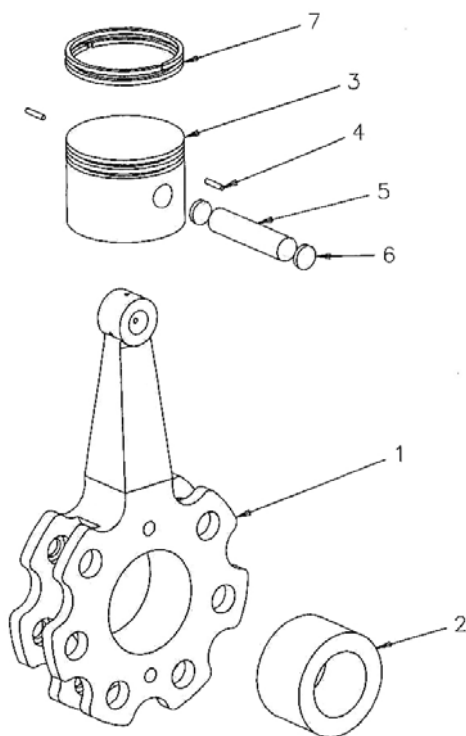


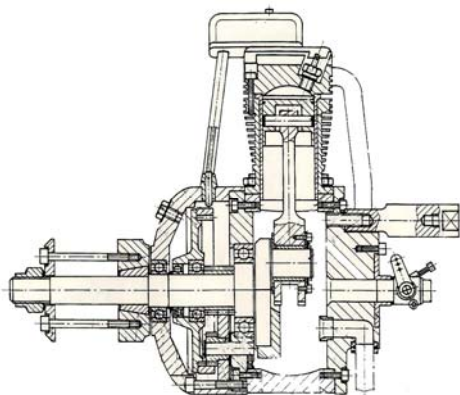
Fig. 4 Vista assonometrica di biella madre di un

ma ne crea altre ugualmente indesiderate, nello stellare conduce, non all'eliminazione totalmente le vibrazioni, ma ci si va tanto vicino da avere un funzionamento paragonabile a quello di un motore elettrico. L'andamento dell'assieme dei pistoni del motore stellare può essere paragonato ad una circonferenza disegnata eccentrica sul piatto di un grammofono posto poi in rotazione. Il centro del piatto corrisponde all'albero motore e la circonferenza (bordo) del piatto le testine dei cilindri.

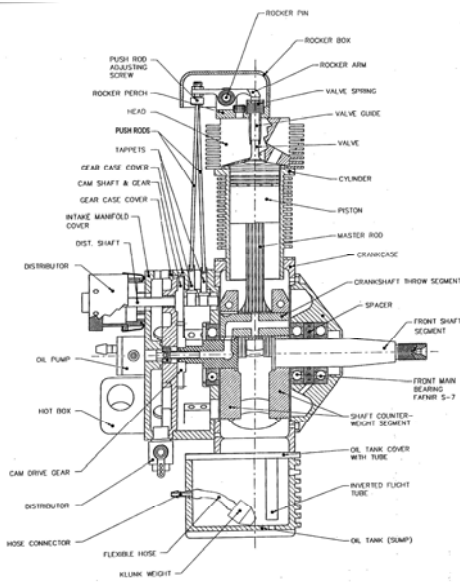
La distribuzione

Il principale nodo da sciogliere nei motori stellari è come realizzare il sistema di distribuzione (apertura e chiusura valvole di immissione o aspirazione e di scarico).

Trascuriamo, in questa sede, la possibilità di impiegare un albero a camme per ogni cilindro, non tanto perché più pesante, ricco di attriti e voluminoso, ma perché i motori aeronautici dei tempi eroici lo usavano di rado (vedi in Fig. 5 la sezione di un tipico motore Zimmer-



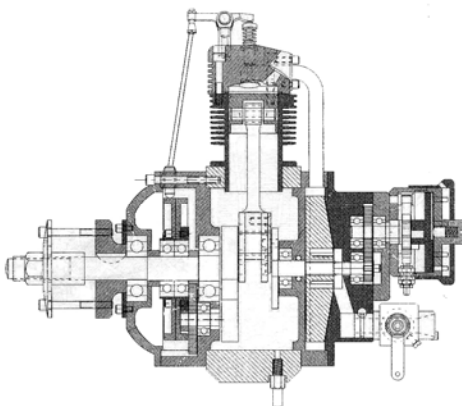
man a 5 cilindri con ruotismo posteriore che aziona 5 alberi a cammes). Veniva invece, non proprio universalmente ma quasi, impiegato un sistema con tamburo porta camme che si differenzia in due famiglie: la prima con tamburo a dentatura di trascinamento esterna (di più semplice realizzazione) e la seconda a dentatura interna di più difficile realizzazione. Appare utile dare una vista “disegnata” della di-



▲ - Fig. 5 Sezione longitudinale di un 5 cilindri Zimmermann

◀ - Fig. 6 Sezione longitudinale di un 9 cilindri con tamburo a rotazione discorde rispetto all'albero motore

▼ - Fig. 7 Sezione longitudinale di un motore a 7 cilindri con tamburo rotante in senso



versa complessità delle due soluzioni attingendo dalla letteratura dei progetti di motori stellari di taglia modellistica pubblicati a stampa o comunque disponibili. Il Dis. 6 mostra lo spaccato longitudinale di un 9 cilindri stellare con tamburo a rotazione discorde mentre la Fig. 7 mostra l'analogo spaccato di un 7 cilindri con verso di rotazione del tamburo porta cammes concorde con l'albero motore.

Parlare di maggiore o minore facilità di realizzazione ha senso dato che nel nostro caso si tratta di realizzare dentro casa 1 oppure 2 prototipi e che non mi risulta esista in commercio ingranaggeria a dentatura interna che potrebbe essere facilmente adattata allo scopo.

A livello di progetto del motore, quindi, questa è la prima cosa da decidere. Certamente il sistema a dentatura interna del tamburo porta camme (altro pezzo caratteristico del motore a stella) risulta di architettura più pulita e più compatta ed è infatti il preferito dai costruttori di motori per aviazione. Il tamburo porta camme, se con dentatura interna, ruoterà in senso contrario all'albero motore, al quale è coassiale, in quanto il pignone di comando ed un treno di ingranaggi satelliti (1, o 2 oppure 3 fissati all'interno del carter), che a loro volta ingranano la corona a dentatura interna, provocano l'inversione del senso di rotazione.

Nel caso di trasmissione esterna al tamburo porta camme, che è coassiale all'albero motore anche in questo caso, questo si fonda su di un albero esterno con due ingranaggi, di cui uno ingrana sul pignone dell'albero motore e l'altro sulla dentatura esterna del tamburo porta camme, che ruoterà quindi, nello stesso senso dell'albero motore.

Qui stà l'arcano. Se il tamburo gira in senso discorde, per calcolare il numero di camme delle due corone (quella delle cammes di aspirazione e quella di scarico che sono realizzate sullo stesso tamburo ma su piani falsati) si dovrà applicare la seguente relazione:

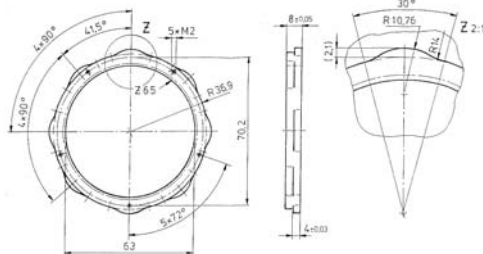
$$\frac{(n.c. - 1)}{2}$$

Dove n.c. è il numero dei cilindri del motore.

Se invece il tamburo porta cammes girerà in senso concorde, ovvero nello stesso senso dell'albero motore si dovrà applicare una formulazione diversa:

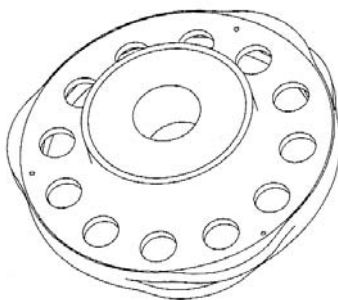
$$\frac{(n.c. + 1)}{2}$$

E' immediato accorgersi che nel caso di tamburo che gira in senso discorde all'albero motore avrà minori cammes che nel secondo caso. Co-



▲ - Fig. 8 Schema quotato di un tamburo porta camme, con dentatura interna, di un 9 cilindri.

munque dato che il rapporto di trasmissione tra l'albero motore ed tamburo porta cammes è dato dal numero delle cammes moltiplicato 2 in ambo i casi ne derivano significative differenze in termini di rapporto di trasmissione complessivo che dipenderà sia dal numero dei



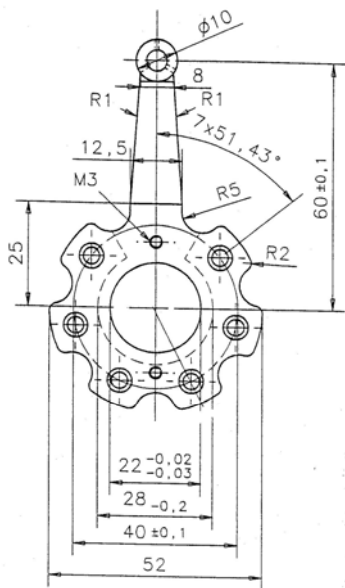
► - Fig. 9 Vista assonometrica di un tamburo porta camme a dentatura interna di un 7 cilindri.

cilindri del motore sia dalla soluzione che si è scelta per l'azionamento del tamburo porta cammes.

La Fig. 8 mostra il disegno di progetto di un tamburo porta cammes con dentatura interna di un motore a 9 cilindri. Il disegno mostra quindi sia le cammes lato aspirazione che scarico e fornisce anche una soluzione di progetto standard per il profilo della singola camma. La Fig. 9 mostra invece la vista assonometria di un tamburo porta cammes a dentatura interna di un motore a 7 cilindri. Si coglie bene la posizione su piani sfalsati delle due corone di cammes.

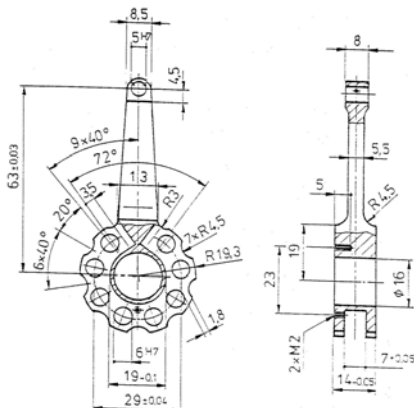
Dato che l'argomento potrebbe apparire più complesso di quanto non sia occorre qualche esempio. Consideriamo un motore a semplice stella da 9 cilindri. Nel caso di tamburo porta camme a rotazione discorde occorrerà realizzare un numero di cammes pari a $(9 - 1)/2 = 4$. Il rapporto di trasmissione fra albero motore e tamburo porta cammes sarà $4 \times 2 = 8:1$. Questo significa che l'albero motore ruoterà di 8 giri ogni giro di tamburo porta cammes.

Per il medesimo nove cilindri, nel caso di rotazione concorde del tamburo porta cammes, questo avrà $(9+1)/2 = 5$ cammes quindi il rapporto di trasmissione complessivo tra asse e tamburo sarà $5 \times 2 = 10:1$. Il che si-



▲ - Fig. 10 Schema quotato di biella madre di un 7 cilindri con accensione glow.

▼ - Fig. 11 Schema quotato di biella madre di un 9 cilindri con accensione glow.



gnifica che ogni 10 giri dell'albero motore il tamburo porta cammes compirà un giro completo.

Il motivo per cui ho preferito realizzare l'esempio per un 9 cilindri e non per un motore da 7 è un fatto banalmente geometrico dato che l'angolo giro sono 360 che diviso per 9 dà un numero intero. Per evitare che di far confusione chiarisco subito che nel nove cilindri la disposizione radiale dei medesimi è sicuramente di un cilindro ogni 40° ($40^\circ \times 9 = 360^\circ$).

La Fig. 10 mostra il disegno di progetto della biella madre di un 7 cilindri (sempre glow) da cui si evince la necessità di spaziare angolarmente i punti di incernieramento delle bielle di $51^\circ 43'$ il che non è una faccenda tanto semplice da realizzare in pratica.

La Fig. 11 mostra il disegno di progetto della biella madre di un 9 cilindri. I fori delle bielle sulla biella madre, negli esempi delle Fig. 10 ed 11, sono spaziate con regolarità ogni 40° . Entrambi gli esempi afferiscono a bielle di motori glow dato che si tratta di una approssimazione. Infatti "l'effetto ginocchio" deve essere corretto sui motori che abbiano l'accensione spark assistita da un'unica coppia di puntine platinizzate. Nei motori in scala aeronautica questi sono (erano) asserviti ad una coppia di puntine per ogni cilindro quindi la correzione, che presuppone uno specifico calcolo di trigonometria piana, veniva

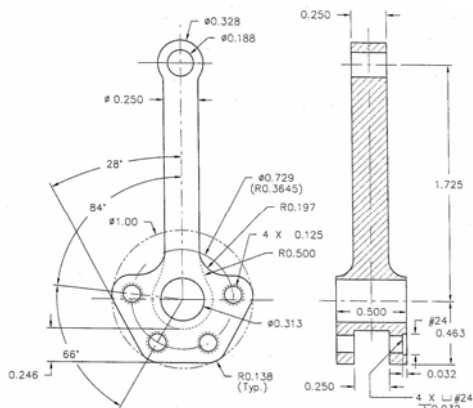


Fig. 12 Schema quotato della biella madre di un 5 cilindri con accensione a spinterogeno.

spesso trascurata.

La Fig. 12 mostra gli esiti della correzione angolare sulla testa di una biella madre di un 5 cilindri Kinner ad accensione spark.

Torniamo, per semplicità, al nostro consueto esempio di motore stellare a 9 cilindri. Le fasi attive, o se preferite i singoli scoppi del motore, avvengono ogni 80° dato che sono alternate; un giro sono attivi i cilindri dispari ed il successivo i pari.

In definitiva il tipo di distribuzione con tamburo porta camme ruotante con verso discorde da quello

dell'albero motore conduce ad avere tamburi con 4 camme (per l'aspirazione ed altre 4 per lo scarico ma su piani sfalsati) con rapporto trasmissione 8/1. La precisazione non è inutile dato che la Fig 8, che illustra il tamburo porta cammes di un tipico motore a stella a 9 cilindri con rotazione discorde, mostra frontalmente 8 camme che sono sia quelle di aspirazione che di scarico. Il fatto che si tratti di piani sfalsati lo si evince dalla vista laterale pure presente.

Le quattro camme sono tutte uguali fra loro ma sfasate di 90° l'una dall'altra. Consideriamo come punto "zero" di partenza, il punto in cui inizia l'apertura della valvola (esempio Aspirazione) nel cilindro nr. 1. La punteria della valvola di aspirazione del cilindro nr. 3 si troverà a 90° meno 80° = 10° dall'inizio apertura della camma nr. 2, 180°-160°, mentre quella del cilindro nr. 5 si troverà a 180° - 160° = 20° dall'inizio albero camma 3 e quella del cilindro 7 a 30° dalla camma nr. 4; quella del cilindro 9 a 40° dalla camma nr. 1, che sta ora iniziando l'apertura dell'aspirazione cilindro 1. Se ruotiamo ora di 80° l'asse motore nel senso di funzionamento (posto in senso orario) avremo la camma nr. 2 che ruotando di 10° in senso contrario antiorario (rapporto trasmissione 8/1) ed essendo posta sul tamburo a 90° rispetto la camma 1, 80° del diverso posizionamento cilindro 3 e 10° di rotazione contraria tamburo 80° + 10°=90° e di conseguenza la punteria inizierà l'apertura della valvola di aspirazione del cilindro n° 3. Per il cilindro 5, vale lo stesso concetto: 160° di sfasamento per la sua posizione, 180° di sfasamento tra camma 1 e camma 3 (di costruzione), risulta che la camma 3 è a 20° dalla punteria del cilindro n°5. Ruotando l'asse motore di 160°, il tamburo porta camme ruoterà di

160°/8 (del rapporto di trasmissione) Gradi = a 20° , che è la differenza tra 160° e 180°.

Tutto questo discorso è chiaramente identico anche per la corona delle cammes di scarico.

Nel nove cilindri discorde ogni 8 giri tutto ritorna come all’inizio. Ovviamente nel nove cilindri concorde tutto ricombina invece ogni 10 giri di asse motore.

Tabella riepilogativa posizione cammes rispetto ai cilindri nei vari giri.

GIRI	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
Cilindro 1	A		B		C		D		A		B		C	
2		B		C		D		A		B		C		D
3	B		C		D		A		B		C		D	
4		C		D		A		B		C		D		A
5	C		D		A		B		C		D		A	
6		D		A		B		C		D		A		B
7	D		A		B		C		D		A		B	
8		A		B		C		D		A		B		C
9	A		B		C		D		A		B		C	
A= camma n° 1 posizione "zero"						sul tamburo a rotazione inversa								
B= camma n° 2 posizione 90°														
C = camma n° 3 posizione 180°														
D = camma n° 4 posizione 270°														

La tabella tenta di esemplificare in forma tabulare quanto detto finora. A me sembra che si veda bene come al primo giro la distribuzione del cilindro 1 è azionata dalla coppia di cammes (una per l'aspirazione ed una per lo scarico) "A" mentre nel 3° giro è azionata dalla coppia "B", nel 5° giro dalla coppia "C", e nel 7° dalla "D". Poi, dal nono giro, si ricomincia daccapo.

Se il motore ha il tamburo porta camme a rotazione concorde sarà equipaggiato con 5 cammes (anziché 4) e di conseguenza il rapporto di trasmissione sarà 10/1 ed il ciclo completo per tornare alla posizione "0" durerà 10 giri anziché 8 come nel caso della rotazione discorde.

Accensione

Confesso di essere un po' ostile all'accensione **glow**, non in termini assoluti dato che non posso non riconoscerne i grandi vantaggi in termini di leggerezza e semplicità. Non credo che l'accensione glow sia il massimo dell'efficacia per i motori a più cilindri che hanno bisogno di fissare con

precisione di anticipo che la candela glow non può dare. Non nascondo qualche perplessità sulla efficacia degli spinterogeni che lavorano ad oltre 20.000 scintille al minuto (confesso che per indole sono pure un conservatore quindi mi trovo un po' a disagio con le accensioni elettroniche di adesso che sono in grado di fare miracoli). Comunque il mio consiglio ai costruttori dei motori stellari è di orientarsi verso l'accensione a scintilla del tipo più convenzionale.

A questo punto ho fatto ricorso alla sezione tecnica di SAM 2001 L'A-



Fig. 13 - La sezione tecnica di SAM 2001 al lavoro

quilone per avere uno schematico quotato che mostri visivamente quanto di seguito cerco di annotare con semplicità. La Fig. 14 quindi non è ripresa dalla letteratura specifica di settore dei motori per modellismo autocostruibili, ma sbrigativo parto di fantasia meccanica ancora affidabile.

Si parte da un alberino che ruoti ad $\frac{1}{2}$ della velocità dell'albero motore e che porti calettata una camma che disponga di tanti lobi quanti sono i cilindri. La camma aziona una unica coppia di puntine platinatate (il ruttore) che lavora su di una unica bobina la cui alta tensione andrà al comune

di un distributore (dotato di tante uscite quanti sono i cilindri) al cui interno, calettata sullo stesso alberino che supporta la camma, ruota una spazzola che commuta l'alta tensione ai vari cilindri.

Se continuiamo a tenere presente lo stesso 9 cilindri dell'esemplificazione che ho scelto prima, le uscite del distributore, che chiameremo A, B, C ecc, saranno sul distributore in progressione ed andranno così cablate :

A – cilindro 1 ; B- cilindro 3 ; C – cilindro 5; D- cilindro 7; E- cilindro 9; F –cilindro 2; G- cilindro 4; H- cilindro 6; I- cilindro 8; e se a sette cilindri la conformazione sarà la seguente: A-1; B-3; C- 5; D- 7; E- 2; F- 4; G- cilindro 6.

Non nego che tutto quanto fin qui riportato appaia di relativa complessità ma confesso di appartenere a quella cerchia di "aeromodellisti adulti"

per cui il rombo di un motore stellare a 4 tempi con accensione spark sostituisce in meglio la sinfonia di qualunque grande orchestra. Il rumore di un due tempi per gare di velocità? Lasciamo perdere, quella è un'altra faccenda.

Lubrificazione

Per la lubrificazione vedrei molto bene una pompa ad ingranaggi che peschi l'olio in una vaschetta di raccolta, situata tra i due cilindri inferiori, e che lo invii a pressione all'interno dell'asse motore che, essendo forato in sede di costruzione, sia nella parte rotante, sia all'interno della manovella (trasversalmente), sia nel bottone di manovella, permetterebbe all'olio di giungere alla bronzina della biella madre, da dove fuoriuscirebbe e, per centrifugazione, raggiungerebbe gli altri organi che ne necessitano come cilindri, pistoncini e spinotti, sia lato pistone che lato bottone di manovella.

Per le valvole, consiglieri l'oliatore a mano prima della messa in moto.



◀ - Foto del più piccolo stellare mai costruito (sino a prova contraria)



◀ - Chi l'ha detto che il motore stellare si usa solo negli aerei!

Schema quotato di rottore e distributore radiale per stellare a 9 cilindri

LEGENDA

Pos.	Quant.	Materiali	Nome
1	1	Duralil	Corpo Rottore
2	1	Nylon	Calotta Spinterog.
3	1	Turmal	Rottore
4	1	Turmal	Distributore
5	9	Ottone	Contatti distrib.
6	1	Ottone	Contatto A.T.
7	1	Ottone	Contatto rotante
8	1	Acciaio Cementaz.	Camma a 9 lobi
9	1	Grano M2	Braccio della camma
10	1	Ottone	Stella punt. fissa
11	1	Vite acciaio M2.5	Albero spinterog.
12	1	Acciaio cementaz.	Bronzo
13	1	Bronzo	Molla del contatto
14	1	Acc. Armonico	

Fig. 14 Schema quotato del ruttore e dello spinterogeno di un generico motore stellare a 9 cilindri.



Replica sezionata del 9 cilindri Pratt & Witney Wasp