

LA LEGGE DEL MOTO NELLA CATENA CINEMATICA DELLA DISTRIBUZIONE

MOLLE O DESMO?

TEORIA

Questo articolo costituisce il prosieguo naturale di quello che, a firma dello stesso autore, è apparso nel numero precedente sempre a riguardo delle leggi di moto che governano la catena cinematica dei vari sistemi di distribuzione. Il metodo desmodromico, con l'eliminazione delle molle ed il ricorso a sistemi di richiamo positivo della valvola in sede, eliminando il jump della valvola a fine fase di apertura, consente il ricorso a profili di camma molto spinti, ma è necessario operare con giochi, fra valvola e bilanciere di richiamo, molto stretti e non sempre compatibili con la produzione di serie. Uno studio interessantissimo, suffragato da accurate simulazioni al computer, che dice una parola definitiva circa i vantaggi e gli svantaggi rispettivi dei due sistemi.

di Giuseppe Bocchi

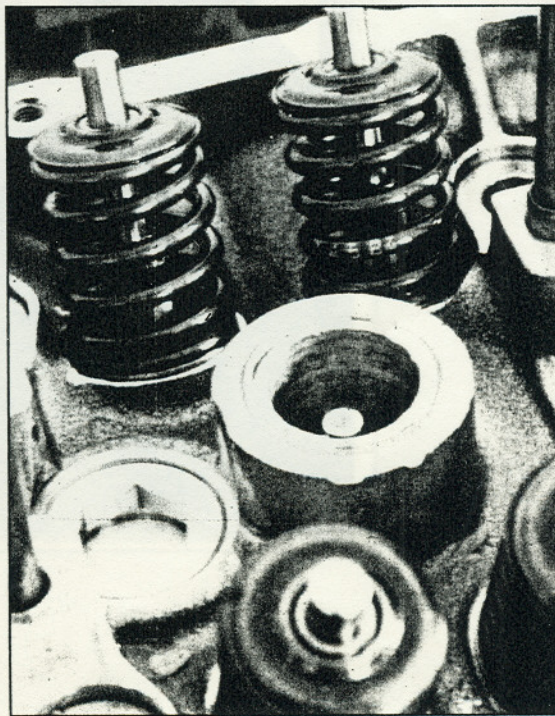
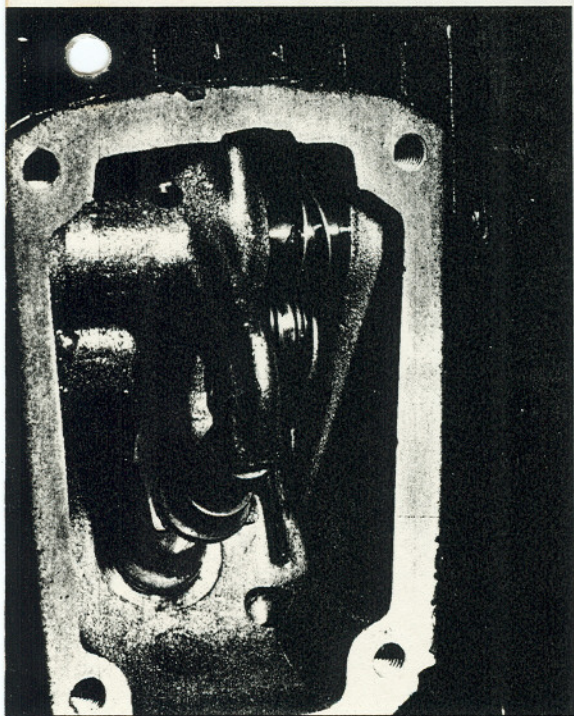
Desmo o non desmo?

Per risolvere il dilemma ci siamo spogliati di qualsiasi preconetto e ci siamo calati nei segreti della meccanica raffinata, affidandoci ad un consigliere senza passioni: il computer. Come a tutti noto, gli organi rotanti che comandano il moto delle valvole sono gli eccentrici (o camme). Nei sistemi di comando della distribuzione di tipo

classico, gli eccentrici comandano la sola fase di apertura delle valvole, mentre la chiusura è affidata ad una molla di richiamo (semplice o doppia) che viene compressa durante l'apertura e torna ad estendersi durante la chiusura in modo da garantire, attraverso il cinematismo interposto, un costante collegamento tra valvola ed eccentrico.

La catena cinematica attraverso la quale il moto definito dall'eccentrico viene comunicato alla valvola di aspirazione o scarico può essere realizzato in vari modi, di cui i più comuni sono schematizzati in fig. 1. L'organo a diretto contatto con l'eccentrico è detto *cedente* e può avere moto rettilineo oppure rotatorio. Nel primo caso esso prende il nome di *punteria*, nel

secondo di *bilanciere*. I bilancieri sono costituiti da una leva, generalmente infulcrata in un punto intermedio, la cui superficie coniugata con l'eccentrico è quasi sempre convessa. Non mancano tuttavia esempi in cui la leva viene fatta oscillare attorno ad un suo estremo ed in tal caso il bilanciere viene chiamato «a dito» (fig. 2). In fig. 3 è rappresentato il profilo di un eccentrico. Il tratto B-C viene chiamato *rampa di raccordo* ed ha la funzione di riprendere gradualmente il gioco iniziale g_0 esistente tra l'eccentrico ed il cedente (necessario per compensare le dilatazioni termiche) e di precomprimere gradualmente il sistema di comando della distribuzione, prima che inizi l'apertura effettiva della valvola. Il tratto C-D, detto *fianco dell'eccentrico*, è quello che determina la legge di alzata vera e propria della valvola. Il tratto D-E forma (con E-D') la *testa dell'eccentrico*. Sulla sommità dell'eccentrico (punto E) lo spostamento del cedente risulta massimo mentre la sua velocità si annulla.



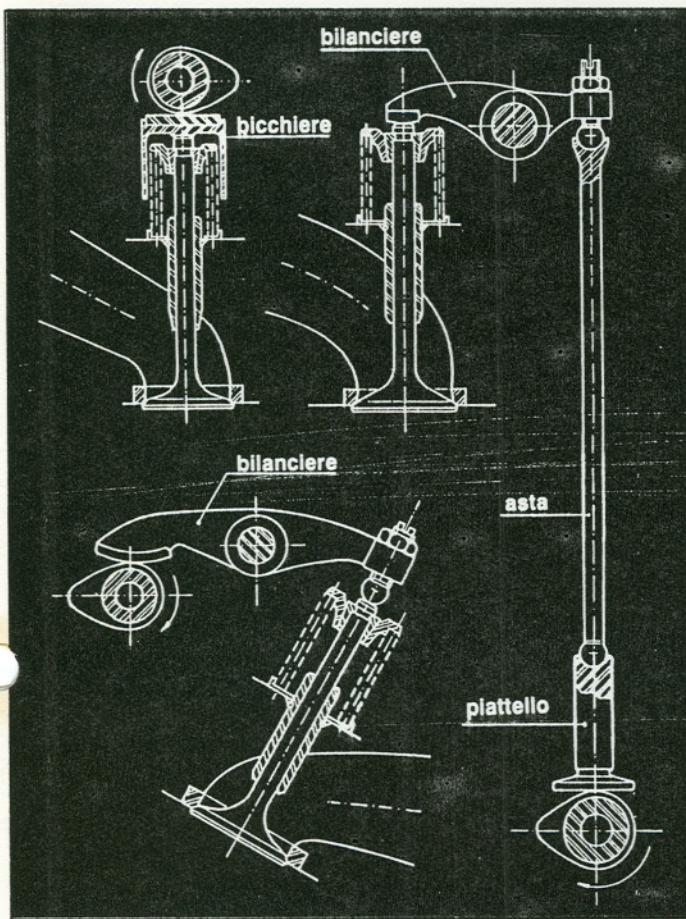


Fig. 1 - Sistemi di comando della distribuzione di tipo classico

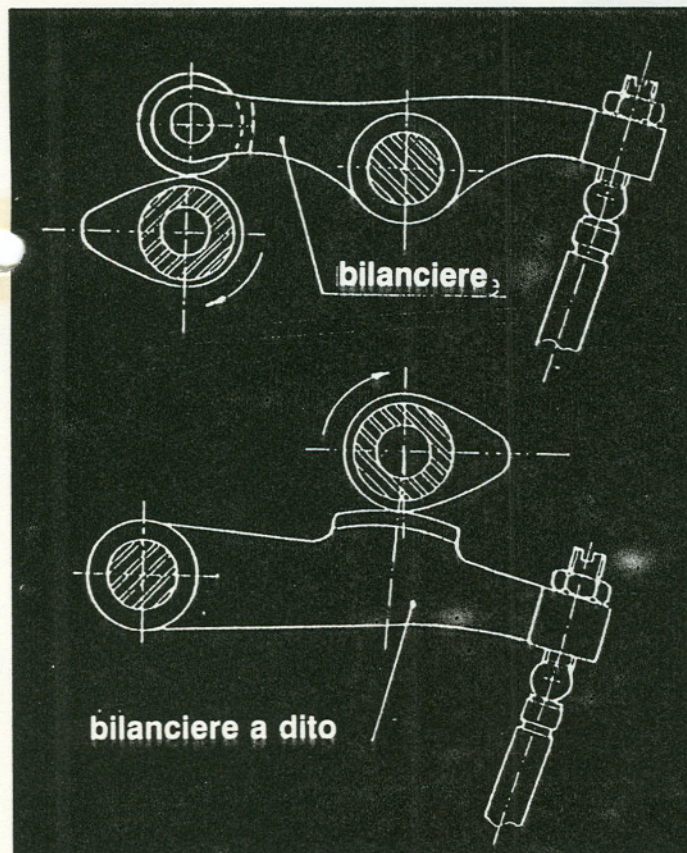


Fig. 2 - Bilancieri

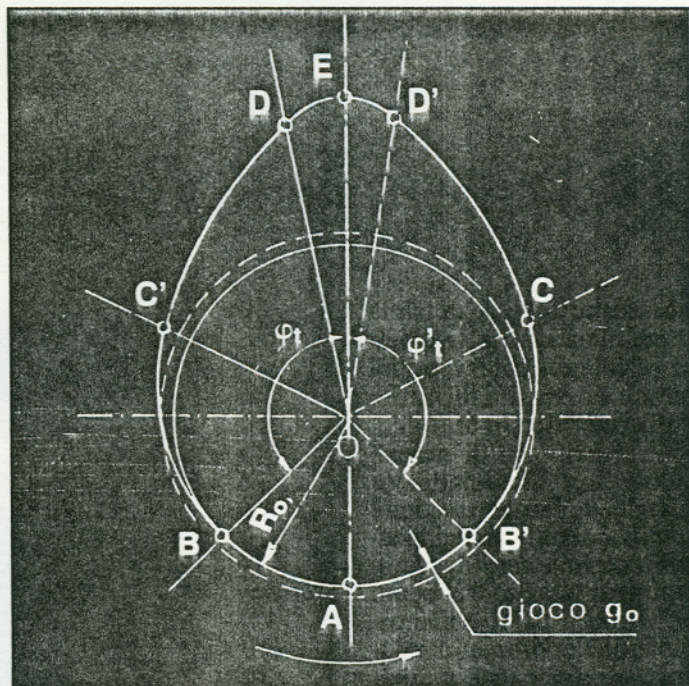


Fig. 3 - Zone del profilo di un eccentrico

La parte E-D'-C'-B' rappresenta il fianco di chiusura dell'eccentrico. La rampa di chiusura C'-B' ha il compito di ridurre la velocità di chiusura della valvola prima che essa appoggi contro la sua sede e di smorzare le vibrazioni del sistema che sarebbero altrimenti causa di prematuro logorio della sede di appoggio e fonte di rumore. Lungo il tratto circolare B'-A-B, facente parte del cerchio base di raggio R_0 , la valvola rimane chiusa.

Dopo questa breve premessa sui sistemi di tipo classico, veniamo alla distribuzione desmodromica.

Il suo principio di funzionamento è rappresentato in fig. 4.

Ovviamente, non si tratta di uno schema funzionale, ma solo illustrativo. Le realizzazioni che sono state effettuate in pratica sono assai più sofisticate, ma il concetto rimane il medesimo.

Si nota immediatamente che non è più presente la molla di richiamo della valvola, mentre il bilanciere porta due pattini su cui agiscono due eccentrici tra loro coniugati.

L'apertura e la chiusura

della valvola avvengono pertanto in modo analogo: l'eccentrico 1, agente sul pattino A, comanda l'apertura, mentre l'eccentrico 2, che agisce sul pattino B, comanda la chiusura.

Oggi, mediante il computer, i due profili coniugati possono essere ottenuti con facilità. Una volta stabilito il profilo che deve avere l'eccentrico di apertura, imponendo leggi inverse si ricava quello di chiusura (fig. 5).

Il principio del desmo è indubbiamente allettante: in fase di apertura della valvola non si deve più vincere il carico della molla di richiamo che, nei sistemi tradizionali, esercita la sua funzione utile solo in fase di chiusura. Inoltre, scompare il pericolo dello «sfallamento», quel dannoso fenomeno che si manifesta agli alti regimi quando la forza esercitata dalla molla di richiamo non è più sufficiente a mantenere il contatto tra l'eccentrico ed il cedente.

Ma proseguiamo la nostra indagine.

A causa della inevitabile elasticità degli organi che compongono il meccanismo di comando della distribuzione, esiste sempre

una certa differenza tra la legge di moto effettiva della valvola e quella teoricamente imposta dal profilo dell'eccentrico.

Specie nel caso di motori veloci con sistemi di comando della distribuzione relativamente elastici, possono così nascere dei moti vibratorii tali da provocare notevoli disturbi quali rumorosità o prematuro logorio di organi meccanici. Per studiare il comportamento dinamico del sistema, occorre definire un modello matematico ad esso equivalente che ne riproduca, al computer, le caratteristiche elastiche ed inerziali.

Per i sistemi tradizionali, dove è presente la molla di richiamo della valvola, il modello matematico equivalente è quello rappresentato in fig. 6, con i seguenti significati dei simboli:

h = valore istantaneo dell'alzata fornita dal profilo dell'eccentrico

k = rigidità del sistema di comando

m = massa dell'equipaggio mobile

y = alzata effettiva della valvola

k_m = rigidità della molla di richiamo della valvola

c = coefficiente di smorzamento del sistema

Per un sistema desmodromico, il modello matematico è invece rappresentato in fig. 7. L'eccentrico 1 è quello di apertura, l'eccentrico 2 quello di chiusura. Non è più presente la molla di richiamo k_m mentre k_1 e k_2 rappresentano le rigidità del sistema di comando (a doppio bilanciere) in apertura e chiusura. Utilizzando i modelli matematici illustrati, mediante procedimenti di integrazione numerica si può ricavare il moto effettivo della

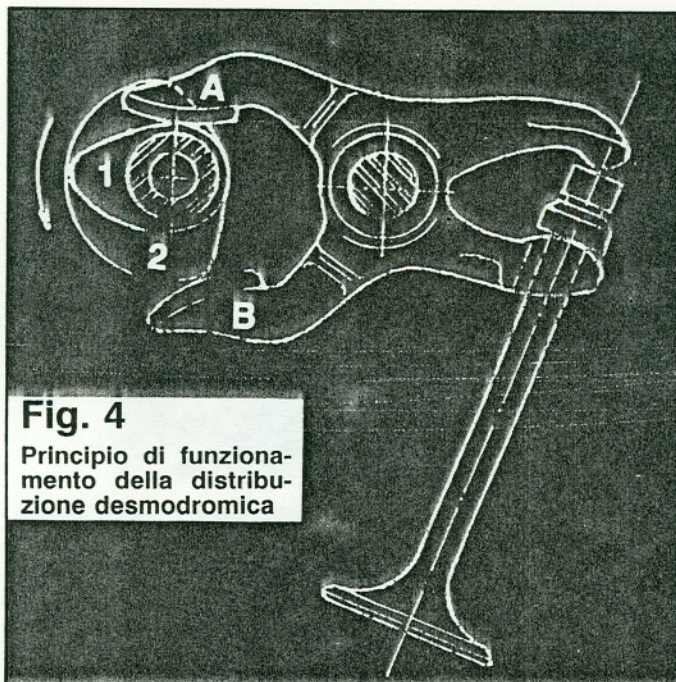


Fig. 4
Principio di funzionamento della distribuzione desmodromica

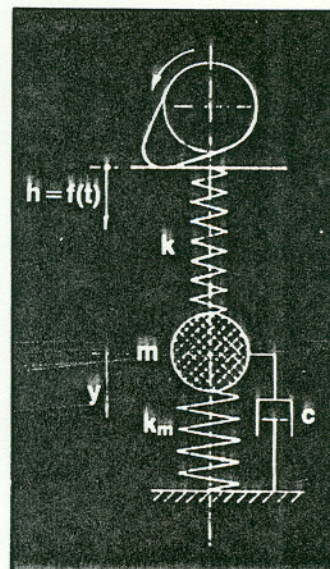


Fig. 6
Modello matematico per un sistema di tipo classico

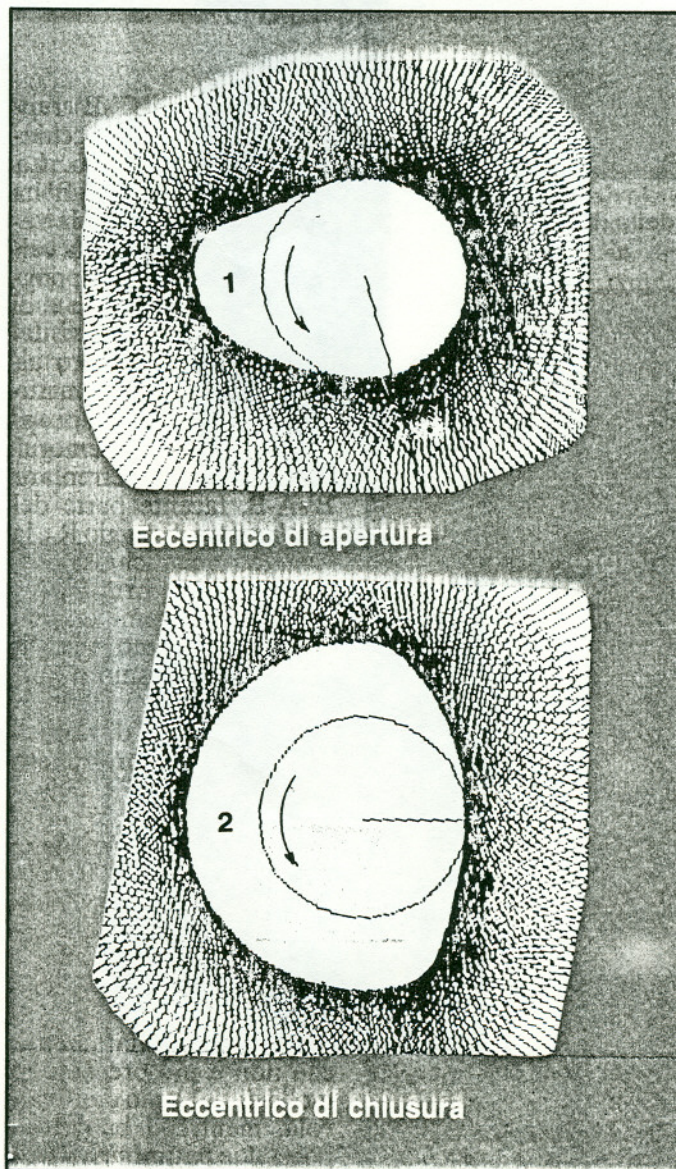


Fig. 5 - Eccentrici coniugati di apertura e chiusura valvola

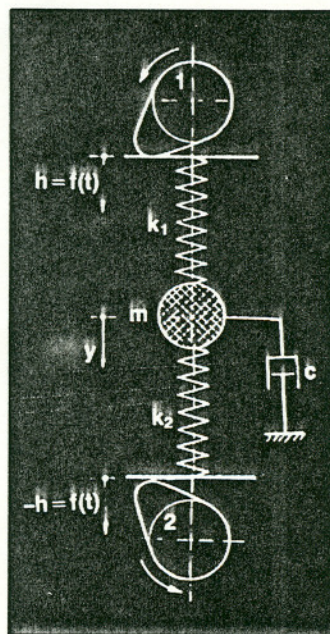


Fig. 7
Modello matematico per un sistema desmodromico

valvola per una determinata legge di moto imposta dal profilo dell'eccentrico. Illustriamo quanto esposto con alcuni esempi.

Supponiamo che l'eccentrico fornisca alla valvola un'alzata massima di 9,5 mm.

Con riferimento alla fig. 3, le alzate di fine rampa in apertura (tratto B-C) ed in chiusura (tratto C'-B') siano di 0,25 mm, per un'ampiezza angolare di 24°.

Il fianco di apertura oltre rampa (tratto C-E) e quello di chiusura (tratto E-C') abbiano un'ampiezza angolare di 75° ciascuno.

I diagrammi teorici delle alzate e delle accelerazioni della valvola oltre rampa siano quelli rappresentati in fig. 8.

Consideriamo dapprima lo schema tradizionale (modello matematico di fig. 6). Ipotizziamo un sistema di comando a bilanciere ed assumiamo i seguenti valori medi dei parametri:

$$k = 20.000 \text{ N/mm}$$

$$k_m = 55 \text{ N/mm}$$

$$F_0 = 260 \text{ N (precarico molla valvola)}$$

$$m = 0,1 \text{ kg}$$

$$c = 0,1 \text{ N.sec/mm}$$

gioco iniziale (sulla valvola): 0,2 mm

Il regime di rotazione del motore sia:

$$n = 9.000 \text{ giri/1'}$$

I risultati forniti dal computer sono rappresentati in fig. 9, dove sono riportate le curve dell'alzata effettiva della valvola (y) e dell'accelerazione effettiva (a_e).

Come risulta chiaramente osservando il diagramma delle accelerazioni, inizialmente l'alzata effettiva è inferiore a quella teorica a causa della compressione subita dal sistema di comando per effetto della accelerazione iniziale. Successivamente il moto della val-

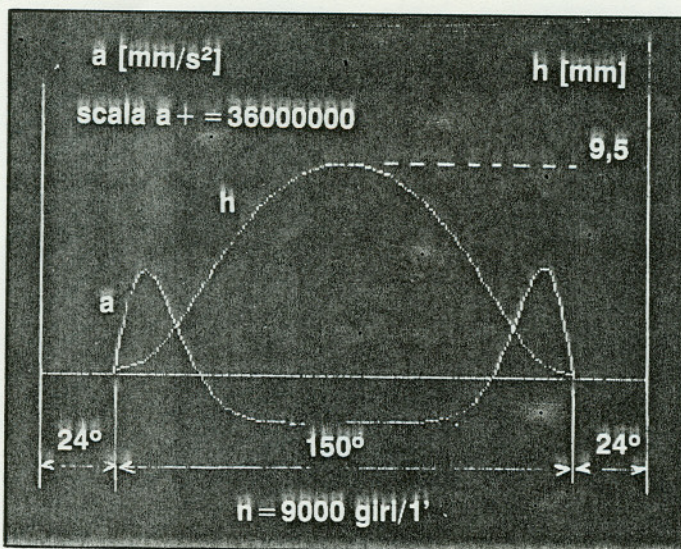


Fig. 8 - Diagrammi teorici delle alzate e delle accelerazioni della valvola

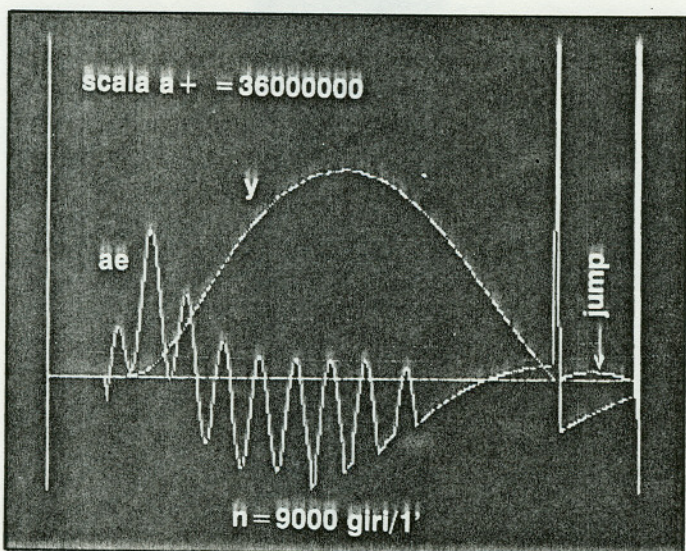


Fig. 9 - Diagrammi alzate ed accelerazioni effettive della valvola (sistema con molla)

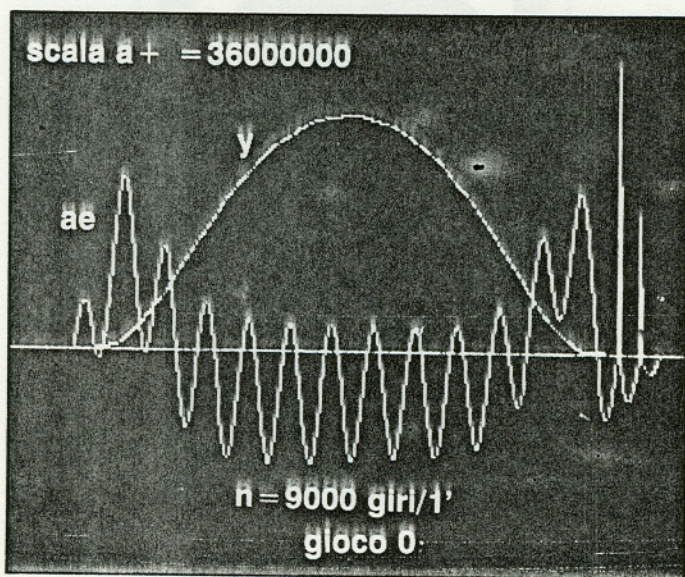


Fig. 10 - Diagramma alzate ed accelerazioni effettive della valvola (sistema desmo, gioco 0)

vola prosegue con andamento oscillatorio, dovuto all'elasticità del sistema che vibra secondo la sua naturale frequenza. Infine, in fase di chiusura, il moto della valvola si discosta nettamente dalla legge imposta: l'alzata diviene superiore al valore teorico per cui il contatto con l'eccentrico risulta interrotto. La chiusura della valvola avviene con urto contro la sede e successivo rimbalzo. Ciò deve essere con ogni mezzo evitato in quanto provoca il prematuro logorio di tali organi ed è fonte di rumore.

Per evitare il rimbalzo finale (*jump*) è necessario variare il profilo dell'eccentrico e scegliere accuratamente le caratteristiche della molla di richiamo, operando per successive approssimazioni mediante verifiche al computer.

Mantenendo invariati la legge di moto teorica della valvola ed il regime di rotazione del motore, passiamo ora al comando desmodromico (fig. 4).

Con riferimento al modello matematico di fig. 7, assumiamo:

$$k_1 = 20.000 \text{ N/mm}$$

$$k_2 = 20.000 \text{ N/mm}$$

$$m = 0,1 \text{ kg}$$

$$c = 0,1 \text{ N.sec/mm}$$

gioco di accoppiamento tra equipaggio valvola e bilanciere: 0

I risultati ottenuti sono riportati in fig. 10 ed appaiono eccellenti. È praticamente scomparso il jump finale, poiché la doppia positività del meccanismo di comando rende la fase di chiusura simile a quella di apertura.

Rispetto alla soluzione tradizionale con molla di richiamo, la distribuzione desmodromica consentirebbe, in teoria, di utilizzare leggi di moto assai più

esasperate, senza che si verifichi il distacco dell'equipaggio mobile dal profilo dell'eccentrico, con le sue dannose conseguenze. Ma occorre fare una precisazione.

I precedenti risultati sono stati ottenuti supponendo che il gioco di accoppiamento tra equipaggio valvola e bilanciere fosse nullo.

In realtà ciò non è possibile, poiché è sempre necessario prevedere un gioco di funzionamento, seppure minimo, tra le parti dotate di moto relativo, non fosse altro per compensare le inevitabili tolleranze di lavorazione e le dilatazioni termiche.

Vediamo allora cosa accade supponendo che il gioco esistente tra equipaggio valvola e bilanciere sia di 0,2 mm.

I risultati dell'indagine sono diagrammati in fig. 11. Osservando il diagramma delle accelerazioni si nota l'insorgere di un fenomeno vibratorio in chiusura e la ricomparsa del jump finale.

Supponiamo ora di aumentare il regime di rotazione del motore da 9.000 giri/1' a 11.000 giri/1'.

Il comportamento del sistema diviene quello illustrato in fig. 12, dove si nota un fenomeno vibratorio di rilevante entità.

Queste vibrazioni, che aumentano inesorabilmente con il regime di rotazione, provocano assorbimento di potenza e possono portare alla rottura per fatica degli organi che compongono il cinematismo di comando. Che fare allora?

Un mezzo molto efficace per migliorare il comportamento del sistema è ridurre il gioco esistente tra equipaggio valvola e for-

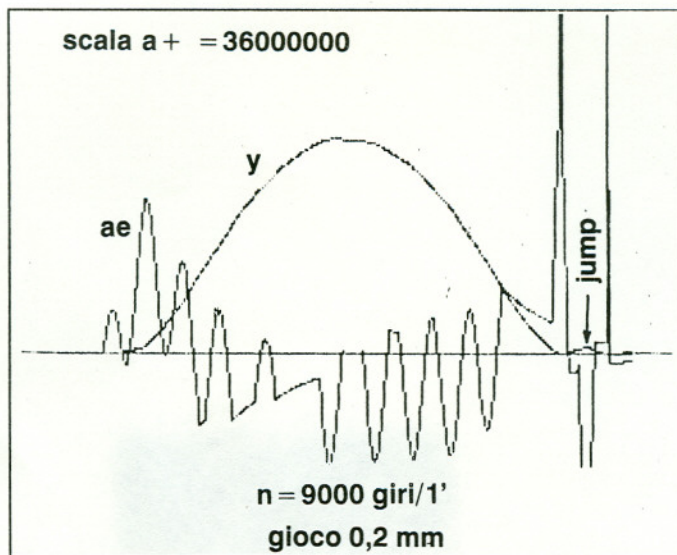


Fig. 11 - Diagramma alzate ed accelerazioni effettive della valvola (sistema desmo, gioco 0,2 mm)

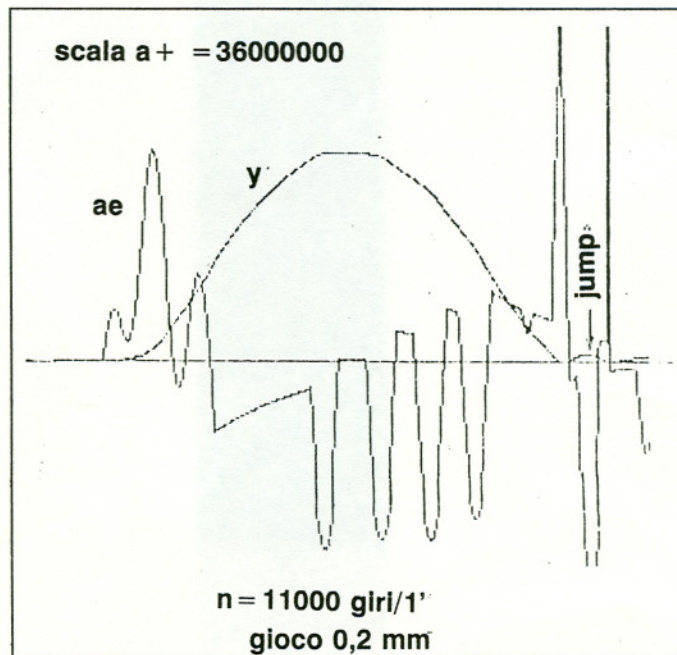


Fig. 12 - Diagramma alzate ed accelerazioni effettive della valvola (sistema desmo, 11.000 giri/1', gioco 0,2 mm)

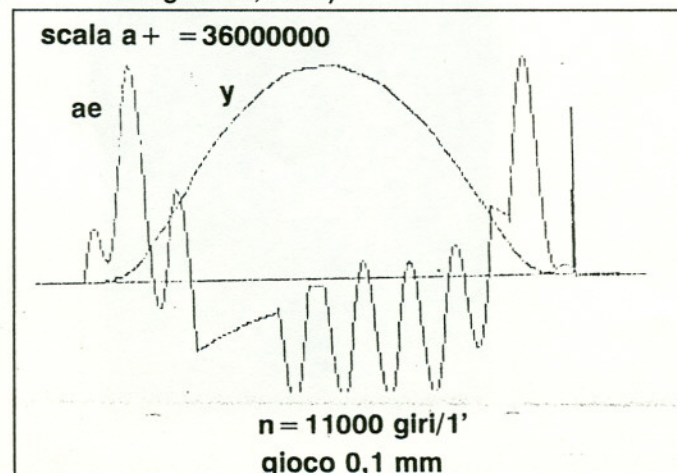


Fig. 13 - Diagramma alzate ed accelerazioni effettive della valvola (sistema desmo, 11.000 giri/1', gioco 0,1 mm)

cella del bilanciere. Ad esempio, riducendo tale gioco da 0,2 a 0,1 mm, si ottengono i risultati riportati in fig. 13.

Il comportamento del sistema torna brillante, ma il contenimento del gioco sotto determinati limiti risulta di difficoltosa realizzazione, oltre che per i motivi in precedenza accennati, anche perché implica accurate registrazioni. Sofisticata ed esigente, la distribuzione desmo manterrà le sue brillanti promesse solo a queste condizioni.

Naturalmente, attraverso appropriate indagini, è possibile migliorare il funzionamento del meccanismo assai più di quanto non sia stato fatto in questa sede, ma questa trattazione ha avuto solo scopo indicativo.

A conclusione di queste note possiamo affermare che le prestazioni della distribuzione desmodromica sono ottime a partire dai bassi regimi (dove risulta più scorrevole) sino ai medio-alti regimi (dove ha il pregio di eliminare eventuali fenomeni di distacco). Tale soluzione presenta tuttavia maggiore costo e, generalmente, maggiori difficoltà di manutenzione. Inoltre, la sua complessità aumenta all'aumentare del numero di valvole per cilindro.

Ma i peggiori nemici del desmo restano, comunque, gli elevatissimi regimi (diciamo oltre i 12.000 giri/1') che, a nostro modesto parere, possono essere più facilmente gestiti dai meno precisi, ma più permissivi sistemi a molle, a patto che questi ultimi siano correttamente progettati ed attentamente verificati.

Desmo o molle?

Il lettore decida da sé.

Chiediamo venia se non diamo la risposta, ma il nostro obiettivo era solamente quello di descrivere i fenomeni che avvengono nel meccanismo della distribuzione, nel modo più chiaro e semplice possibile, o meglio, come ne siamo stati capaci. ■