

# Il regolatore per motore Diesel

Sintesi delle funzioni e della struttura dei regolatori centrifughi, pneumatici ed idraulici per motori Diesel di piccola e media cilindrata.

## Introduzione.

In questa trattazione si è cercato di riassumere brevemente la situazione odierna nel campo dei regolatori per motori Diesel di piccola e media cilindrata, sintetizzando in diagrammi i concetti e gli elementi fondamentali la cui esposizione analitica è conseguente ed avrebbe evidentemente dilungato l'argomento.

La trattazione è inoltre limitata ai tipi di regolatori per la regolazione di motori alimentati da pompe di iniezione pluricilindriche, che costituiscono il sistema normale più largamente impiegato.

Non si accennerà alle varie soluzioni che sono state studiate e sperimentate — come ad esempio la valvola di autoregolazione incorporata nella pompa di iniezione e adatta solo a pompe monocilindriche — in quanto dispositivi di questo tipo, o che comunque si scostino dalla soluzione del regolatore separato, sono da considerarsi, per ora, in fase sperimentale o di limitato impiego, e pertanto non si possono ancora conoscere le loro effettive doti di adattabilità nel normale esercizio.

In secondo luogo in questi dispositivi non si impiega un vero e proprio regolatore strutturalmente definito e caratterizzato dalla funzione regolante che esercita, ma piuttosto un accorgimento costruttivo facente parte di una pompa di iniezione di tipo particolare, la cui struttura meccanica si presta a farle svolgere anche le funzioni di regolazione delle portate in relazione al regime di rotazione.

Si ricorda inoltre che sulle caratteristiche di regolazione del motore, oltre al regolatore, hanno influenza sensibile altri elementi e principalmente: struttura del motore, caratteristiche della pompa d'iniezione e degli iniettori, momenti dinamici del motore e della macchina operatrice, legge di variazione del momento resistente della macchina opera-

trice al variare del regime, ecc.; per cui non è sufficiente progettare un regolatore che teoricamente realizzi un diagramma di regolazione voluto, per vedere poi senz'altro il complesso motore-macchina operatrice adeguarsi perfettamente.

Per il progetto di un regolatore occorre invece tenere conto anche dell'influenza reciproca dei vari elementi citati e mirare ad ottenere, con adeguati accorgimenti, un effettivo comportamento che sia il più vicino possibile a quello teoricamente migliore, accettando quelle piccole deviazioni — nei limiti permessi dall'esercizio — che consentano però di servirsi di un regolatore più economico di costruzione e più sicuro di funzionamento.

Questa trattazione è però limitata al solo regolatore che costituisce l'elemento preponderante nel processo di regolazione del motore, e non analizza i criteri di scelta del tipo di regolatore più opportuno per i vari impieghi perchè la materia è molto vasta. Infatti l'impostazione di un regolatore ed il derivante lavoro per la realizzazione è sempre anche funzione di molti elementi pratici quali principalmente:

- Necessità o meno di una grande produzione;
- Esigenze funzionali richieste;
- Costo di produzione;
- Unificazione.

La via di compromesso da scegliere costituisce perciò il compito tecnico della Casa costruttrice che si vale della propria esperienza e capacità di valutazione acquisite attraverso lo studio, le prove ed il tempo.

## Le funzioni.

Il motore ad iniezione, meno rigorosamente vincolato di quello a carburazione alla costanza del rapporto comburente-combustibile, permette una più varia dosatura del combustibile, mediante la quale si può, entro certi limiti, regolare il diagramma del momento torcente motore rispetto al regime di rotazione.

Se non si effettua questa regolazione (asta di regolazione portata combustibile sulla pompa iniezione fissa in una data posizione) si ha la curva 1 di fig. 7 del momento torcente; effettuando invece una opportuna regolazione (ossia impiegando un « regolatore » che sposti automaticamente l'asta di regolazione al variare dei regimi) si possono ottenere curve che si scostano dalla predetta, tra le quali quella indicata con 2 è la più frequentemente richiesta per aumentare l'elasticità del motore.

Il regolatore per motore Diesel non è quindi semplicemente un meccanismo che impedisce al motore di superare regimi di rotazione prestabiliti, esso è altresì un organo che serve a modificare, entro certi limiti, la potenza del motore ai vari re-

gimi rispetto a quella che si otterrebbe dal motore funzionante senza regolatore.

Il regolatore agisce automaticamente sull'asta di regolazione di portata della pompa d'iniezione ed esercita un'azione stabilizzante a regimi determinati qualunque sia la riduzione del carico rispetto a quello massimo sopportato dal motore.

Tali regimi possono essere fissi (regime massimo e regime minimo) e quindi indipendenti dalla volontà ed azione del conduttore sulla leva o pedale dell'acceleratore. In questo caso il regolatore si chiama « regolatore di minimo e limitatore di massimo ». I regimi a cui interviene il regolatore, qualunque sia la riduzione del carico, possono essere anche variabili e determinati dal conduttore mediante azione sul pedale acceleratore. In questo caso il regolatore si chiama « regolatore a tutti i regimi ».

Per chiarire il funzionamento del regolatore e il comportamento del motore sotto l'azione del me-

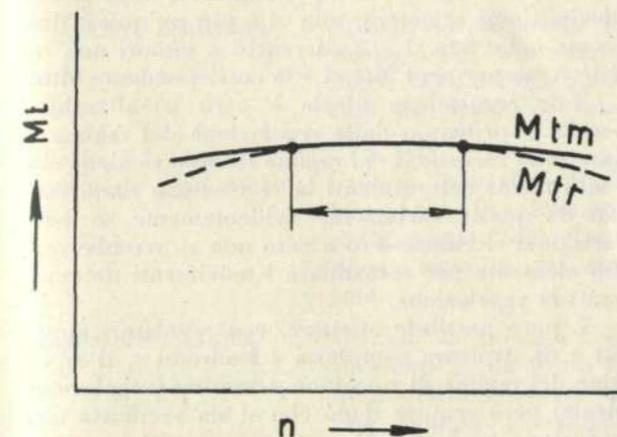


Fig. 2 - Curve dei momenti motore e resistente, coincidenti per una gamma di regimi.

desiino è necessario analizzare alcuni casi particolari che sono però i più frequenti che si riscontrano in pratica.

Analizzando anzitutto il comportamento del motore senza regolatore si riscontrano due casi particolari e cioè:

I. - Varia il carico sulla macchina di lavoro (fig. 1).

L'equilibrio dinamico esistente tra momento motore Mtm e momento resistente originario Mtr1 è turbato e si ha quindi una decelerazione del motore se il nuovo momento resistente Mtr2 è superiore ad Mtr1, ed una accelerazione se Mtr3 è inferiore ad Mtr1. Le due curve dei nuovi momenti resistenti, Mtr2 ed Mtr3, incontrano l'unica curva del momento motore Mtm, rispettivamente nei punti n<sub>2</sub> ed n<sub>3</sub>, corrispondenti ai nuovi regimi di equilibrio. I nuovi regimi possono però essere notevolmente diversi da quello originario, più di quanto la macchina consenta. Nel caso poi di forte diminuzione del momento resistente (curva Mtr4) l'equilibrio potrebbe stabilirsi solo ad un ipotetico regime n<sub>4</sub>, oltre il regime massimo ammissibile n<sub>mass.</sub>, il che porterebbe il motore ad accelerare

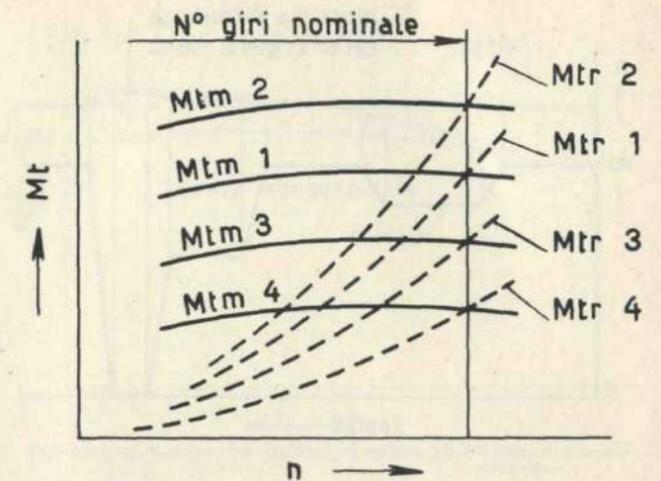


Fig. 3 - Curve dei momenti motori e resistenti nella regolazione ideale.

fino ad una velocità inammissibile per la sua struttura (il motore « scappa »).

Nel caso invece di forte aumento del momento resistente, la relativa curva Mtr5 potrebbe avere un andamento tale da non incontrare più la curva Mtm (momento resistente costantemente superiore al momento motore). In questo caso il motore, dopo aver compiuto ancora pochi giri in progressiva decelerazione per effetto dell'energia cinetica immagazzinata nel suo volano, si arresta.

II. - Il carico sulla macchina di lavoro non subisce variazioni apprezzabili per cause esterne, ma la sua potenziale variazione col regime è sensibilmente uguale alla analogo variazione del momento motore (fig. 2).

In questo caso le curve dei momenti motore e resistente (Mtm e Mtr) sono pressochè coincidenti per un tratto comprendente una vasta gamma di regimi e le condizioni di funzionamento, prossime a quelle di un equilibrio indifferente, sconfinano, per cause imponderabili e di minima entità, o in quelle di equilibrio instabile (che può portare all'arresto del motore o al raggiungimento di regimi inammissibili), oppure in quelle di equilibrio sta-

Fig. 4 - Curve dei momenti motori e resistenti nella regolazione reale.

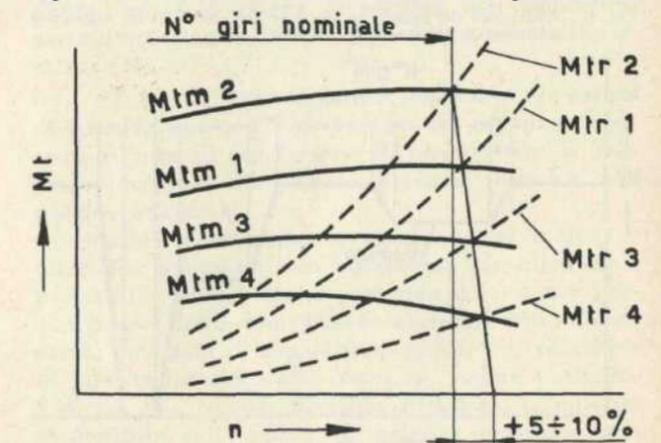
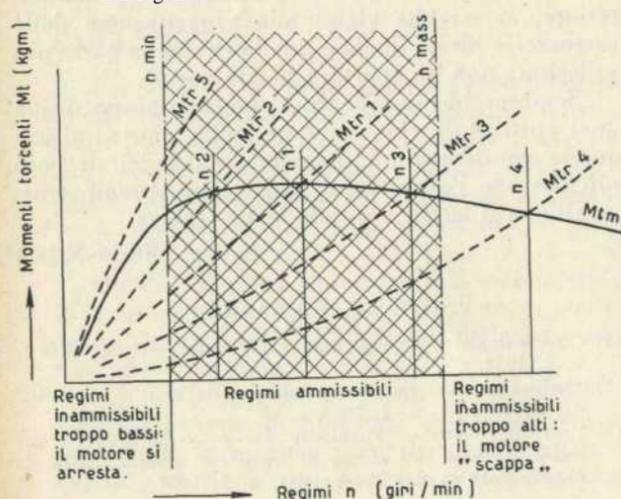


Fig. 1 - Diagramma dei momenti torcenti e dei regimi in un motore non regolato.



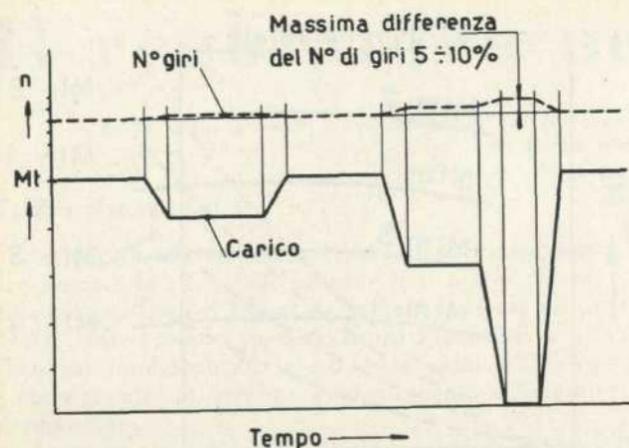


Fig. 5 - Variazione del regime in funzione del carico in un regolatore semplice.

bile a periodo molto lungo (che provoca il così detto « pendolamento » del motore).

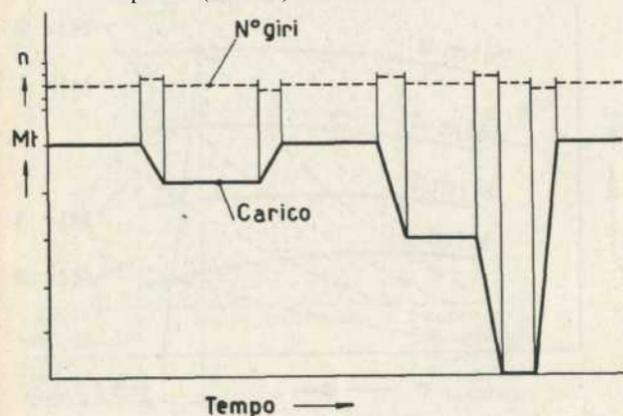
Il motore senza regolatore ha quindi l'inconveniente che al variare della coppia resistente può assumere regimi di rotazione troppo diversi da quelli necessari alla macchina operatrice; oppure può assumere regimi dannosi al suo funzionamento o a quello della macchina operatrice; od ancora può assumere un regime instabile e quindi realizzare il « pendolamento ».

Non sempre è possibile evitare questi inconvenienti mediante l'azione di una persona che regoli continuamente la potenza del motore mediante azione sugli organi di alimentazione del motore — azione sull'acceleratore — perchè la cosa non è pratica nell'impiego e l'azione non è sempre così pronta come sarebbe richiesto.

Da quanto sopra esposto deriva subito la necessità di dotare il motore di un organo meccanico, ad azione automatica, che realizzi sempre l'equilibrio fra coppia resistente e coppia motrice ad un regime di giri prestabilito o poco diverso dal prestabilito.

A questo scopo risponde il regolatore il quale, quando si viene a rompere l'equilibrio dinamico e quindi il motore varia di poco il regime di rotazione, interviene a riportare il funzionamento del motore su un nuovo equilibrio dinamico (cioè un'altra entità di eguaglianza fra coppia motrice

Fig. 6 - Variazioni del regime in funzione del carico in un regolatore compensato (isodromo).



e coppia resistente ma sempre al regime prestabilito, uguale o poco discosto da quello precedente).

Mentre col funzionamento senza regolatore la curva coppia motrice è unica al variare del regime — figg. 1 e 2 —, col regolatore si viene ad avere una serie di curve della coppia motrice al variare del regime di rotazione — figg. 3 e 4 — e quindi è sempre possibile realizzare l'incrocio della curva motrice colla curva resistente in un punto che corrisponde al regime predeterminato e necessario per il buon funzionamento del motore e macchina operatrice.

Il regolatore inoltre ha il vantaggio di realizzare la variazione di coppia motrice in modo automatico e quasi istantaneo per modo che non si realizzano mai condizioni di marcia del motore pericolose anche se di breve durata.

In sostanza il regolatore fa corrispondere, ad ogni nuova curva Mtr una curva Mtm che incontri la Mtr in corrispondenza del regime nominale stabilito  $n$ . In fig. 3 è rappresentata la regolazione ideale. Come si noterà, non vi è più un'unica Mtm (come nelle figg. 1 e 2 riferendosi a motori non regolati) ma per ogni Mtr vi è la corrispondente Mtm.

Tale regolazione ideale è però irrealizzabile, perchè il principio della regolazione del regime si basa sulle variazioni del regime stesso e richiede che i movimenti determinanti la regolazione siano causati da queste variazioni. Evidentemente se dette variazioni si riducessero a zero non si avrebbe nessun elemento per comandare i movimenti determinanti la regolazione.

È però possibile ottenere, con regolatori appositi e di struttura complessa « Isodromi », il ripristino del regime di rotazione primitivo (regolazione ideale) però sempre dopo che si sia verificata una variazione (ved. fig. 6).

In pratica si utilizza l'energia ricavabile dalla piccola variazione iniziale di regime per compiere il lavoro sufficiente a spostare l'organo che determina i movimenti di regolazione in modo che si opponga ad una variazione ulteriore. I regolatori di tipo corrente contengono queste variazioni in un intervallo del 5÷10% del regime nominale (vedi figg. 4 e 5) praticamente tollerabile per le normali condizioni di esercizio. Con particolari accorgimenti quest'intervallo, detto « grado d'irregolarità », può venire ulteriormente ridotto.

La regolazione si effettua mediante variazioni simultanee della portata di combustibile di tutti gli elementi pompanti della pompa di iniezione. Queste variazioni sono prodotte dal regolatore che, collegato direttamente o indirettamente all'asta di regolazione della pompa iniezione, dosa l'iniezione di combustibile nei cilindri del motore in modo da diminuire il quantitativo iniettato negli stessi quando il motore comincia ad accelerare, e da aumentarlo nel caso opposto.

Occorre ancora ricordare che nella regolazione del motore è sempre indispensabile poter intervenire dall'esterno, ed indipendentemente dall'azione del regolatore, per effettuare l'avviamento, l'arresto o la marcia a regimi voluti sia con motore sotto carico che a vuoto.

L'azione del regolatore deve però sempre essere presente per garantire il regime voluto del motore sotto carico, limitare il regime massimo a vuoto, mantenere il regime minimo a vuoto, ed in molte applicazioni stabilizzarne i regimi intermedi e quindi le due azioni devono essere concomitanti ed indipendenti.

## I sistemi.

Vi sono diverse forze la cui intensità varia concordemente col regime di rotazione e che quindi possono essere utilizzate per la regolazione del motore.

La regolazione può perciò essere effettuata con diversi sistemi, a seconda della natura della forza utilizzata. Ciascun sistema sottoelencato richiede un « regolatore » di apposita concezione e struttura meccanica.

**Regolatore centrifugo** - Utilizza le variazioni di intensità di un campo inerziale centrifugo generato da masse in rotazione.

**Regolatore pneumatico** - Utilizza le variazioni di pressione in funzione della portata del flusso d'aria aspirata dal motore.

**Regolatore idraulico** - Utilizza le variazioni di pressione di un flusso liquido fatto circolare da una pompa comandata dal motore.

Naturalmente vi possono essere regolatori che fruiscono contemporaneamente di due o più dei sovraccitati sistemi e perciò vengono denominati regolatori misti.

Per ciascun sistema, la regolazione può essere inoltre effettuata in due modi diversi, caratterizzati dalla fonte di energia utilizzata per compiere il lavoro di spostamento dell'asta di regolazione: *regolazione diretta* e *regolazione indiretta*.

Nella regolazione diretta il lavoro è compiuto direttamente dal regolatore.

Nella regolazione indiretta il lavoro è invece compiuto da un servocomando che utilizza una forza appositamente generata — ad esempio: pressione d'olio — mentre il regolatore si limita a pilotare gli spostamenti del servocomando.

Il sistema di regolazione diretta è il più adottato per ragioni di semplicità ed economia; mentre il sistema di regolazione indiretta, più complesso e costoso, è raramente adottato e solo quando sono richiesti sforzi sensibili per il comando dell'asta di regolazione, oppure quando sono richieste particolari esigenze sull'esattezza dei regimi.

In casi particolari dove è richiesta l'assoluta costanza dei regimi, in sostituzione dei regolatori semplici vengono adottati regolatori compensati

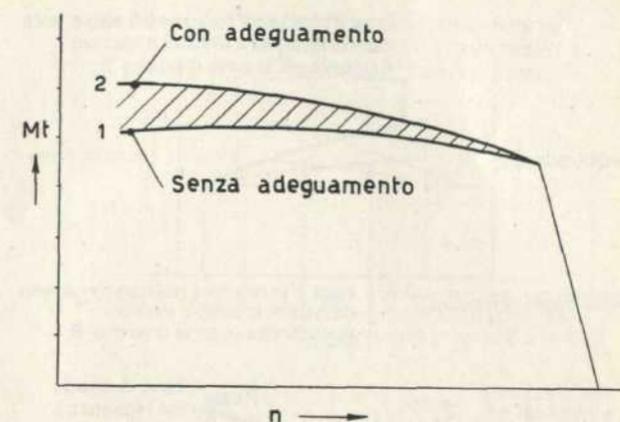


Fig. 7 - Miglioramento del momento a basso regime mediante adeguamento.

(« Isodromi ») che ugualmente possono essere ad azione diretta od indiretta.

Nel primo caso, fig. 5 ad ogni nuovo carico corrisponde una nuova velocità di regime che è poco diversa dalla precedente, ma che dura per tutto il tempo che il nuovo carico si mantiene costante.

Nel secondo caso, fig. 6, ad una variazione di carico corrisponde una variazione di regime che dura poco tempo, perchè subito dopo il regime si porta al valore precedente anche se il nuovo carico si stabilizza su un valore costante diverso dal precedente.

Un elemento aggiuntivo del processo di regolazione è il così detto « adeguamento ».

Ai bassi regimi per la maggior durata nel tempo del ciclo si ha, nella fase di aspirazione, un migliore riempimento d'aria nei cilindri. Questo maggior combustore permette « un'adeguato arricchimento » dell'iniezione di combustibile e quindi una maggiore portata d'iniezione rispetto a quella massima ammessa per gli alti regimi. In conseguenza, effettuando opportunamente questo « adeguamento », si ottiene una maggiore elasticità del motore (vedi fig. 7).

L'adeguamento è ottenibile operando su due diversi elementi:

1) Sfruttando la tendenza dell'apparato iniezione ad iniettare maggiori quantità quando la rotazione è più lenta (effetto del polverizzatore), tendenza che può essere aumentata con opportuni accorgimenti sulle valvole di riflusso, sui polverizzatori ecc.

2) Agendo sul regolatore, mediante opportuni dispositivi, che con il decrescere dei regimi consentono all'asta di regolazione di oltrepassare la normale posizione di portata massima relativa alla potenza massima.

Quando l'adeguamento necessario al motore è ottenibile operando solo sul sistema idraulico ciò è preferibile perchè anche partendo da potenze parziali volontariamente (acceleratore non a fondo corsa, cioè asta di regolazione portate in posizione di portata inferiore alla massima, vedere posizione 2 di fig. 8) è sempre possibile utilizzare la potenza disponibile sulla curva di potenza massima; potenza che il motore sviluppa ai diversi regimi man-

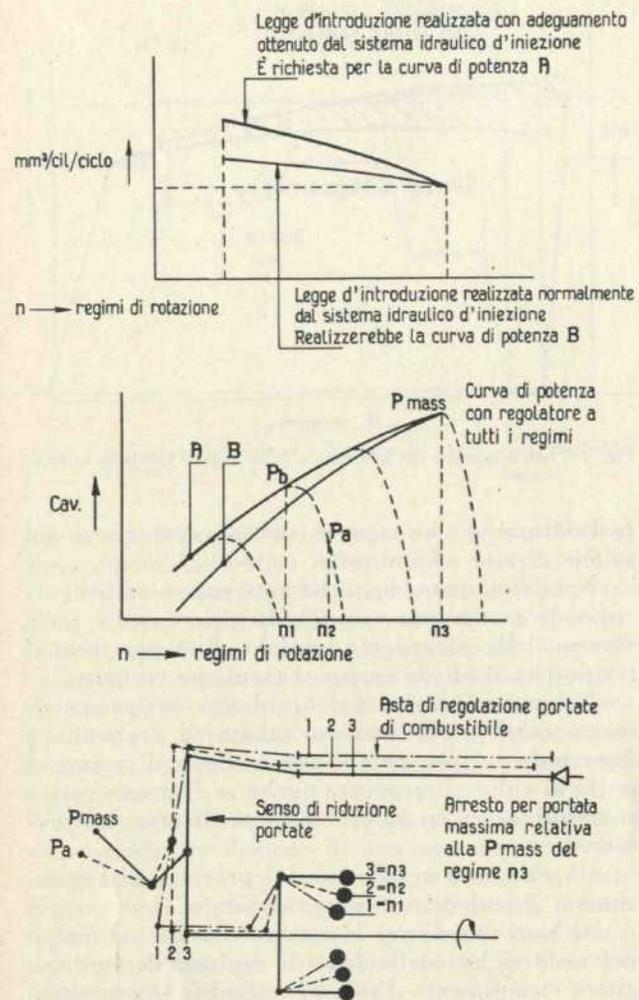


Fig. 8 - Comportamento del motore e degli organi di regolazione con adeguamento realizzato dal sistema idraulico d'iniezione.

tenendo costante la massima portata d'iniezione ed aumentando progressivamente il carico (vedere fig. 8 curva A e posizione 3).

Quando invece l'adeguamento necessario al motore è di entità rilevante, che non può essere ottenibile dal solo sistema idraulico, si ricorre all'azione del regolatore.

L'adeguamento ottenuto dal regolatore permette l'utilizzazione delle potenze disponibili sulla curva di potenza massima solo quando si inietta nel motore la portata massima di combustibile (acceleratore a fondo corsa).

Quando invece si utilizzano potenze parzializzate (ved. fig. 9 posizione 2) non è più possibile, fermo restando il comando acceleratore, utilizzare con il decrescere del regime le potenze della curva A con adeguamento ma potranno solo essere utilizzate le potenze inferiori della curva B senza adeguamento.

Nelle figg. 8 e 9 è illustrata questa diversità di effetto ed è schematizzato a titolo di esempio il comportamento di un regolatore centrifugo a tutti i regimi.

In fig. 8 è rappresentata la legge di introduzione del combustibile nel motore realizzata normalmente dal sistema idraulico di iniezione e cioè

senza ricorrere a particolari accorgimenti. Con questa introduzione si realizzerebbe la curva di potenza « B ». Operando invece degli accorgimenti « adeguamento » nel sistema idraulico è possibile ottenere la curva di potenza « A » che, come la curva « B » può sempre essere totalmente utilizzata.

Infatti quando il motore sviluppa la piena potenza  $P_{mass}$  al regime  $n_3$  il regolatore, come schematizzato in fig. 8, avrà la leva di comando esterno in  $P_{mass}$ , le masse in 3 e l'asta di regolazione in 3 a contatto dell'arresto di portata massima. Se al motore si richiede una potenza inferiore  $P_a$  al regime  $n_2$ , la leva di comando esterno del regolatore dovrà essere portata in posizione  $P_a$ , le masse del regolatore assumeranno la posizione 2 (corrispondente al regime di rotazione  $n_2$  inferiore ad  $n_3$ ) e conseguentemente l'asta di regolazione delle portate verrà condotta in posizione 2 relativa alla portata di combustibile necessaria per la potenza  $P_a$ ; portata che naturalmente è inferiore a quella per la potenza massima  $P_{mass}$ . Ora se in queste condizioni il motore viene sottoposto ad un carico maggiore, il regime di rotazione conseguentemente diminuisce, e ferma restando in  $P_a$  la leva di comando esterno del regolatore, senza intervenire quindi con l'acceleratore, le masse per la diminuita forza centrifuga, assumeranno la posizione 1 portando così l'asta di regolazione in 1 cioè nella primitiva posizione 3 di portata massima.

Il motore può così aumentare la potenza fino alla curva di potenza massima abbassando di poco il regime di rotazione precedente.

In fig. 9 è rappresentato l'effetto dell'adeguamento realizzato dal regolatore che come già detto partendo da potenze parzializzate non consente l'utilizzazione delle potenze di curva massima « A ».

Infatti quando il motore sviluppa la piena potenza  $P_{mass}$  al regime  $n_3$  il regolatore avrà la leva di comando esterno in  $P_{mass}$ , le masse in 3 e l'asta di regolazione in posizione 3 relativa alla portata per la  $P_{mass}$  a  $n_3$ . Se si mantiene ferma la leva di comando esterno del regolatore e si aumenta progressivamente il carico del motore il regime di rotazione diminuirà conseguentemente, le masse del regolatore passeranno perciò dalla posizione 3 alla 1 portando gradualmente l'asta di regolazione in 1 cioè di tutta la corsa di adeguamento oltre la posizione precedente 3. Si ottiene così la curva di potenza « A » debitamente adeguata. Se al motore si richiede invece una potenza inferiore  $P_a$  al regime  $n_2$ , la leva di comando esterno del regolatore dovrà essere portata in  $P_a$ , le masse del regolatore assumeranno la posizione 2 e l'asta di regolazione verrà condotta in posizione 2 relativa alla portata di combustibile per  $P_a$ ; portata inferiore a quella richiesta per  $P_{mass}$ . Ora se in queste condizioni si aumenta il carico al motore il regime di rotazione diminuisce e ferma restando in  $P_a$  la leva di comando esterno, le masse del regolatore assumeranno ancora la posizione 1; però, in conseguenza dello spostamento da  $P_{mass}$  a  $P_a$  del comando esterno, non potranno più riportare l'asta di regolazione in posizione 1, ma la condurranno solo in posizione 4

che corrisponde alla 3 cioè senza corsa di adeguamento.

Il motore può così aumentare la potenza solo fino alla curva B (curva senza adeguamento) e non potrà sviluppare la rispettiva potenza della curva A (curva con adeguamento).

Naturalmente la stessa cosa avviene a qualsiasi potenza parzializzata ed a qualsiasi regime d'utilizzazione compreso il regime massimo  $n_3$  come ad esempio indicato in fig. 9 per la potenza  $P_e$ .

In sostanza partendo da potenze parzializzate (portata di combustibile inferiore a quella per la potenza massima) non è sfruttabile l'adeguamento ottenuto dal regolatore.

Per sfruttare tutto l'adeguamento ed ottenere la potenza massima, anche in queste condizioni, occorre intervenire con l'acceleratore portandolo in condizioni di potenza massima.

Come già detto precedentemente, con l'adeguamento idraulico non si ha questo difetto in quanto anche partendo da potenze parzializzate si arriva sempre sulla curva di potenza massima senza che si debba intervenire con manovra dell'acceleratore (ved. fig. 8).

Da tutto quanto sopra esposto ne viene come conseguenza che l'impiego di una forma o di un'altra di adeguamento non è indifferente ma dipende dal servizio a cui viene adibito il motore (autoveicoli stradali, trattrici agricole, installazioni fisse, gruppi marini, ecc).

#### Il regolatore centrifugo.

Gli schemi dei regolatori centrifughi più adottati in pratica per motori Diesel veloci si possono riassumere come segue:

a) Regolatore di regime minimo e limitatore del regime massimo fig. 10.

b) Regolatore di tutti i regimi con comando esterno che agisce elasticamente sull'introduzione del combustibile fig. 11.

c) Regolatore di tutti i regimi con comando esterno che agisce sulla molla del regolatore fig. 12.

Il regolatore limitatore di massimo fig. 10 richiede una disposizione di molle come indicato anche in fig. 16. In questo regolatore la molla  $E_1$  avente poco carico serve a regolare il minimo; essa agisce quando il pedale acceleratore è abbandonato (arresto A min. contro la pedana) e regola la posizione delle masse  $M$  nel tratto di corsa radiale dalla posizione di regolatore fermo fino al regime che può portare le masse contro il piattello  $P$ , regime questo che è poco superiore a quello di minimo.

La molla di massimo  $E_2$  ha un forte carico già a regolatore fermo e serve a limitare il regime massimo. Il carico di questa molla è tale da permettere alle masse di muoversi (oltre al movimento del minimo che porta le masse contro il piattello) solo quando è raggiunto il regime massimo prestabilito.

Il regime massimo è quindi fisso e non può essere variato dal conduttore mediante azione sul pedale acceleratore.

Fra il regime di minimo e il regime di massimo predetto il motore può quindi assumere tutti i re-

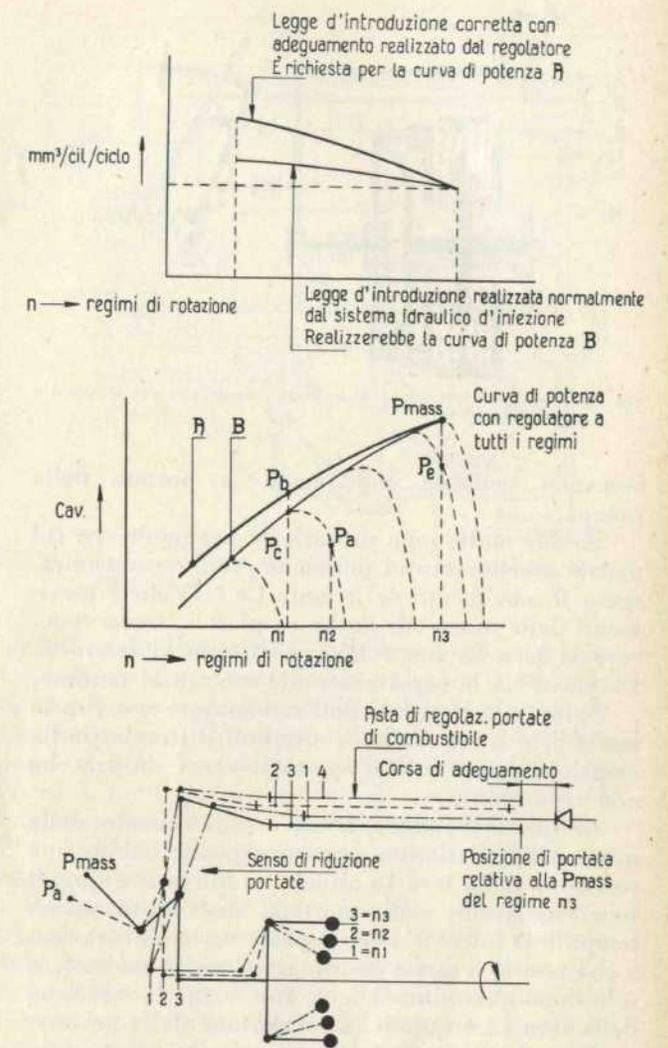


Fig. 9 - Comportamento del motore e degli organi di regolazione con adeguamento realizzato dal regolatore.

gimi intermedi senza che per questo il regolatore possa muoversi e quindi intervenire a regolare la portata di combustibile.

L'azione sul pedale acceleratore provoca direttamente una variazione di portata della pompa e quindi serve a variare la potenza erogata dal motore ed il suo regime di rotazione fino a raggiungere il massimo numero di giri. Dopo tale valore massimo interviene il regolatore a limitare la portata e quindi il regime qualora il motore dovesse tentare di sorpassarlo.

Il regolatore di tutti i regimi fig. 11 ha una molla sola  $E$  che contrasta direttamente la massa  $M$  e la cui forza è tale da mantenere la massa in equilibrio qualunque sia il regime del motore (ad ogni posizione radiale corrisponde un dato regime). La massa si muove quindi gradualmente con l'aumento di regime a differenza del caso precedente che la massa, dopo la piccola escursione del minimo, sta ferma al variare del regime e si muove solo quando si raggiunge il regime massimo.

Vi sono inoltre due molle  $S_1$  e  $S_2$ , in contrasto fra loro e che rendono elastico il tirante  $C_e$  dell'acceleratore che collega il pedale con la leva  $L_s$  di

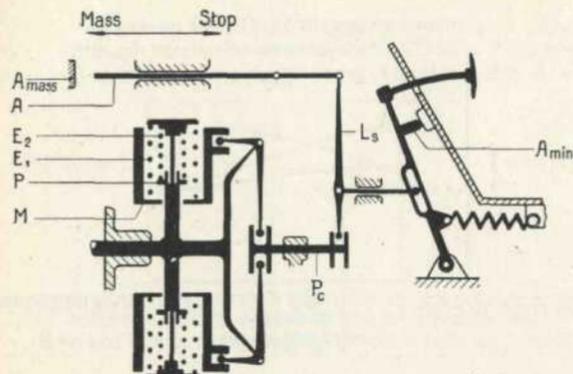


Fig. 10 - Schema cinematico del regolatore centrifugo per massimo e minimo.

comando dell'asta che regola la portata della pompa.

Le due molle sono precaricate per modo che col pedale acceleratore in posizione A min esse contrastano il movimento del tirante Ce così che i movimenti delle masse M, anche se piccoli, fanno muovere la leva Ls con rotazione attorno al fulcro F. Da ciò si ha la regolazione del motore al minimo.

Spingendo il pedale dell'acceleratore si carica la molla S1 e si scarica la S2 e quindi il tirante Ce ha maggiore possibilità di spostarsi verso sinistra che non verso destra.

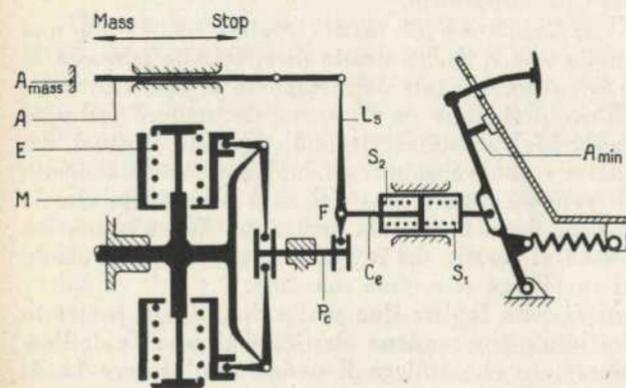
In queste condizioni, ad un movimento delle masse verso l'esterno, non corrisponde subito una rotazione della leva Ls attorno al fulcro F e quindi una regolazione della portata, ma in un primo tempo è il fulcro F che si sposta verso sinistra fino a che non si è messa in compressione la molla S2 e solo dopo questo movimento interviene la rotazione della leva Ls e quindi la regolazione della portata.

Da quanto detto si arguisce che in questo caso il movimento della massa M verso l'esterno deve avere una maggiore entità che nel caso precedente descritto e quindi il motore raggiunge un regime più elevato.

In conseguenza del funzionamento di cui sopra è facile capire che l'entità del regime che raggiunge il motore dipende dalla posizione del pedale e dalla conseguente differenza di carico fra la molla S1 ed S2.

Infatti più si spinge il pedale acceleratore a

Fig. 11 - Schema cinematico del regolatore centrifugo per tutti i regimi con comando esterno agente elasticamente sull'introduzione del combustibile.



fondo più si carica la molla S1 e si scarica la S2 e quindi più grande diviene lo spostamento possibile del fulcro F prima che esso si fissi sotto l'azione delle masse del regolatore. Di conseguenza le masse devono compiere uno spostamento radiale tanto più grande quanto più il pedale acceleratore è spinto a fondo prima che esse determinino attraverso la rotazione della leva Ls, la regolazione della pompa. Ne viene che il motore deve raggiungere regimi tanto più elevati quanto più il pedale acceleratore è spinto a fondo prima che l'aumento di detto regime sia arrestato dalla riduzione di portata effettuata dal regolatore.

Questo tipo di regolatore di tutti i regimi ha il pedale acceleratore che agisce quindi sulla portata del combustibile come il regolatore di massima descritto precedentemente, ma il comando è elastico e l'azione del pedale viene a variare il carico fra due molle ausiliarie che sono antagoniste tra loro. Come nel caso del regolatore di massima, in questo tipo di regolatore a tutti i regimi l'azione sul pedale acceleratore non modifica il carico della molla E che contrasta la forza centrifuga.

Poichè le due molle S1 ed S2 hanno un carico molto basso si può dire che tanto nel regolatore di massima predescritto quanto in questo tipo a tutti i regimi non vi è un carico apprezzabile sul pedale acceleratore.

Il regolatore di tutti i regimi di figura 12 ha una molla sola che contrasta le masse M; il pedale acceleratore non comanda la leva Ls, collegata col-Fasta delle portate, ma col suo movimento provoca la variazione di carico della molla E. Il funzionamento è molto semplice ed intuitivo; infatti spingendo il pedale acceleratore si dà maggior carico alla molla e quindi il motore raggiunge maggiori regimi prima che il regolatore possa intervenire a ridurre la portata della pompa e quindi a ridurre il regime al valore voluto e determinato di volta in volta dalla posizione del pedale acceleratore. Questo tipo di regolatore, a differenza dei precedenti, ha un rilevante carico sul pedale acceleratore per cui viene usato quasi esclusivamente quando il motore è adibito a lavori che richiedono un regime fisso per lunghi periodi (motori fissi, trattrici agricole, ecc.) dove l'acceleratore viene azionato di rado. In questi casi l'acceleratore viene comandato da una leva al posto del normale pedale.

Pregio di questo regolatore è quello di essere molto semplice e poco costoso.

La realizzazione pratica di un regolatore di massima nella sua forma più generale (fig. 13), è costituita da un complesso rotante e da un dispositivo meccanico di trasmissione.

Il complesso rotante comprende due masse M a scorrimento radiale, due o più molle elicoidali di contrasto E agenti sulle masse in direzione centripeta, e quattro leve a squadra B atte a trasformare gli spostamenti radiali delle masse in spostamenti assiali di un apposito « perno di comando » Pc, vincolato in modo da poter scorrere assialmente.

Il complesso di queste parti è montato su un organo ruotante C detto « crociera » atto a sopportare ciascuna parte ed a vincolarne i movimenti nel

modo richiesto. Questo complesso è collegato all'albero a camme della pompa di iniezione e ruota con esso.

Il dispositivo di trasmissione comprende una « leva di spostamento » Ls, una bielletta di collegamento della leva con l'asta di regolazione della pompa d'iniezione ed un alberino con eccentrico Ac collegato alla leva di comando esterna Lc. La leva di spostamento Ls ha la funzione di trasmettere all'asta di regolazione i movimenti che le masse imprimono al perno di spostamento, nonché quelli che occorre imprimere, alla stessa asta di regolazione, con comandi esterni mediante rotazioni angolari della leva Lc.

Le frecce segnate su ciascun organo mobile indicano i movimenti prodotti da uno spostamento centrifugo delle masse (generato dall'aumento di regime) che provoca uno spostamento dell'asta di regolazione verso la posizione di portata minima.

Affinchè gli spostamenti prodotti dal regolatore e quelli prodotti da interventi esterni possano trasmettersi all'asta di regolazione senza che un mo-

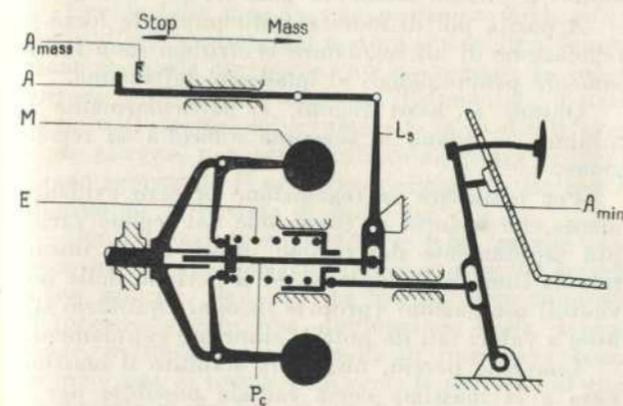


Fig. 12 - Schema cinematico del regolatore centrifugo a tutti i regimi con comando esterno agente sulla molla di reazione.

vimento ostacoli l'altro, la leva di spostamento Ls ruota sul perno intermedio F montato eccentricamente sull'alberino Ac della leva esterna Lc.

Rispetto agli spostamenti provocati dalle masse e trasmessi dal perno Pc, la leva Ls funge da leva di primo genere, con fulcro in F e potenza in F'. Rispetto invece agli spostamenti provocati dalla leva esterna Lc e trasmessi dal perno eccentrico, la leva Ls funge da leva di 3° genere, con fulcro in F' e potenza in F. In tutti i casi la forza applicata in F od in F' genera una coppia di braccio F-F' e provoca quindi la rotazione della leva. Gli spostamenti automatici e quelli manuali si sommano così algebricamente senza vincolarsi l'un l'altro.

La realizzazione pratica di un regolatore a tutti i regimi del tipo a tirante elastico è indicata dallo schema di fig. 14 ed è caratterizzato essenzialmente da:

- 1) un minor braccio F-F' della coppia di comando della leva Ls, necessario per ottenere un maggiore rapporto di spostamento tra masse e asta di regolazione;
- 2) un diverso dispositivo di trasmissione dalla

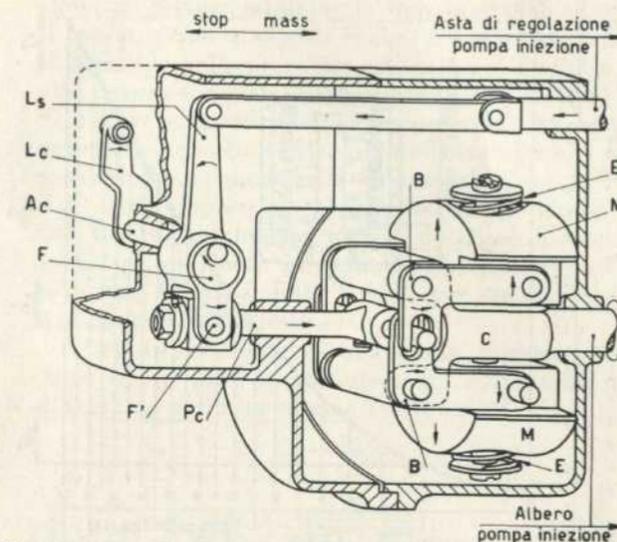
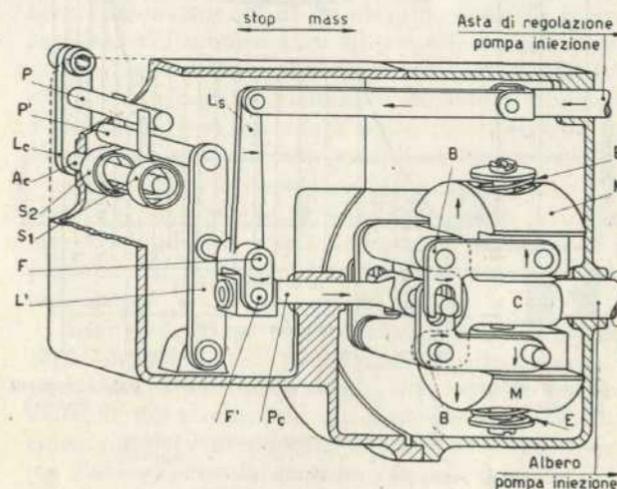


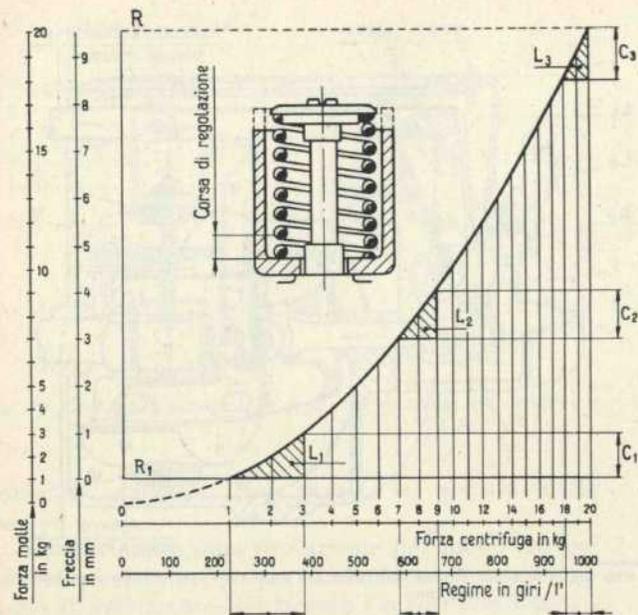
fig. 13 - Schema di realizzazione di regolatore centrifugo per massimo e minimo.

leva di comando esterna Lc alla leva di spostamento Ls, comprendente: una molla a doppia spirale S1 S2, una leva supplementare L' portante il perno F che costituisce il fulcro mobile della leva Ls; due perni P e P' (solidali rispettivamente colle leve Lc ed L') sui quali premono da parti opposte le estremità della molla S1 S2 che spinge elasticamente P' a compiere gli spostamenti imposti a P coi comandi esterni.

I diagrammi delle figure 15, 16 e 17 rappresentano la relazione tra regime e posizione radiale delle masse, determinata unicamente dalle molle di reazione (rispettivamente da molle adatte alla regolazione di tutti i regimi, del massimo e minimo, del massimo e minimo con adeguamento). In altri termini, l'area delimitata dalla curva freccia/regime, dall'asse delle ascisse e dalle ascisse relative ai regimi estremi (minimo e massimo), rappresenta il lavoro interno del regolatore, ossia quello compiuto da determinate masse durante una corsa radiale tra R1 ed R per muovere ss stesse, vincendo

Fig. 14 - Schema di realizzazione di regolatore centrifugo per tutti i regimi con comando esterno agente elasticamente sull'introduzione del combustibile.





Campo di regola? regime: minimo intermedio massimo  
grado d'irregolarità\*

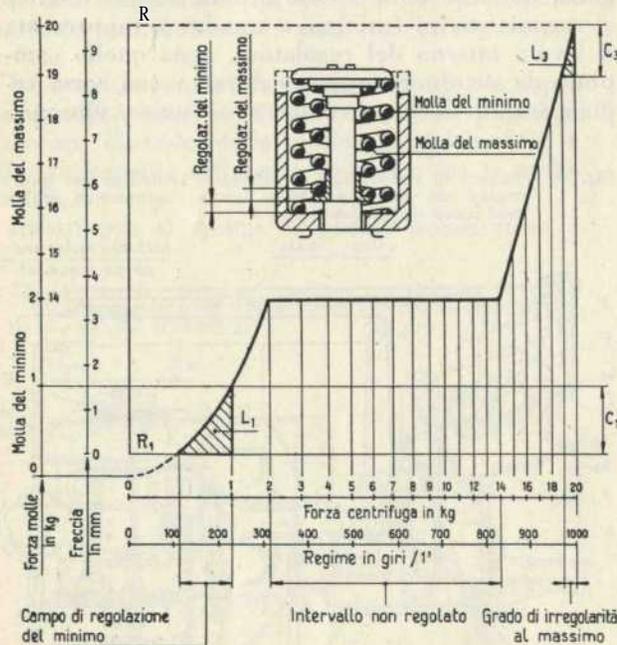
L1 = Lavoro disponibile per la regolazione del minimo  
L2 = » » » » di un regime intermedio  
L3 = » » » » del massimo  
C1 = Corsa di regolazione del regime minimo  
C2 = » » » » di un regime intermedio  
C3 = » » » » del regime massimo

Fig. 15 - Diagramma d'impostazione di un regolatore per tutti i regimi.

solo la forza delle molle; lavoro che viene restituito integralmente nella corsa inversa delle masse.

Per ricavare, dalla corsa delle masse, il lavoro necessario a spostare il leveraggio di trasmissione e l'asta di regolazione, occorre consumare una parte del lavoro interno, parte che pertanto non verrà più

Fig. 16 - Diagramma d'impostazione di un regolatore per massimo e minimo.



L1 = Lavoro disponibile per la regolazione del minimo  
L3 = » » » » del massimo  
C1 = Corsa di regolazione del regime minimo  
C3 = » » » » del regime massimo

restituita alle masse, ma trasformata in energia cinetica per variare la portata d'iniezione ed in energia termica dissipata dagli attriti.

Data l'inerzia del complesso degli elementi di regolazione, una parte della stessa energia cinetica verrà restituita al regolatore, ma con un certo ritardo che provocherà delle oscillazioni nelle masse, le quali si ripercuoteranno a loro volta sulla portata d'iniezione e costituiranno perciò una prima sorgente di oscillazioni del regime, oscillazioni di piccola ampiezza e corto periodo che è facile smorzare rapidamente.

Una seconda e più importante sorgente di oscillazioni del regime è quella dovuta al momento dinamico del motore ed alle variazioni di coppia motrice prodotte dallo stesso regolatore tramite la regolazione dell'iniezione.

A parità di coppia motrice per le accelerazioni, e di resistenze passive per le decelerazioni, i tempi di variazione del regime sono direttamente proporzionali alla radice quadrata del momento dinamico.

Quindi la regolazione più delicata è quella dei motori a piccolo momento dinamico.

A parità poi di momento dinamico, le forze di regolazione di un regolatore centrifugo sono inversamente proporzionali al quadrato del regime.

Quindi ai bassi regimi, e particolarmente al minimo, si hanno le massime difficoltà di regolazione.

Per realizzare la regolazione occorre evidentemente che le forze di correzione del regime varino più rapidamente del regime stesso, ed in misura tale da limitare l'ampiezza ed il periodo delle inevitabili oscillazioni (proprie di ogni equilibrio stabile) a valori tali da poterle smorzare rapidamente.

Conviene perciò, una volta stabilito il massimo peso e la massima corsa radiale possibile per le masse, determinare opportunamente la rigidità delle molle per ottenere il risultato sopra detto, limitando se necessario il campo dei regimi regolati, pur di ottenere una efficace regolazione al minimo ed una adeguata regolazione nel campo dei regimi particolarmente interessato in esercizio.

In conclusione, il comportamento reale di un regolatore risulta da un complesso di fattori dinamici, funzioni del tempo. I diagrammi delle figg. 15, 16 e 17 sono invece limitati alle posizioni di equilibrio delle forze centrifughe e delle forze elastiche di reazione: in essi il tempo non compare.

La risultante del complesso delle numerose resistenze passive (inerziali e di attrito) e delle loro leggi di variazione, costituisce un elemento di notevole influenza nella regolazione, la cui determinazione analitica è piuttosto laboriosa, e non sempre corrisponde con sufficiente approssimazione alla realtà, a causa della difficoltà di determinazione esatta delle stesse singole resistenze.

In pratica i risultati ottenuti analiticamente dovranno sempre essere verificati ed eventualmente corretti servendosi di dati dedotti da rilievi direttamente eseguiti su diversi tipi di complessi funzionanti: dati che solo la specializzazione nel campo permette di avere a disposizione.

Carattere comune di tutti i regolatori centrifughi è l'indipendenza dalle condizioni ambientali (temperatura, pressione d'aria, o caratteristiche di fluidi come densità, viscosità, ecc.) che invece possono costituire cause perturbanti per il funzionamento degli altri sistemi di regolatori (pneumatico ed idraulico).

### Il regolatore pneumatico.

È costituito sostanzialmente (ved. fig. 18) da una camera a tenuta d'aria C, separata dall'aria esterna mediante una parete mobile M e collegata, tramite apposita tubazione T, al collettore d'aspirazione del motore foggiato a tubo di Venturi V e munito di una farfalla F comandata dall'acceleratore.

La parete mobile è collegata all'asta di regolazione della pompa iniezione e spinta elasticamente verso la posizione di massima portata.

Come parete mobile si usa solitamente una membrana di cuoio; come forza elastica per spingerla nella posizione di massima portata si usano una o più molle elicoidali E.

Il complesso di questi elementi funziona nel modo seguente.

Con farfalla fissa in una posizione qualsiasi, il flusso d'aria aspirata dal motore genera una depressione che varia concordemente col regime. In conseguenza se il regime aumenta, l'aumentata depressione nell'interno della camera C fa sì che la pressione esterna, non più equilibrata, spinga la membrana superando il precarico della molla E: perciò diminuisce la portata di iniezione.

Ogni variazione di apertura della farfalla provoca invece una variazione contraria della depressione interna, per cui, ad esempio, un aumento d'apertura genera una diminuzione della depressione, permettendo alla molla di respingere membrana e asta di regolazione verso le portate più alte.

In tale modo l'elemento di regolazione esterna (farfalla) e quello di regolazione automatica (flusso d'aria attraverso il collettore) esercitano azioni che si integrano a vicenda, aventi per effetto risultante la stabilizzazione automatica di tutti i regimi comandati dall'esterno mediante la farfalla.

In pratica accade che, impiegando una sola molla a caratteristica lineare (molla elicoidale cilindrica), ai bassi regimi il regolatore risulterebbe troppo sensibile: in altre parole, a piccole variazioni del regime, corrisponderebbero ampi spostamenti della membrana; si avrebbe allora un eccesso di correzione che porterebbe al « pendolamento » del motore. (Notiamo che un tale comportamento è opposto a quello del regolatore centrifugo, nel quale invece i bassi valori della forza centrifuga ai bassi regimi operano una correzione ridotta).

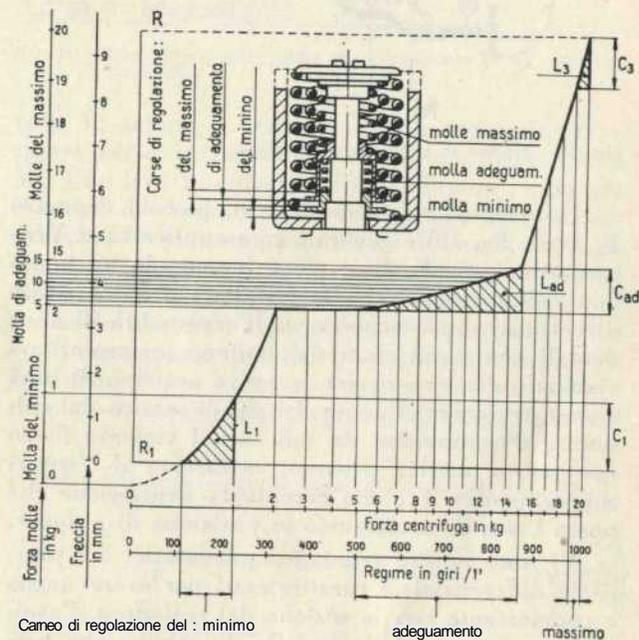
Per stabilizzare il regime minimo si adottano perciò diversi metodi.

a) Applicazione di una molla supplementare di rigidità adeguata e superiore a quella della molla di regolazione, che agisce solo nel campo della regolazione del minimo (ved. fig. 33).

b) Adozione di un circuito pneumatico con opportuna valvola di stabilizzazione la cui azione viene esclusa agli alti regimi. Infatti, come schematizzato in fig. 19, con farfalla quasi chiusa (posi-

zione di regime minimo) la membrana M effettua il contatto con la valvola S che, a sua volta, regola il passaggio della pressione esistente nel condotto T<sub>1</sub> alla camera C tenuta in depressione dal condotto T. Si ottiene così nel sistema pneumatico una azione automatica che contrasta, e quindi stabilizza, i movimenti che la membrana effettuerebbe per effetto della sola depressione trasmessa dal condotto T. Con farfalla totalmente aperta (posizione di regime massimo) non esiste più una sensibile differenza di pressione fra i condotti T e T<sub>1</sub> per cui la valvola non opera alcun effetto.

c) Applicazione di una molla supplementare come in a), però opportunamente comandata mediante una apposita camma (vedi fig. 34).



L1 Lavoro disponibile per la regolazione del minimo  
Lad » » » » di adeguamento  
L3 » » » » del massimo  
C1 Corsa di regolazione del regime minimo  
Cad » » » » dell'adeguamento  
C3 » » » » del regime massimo

Fig. 17 - Diagramma d'impostazione di un regolatore per massimo e minimo con adeguamento.

Il sistema a) può in certi tipi di motore presentare l'inconveniente di un elevato scarto di regime massimo del motore a vuoto per effetto dell'azione contrastante della molla di stabilizzazione del minimo che ostacola eventuali riduzioni di portata. I sistemi b) e c) ovviano a detto inconveniente ma richiedono una evidente complicazione meccanica.

Completano il regolatore un comando per l'arresto del motore che, forzando le molle, può portare la membrana e quindi l'asta di regolazione in posizione di portata nulla anche in assenza di depressione.

Inoltre lo stesso comando azionato in senso inverso permette alla membrana di oltrepassare la posizione di portata massima relativa alla potenza massima del motore, ed in tal modo opera un ulteriore aumento di portata, normalmente necessario per l'avviamento del motore a freddo (ved. fig. 33).

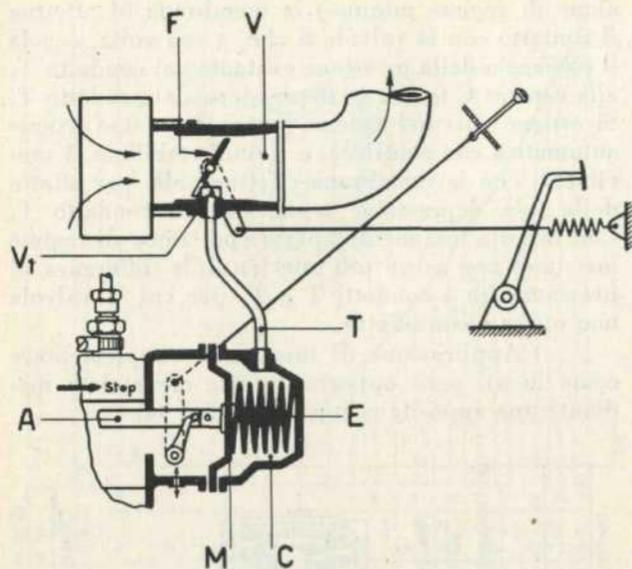
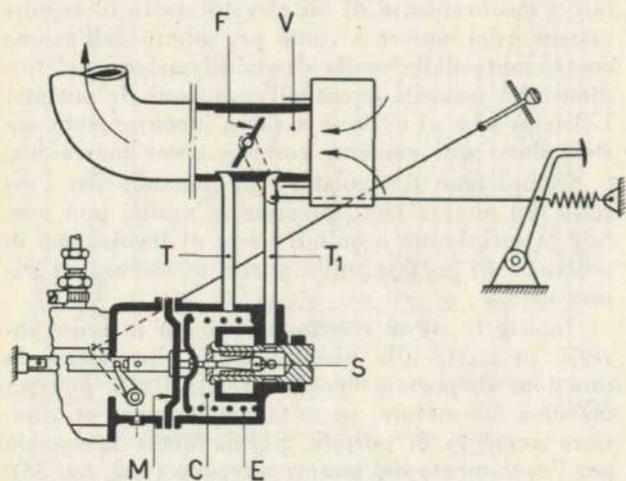


Fig. 18 - Schema di regolatore pneumatico.

Un Venturi supplementare di piccolo diametro  $V_1$  (ved. fig. 18) è generalmente applicati nel Venturi principale V. Esso viene inserito in un taglio opportuno praticato nella farfalla, ed ha lo scopo di costituire una sicurezza nell'eventualità di accidentali contro-rotazioni del motore (esempio: avviamento dei motori con eccessivo anticipo di iniezione) provocanti l'uscita dei gas di scarico dal collettore d'aspirazione. In tali casi il violento flusso dei gas di scarico provoca, attraverso il Venturi supplementare  $V_1$ , una accentuata depressione che porta l'asta di regolazione in posizione di « stop ».

Vi sono inoltre regolatori pneumatici a « pressione differenziale » caratterizzati per avere stagna e comunicante con la sezione del collettore d'aspirazione a monte della farfalla, la camera che normalmente è a pressione atmosferica. In tal modo la forza di regolazione è costituita dalla differenza tra le pressioni a monte ed a valle della farfalla anziché tra la pressione atmosferica e quella a valle della farfalla.

Fig. 19 - Schema di regolatore pneumatico con regolazione del minimo a pressione differenziale.



Come già il regolatore centrifugo, anche il regolatore pneumatico si presta all'adozione di una molla supplementare di adeguamento, la cui disposizione è evidente nella fig. 20.

Essa viene disposta tra la membrana e l'arresto di portata massima ed esercita la sua pressione sulla faccia esterna della membrana in senso contrario alle altre molle, sicché la sua azione si sottrae. La molla principale ha forza sufficiente da comprimere a fondo la molla di adeguamento, mantenendo così — fino a che la depressione non raggiunga un certo valore — la portata di adeguamento che è superiore a quella richiesta per la potenza massima. Sul diaframma agisce perciò, nel percorso di adeguamento, solo la differenza della forza delle due molle.

L'entità dell'adeguamento può essere preventivamente determinata in funzione dell'aumento di corsa consentito all'asta di regolazione, mentre la durata dello stesso è funzione della flessibilità della molla di adeguamento. Il regime di inizio dell'adeguamento è invece funzione del precarico dato alla relativa molla.

In linea di massima si può ancora dire che il dimensionamento di un regolatore pneumatico è funzione del lavoro che lo stesso deve compiere per comandare il dispositivo di regolazione analogamente come per i regolatori centrifughi, mentre il dimensionamento del Venturi con farfalla è funzione della portata del flusso d'aria aspirata dal motore (cioè della cilindrata e del regime massimo).

Bisogna ancora tener presente che l'impiego del regolatore pneumatico esige la frequente pulizia del filtro d'aria del motore per evitare che, con la sua progressiva ostruzione, si producano variazioni di pressione dell'aria nel condotto di aspirazione, che si ripercuoterebbero, attraverso le tubazioni di collegamento, sulla depressione nella camera del regolatore; variazioni che alterano così il funzionamento del regolatore stesso (riduzione di potenza e marcia irregolare del motore al minimo).

Il filtro d'aria del motore deve, inoltre essere particolarmente studiato (limitata resistenza al passaggio dell'aria) e così pure il condotto dal filtro al Venturi con farfalla, e ciò perché detti elementi costituiscono un fattore di sensibile importanza per il regolatore pneumatico.

Caratteristiche distintive dei regolatori pneumatici sono la grande semplicità e la forte influenzabilità per i fattori atmosferici (temperatura e pressione dell'aria) per cui il loro impiego, conveniente specie nel caso di motori ad iniezione piccoli e veloci, è limitato però ai casi di esercizio che non comportino forti variazioni di quota o di latitudine e che non richiedano grande esattezza di regolazione.

Inoltre i regolatori pneumatici, nelle forme descritte, sono unicamente regolatori di tutti i regimi. Si potrebbero anche realizzare dei regolatori pneumatici di minimo e massimo, come per i centrifughi, però a scapito della semplicità che costituisce la caratteristica fondamentale che fa accettare il loro impiego.

### Il regolatore idraulico.

È costituito nella sua forma più generale (vedi figg. 21 e 22) da due parti funzionalmente distinte: una parte sensibile o regolatrice e un servomotore.

La parte sensibile comprende: una pompa volumetrica, azionata dal motore; una successione di condotti formanti circuito chiuso; una serie di « strozzature » interposte nel circuito, a sezione fissa o variabile.

Il servomotore comprende un cilindro contenente uno stantuffo unito meccanicamente all'asta di regolazione della pompa d'iniezione ed uno o due condotti ciechi derivati dal circuito e sfocianti nel cilindro.

L'insieme dei condotti e la pompa sono mantenuti sempre pieni di un liquido — olio o nafta — e collegati al serbatoio del liquido che funge da serbatoio di compensazione.

Nella parte sensibile il liquido è mantenuto in continua circolazione dalla pompa quando il motore ruota. Nel servomotore e nei condotti ciechi che lo collegano idraulicamente alla parte sensibile, il liquido invece non circola, e compie degli spostamenti nei due sensi solo durante il lavoro di regolazione.

Il principio di funzionamento è in generale il seguente:

Le varie strozzature costituiscono delle resistenze alla circolazione del liquido, resistenze che causano una pressione nei condotti a monte delle singole strozzature.

È evidente che variando la luce di tutte o di alcune delle strozzature, si possono produrre variazioni di pressione tra diversi tratti del circuito disposti fra loro in parallelo od in serie.

Le pressioni vengono trasmesse, mediante colonne di liquido non circolante, al cilindro servomotore (nei tipi a doppio effetto su entrambe le facce dello stantuffo) e le variazioni delle pressioni agenti sulle due facce (nei tipi a doppio effetto) o della pressione agente su di una sola faccia quando l'altra riceve la spinta di una molla (nei tipi a semplice effetto) mutano le condizioni d'equilibrio e spostano lo stantuffo e l'asta di regolazione.

Per ottenere la regolazione automatica bisogna che, a pari posizione dell'acceleratore, la spinta verso la portata massima diminuisca al crescere del regime; inoltre la stessa spinta deve poter variare per effetto di un comando esterno in modo da aumentare quando il comando viene portato nelle posizioni di maggior portata (ad esempio negli autoveicoli quando viene premuto l'acceleratore).

Questo si ottiene in pratica con due sistemi fondamentali corrispondenti agli schemi in figg. 21 e 22.

In fig. 21 è rappresentato uno schema di regolatore con servomotore a doppio effetto. Esso comprende, nella parte sensibile, un circuito suddiviso in tre tratti delimitati da strozzature che causano diverse pressioni.

Il primo tratto va dall'uscita della pompa ad ingranaggi E ad una o più forature F praticata nello stantuffo  $P_1$ .

Il secondo tratto va dalla foratura F alla val-

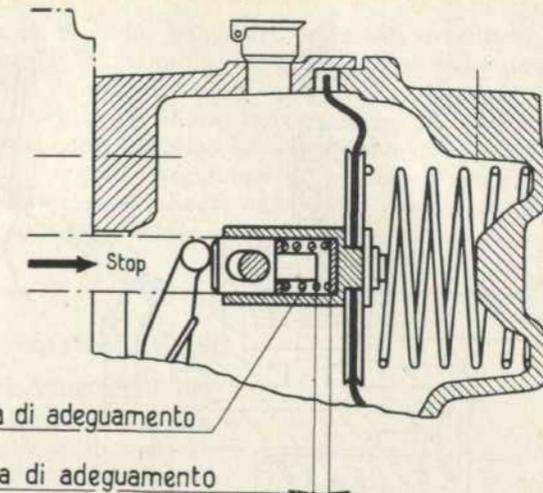
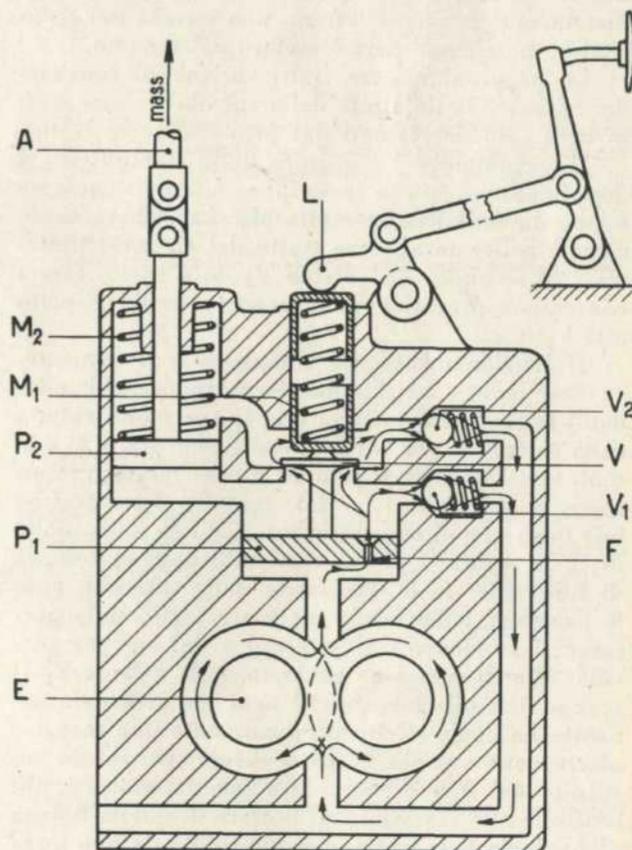


Fig. 20 - Disposizione della molla di adeguamento in un regolatore pneumatico.

vola V, tenuta a contatto con lo stantuffo  $P_1$  e spinta verso la posizione di chiusura dalla molla  $M_1$ . Una leva L, collegata all'acceleratore, aumenta il carico di chiusura della valvola quanto più l'acceleratore è premuto. La valvola V costituisce perciò una strozzatura a luce variabile con l'alzata dello stantuffo. Il liquido circolante nei tratti 1° e 2° fluisce in tutto od in parte attraverso la valvola  $V_1$ .

Il terzo tratto va dalla valvola V alla valvola  $V_2$ . Le valvole  $V_1$  e  $V_2$ , opportunamente tarate, determinano le pressioni massime rispettivamente nel

Fig. 21 - Schema di regolatore idraulico con servomotore a doppio effetto.



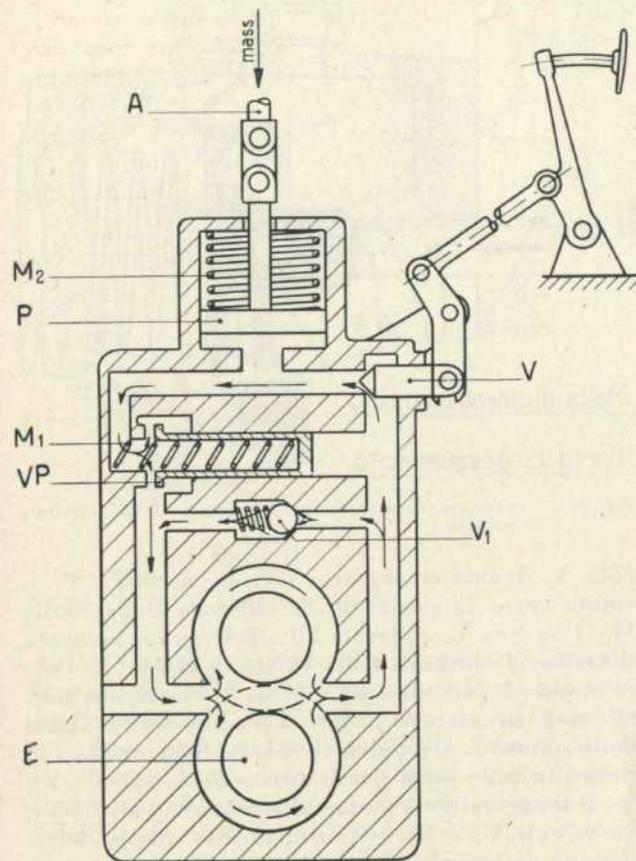


Fig. 22 - Schema di regolatore idraulico con servomotore a semplice effetto.

secondo e terzo tratto. Quando la valvola V è completamente chiusa, il liquido non circola nel terzo tratto, che rimane perciò escluso dal circuito.

Le pressioni nei tre tratti variano in funzione del regime e della alzata della valvola V: esse sono in ogni caso decrescenti dal primo al terzo tratto.

Il servomotore è costituito dallo stantuffo P, a doppio effetto, spinto verso il basso (corrispondente a portata nulla) dalla molla M<sub>2</sub>. La camera superiore è collegata al terzo tratto del circuito, l'inferiore al secondo. La valvola V<sub>2</sub> deve essere tarata con minor precarico della relativa molla rispetto alla V<sub>1</sub>.

Il funzionamento del complesso è il seguente.

Con motore al minimo (acceleratore abbandonato) la molla M<sub>1</sub> esercita una spinta molto ridotta sulla valvola V per cui le pressioni nei tratti 2° e 3° sono quasi uguali: il liquido fluisce totalmente attraverso la valvola V<sub>2</sub>. Lo stantuffo P<sub>2</sub> mantiene una posizione di equilibrio tra la spinta della molla M<sub>2</sub> e la spinta opposta, risultante dalla differenza di superficie tra le due facce dello stantuffo (per la presenza, sulla faccia superiore, dello stelo portante il movimento all'esterno) e del sia pur piccolo salto di pressione generato dalla valvola V. Il regime è stabilizzato perchè ogni suo eventuale aumento ha come effetto preponderante una maggior alzata della valvola V, dato che la strozzatura costituita dai fori F, essendo a luce costante, è più sensibile alle variazioni di portata di quella dovuta alla valvola V la quale, essendo spinta da una forza

elastica, reagisce ad un aumento di portata aumentando la luce di deflusso. In conseguenza le variazioni di pressione sono più forti fra il 1° ed 2° tratto che tra il 2° ed il 3° qualunque sia il regime.

A questo comportamento è dovuta la regolazione automatica a tutti i regimi.

Se invece si vuol far aumentare il regime, si preme l'acceleratore, aumentando il carico di chiusura della valvola V. In tal caso si accentua immediatamente il salto di pressione tra secondo e terzo tratto e lo stantuffo P<sub>2</sub>, spinto con forza aumentata dal basso, si sposta aumentando la portata d'iniezione.

In conclusione:

a pari posizione dell'acceleratore, l'aumento di regime produce l'abbassamento dello stantuffo servomotore (riduzione di portata);

a parità di regime, la pressione sull'acceleratore produce l'innalzamento dello stantuffo servomotore (aumento di portata).

In fig. 22 è rappresentato uno schema di regolatore con servomotore a semplice effetto.

Esso comprende, nella parte sensibile, un circuito suddiviso in due tratti successivi mediante due strozzature in serie.

Il primo tratto va dall'uscita della pompa ad ingranaggi E alla valvola V, collegata rigidamente all'acceleratore.

Il secondo tratto va dalla valvola V alla luce di trafilamento della valvola a stantuffo VP, azionata dalla pressione del primo tratto.

Questa valvola a stantuffo è sottoposta a tre spinte: la pressione idraulica del primo tratto, agente sulla testa dello stantuffo; la pressione idraulica del secondo tratto, agente in senso opposto sullo stantuffo, contro la superficie di tenuta e la parte cava, quindi su superficie maggiore; e la molla M, tendente ad aprire la valvola.

Nel circuito è posta in derivazione una valvola di sicurezza V<sub>1</sub> che normalmente resta chiusa.

Il servomotore è costituito da uno stantuffo P a semplice effetto, contrastato da una molla M<sub>2</sub> e collegato idraulicamente, mediante un condotto cieco, al secondo tratto del circuito.

Contrariamente al tipo descritto in precedenza, in questo la molla M<sub>2</sub> spinge lo stantuffo motore verso la posizione di portata massima, e l'acceleratore, rigidamente collegato alla valvola V, quando viene azionato per ottenere l'aumento di regime, ne aumenta la luce di efflusso.

Lo scopo di tali differenze apparirà chiaro dall'esposizione del funzionamento, ma è senz'altro intuibile che, essendo i due tratti di circuito in serie anziché in parallelo, certe variabili debbano essere invertite. Il funzionamento è il seguente.

A pari posizione dell'acceleratore la luce di trafilamento della valvola V è fissa, perciò genera forti variazioni di pressione nel primo tratto ad ogni variazione di regime. In conseguenza, l'effetto preponderante di un aumento di regime è una maggior pressione nel condotto cieco derivato sul primo tratto, che genera una spinta sulla testa della valvola a stantuffo e ne diminuisce la luce di trafilamento. La diminuita luce fa aumentare la pressione

nel secondo tratto e quindi nella camera del cilindro motore, spingendo lo stantuffo P e l'asta di regolazione A verso la portata minima.

Si noti che l'aumentata pressione nel secondo tratto, agente sulla maggiore superficie della valvola VP ed in concomitanza con la molla M<sub>1</sub> genera pure una spinta opposta tendente a riapirla; tuttavia il salto di pressione tra primo e secondo tratto (causato dalla strozzatura V) è preponderante e l'effetto risultante è di chiusura della valvola con l'aumentare del regime.

Quando invece si vuole aumentare il regime lo spostamento dell'acceleratore provoca una maggiore apertura della valvola V: l'aumentata luce di efflusso diminuisce fortemente il salto di pressione tra primo e secondo tratto: le pressioni tendono ad eguagliarsi.

In tale caso la spinta idraulica contro la maggior superficie della valvola-stantuffo affacciata al secondo tratto, sommandosi con quella della molla M<sub>1</sub>, diviene preponderante su quella generata dalla pressione idraulica del primo tratto, sulla testa della valvola-stantuffo stessa, e genera una maggiore apertura della valvola. In seguito a ciò il liquido, fluendo con resistenze diminuite nell'intero circuito, esercita una minor pressione sullo stantuffo servomotore che, spinto dalla molla verso la massima portata, raggiunge una posizione di equilibrio corrispondente a portata aumentata.

Naturalmente, l'aumentata luce della valvola V tende pure ad aumentare la pressione nel secondo tratto, ma tale effetto è inferiore a quello dovuto all'aumento della luce della valvola VP.

In pratica, nei regolatori viene inserita una valvola supplementare per aumentare la sensibilità al minimo, come si vedrà nelle descrizioni dei modelli esistenti.

Caratteri distintivi dei regolatori idraulici sono:

La prontezza di regolazione dovuta all'assenza di forti masse di inerzia e di giochi nella trasmissione (rispetto ai regolatori centrifughi);

Il costo più elevato;

La sensibilità alla qualità del liquido impiegato ed alla temperatura che ne varia la viscosità, alterando le caratteristiche di regolazione, però in misura minore che nei regolatori pneumatici.

Inoltre una caratteristica distintiva che è di importanza trascurabile in pratica, ma essenziale in linea di principio, è che il regolatore idraulico, il cui funzionamento è basato sulla variazione di resistenza opposta alla circolazione di un liquido, assorbe potenza trasformandola in calore in misura maggiore degli altri sistemi (per vincere la viscosità del liquido) a differenza dei regolatori meccanici e pneumatici i quali, escluse le perdite per attrito inevitabili in qualunque macchina, assorbono l'energia di lavoro solo quando effettuano i movimenti di regolazione.

In conseguenza, il regolatore idraulico, che in teoria potrebbe funzionare in circuito chiuso con un piccolo serbatoio di compensazione, deve essere collegato col serbatoio principale (della nafta o dell'olio, a seconda del liquido impiegato in esso) per poter disperdere il calore generato in una grande

massa di liquido, con forte superficie irradiante; altrimenti lo sviluppo di calore porterebbe ben presto il liquido e l'intero complesso a temperature inammissibili per il suo funzionamento.

I regolatori idraulici sono generalmente del tipo a tutti i regimi. Regolatori di minimo e massimo potrebbero anche essere realizzati; evidentemente però non risulterebbero convenienti.

## I modelli

### Regola tori centrifughi.

Riferimenti generali:

M	Masse di regolazione
E	Molle di reazione
Pc	Perno di comando
Ls	Leva di spostamento
F	Fulcro intermedio
F <sub>1</sub>	Fulcro d'estremità
Lc	Leva di comando esterna
A	Asta di regolazione

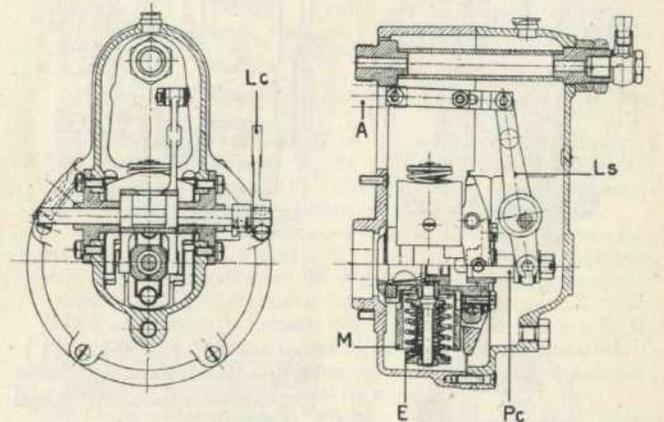


Fig. 23. — Regolatore tipo Bosch per minimo e massimo. È del tipo semplice ad azione diretta, particolarmente studiato per una grande produzione e con possibilità di installazione e di comando sia sul lato destro che sul lato sinistro del motore. Funzionamento indipendente dal senso di rotazione.

Viene largamente impiegato sugli autoveicoli stradali.

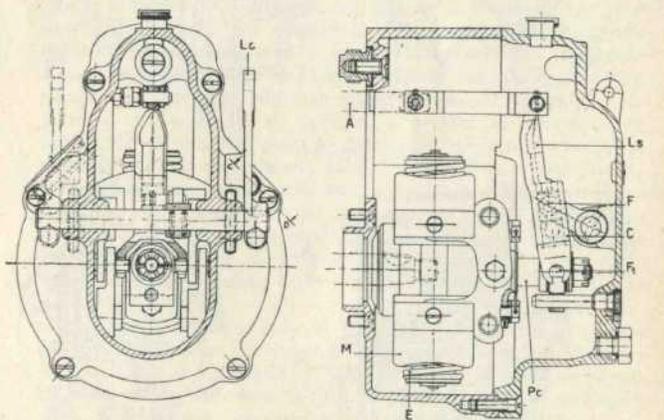


Fig. 24. — Regolatore tipo Bosch per minimo e massimo, con rapporto variabile (« a coulisse »). Struttura e caratteristiche generali analoghe al precedente.

Si differenzia per il dispositivo di trasmissione e di co-

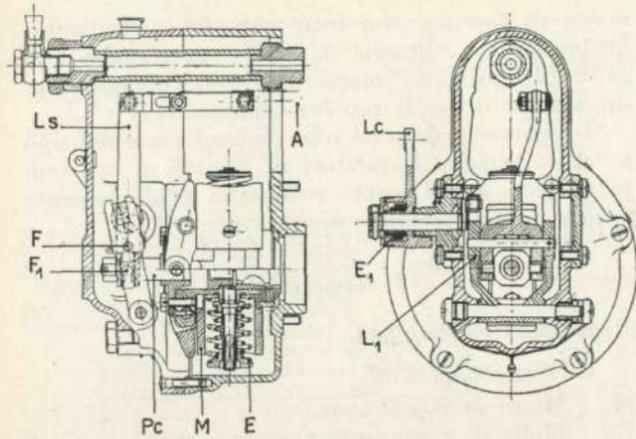


Fig. 25.

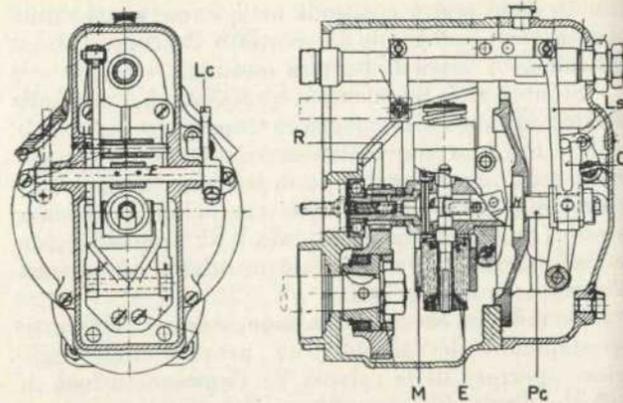


Fig. 29.

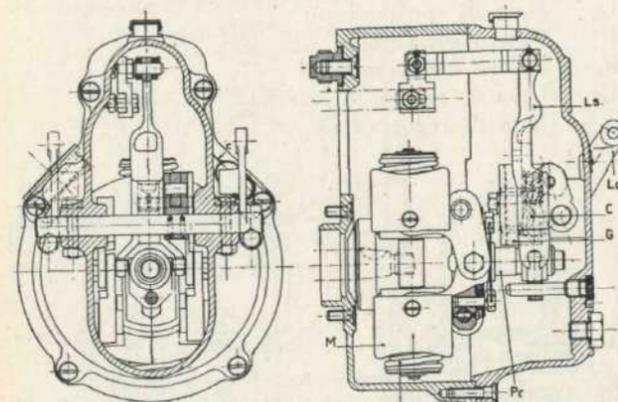


Fig. 26.

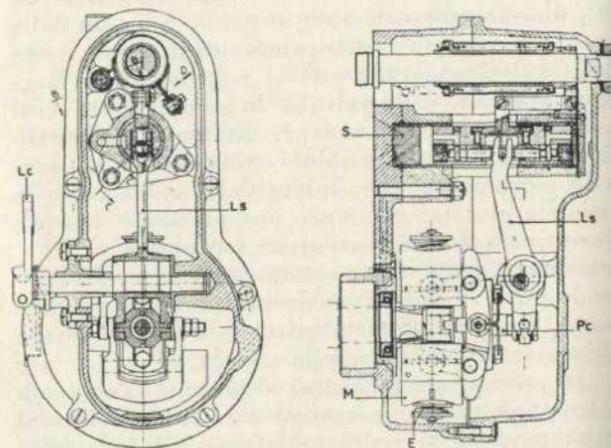


Fig. 30.

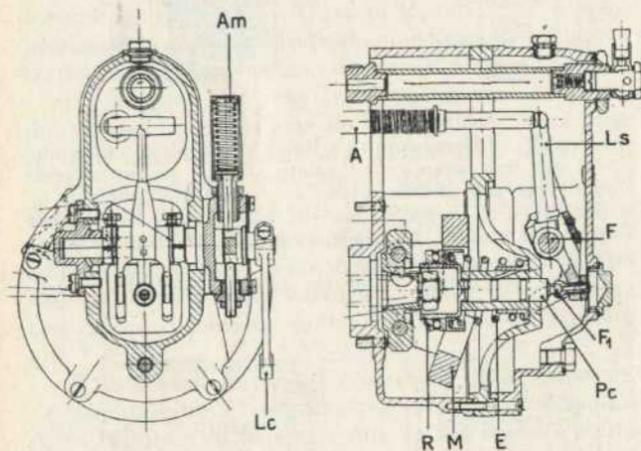


Fig. 27.

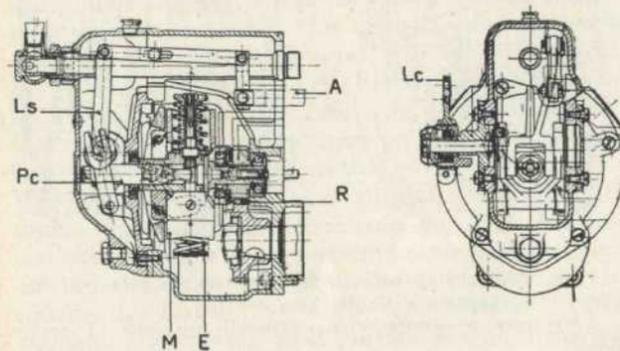


Fig. 28.

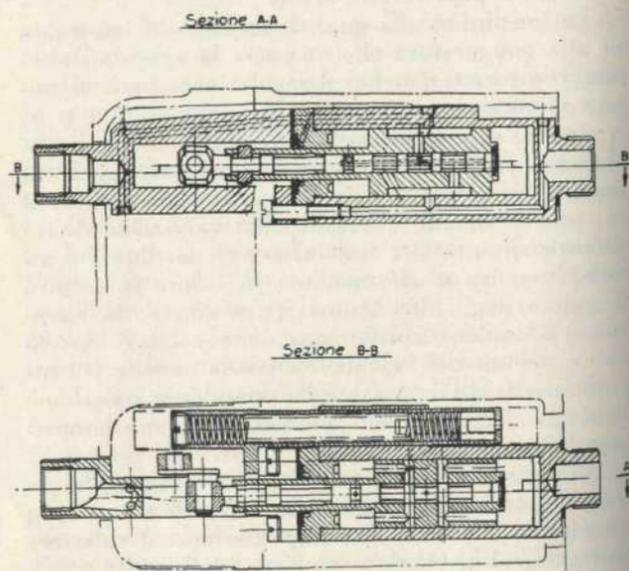


Fig. 31.

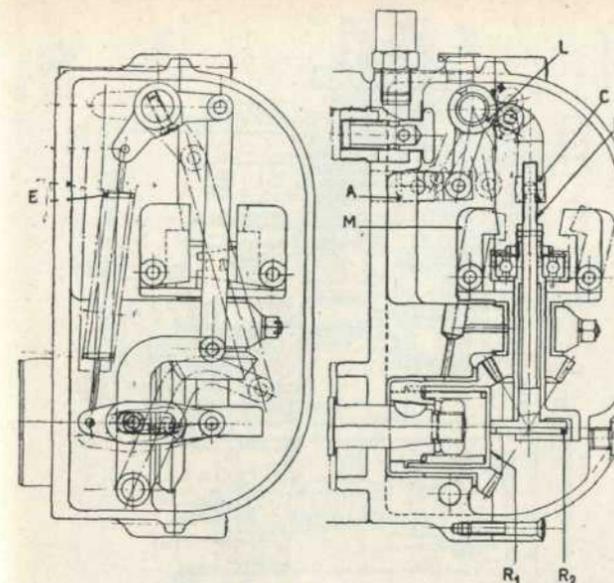


Fig. 32.

mando esterno che comprende un pattino scorrevole entro una opportuna superficie di scorrimento C (coulisse), mediante il quale si varia il braccio motore F-F, della leva Ls. La variazione del braccio consente di utilizzare un minor rapporto di moltiplicazione per gli spostamenti di regolazione del regime minimo, che compensa, in parte, la deficienza di forza centrifuga delle masse ai bassi regimi di rotazione.

Questo modello costituisce un perfezionamento del precedente e consente una migliore regolazione del minimo.

Fig. 25. — Regolatore tipo Bosch per tutti i regimi con comando esterno che agisce elasticamente sull'introduzione del combustibile. Struttura e caratteristiche generali analoghe ai precedenti; si differenzia per il dispositivo di trasmissione dei comandi esterni alla leva Ls. Nella trasmissione è inserita la molla E, per rendere la trasmissione stessa elastica, e la leva di rinvio L<sub>1</sub> per demoltiplicare gli spostamenti dalla leva esterna Lc al fulcro F.

Si presta all'impiego su motori marini e gruppi elettrogeni, autobotti, autoscale, carrelli ferroviari, ecc.

Fig. 26. — Regolatore tipo Bosch per tutti i regimi con rapporto variabile (« a coulisse »).

Struttura e caratteristiche analoghe al precedente. Se ne differenzia per il dispositivo di trasmissione e di comando esterno, analogo a quello di fig. 24, con l'aggiunta, però, di un glifo ad S praticato nella piastrina G, la cui funzione è di ridurre, nel campo dei regimi voluto, gli scarti che, per effetto della variazione del rapporto di trasmissione, risulterebbero elevati.

Si presta all'impiego sui motori marini, gruppi elettrogeni, autobotti, autoscale, carrelli ferroviari, ecc.

Fig. 27. — Regolatore tipo Fiat per tutti i regimi con comando esterno che agisce sulla molla del regolatore.

Si differenzia dai precedenti per avere le masse M incernierate ed un'unica molla elicoidale tronco-conica E coassiale col perno di comando Pc, agente sulle masse tramite il cuscinetto reggispinta R. Comprende anche un dispositivo Am per la registrazione del minimo e l'arresto del motore.

È stato particolarmente studiato per l'impiego sui motori agricoli, industriali e marini. La sua struttura è robusta e semplificata rispetto ai modelli illustrati in precedenza. Il campo dei regimi d'utilizzazione è però limitato. Sulla leva del conio esterno Lc esiste sempre il carico di reazione della molla E, per cui è necessaria una trasmissione di comando dell'acceleratore rigida.

Fig. 28. — Regolatore tipo Bosch per tutti i regimi con moltiplica del regime di rotazione. Caratterizzato dal rinvio ad ingranaggi R con rapporto di trasmissione maggiore di 1, che consente una maggiore velocità di rotazione delle masse M rispetto all'albero a camme della pompa d'iniezione, e quindi una maggior forza di regolazione.

Adatto per il comando di pompe d'iniezione a molti cilindri, di due o più pompe ed in generale quando si richiedano maggiori forze di regolazione o maggiore sensibilità. Per il rimanente, struttura analoga al modello illustrato in fig. 25.

È generalmente impiegato su motori di grande cilindrata, per trazione ferroviaria.

Fig. 29. — Regolatore tipo Bosch per tutti i regimi con moltiplica e rapporto variabile (« a coulisse »).

Compendia in sé le caratteristiche dei modelli di figg. 26 e 28.

Fig. 30. — Regolatore tipo Fiat per minimo e massimo e per tutti i regimi con servocomando idraulico.

È del tipo semplice ad azione indiretta.

Caratterizzato dal fatto che la leva di spostamento Ls, anziché azionare direttamente l'asta di regolazione A, aziona il cassetto distributore di un cilindro idraulico servomotore S, mosso da olio sotto pressione e collegato elasticamente all'asta di regolazione A. La maggior forza di regolazione è ottenuta col servocomando anziché con un aumento di regime del complesso rotante, come si aveva invece nei regolatori con moltiplica di fig. 28 e 29. Il complesso rotante è identico a quello di fig. 23.

Impiegato in sostituzione dei modelli con moltiplica quando si richiedano grandi forze di regolazione o gradi di irregolarità particolarmente stretti.

Fig. 31. — Gruppo cilindro idraulico servomotore tipo Fiat, particolarmente studiato per l'applicazione sui regolatori centrifughi.

Fig. 32. — Regolatore tipo Fiat compensato (isodromo) e con moltiplica.

Strutturalmente consiste in un regolatore centrifugo ad asse verticale, azionato da un rinvio ad ingranaggi conici con rapporto di trasmissione maggiore di 1, con masse incernierate e con dispositivo meccanico di compensazione.

Il dispositivo di compensazione è costituito da una trasmissione a ruote d'attrito R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> ad assi perpendicolari con variazione continua di rapporto, da valori positivi a valori negativi, compreso il rapporto zero. La ruota R<sub>1</sub> è solidale coll'albero a camme della pompa d'iniezione; la R<sub>2</sub> con un albero filettato B, sul quale si avvita un manicotto C portante il perno di collegamento con una leva a squadra L, collegata a sua volta all'asta di regolazione A.

Lo spostamento delle masse conseguente ad una variazione di regime provoca lo spostamento della leva L e dell'asta di regolazione, ed anche una corsa assiale della ruota d'attrito R<sub>2</sub>. In conseguenza di questa corsa assiale il punto di contatto della R<sub>2</sub> colla R<sub>1</sub> non è più sul centro di questa (rapporto zero), ma spostato di un certo raggio, che provoca una rotazione della R<sub>2</sub> in un senso o nell'altro (rapporto di trasmissione maggiore o minore di zero) a seconda che il punto di contatto è al di sopra od al di sotto del centro della R<sub>1</sub>.

Il senso della filettatura dell'albero B è tale da produrre una corsa assiale del manicotto C che accentua lo spostamento iniziale della leva a squadra L e dell'asta di regolazione. In conseguenza se lo spostamento iniziale è stato provocato, ad esempio, da una diminuzione di regime ed ha generato un aumento di portata, si genera un ulteriore aumento di portata che accresce il regime e conseguentemente, riaprendo le masse, riporta la R<sub>2</sub> contro il centro della R<sub>1</sub>. A questo punto, evidentemente, si ha dinuovo rapporto zero e la R<sub>2</sub> non ruota più; in conseguenza rimane stabilizzato il regime primitivo, corrispondente a tale posizione di equilibrio, ma con una maggiore portata dovuta alla corsa che nel frattempo, durante la fase descritta, ha compiuto il manicotto C.

La molla di reazione E (azionante le masse attraverso un leveraggio che corrisponde praticamente ad un aumento di flessibilità della molla) è regolabile, col comando esterno, in modo da mantenere la posizione delle masse corrispondente a rapporto zero per qualsiasi regime voluto.

L'andamento della regolazione realizzato da questo regolatore è illustrato in fig. 6.

L'impiego dei regolatori isodromi è limitato a casi particolarissimi che richiedono una quasi assoluta costanza di regimi.

## Regolatori pneumatici.

Riferimenti generali:

- M membrana
- C camera a depressione
- E molle di reazione
- A asta di regolazione
- T tubazioni di collegamento col Venturi
- Lc Leva di comando

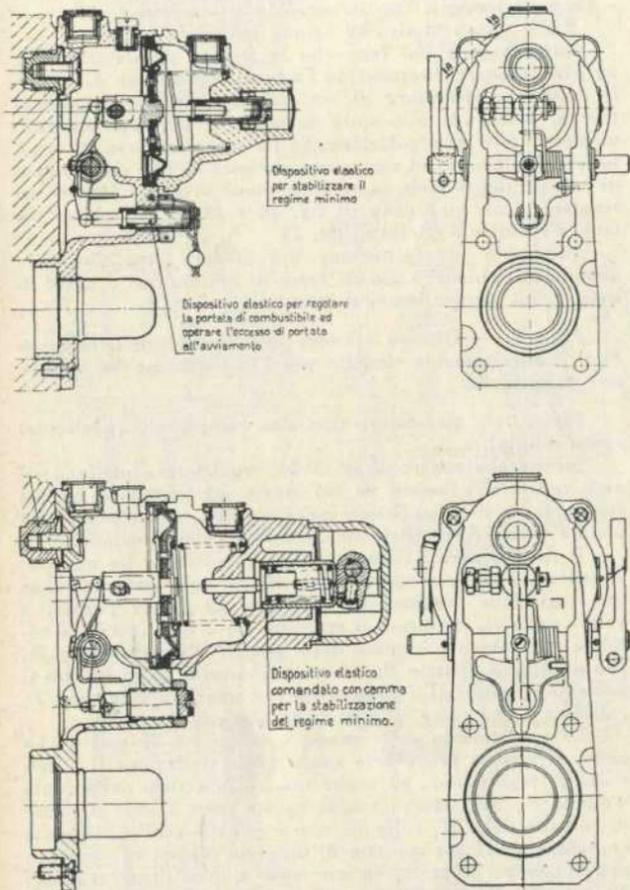


Fig. 33-34. — Regolatori tipo Bosch per tutti i regimi.

Sono del tipo semplice ad azione diretta, particolarmente studiati per una grande produzione e con possibilità di installazione e di comando sia sul lato destro che sul lato sinistro del motore.

Vengono largamente impiegati sui motori di piccola cilindrata per autoveicoli stradali e sui trattori agricoli, quando non vi siano elevate esigenze relative al grado di irregolarità e quando siano sufficienti piccole forze di regolazione.

## Regolatori idraulici.

Riferimenti generali:

- E pompa ad ingranaggi
- P<sub>1</sub> stantuffo amplificatore
- F foratura di trafilamento
- V valvola
- PV stantuffo-valvola
- M<sub>1</sub> molla della valvola
- M molla dello stantuffo servomotore
- L organo di comando (azionato dall'acceleratore).

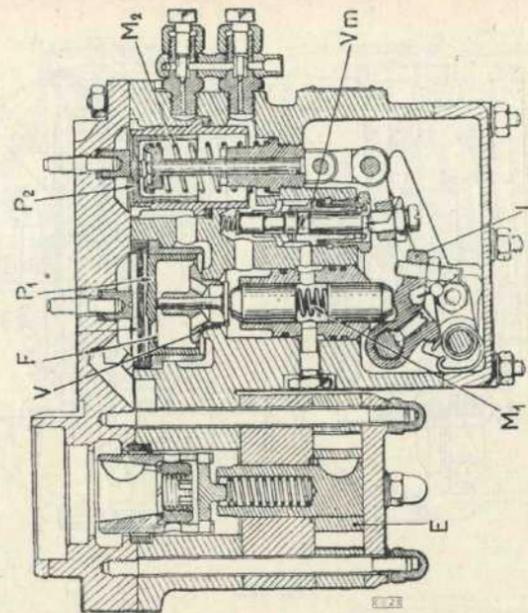


Fig. 35. — Regolatore tipo CAV per tutti i regimi. È del tipo ad azione indiretta con cilindro servomotore a doppio effetto.

Adatto ad essere montato sul lato destro o sinistro del motore ed a funzionare con rotazione destra o sinistra dell'albero di comando, mediante opportuno montaggio della pompa ad ingranaggi E.

Il circuito è secondo lo schema di fig. 21, con l'aggiunta della valvola Vm di regolazione del minimo.

Può essere impiegato su motori per trazione stradale e ferroviaria.

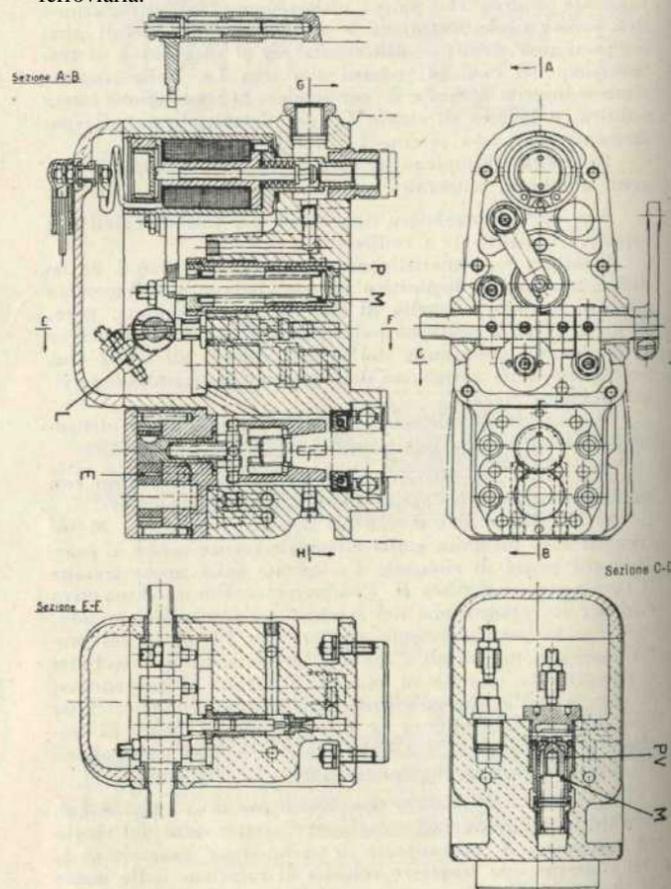


Fig. 36.

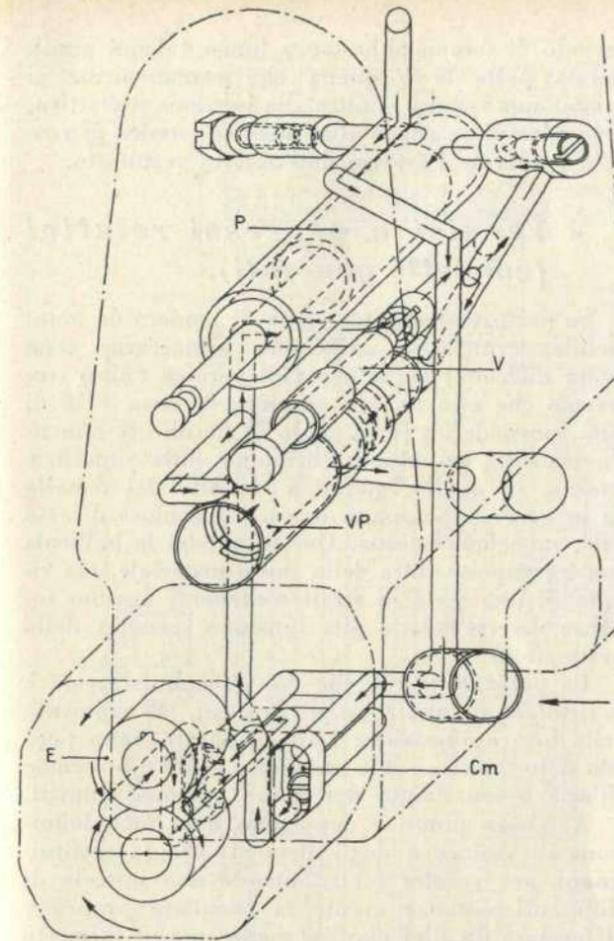


Fig. 37.

Fig. 36. — Regolatore tipo Fiat per tutti i regimi. È del tipo ad azione indiretta con cilindro servomotore a semplice effetto.

Adatto ad essere montato sul lato destro o sinistro del motore ed a funzionare con rotazione destra o sinistra dell'albero di comando, mediante la commutazione in Cm dei condotti d'uscita e d'entrata della pompa ad ingranaggi E. Il circuito è secondo lo schema di fig. 22.

La struttura è semplificata rispetto al tipo precedente.

Fig. 37. — Schema idraulico del regolatore a semplice effetto di fig. 36.

## Regolatori misti.

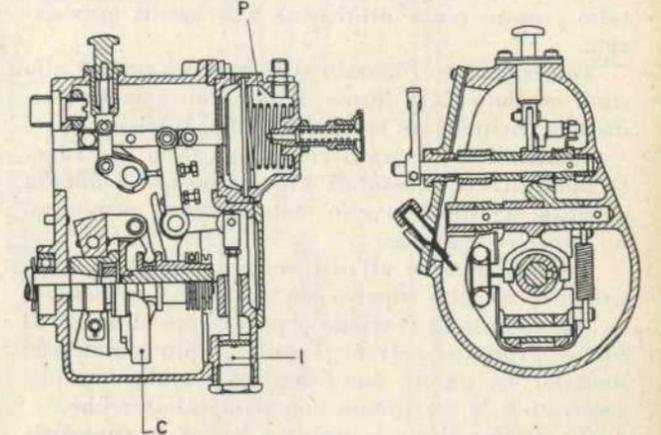


Fig. 38. — Regolatore a tutti i regimi ad azione centrifuga e pneumatica stabilizzata da ammortizzatore idraulico. È costituito da un gruppo regolatore centrifugo C, la cui azione è integrata da un gruppo regolatore pneumatico P e stabilizzata da un ammortizzatore idraulico I. È di impiego particolare.

Osvaldo Gorrini

# Finitura e protezione delle lamiere metalliche nelle carrozzerie di serie

La vita di un'autovettura non è misurata semplicemente da quella dei suoi organi meccanici. È perciò che, nella odierna produzione di grande serie, anche i problemi connessi con la verniciatura delle carrozzerie hanno assunto una enorme importanza. Essi sono tuttavia generalmente poco conosciuti. Nel presente articolo vengono ricordati agli ingegneri i principi scientifici su cui si basa la verniciatura; viene fatto il punto sui materiali e i metodi più moderni usati nella grande industria e in particolare viene descritta una grande realizzazione in questo campo, cioè l'impianto di verniciatura della FIAT Sezione Auto.

## I. - Introduzione.

In attesa che le materie plastiche, attraversata la fase sperimentale attuale, si dimostrino atte a sostituire i materiali metallici, per alcuni anni, secondo il parere degli esperti, la carrozzeria dell'automobile di serie, generalizzatasi sul tipo portante, sarà ancora in prevalenza costituita da lamiere metalliche stampate alla pressa e saldate. Il materiale che unisce la resistenza alla facilità di stampaggio e di saldatura e al basso costo è la lamiera di acciaio dolce per stampaggio profondo. L'alluminio legato e bonificato potrebbe presentare dei vantaggi per il peso ma è di costo troppo elevato.

La lamiera di acciaio dolce non possiede né può arrivare a possedere uno stato superficiale esteticamente accettabile e non è stabile nel tempo perché sotto l'azione degli agenti atmosferici si ossida.

Si potrebbe pensare all'acciaio inossidabile e ciò

è già stato fatto per i vagoni ferroviari (Budd) ma per la carrozzeria il suo costo è ancora troppo elevato e obbligherebbe all'impiego di grandi quantità di materiali strategici (Nichel e Cromo).

La lamiera di acciaio deve essere perciò trattata in modo da presentare una finitura esteticamente gradevole e tale da consentire una estesa gamma di colori e di aspetti per accontentare tutti i gusti. Inoltre deve essere protetta contro l'azione degli agenti atmosferici per un periodo di tempo sufficientemente lungo (praticamente alcuni anni). La soluzione di queste due esigenze è data dalla protezione del metallo a mezzo della vernice, cioè di una pellicola di sostanza organica che può venire applicata in moltissimi modi ed essere costituita da un esteso numero di sostanze.

Qui ci soffermeremo in particolare sul ciclo di verniciatura a base sintetica a forno.

Le vernici sintetiche infatti si sono dimostrate