

VALVOLA ROTANTE ADDIZIONALE ALLO SCARICO PER INCREMENTO DELLE PRESTAZIONI DEI MOTORI A BENZINA A 4 TEMPI

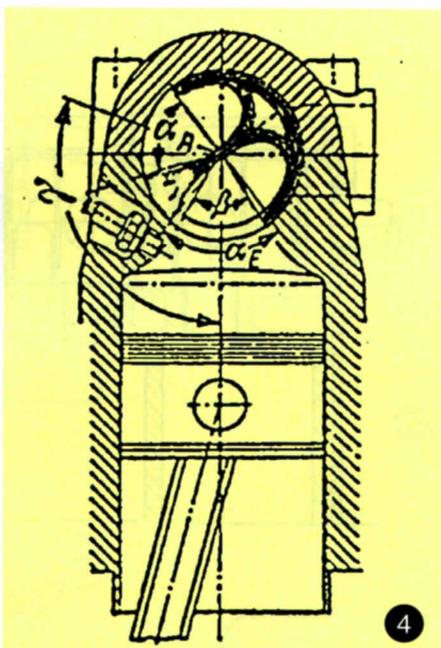
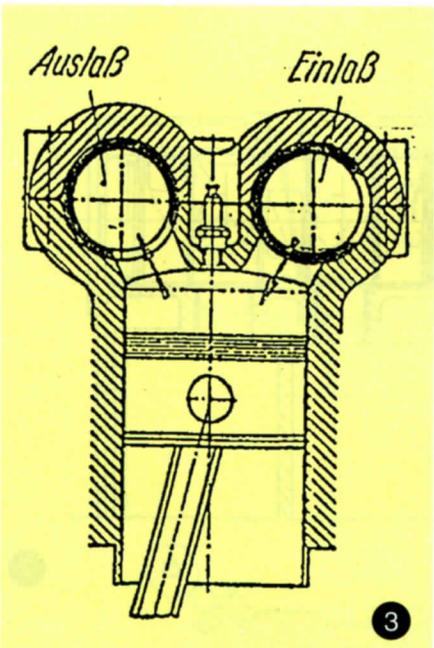
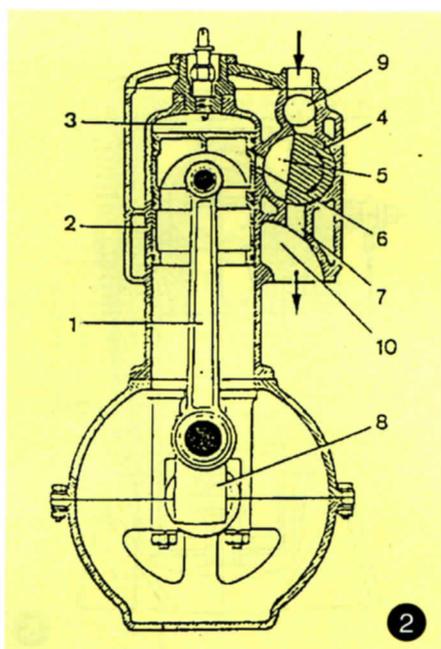
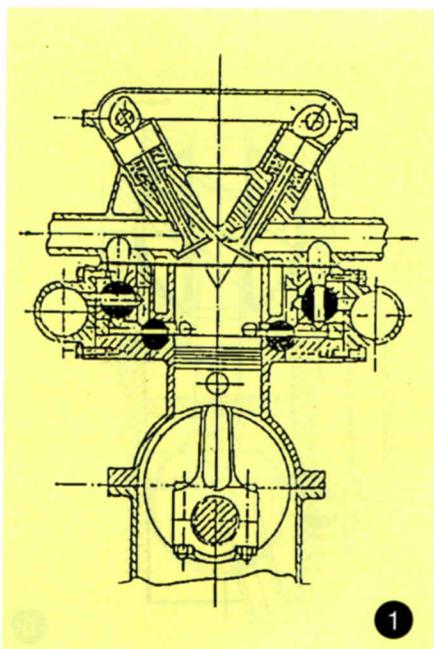
Allo scopo di incrementare il rendimento volumetrico e, quindi, le prestazioni di un motore a elevato regime di rotazione, tipico delle applicazioni motociclistiche, sono state valutate le potenzialità di un'inedita soluzione, consistente nell'adozione di una luce di scarico nel cilindro regolata da valvola rotante, che si aggiunge alle tradizionali valvole a fungo collocate nella testa.

Dopo una rapida carrellata storica su differenti soluzioni motoristiche con valvole rotanti per l'aspirazione e/o lo scarico, viene descritta in dettaglio quella in oggetto, ideata da uno degli autori della presente memoria.

Di tale soluzione sono stati quindi condotti uno studio progettuale ed un'analisi prestazionale a calcolo per l'applicazione al motore Gilera RC 600: i risultati ottenuti evidenziano i vantaggi prestazionali ottenibili da tale configurazione sull'intera curva di potenza, identificandone anche le più opportune strategie di organizzazione e controllo.

di G. Bossu*, G. Cipolla**, M. Nuti*





1 - Motore a distribuzione mista (Caputo e Beccari) che oltre alle normali valvole a fungo nella testata presenta luci supplementari nel cilindro, la cui apertura e chiusura è regolata da valvole rotanti e dal pistone.

2 - Motore con le fasi di aspirazione e di scarico regolate da una sola valvola rotante situata nel cilindro (1912, Darraq-Henriod).

3 - Soluzione con due valvole rotanti che asservono singolarmente aspirazione e scarico. Costruzione tedesca non conosciuta.

4 - Soluzione con valvola rotante singola che asserva aspirazione e scarico. Costruzione tedesca.

la parete laterale del cilindro e ne viene presentata l'applicazione ad un noto motore di produzione, il Gilera RC 600.

CENNI STORICI SU APPLICAZIONI DI VALVOLE ROTANTI

Lo sviluppo del motore a 4T, in tempi recenti, ha interessato, a parte le tecniche relative alla riduzione attiva (miglioramento delle prestazioni interne del motore) e passiva (post-trattamento dei gas di scarico) delle emissioni, una ricerca generalizzata delle prestazioni. Si è assistito quindi ad uno sviluppo di sistemi di sovralimentazione, turbocompressori a gas di scarico e/o compressori volumetrici e adozione di testate multivalvole.

In ambedue i casi, lo scopo finale è una maggiore quantità in massa di miscela combustibile contenuta nel cilindro a fine aspirazione, ottenuta, nel primo caso aumentando la pressione e nel secondo aumentando l'area isentropica di aspirazione grazie ad una maggiore permeabilità del sistema.

I benefici così singolarmente ottenuti non sono rimasti separati (in campo automobilistico) ma le due soluzioni sono state abbinate in modo da consentire in maniera quasi sinergica la realizzazione di motori con prestazioni notevoli in tutto il campo di utilizzazione.

Non va dimenticato che ciò che ha reso veramente possibile pratiche e razionali applicazioni è stata l'ado-

INTRODUZIONE

Le prestazioni dei motori alternativi sono, come è noto, strettamente legate alla carica di miscela "intrappolata" in camera di combustione durante le fasi di scarico (del ciclo precedente) ed aspirazione (del ciclo in esame); il parametro motoristico relativo è il rendimento volumetrico. Mentre a regimi medio-bassi il rendimento volumetrico è ampiamente dipendente dall'ampiezza ed accordatura delle onde di pressione generate nei condotti e/o collettori ad alto (ed altissimo) regime, un fattore estremamente limitante risulta esse-

re l'area isentropica di scarico, che non consente un adeguato svuotamento della camera da parte dei gas combusti e limita quindi il successivo ingresso di miscela fresca.

Nel campo motociclistico e nei motori da competizione automobilistici sono diffuse configurazioni di testate plurivalvole (4, 5 o, addirittura, 6 valvole), ma l'incremento di area isentropica è asintoticamente limitato da vincoli geometrici.

Nella presente memoria viene proposta una configurazione, assolutamente originale, per "trovare un'adizionale via di scarico" attraverso

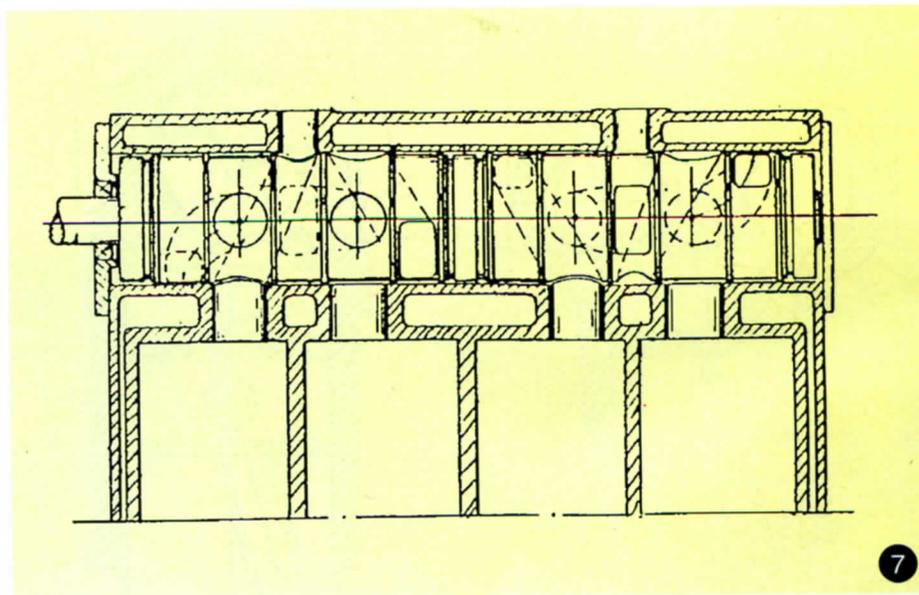
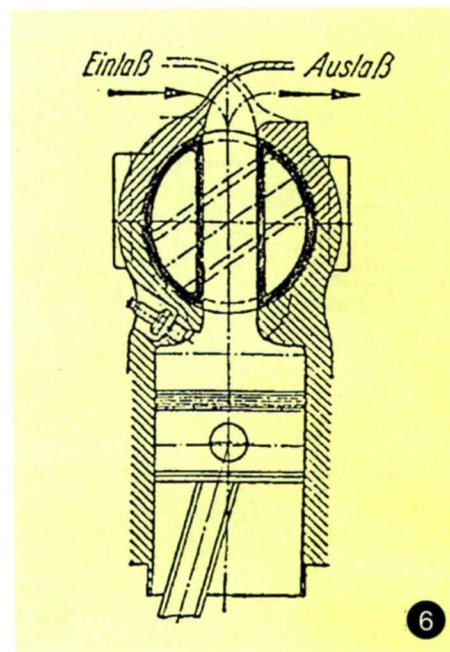
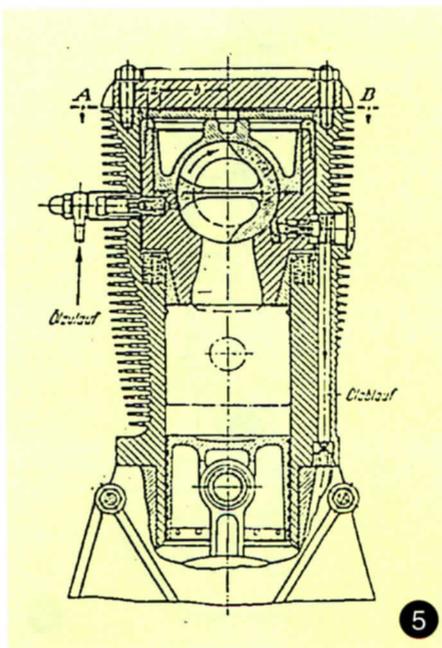
5 - Fra le valvole bivalenti la più nota è quella della ditta Cross.

6 - Valvola rotante bivalente realizzata dalla società tedesca di costruzioni motori Baer.

7 - Valvola rotante bivalente brevettata dalla Volkswagen (us patent n° 4.517.938 del 21-5-1985).

8 - Valvola rotante discoidale collocata nella parte superiore della testata, regola sia l'aspirazione sia lo scarico. In passato venne adottata su motori aeronautici tedeschi (DVL - Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt).

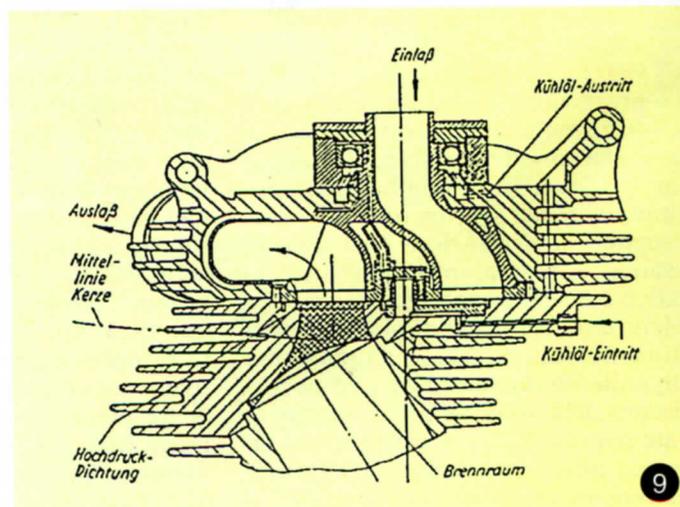
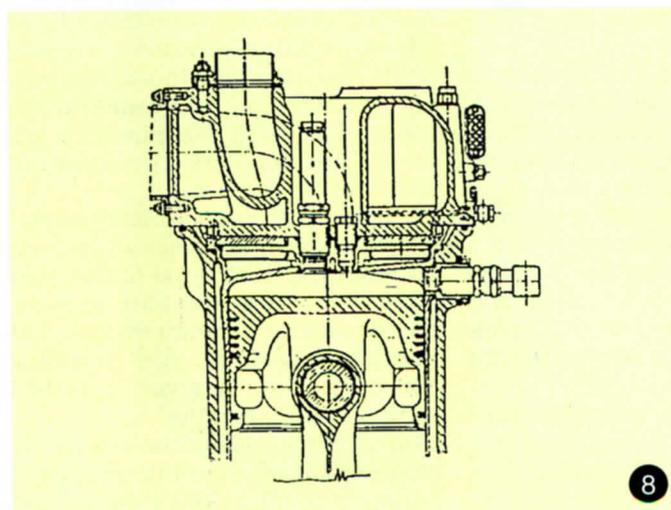
9 - Soluzione di una valvola rotante discoidale sperimentata con buoni risultati dalla NSU sul modello 250 MAX.

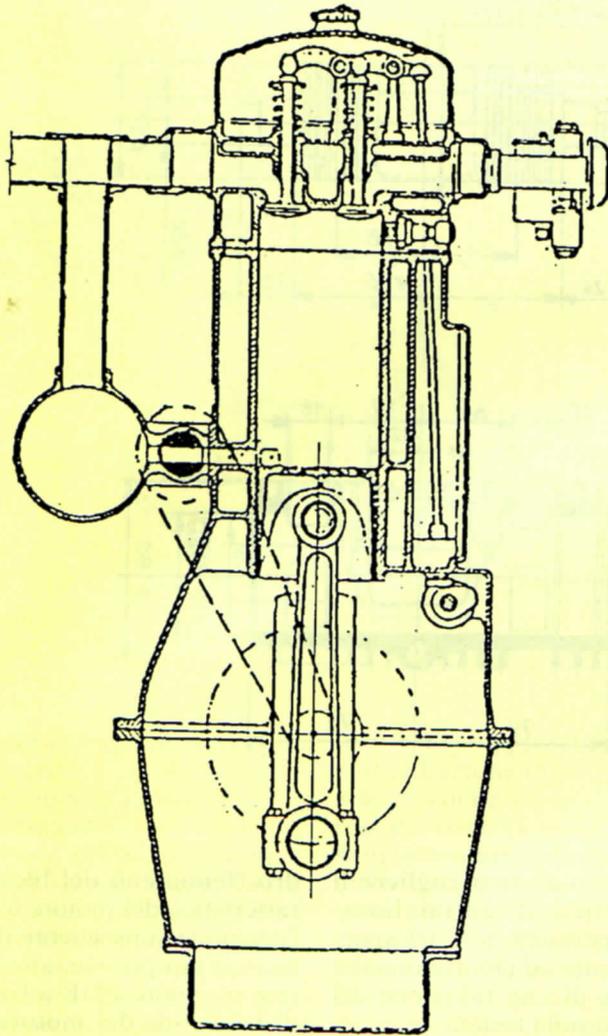


zione di sistemi di iniezione elettronica. Questi dispositivi hanno consentito di svincolare le problematiche della formazione di miscela da quelle relative alla massimizzazione del rendimento volumetrico.

Tornando a considerare più in dettaglio il settore motociclistico, si può constatare come, dopo alcuni modelli di scarso successo con motore sovralimentato, è stata abbandonata la strada dell'applicazione del turbocompressore o, più in generale, della sovralimentazione; quindi lo sviluppo attuale per l'incremento delle prestazioni è orientato all'aumento del rendimento volumetrico e della velocità di rotazione.

Dopo l'apparizione di eccellenti testate a 5 valvole per cilindro [1], questo schema è applicato con cre-





10

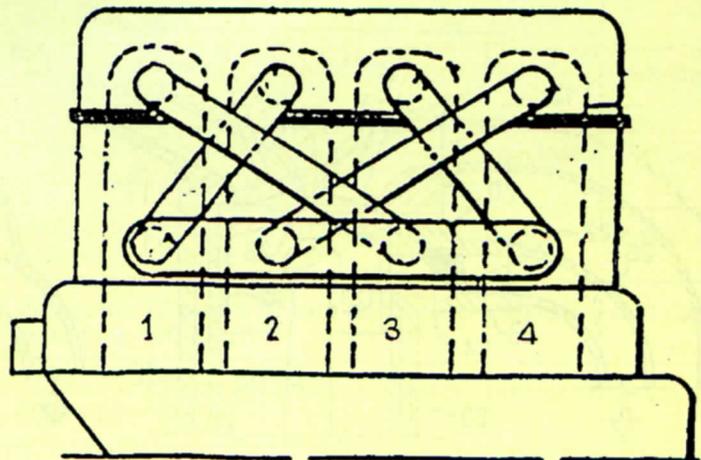
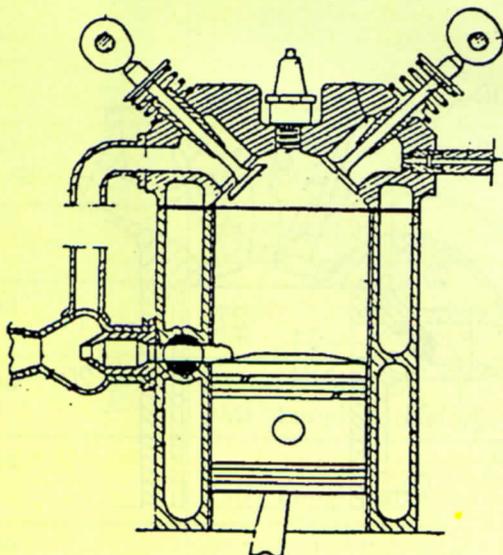
10 - Motore Violet (1927) a compressione costante, con luce di aspir/sca. nel cilindro regolata da una valvola rotante.

11 - Motore Chenard e Walcker (1956) a doppio scarico, uno dei quali nel cilindro, con luce regolata da una valvola rotante.

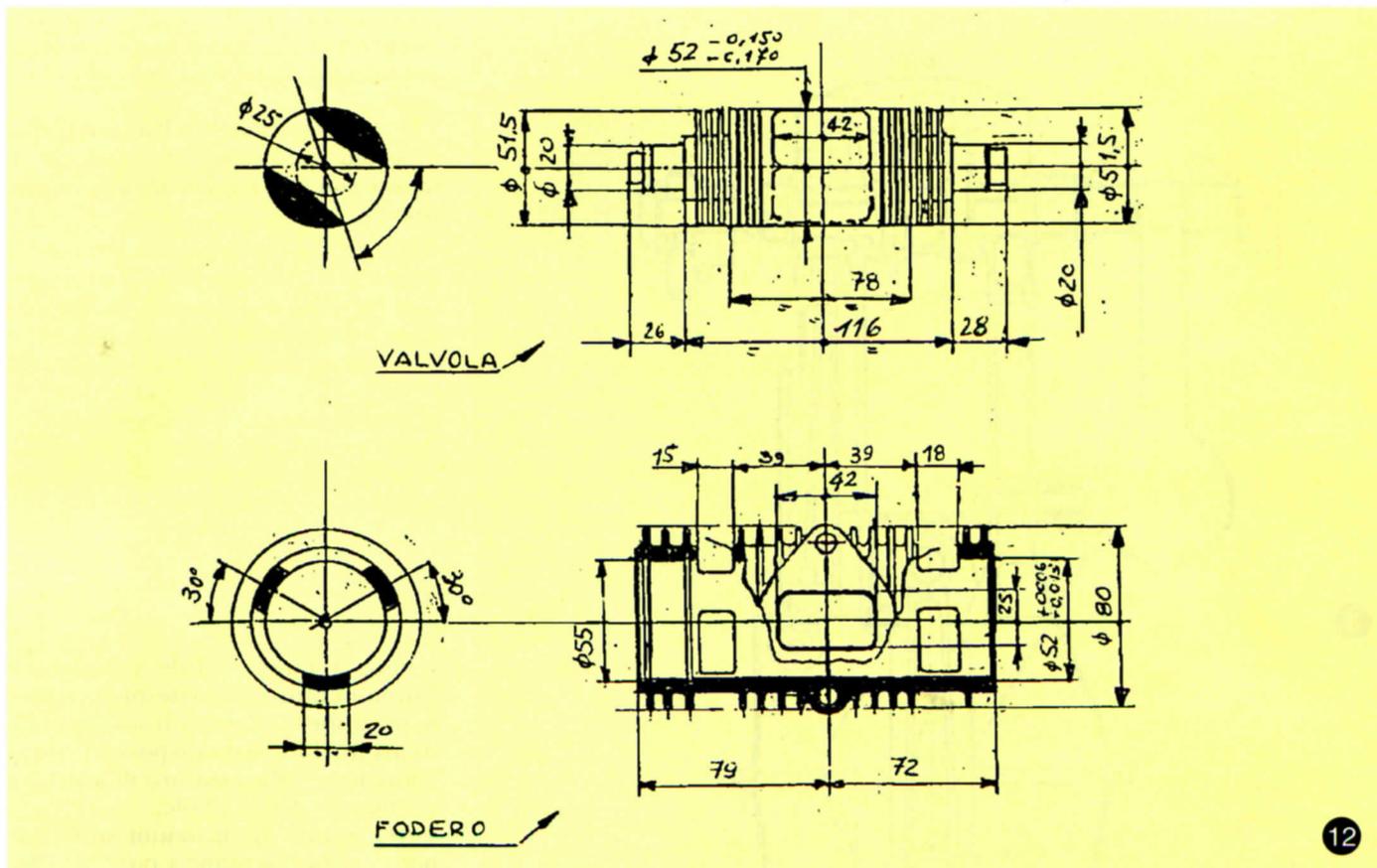
sciente frequenza. Tale soluzione è implementata da sistemi di sintonizzazione variabile di scarico [2], di aspirazione e da dispositivi per la variazione della fasatura di apertura e chiusura delle valvole.

Tutte queste applicazioni sono ben note e rappresentano i punti di riferimento dello stato attuale della tecnica.

Scopo della presente ricerca è, invece, quello di valutare l'applicazione di un sistema di scarico aggiuntivo, operante alla base del cilindro, in prossimità del punto morto inferiore e controllato da una valvola comandata di tipo rotante.



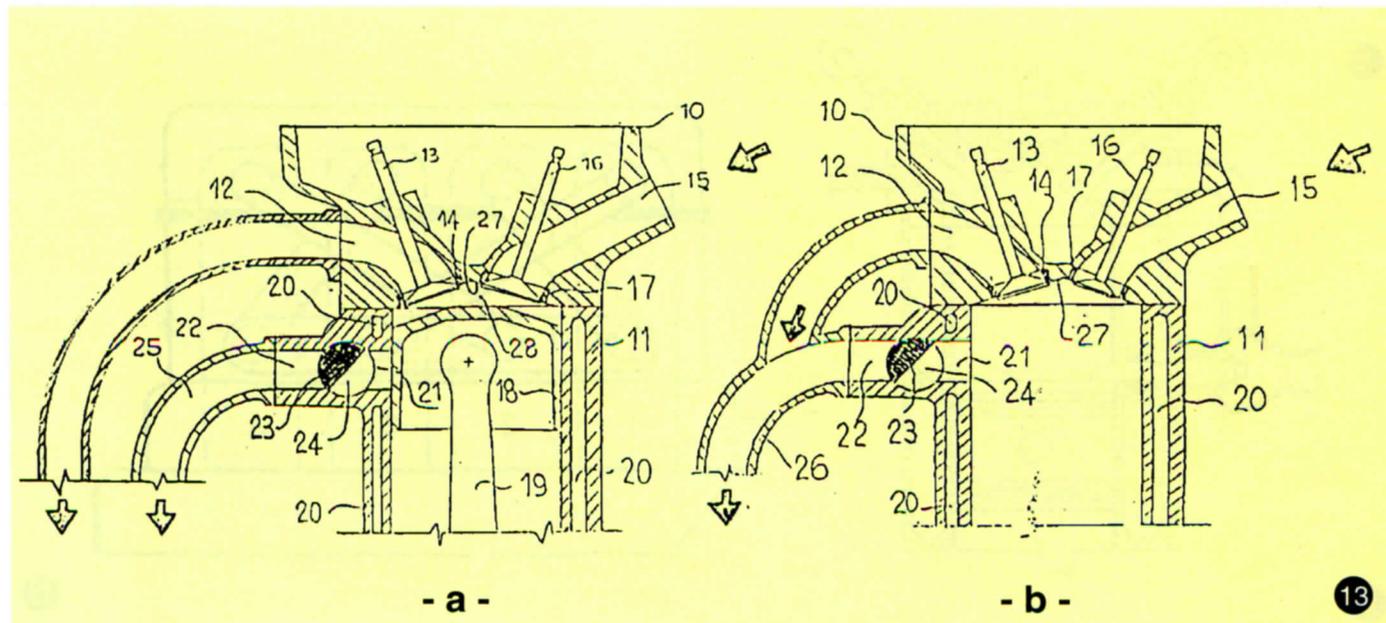
11

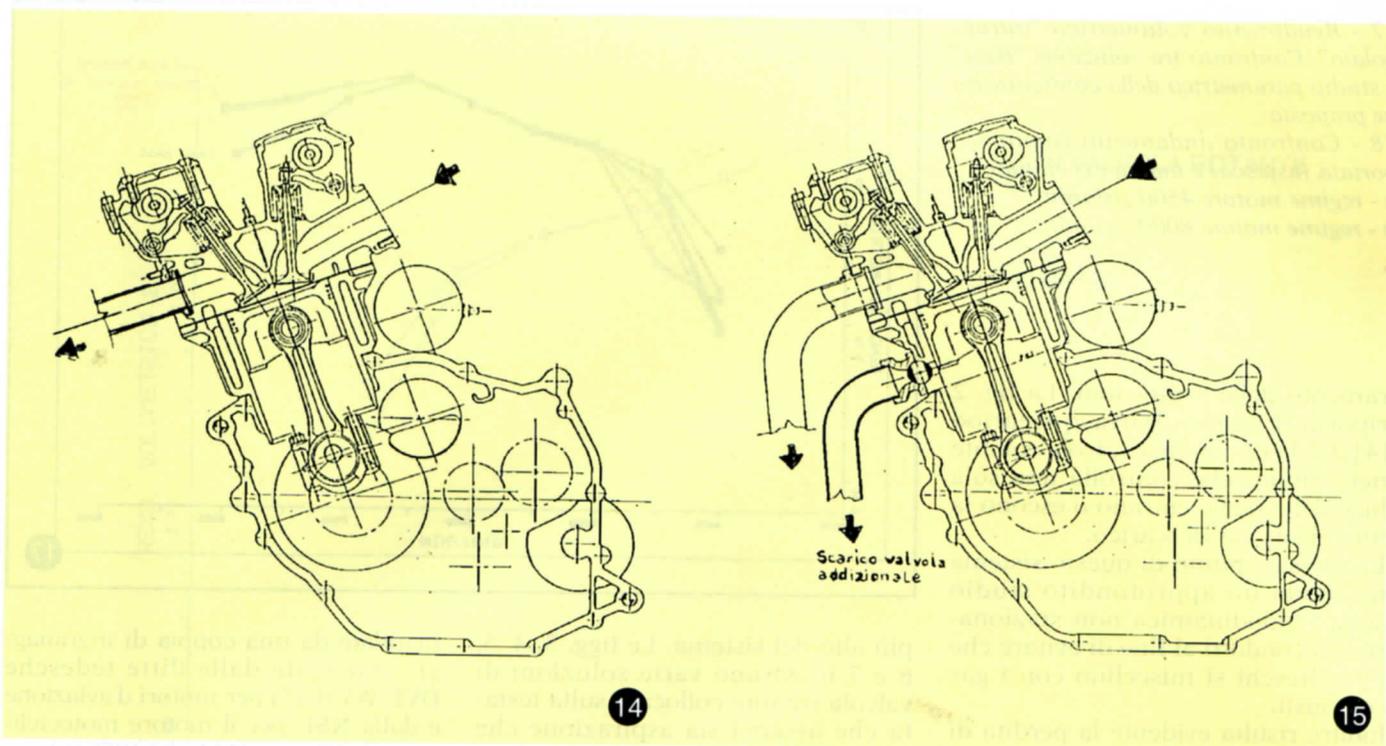


12 - Valvola rotante Piaggio (1975) per motore 2T di 220 cm³.
 13 - Applicazione di una valvola rotante sul motore 4T.

Tale dispositivo aiuta a cogliere il duplice beneficio di un miglioramento della permeabilità del sistema, specialmente ad elevate velocità di rotazione e di una riduzione del carico termico sulla testata. Il miglioramento del rendimento volumetrico è ottenibile sia attraverso un anticipato svuotamento del cilin-

dro (fenomeno del blow-down caratteristico del motore a 2T) sia con l'adozione conseguente di valvole di scarico più piccole, atte ad ottenere una maggiore PME a basse velocità di rotazione del motore, eventualmente con la valvola ausiliaria inattiva. L'adozione della valvola rotante ap-





pare assai naturale in quanto consente di ottenere:

- maggiore sezione di passaggio;
- facilità di comando;
- bassa tendenza alle incrostazioni.

Questo tipo di valvola non è d'altra parte nuovo nelle applicazioni motoristiche, pertanto riteniamo utile fare una panoramica sulle principali realizzazioni nelle quali è stata impiegata più o meno efficacemente.

In fig. 1 è rappresentato un motore a distribuzione mista [3] in cui oltre alle classiche valvole a fungo sulla testata sono presenti alcune luci supplementari nel cilindro regolate dallo stantuffo, che assume la funzione di distributore, e da valvole rotanti che stabiliscono, in conformità con il ciclo, una sezione supplementare di passaggio ai fluidi di ricambio, con conseguente miglio-

14 - Motore Gilera RC600 (98 x 74 mm - 46 CV a 7000 giri/min) montato anche sulla moto Northwest.

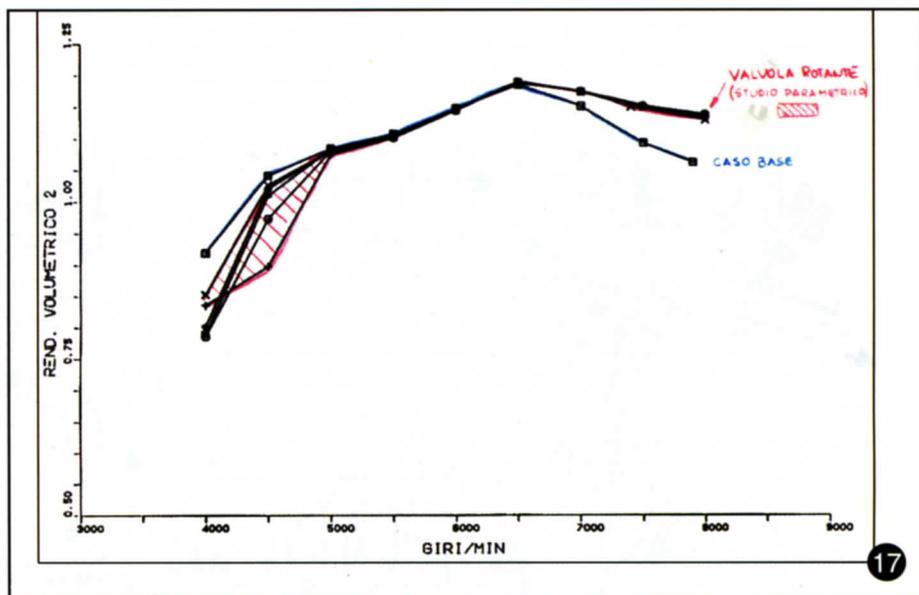
15 - Motore Gilera RC600 con la luce ausiliare di scarico regolata da una valvola rotante.

16 - Tabella riassuntiva dei casi Benson relativa al motore Gilera RC600.

ALLESTIMENTO	DESCRIZIONE
BASE	motore Gilera RC600 di serie
G000	motore RC600 di serie + luce di scarico 13 mm x 50 mm con bordo inferiore a d=3 mm dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 500 mm.
G001	motore RC 600 di serie + luce di scarico 13 mm x 50 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 500 mm.
G002	motore RC600 di serie + luce di scarico 13 mm x 40 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 5000 mm.
G003	motore Gilera RG600 di serie + luce di scarico 13 x 50 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 600 mm.
G004	motore RC600 di serie + luce di scarico 13 mm x 50 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 400 mm.
G005	motore RC600 di serie + luce di scarico 13 mm x 40 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 700 mm.
G006	motore RC600 di serie + luce di scarico 17 mm x 50 mm con bordo inferiore a d=0 dal PMI - Lungh. tubo di scarico della luce 700 mm.

17 - Rendimento volumetrico "intrapolato". Confronto tra soluzione "Base" e studio parametrico della configurazione proposta.

18 - Confronto andamento istantaneo portata (asp/sca) e massa nel cilindro:
 a - regime motore 4500 giri/min;
 b - regime motore 8000 giri/min;



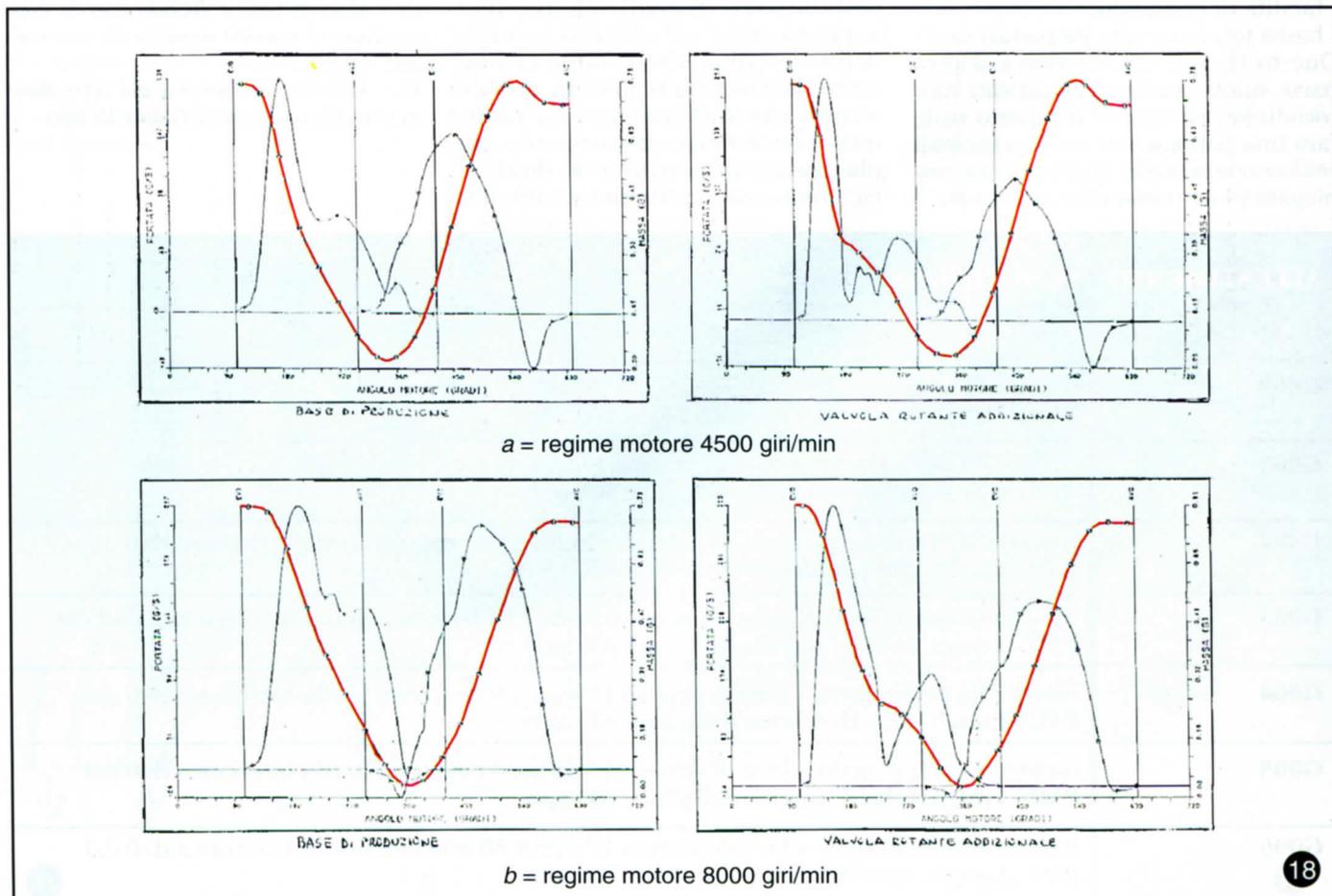
ramento delle prestazioni. La fig. 2 riporta il motore Darracq-Henriod [4] del 1912 con una valvola rotante nel cilindro che controlla una sola luce dalla quale entrano o escono la miscela e i gas di scarico.

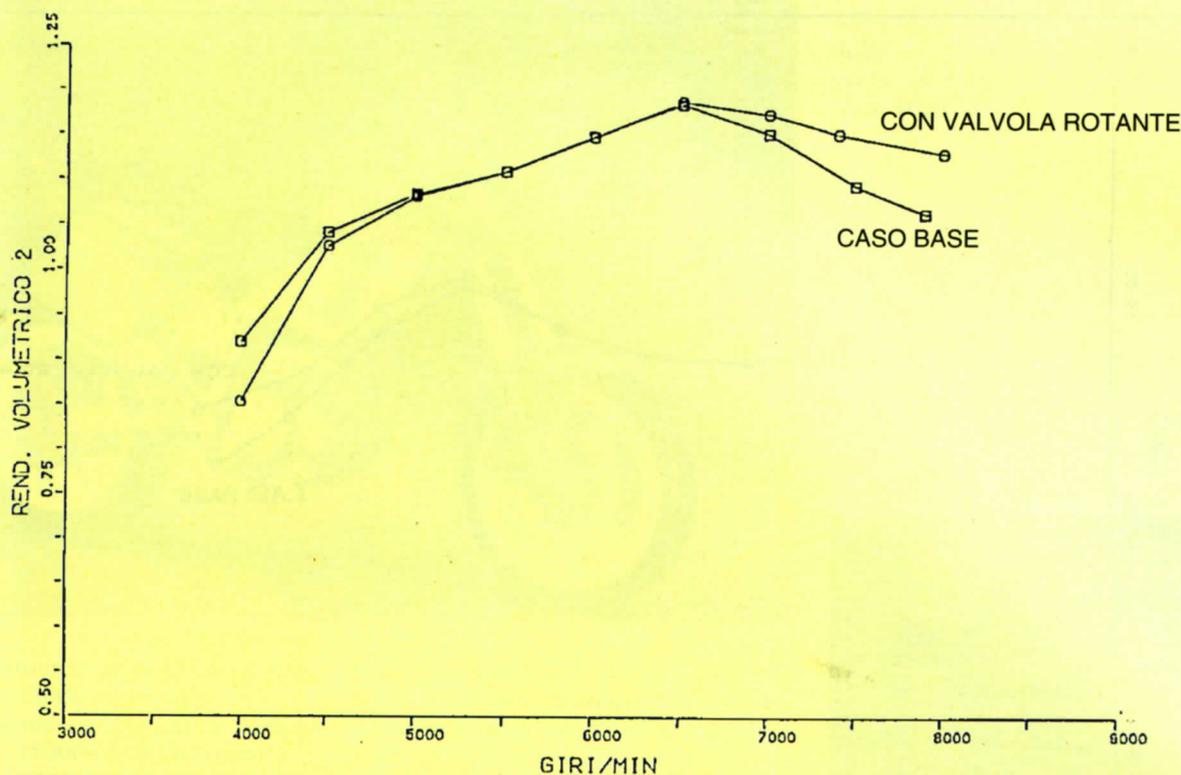
La messa a punto di questo sistema necessita un approfondito studio sulla fluidodinamica non stazionaria nei condotti al fine di evitare che i gas freschi si miscelino con i gas combusti.

Inoltre risulta evidente la perdita di lavoro utile nella fase di scarico per la compressione dei gas combusti rimasti nel cilindro in quanto la luce di scarico non si trova nel punto

più alto del sistema. Le figg. 3, 4, 5, 6 e 7 mostrano varie soluzioni di valvola rotante collocata sulla testata che asserva sia aspirazione che scarico. Le più note sono le applicazioni delle ditte Cross e Baer [5]. Le figg. 8 e 9 riportano le soluzioni con valvola rotante discoidale, co-

mandate da una coppia di ingranaggi, realizzate dalle ditte tedesche DVL-WVW [5] per motori d'aviazione e dalla NSU per il motore motociclistico di 250 cm³ MAX del 1955 [6]. Le soluzioni delle figg. 10 e 11 riguardano i motori Violet del 1927 [7] e quello della "Société des con-





19

structions mecaniques Chenard et Walcker" del 1956 [8].

Queste due ultime soluzioni sono molto simili meccanicamente a quella oggetto della presente ricerca ma sostanzialmente diverse nel loro concetto.

La prima si prefigge di mantenere costante il rapporto di compressione in tutte le condizioni di marcia; la seconda, adatta per motori con un minimo di quattro cilindri, lavora in modo abbastanza simile a quello dei sistemi di scarico detti 2 in 1 o ai sistemi "pulse converter" creati per migliorare l'alimentazione nei turbo-compressori.

Infine la fig. 12 mostra la realizzazione Piaggio del 1975 montata su di un motore a due tempi di 220 cm³. Le prove al banco dimostrarono una buona affidabilità meccanica e del sistema a labirinto per la tenuta dei gas di scarico.

DESCRIZIONE DELL'APPLICAZIONE

Il sistema proposto [9] e analizzato nelle sue prerogative essenziali nel precedente paragrafo è stato applicato ad un motore 4T monocilindrico di elevate prestazioni che ben si presta alle modifiche richieste. La

modifica consiste essenzialmente nell'aggiunta, alle classiche valvole di scarico a fungo presenti sulla testata, di una valvola rotante che controlla una luce di scarico ricavata alla base del cilindro, come in un motore a 2T, cioè scoperta dal pistone in prossimità del suo PMI. L'apertura di tale valvola rotante (comandata meccanicamente, gira con velocità pari a 1/2 o 1/4 del regime di rotazione del motore) è regolata secondo una legge di fasatura predeterminata con controllo tramite centralina ECU.

Nelle figg. 13a e 13b sono proposte due soluzioni di tubazione di scarico. La prima prevede scarichi separati mentre la seconda propone due scarichi in uno; prove al banco e/o simulazioni matematiche possono determinare quale soluzione adottare in ogni singolo caso.

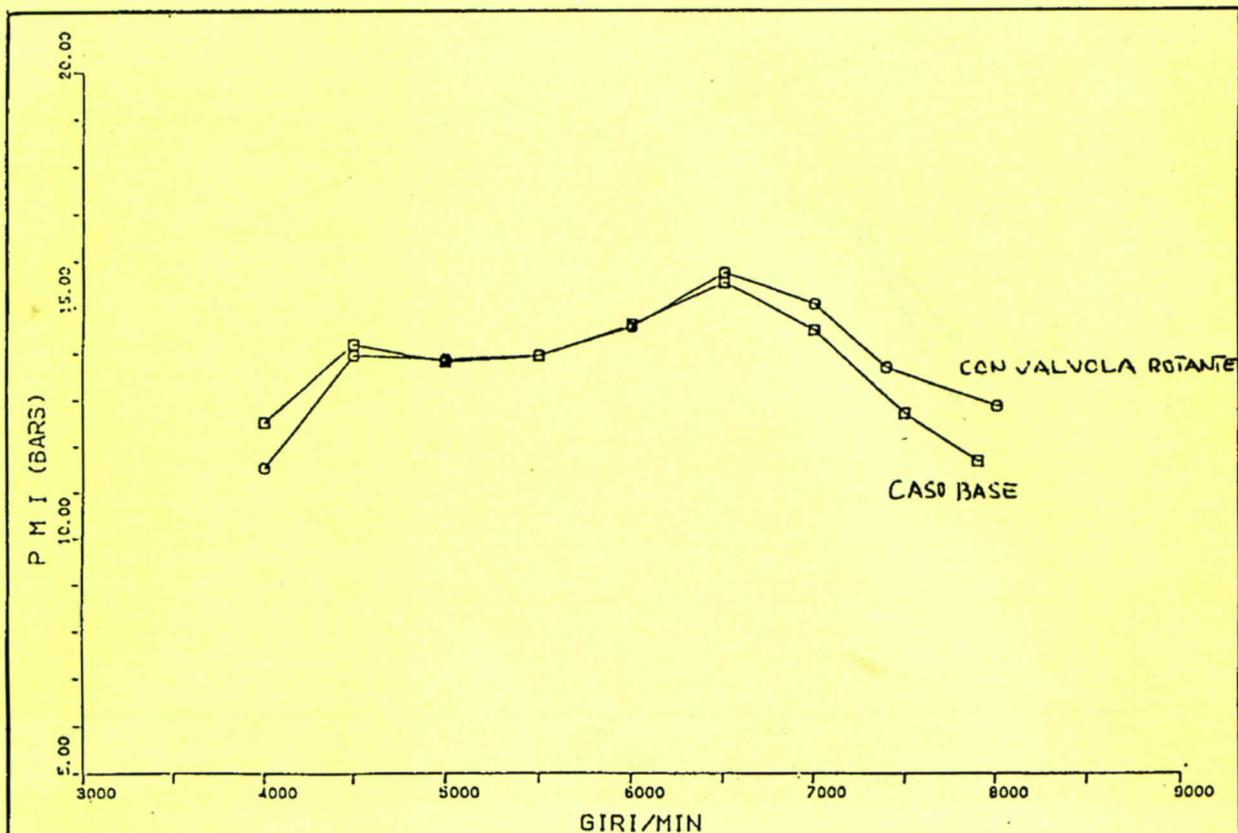
Oltre ai vantaggi offerti in termini di rendimento volumetrico, il sistema riduce sensibilmente il carico termico della testata (minor quantità di gas combusti in transito), particolarmente a vantaggio dei ponticelli fra le sedi valvole, e permette l'adozione di valvole di scarico monolitiche, meno costose delle bimetalliche. Tuttavia può compor-

19 - Confronto del rendimento volumetrico "intrappolato" tra soluzione ottimizzata della valvola rotante e caso "Base".

tare, come sui motori a due tempi, dei problemi termici sul cilindro in corrispondenza della luce di scarico, che devono essere risolti con un adeguato studio del circuito di raffreddamento.

APPLICAZIONE AL MOTORE GILERA RC 600

Il motore Gilera RC 600 (fig. 14) si presta per la sua semplice conformazione ad essere modificato al fine di accogliere il sistema proposto. Il cilindro, in lega leggera a canna integrale con riporto galvanico a base di Ni-Si, è stato modificato sul lato dello scarico nella parte bassa per



20 - Confronto del PMI tra soluzione ottimizzata della valvola rotante e caso "Base".

Un altro intervento, richiesto dal sistema proposto, interessa il pistone; infatti si dovranno adottare, come sui motori a 2T, dei grani per posizionare i segmenti in modo che il taglio non coincida con la luce nel cilindro.

VALUTAZIONE E CALCOLO DELLE PRESTAZIONI

Al fine di quantizzare l'influenza del sistema sulle prestazioni, è stata svolta un'estesa valutazione a calcolo, utilizzando un codice unidimensionale di simulazione della fluidodinamica non-stazionaria nei condotti, basato sul metodo delle caratteristiche [10] ed opportunamente adattato per la trattazione del non convenzionale sistema in oggetto. Il calcolo è stato condotto sulla configurazione descritta in precedenza ed inoltre ripetuto per quella di produzione del motore in oggetto (caso "Base"), al fine di consentirne un confronto omogeneo.

La valutazione critica dei risultati è stata condotta analizzando, tra i numerosi outputs forniti dal codice di calcolo, gli andamenti istantanei di pressione e portata all'aspirazione e

allo scarico, in funzione dell'angolo di manovella ed i valori di rendimento volumetrico e PMI, integrati sull'intero ciclo termodinamico.

Lo studio parametrico è stato eseguito (come riepilogato nella tabella di fig. 16) in curva di coppia sull'intero campo di regimi del motore, variando i seguenti dati geometrici:

- configurazione della luce di scarico (altezza, lunghezza della corda e posizionamento assiale nel cilindro);
 - lunghezza del condotto di collegamento tra luce e tubazione di scarico.
- Per quanto riguarda i dati geometrici della parte "convenzionale" del motore (i. e. dimensione e fasatura delle valvole a fungo, profilo camme, etc.) sono stati mantenuti quelli del caso "Base", con l'unica variante nel tratto finale del tubo di scarico per tener conto della presenza del collegamento alla luce ausiliaria.

L'esame dell'andamento del rendimento volumetrico, in particolare quello della "massa intrappolata" (fig. 17), della configurazione proposta evidenzia chiaramente, rispetto al caso "Base" e per tutti i casi parametrizzati, i seguenti effetti sulle prestazioni del motore:

ottenere una luce di scarico ausiliaria e la sede cilindrica della valvola. La valvola per motivi di facilità di accoppiamento e di praticità nell'esecuzione delle prove è stata pensata in acciaio inossidabile ma, in successive applicazioni, potrà essere realizzata più economicamente in ghisa o, in applicazioni speciali, addirittura in ceramica. La tenuta dei gas combusti è assicurata da una serie di labirinti radiali (questa soluzione è già stata sperimentata con buoni risultati su un motore Piaggio monocilindrico a 2T di 220 cm³, nel 1975, v. fig. 12).

Il comando della valvola è ottenuto con una trasmissione a cinghia dentata, il regime previsto è 1/4 di quello dell'albero motore.



21 - Il motore Gilera bialbero sul quale sono state condotte le sperimentazioni della soluzione descritta nell'articolo, viene impiegato anche sul modello Nord West.

- moderatamente penalizzate a basso regime (<5000 giri/min);
- praticamente equivalenti a regime intermedio (5000-6500 giri/min);
- sensibilmente migliorate ad alto regime (>6500 giri/min).

In particolare con la luce addizionale allo scarico ne viene ampliato il campo con elevato rendimento volumetrico e, quindi, risultano incrementati il regime ed il corrispondente valore di potenza massima: è quindi presumibile un netto miglioramento della capacità d'allungo del motore.

Dall'esame dell'andamento "istantaneo" di pressione e/o portate all'aspirazione (fig. 18a e 18b) rispettivamente a 4500 e 8000 giri/min per le configurazioni "Base" e quella proposta, è evidente come la luce addizionale allo scarico generi condizioni più favorevoli all'ingresso della carica fresca ad alto regime, che non a regimi bassi.

Lo studio parametrico ha invece evidenziato due caratteristiche estremamente rilevanti della configurazione proposta (fig. 17):

- a regimi elevati la limitata sensibilità alle variazioni geometriche sopracitate. Il miglioramento del rendimento volumetrico è quindi soprattutto dovuto alle maggiori aree isentropiche di scarico a disposizione;
- a basso regime, invece, la penalizzazione delle prestazioni si riduce con l'allungamento del tratto di collegamento tra luce e tubo di scarico; un suo opportuno dimensionamento

(lunghezza, diametro o tipologia della giunzione) può quindi limitare gli aspetti negativi prodotti da questa configurazione.

In alternativa può comunque essere adottato un semplice dispositivo (di tipo on/off, eventualmente a controllo elettronico) per l'arresto, in posizione "chiusa", della valvola rotante di controllo della luce di scarico.

CONCLUSIONI

Il sistema proposto, oltre all'innegabile fascino che può ingenerare negli appassionati di motorismo la sua originalità, risulta di pratico ed elevato interesse per le applicazioni su motori di elevati regimi di rotazione e potenza specifica, tipici delle applicazioni motociclistiche di alta gamma e sportive. La sua implementazione su motori di produzione, quali il Gilera RC 600 oggetto del presente studio, non risulta particolarmente complessa: è attualmente prevista una valutazione sperimentale al fine di meglio quantizzare gli effetti prestazionali ed ottimizzarne gli aspetti funzionali ed affidabilistici. ■

* Direzione Ricerca e Sviluppo Piaggio V.E. SpA.

** All'epoca dello studio, responsabile motori del CRF (Orbassano) Torino, attualmente responsabile direzione motori di Elasis (Pomigliano) Napoli.

Bibliografia

- [1] Kazuo Aoi, Kazuhiko Nomura, Hiroshi Matsuzaka, "Optimization of multi-valves, Four Cycle Engine Design - Te benefit of Five-Valve Technology" in SAE Technical Paper Series n° 860032, Yamaha Motor Co., Ltd;
- [2] Kiyotaka Yamabe, Hideaki Ueda, "Exhaust Control System for motorcycle 4-Stroke Engines", in SAE Technical Paper Series n° 8880269, Yamaha Motor Co., Ltd;
- [3] Alberto Beccari, Carmelo Caputo, "Motori termici volumetrici", Torino, UTET;
- [4] Bernard Derreumaux, "Moteurs à essence", tomo II, Paris-Boulogne-Billancourt, E.T.A.I.;
- [5] W. D. Bensinger, "Die steuerung das gaswechsels in schnelllaufenden Verbrennungsmotoren", Springer Verlag;
- [6] W. Froede "Aussichten der Drehschiebersteuerung fur Kraftfahrzeugmotoren", in ATZ n° 6-7/1955, NSU-Neckarsulm;
- [7] G. Piantanida, "Scarico a fondo corsa e il problema dei motori a combustione costante", in Motociclismo, marzo 1927;
- [8] Brevetto di invenzione n° 1.179.369-1956, "Moteur thermique, en particulier pour vehicule", Société des constructions mécaniques Chenard et Walcker;
- [9] Brevetto di invenzione n° 19920A90, "Motore a combustione interna 2 e 4T", Bossù Gianfranco;
- [10] R. Benson-Whitehouse, "Internal Combustion Engines".