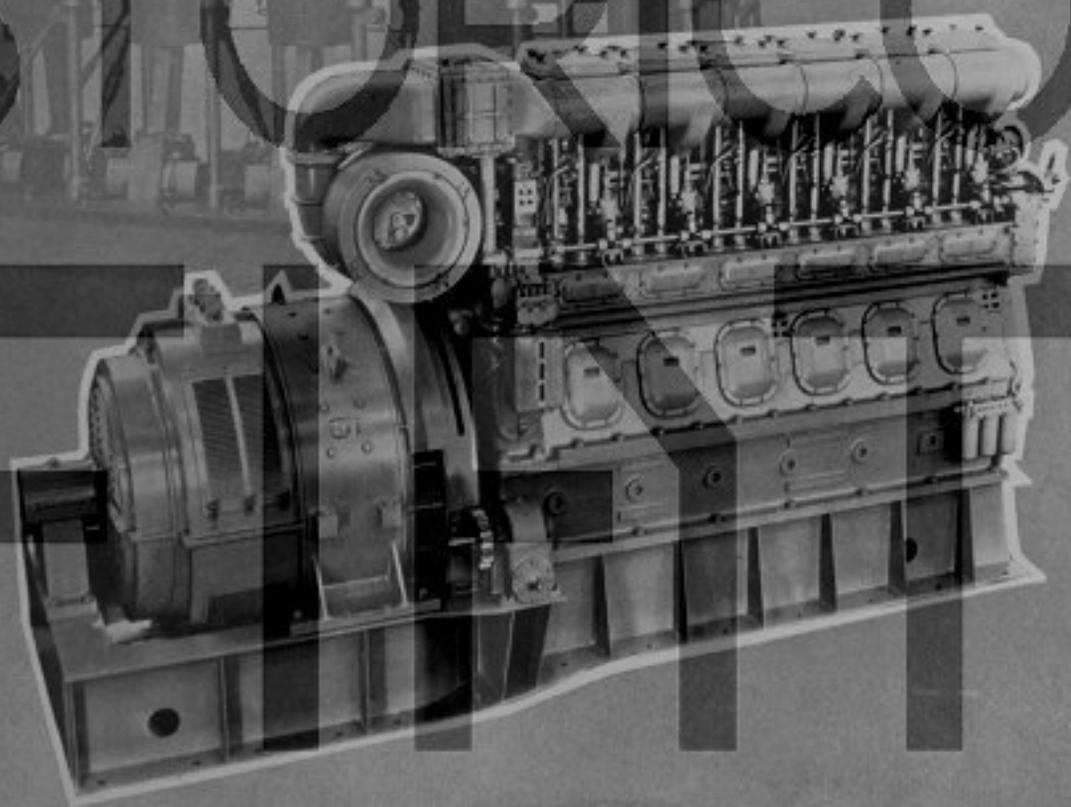


# FIAT STABILIMENTO GRANDI MOTORI

VOL. XI - N. 2

BOLLETTINO TECNICO

APRILE - GIUGNO 1956



Cinquanta anni di esperienza e di lavoro nel campo dei motori Diesel.

Il primo motore a quattro tempi da 350 Cv, costruito nel 1907 ed in primo piano, il motore FIAT A 306 ESS del 1956 a quattro tempi, sovralimentato con refrigerazione dell'aria da 1100 Cv a 500 giri/min.

# CENTRO

Considerazioni sul contributo dei costruttori italiani al progresso dei motori a combustione interna

Ing. Roberto De Pieri Pag. 38

# STORICO

Prospettive di impiego del generatore di gas a stantuffi liberi

Ing. Severo Filippini Pag. 43

Considerazioni sulla sovralimentazione con raffreddamento dell'aria nei motori diesel a 4 tempi

Ing. Giorgio Ciliberto Pag. 50

# FIAT

Invitati dalla Direzione dell'Associazione Termotecnica Italiana al Convegno primaverile dell'Associazione, tenutosi in Milano il 15 Marzo del corrente anno, abbiamo in tale occasione presentato cinque memorie.

Nel presente Bollettino Tecnico ne riportiamo tre e precisamente:

1) " *Considerazioni sul contributo dei costruttori italiani al progresso nei motori a combustione interna* „ - dell'Ing. Roberto De Pieri; memoria di carattere storico-descrittivo, che fra la fioritura di memorie di questo tipo pubblicate in occasione del centenario della nascita di Rudolf Diesel illustra il contributo dei tecnici italiani in generale e di quelli della FIAT in particolare nel campo dei motori a combustione interna. In essa il lettore troverà elementi e notizie che qua e là, già in altri articoli del nostro Bollettino Tecnico, ebbe modo di leggere; averli raggruppati e coordinati per tracciarne un panorama sintetico è lo scopo della memoria.

2) " *Prospettive di impiego del generatore di gas a stantuffi liberi* „ - dell'Ing. Severo Filippini. Verte su di una macchina che è di grande attualità sia nel campo delle applicazioni terrestri che navali e sulla quale si appuntano notevoli speranze, non prive però di alcuni interrogativi.

3) " *Alcune considerazioni sulla sovralimentazione con raffreddamento dell'aria nei motori a 4 tempi* „ - dell'Ing. Giorgio Ciliberto, nella quale vengono esposte molte considerazioni tecniche e pratiche di grande interesse anche perchè in buona parte trattate in modo originale e desunte da prove sistematiche eseguite appositamente per trovare la conferma sperimentale di molte ipotesi teoriche.

L'argomento della memoria " *La sovralimentazione dei motori a 2 tempi a lavaggio trasversale* „ - dell'Ing. Antonio Gregoretti, pure presentata al Convegno di Milano, è già stato trattato nel Bollettino Tecnico n. 1-1958, ove abbiamo riportato il testo integrale della analoga memoria, ma più completa, presentata dal medesimo autore al Congresso dei Motori a Combustione Interna di Zurigo (1957).

Ci riserviamo invece di pubblicare su uno dei prossimi Bollettini Tecnici la quinta memoria, dal titolo " *Applicazione degli " strain gauges „ nel campo delle misure e delle ricerche sui motori Diesel* „ - dell'Ing. Giorgio Antonucci.

## CONSIDERAZIONI SUL CONTRIBUTO DEI COSTRUTTORI ITALIANI AL PROGRESSO DEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

L'industria italiana dei motori a combustione interna ha iniziato la propria attività al principio di questo secolo e non ha certamente mal impiegato il periodo di oltre 50 anni durante il quale ha potuto svolgere il proprio lavoro.

Non esiste oggi, nel vasto campo dei motori a combustione, alcun settore in cui i costruttori italiani non abbiano raggiunto affermazioni notevoli; in qualche caso agli eccellenti risultati tecnici che si sono avuti, non hanno fatto seguito corrispondenti sviluppi industriali, mentre ove le condizioni economiche e commerciali lo hanno permesso lo sviluppo industriale non è stato inferiore a quanto ottenuto nei più progrediti paesi.

Lo sviluppo tecnico che i costruttori italiani hanno raggiunto ci ha permesso oggi di riunirci per esaminare i moderni orientamenti dei motori a combustione interna; non potremmo discutere con cognizione di causa questi problemi, se non avessimo dietro di noi una buona conoscenza degli argomenti.

Altri in questa riunione vi parleranno in modo specifico di problemi attuali; io vorrei far precedere a queste relazioni alcune notizie generali sul contributo che secondo la mia opinione, i costruttori italiani hanno dato e daranno per lo sviluppo dei motori di media e di grande potenza, per uso marino e per uso industriale.

I moderni motori Diesel — come del resto molte altre realizzazioni della tecnica industriale — non sono a rigore il prodotto del solo lavoro ed esperienza dei rispettivi costruttori. Ogni motore contiene in sé anche una quota ed un contributo del lavoro e dell'esperienza fatta dagli altri costruttori. La facilità di procurarsi e scambiarsi informazioni e dati, di conoscere risultati di esercizio, ecc. fa sì che, a poco a poco, i vari motori tendano ad avvicinarsi fra di loro, adottando integralmente o con qualche variante idee, indirizzi, disposizioni costruttive che si sappia abbiano dato altrove buona prova.

A questo lavoro collettivo di carattere internazionale i costruttori italiani ritengono aver dato un notevole contributo, sia con una buona visione iniziale di alcuni problemi generali (impiego del ciclo a due tempi, necessità dell'uso di combustibili scadenti), sia con la realizzazione di vari dispositivi di carattere costruttivo il cui impiego è stato in seguito esteso a molti altri motori, sia con la realizzazione di macchine di avanguardia.

### Impiego del ciclo a 2 tempi e scelta del sistema di lavaggio.

Fin dal 1908 la Fiat ha indirizzato la propria attività, nel campo dei motori, marini sull'impiego del ciclo a 2 tempi. Questa decisione è stata presa in un'epoca in cui la scelta del ciclo a 2 tempi poteva essere considerata azzardata, non essendovi esperienza in macchine funzionanti secondo questo principio ed essendo, per contro, la quasi totalità dei motori in quel tempo costruiti, basati sul ciclo a 4 tempi.

Non appena però una maggiore esperienza di funzionamento ha permesso di eliminare le difficoltà iniziali, i motori a 2 tempi, come ognuno ricorda, hanno preso il sopravvento sui motori a 4 tempi, cosicché nel periodo compreso fra il 1930 + 1940 si è assistito alla totale scomparsa del motore a 4 tempi nel campo della grande navigazione.

E' in ogni modo onore di quei costruttori, che hanno sempre perseverato nello sviluppo dei motori a 2 tempi e che non lo hanno abbandonato nei periodi difficili, l'aver contribuito allo sviluppo di quella che è oggi la macchina standard e l'aver fornito, con la propria opera di pionieri, un certo contributo di esperienza pratica a quei costruttori che in seguito hanno dovuto passare al motore a 2 tempi.

Nei primi motori da sommergibili costruiti fino a circa il 1912, venne impiegato un tipo di lavaggio longitudinale

in cui l'aria veniva introdotta nel cilindro attraverso valvole nella testata e lo scarico avveniva attraverso feritoie in basso nella camicia del cilindro. Costruttivamente questo dispositivo corrisponde a quello impiegato oggi in molti motori moderni a 2 tempi, salvo che oggi l'aria viene introdotta dalle feritoie in basso e lo scarico avviene attraverso le valvole nella testata.

La complicazione meccanica di questo dispositivo ha portato, per i motori successivi, all'uso di un lavaggio trasversale, che ancora oggi è quello che, con successivi perfezionamenti, è adottato nei motori Fiat. Le feritoie di lavaggio e di scarico, opposte fra di loro, sono nella parte inferiore della camicia. Le feritoie di lavaggio sono più alte di quelle di scarico ed il ritorno dell'aria dai cilindri è impedito da valvole di ritenuta di tipo leggero.

Questo tipo di lavaggio è difficile da mettere a punto dato che piccole variazioni di sezione, di inclinazione e del profilo delle feritoie di lavaggio possono portare a notevoli differenze nel rendimento del ciclo di lavaggio. È però possibile, con una opportuna scelta di tali elementi, ottenere ottimi risultati.

Il lavaggio trasversale consente di realizzare il motore con la massima semplicità costruttiva. Non vi è alcun organo comandato di distribuzione né sul lavaggio né sullo scarico. Le testate dei cilindri sono di forma semplice e i soli organi in moto durante la marcia del motore rimangono gli stantuffi motore e la pompa del combustibile.

Il lavaggio trasversale richiede una quantità d'aria superiore a quella che occorre al lavaggio longitudinale e questo pone qualche problema supplementare per la sovralimentazione; ma anche con questo rimaniamo dell'opinione che i vantaggi siano superiori agli inconvenienti.

Anche gli altri costruttori che fin dall'inizio si sono indirizzati verso il lavaggio di tipo trasversale, non lo hanno più abbandonato. I motori a lavaggio longitudinale, con le valvole in testa sono stati realizzati soltanto da quei costruttori che hanno iniziato in un secondo tempo la costruzione dei motori a 2 tempi e che avevano bisogno di usare nei loro nuovi motori un tipo di lavaggio facile da mettere a punto, come quello longitudinale, anche a costo di una maggiore complicazione costruttiva.

#### Impiego della nafta da caldaia.

A differenza di quanto era opinione diffusa in molte altre nazioni europee, in Italia tutti gli utenti di motori Diesel marini hanno sempre avuto l'idea che questi do-

vessero essere costruiti in modo da poter bruciare i combustibili più scadenti.

Già la stessa Marina Militare, nelle prime ordinazioni di motori da sommergibili, imponeva per questi motori l'uso dello stesso tipo di nafta che la Marina stessa approvvigionava per le caldaie a vapore. È vero che si trattava di un combustibile che oggi troveremmo ottimo e che potrebbe essere classificato come un buon Diesel-oil, ma in quel tempo esso era considerato combustibile scadente che richiedeva particolari accorgimenti per essere impiegato su motori di tipo veloce.

Naturalmente se i motori per sommergibili erano stati messi a punto con combustibile di densità 0,9, è sembrato cosa naturale che i successivi motori mercantili dovessero bruciare combustibili almeno equivalenti o di qualità inferiore. Combustibili di densità 0,90 - 0,93 sono stati considerati normali per i motori Fiat mercantili. Con l'andare del tempo cominciò ad essere richiesto da qualche armatore l'impiego di nafta ancora più scadenti ed equivalenti all'attuale 6 ASTM (Bunker C). La messa a punto in officina non diede luogo a difficoltà. Nel 1928 le quattro navi tipo Barbarigo della Società Veneziana, azionate da motori da 4500 Cv ognuno, entravano in servizio bruciando esclusivamente nafta da caldaia.

I dispositivi di depurazione, riscaldamento, ecc., impiegati in quell'epoca corrispondono a quelli che dopo 15 anni vennero abbondantemente descritti da tutta la stampa tecnica inglese in occasione dell'impiego della nafta da caldaia sulla M/n « Auricula ».

L'evoluzione successivamente avutasi verso l'iniezione meccanica del combustibile, portò nuovi problemi che vennero anch'essi risolti in modo soddisfacente. Una prova comparativa venne compiuta durante un periodo di qualche anno sulla M/n « Leme » della Soc. Italia, sulla quale uno dei due motori funzionava a Diesel-oil e l'altro con nafta da caldaia della peggiore qualità. Il risultato di queste prove fu uno degli elementi che indusse nel 1938 la Società Italia e le compagnie di navigazione consociate ad adottare come standard i motori Fiat per le loro navi.

Nello stesso periodo di tempo, alcuni armatori stranieri presero direttamente l'iniziativa e modificarono, con vario successo, motori già installati a bordo per adattarli all'uso di combustibili scadenti; ma soltanto dopo la guerra questo problema, fino allora praticamente ignorato dai costruttori stranieri, fu preso all'estero in seria considerazione.

Rimane tutt'ora, nel considerare questo problema, una diversa impostazione mentale: mentre noi abbiamo considerato e consideriamo che un grande motore marino deve bruciare volentieri combustibili scadenti come condizione normale della sua vita, la maggior parte dei costruttori stranieri accetta questa condizione come una dura necessità, alla quale, se possibile, il motore deve cercare di sottrarsi. È probabile che questo minor entusiasmo sia uno dei motivi per cui in pratica oggi i motori Fiat sono ancora all'avanguardia in questo campo.

### Esigenze e particolarità costruttive dei motori destinati all'impiego di nafta da caldaia.

La buona riuscita e le scarse difficoltà che in realtà si sono sempre avute nei motori Fiat nel funzionamento con nafta da caldaia, possono spiegarsi con la particolare impostazione costruttiva seguita in tutti i motori costruiti dopo il 1925.

Come tutti i costruttori sanno, oggi non è difficile bruciare qualsiasi combustibile, per quanto cattivo, durante una prova in officina. Le difficoltà sopravvengono quando l'impiego della nafta cattiva debba essere continuato per migliaia di ore e quando si accumulino tutte le conseguenze della presenza di ceneri, parti carboniose, asfalti, zolfo, vanadio, ecc.

È noto che tutti questi prodotti deleteri danno luogo a:

- una maggiore usura delle camicie;
- una maggior possibilità di sporcamento delle feritoie nelle camicie dei cilindri, con conseguente perdita di potenza e di rendimento;
- necessità di frequente manutenzione con rischio di guasti alle valvole (nei motori a lavaggio longitudinale);
- rischio di corrosione dell'albero a gomito e degli organi del manovellismo, se i prodotti acidi dei residui della combustione vengono a inquinare l'olio di lubrificazione.

A combattere tutte queste difficoltà i motori Fiat erano in buona misura preparati fin dal 1925 e precisamente:

- la particolare costruzione delle camicie comportava e comporta tutt'ora una struttura composta da un corpo esterno di acciaio che sostiene l'azione meccanica e termica, e da una boccola interna, incorporata, in ghisa speciale.

Con questo è stato possibile impiegare, per la costruzione delle boccole, materiale molto resistente all'usura, anche se meno brillante per la resistenza meccanica, ottenendo in generale un'usura delle camicie molto moderata.

- il particolare disegno delle feritoie, che sono sempre state separate da gambette raffreddate, ha consentito di rendere minime le formazioni di depositi carboniosi.
- la separazione integrale dei cilindri dalle camere delle manovelle, ha permesso di isolare gli stessi da tutti gli organi che trasformano in moto rotatorio il moto alterno degli stantuffi.

La separazione integrale dei cilindri dalla camera delle manovelle non è un'invenzione della Fiat, ma corrispondeva alla costruzione normale di tutti i grandi motori a 4 tempi marini costruiti dopo la prima guerra.

Nessun motore a 2 tempi aveva fatto in quel tempo uso di un dispositivo analogo, che per contro è stato senz'altro adottato dalla Fiat malgrado il maggior costo e la maggiore altezza che esso comportava. Tale dispositivo, utile con qualsiasi tipo di combustibile, si è dimostrato indispensabile per l'uso della nafta da caldaia.

È noto che nel periodo posteriore all'ultima guerra, tutti i costruttori di motori a 2 tempi hanno dovuto adottare per i propri motori una parete di separazione fra i cilindri e la camera delle manovelle, rinunciando all'uso di stantuffi con mantelli lunghi passanti nell'interno della camera delle manovelle.

Ancora oggi però la vecchia disposizione costruttiva Fiat del 1925 è migliore di tutte quelle oggi impiegate per lo stesso scopo, in quanto è l'unica che dà luogo a una separazione integrale, essendo i cilindri aperti verso il basso.

Gli altri motori a 2 tempi oggi costruiti utilizzano lo spazio fra il cilindro e la parete di divisione come pompa d'aria o serbatoio di lavaggio. Con questo è possibile risolvere vantaggiosamente o semplificare qualche problema, abbassare in qualche caso l'altezza dei motori, ma si ha, a nostro avviso, l'inconveniente di rimettere in circolazione almeno in parte i residui di combustione che passano al di sotto dello stantuffo, residui che sono difficili da eliminare e che accumulandosi possono dar luogo, come segnalato da vari costruttori, ad esplosioni ed incendi.

Il risultato di tutto questo è che oggi sono in esercizio regolare con motori Fiat 120 navi e tre centrali elettriche

(6500, 10.000 e 20.000 kW, in corso di ampliamento quest'ultima a 40.000 kW), i cui motori impiegano in modo continuo combustibile da caldaia.

Anche nello sviluppo costruttivo dei singoli organi si possono trovare nei motori Fiat disposizioni costruttive e scelta di materiali che si sono estesi in tempi successivi ad altri tipi di motori.

Non vogliamo dilungarci su questo punto più del necessario, ma pensiamo sia utile ricordare che i motori italiani furono fra i primi a impiegare su larga scala l'acciaio fuso per la costruzione delle testate dei cilindri, delle testate degli stantuffi e degli alberi a gomito semi composti.

Già nei motori Fiat di più antica costruzione troviamo i dispositivi a girocamera per introdurre l'olio di raffreddamento degli stantuffi motori, la testata del cilindro incassata nell'interno della camicia allo scopo di proteggerne la parte superiore dalle più elevate temperature della combustione, la soppressione di ogni foratura destinata a condurre l'olio di lubrificazione negli alberi a gomito, allo scopo di aumentare la resistenza a fatica.

Non vogliamo dire con questo essere tali dispositivi di invenzione italiana, ma vogliamo ricordare una certa priorità nel loro impiego nei grandi motori Diesel.

### Realizzazione e prospettive della produzione Fiat.

La scelta e la particolare realizzazione del ciclo a 2 tempi, l'indirizzo verso l'impiego di combustibili scadenti, la costruzione di motori adatti a funzionare realmente con tali combustibili, alcune particolari disposizioni costruttive sono a nostro avviso da considerarsi, nel periodo in cui queste idee hanno cominciato ad essere tradotte in realtà, come posizione di avanguardia.

Ma anche per altri fatti possiamo con soddisfazione ricordare di aver sempre tenuto, a suo tempo, posizioni di primo piano. Così nella realizzazione dei primi motori ad iniezione meccanica, nella costruzione di motori di grande potenza per uso militare, nello sviluppo dei motori a doppio effetto, nell'impiego della sovralimentazione nei motori a due tempi, nello sviluppo di motori a 4 tempi ad altra sovralimentazione per uso marino ed industriale.

I motori a doppio effetto di tipo veloce e leggero, che sono stati costruiti anteguerra per la Marina (una unità sperimentale ha dato 18.000 Cv con un peso di ca. 10 kg per cavallo) non sono in alcun modo inferiori

ai molto più celebri motori della stessa categoria costruiti in Germania. I motori a doppio effetto di potenza massima prossima ai 20.000 Cv delle Motonavi « Vulcania » (1935), « Giulio Cesare » ed « Augustus » (1940), sono ancora oggi fra le più potenti unità Diesel costruite nel mondo.

Ed ancora oggi, nel campo meno brillante forse, ma, per altre ragioni, sempre più difficile della navigazione mercantile, abbiamo realizzato con l'aiuto della sovralimentazione unità di 15 ÷ 18.000 Cv di potenza per grandi navi cisterna, ed abbiamo in preparazione unità maggiori, per coprire il campo fra i 20 e i 25.000 Cv.

La ricerca del miglioramento è perseguita in modo continuo, esplorando nuovi campi e studiando differenti possibilità, allo scopo di avere macchine più leggere, più efficienti, meno costose di impianto e di esercizio.

Così, a seguito delle possibilità derivanti dalla sovralimentazione ad alta pressione, i motori a 4 tempi a media ed alta velocità, riacquistano possibilità di competizione anche per le grandi potenze, permettendo di realizzare economicamente apparati motori multipli.

Come ulteriore passo verso la realizzazione di unità di tipo misto, viene seriamente studiato l'accoppiamento turbina-generatore di gas, da cui si sperano notevoli vantaggi. Ciò in attesa che il progresso permetta di passare a suo tempo alla turbina a gas integrale, il cui sviluppo è tutt'ora frenato da problemi del comportamento del materiale alle alte temperature e dalle difficoltà di impiegare combustibili scadenti.

### Una soluzione del problema dell'assistenza tecnica.

Desideriamo chiudere questa rassegna con l'illustrare una iniziativa che, sorta circa 30 anni or sono, si è sviluppata in modo notevole e che giudichiamo sia stata e sia di notevole utilità sia per i costruttori che per gli utenti.

Allo scopo di facilitare gli utenti nella manutenzione dei motori, di mantenere stretti contatti fra il costruttore e gli utenti, di mettere in condizione il costruttore di conoscere a fondo il comportamento delle proprie macchine non soltanto durante il breve periodo di garanzia, ma anche durante tutta la vita delle macchine stesse, è stata messa in atto una organizzazione di manutenzione.

In base a questo, il costruttore s'impegna, dietro la corresponsione di un canone fisso annuo, a mantenere

in efficienza le macchine fornite per un periodo di tempo che in qualche caso si è esteso fino a 13 anni (scadenza di una importante visita richiesta dagli istituti navali di classifica). Il contratto comporta, a carico del costruttore, l'obbligo di fornire tutti i materiali di ricambio occorrenti, per qualsiasi ragione essi possano essere necessari, includendo quindi, non soltanto eventuali difetti di materiale, costruzione, ecc., ma tutte le conseguenze di normale servizio (corrosioni, usure, rotture, ecc.) e comprende anche tutti i rischi derivanti da errori o trascuratezza del personale di macchina. Il costruttore ha inoltre l'obbligo di eseguire, a mezzo del proprio personale specializzato, tutti i lavori di manutenzione eseguibili in porti italiani.

La maggior organizzazione di questo tipo è quella messa in opera dalla Fiat la quale ha creato in tutti i maggiori porti italiani: Genova, Napoli, Venezia, Trieste, Messina, Civitavecchia, Palermo, Taranto, apposite officine o basi con proprio personale e depositi di materiale per le navi che in detti porti fanno capo in modo più regolare.

Come detto sopra, lo scopo di questa organizzazione è di carattere tecnico e industriale. L'esperienza ha dimostrato il grande valore dell'apparto tecnico, che ha messo in condizione i progettisti di conoscere non soltanto quei difetti principali che in qualunque caso sarebbero stati portati a loro conoscenza, ma anche tutte quelle piccole cose di secondaria importanza che tante

volte sluggono, in quanto gli stessi utenti non ritengono indispensabile segnalarle in modo evidente; così è stato possibile, in base ai dati di esperienza diretta, migliorare e semplificare i motori non solo nelle parti principali, ma anche nelle parti accessorie, facilitare al massimo tutte le operazioni di revisione o di smontaggio, prevedere le migliori attrezzature possibili per accelerare i lavori e rendere in una parola i motori sempre più comodi e pratici per chi li deve impiegare.

Questa organizzazione lavora in Italia per motori di centrali elettriche e per i motori delle navi.

Per gli armatori stranieri è stata da tempo prevista e messa in opera una organizzazione di assistenza che, senza essere vincolata da particolari contratti, permette l'aiuto agli armatori in molti dei principali porti del mondo.

Una base largamente attrezzata è stata organizzata a Buenos Aires per servire i numerosi motori installati in Argentina per uso industriale e gli apparati motori di molte navi. Basi di appoggio e assistenza con personale nostro sono da tempo funzionanti in Norvegia e a New York.

Come detto sopra, abbiamo citato questa organizzazione in quanto crediamo sia unica nel mondo per i grandi motori ed in quanto attribuiamo ad essa una grande importanza tecnica; essa ha contribuito e certamente contribuirà anche in futuro al progresso, fornendo preziosi elementi per la conoscenza del reale servizio dei motori e permettendone il continuo miglioramento.

Ing. ROBERTO DE PIERI.

FIAT

## PROSPETTIVE DI IMPIEGO DEL GENERATORE DI GAS A STANTUFFI LIBERI

1) Il sistema « Generatore di gas a stantuffi liberi - Turbina a gas », venuto quasi improvvisamente alla ribalta dopo un lungo periodo di incubazione, sta suscitando molto entusiasmo e molte speranze, sia nel campo dei costruttori che in quello degli utilizzatori.

E' divenuto quindi un argomento di attualità, di cui si parla volentieri e poichè anche da noi, alla Fiat, vi si lavora attorno intensamente da un paio di anni, tanto nell'edizione pesante di grande potenza, adatta agli impianti fissi ed alla propulsione navale, quanto nell'edizione di media potenza, adatta alla trazione ferroviaria e stradale pesante, penso sia interessante dare uno sguardo d'insieme alla situazione.

Il binomio « Generatore di gas a stantuffi liberi - Turbina » si trova oggi in quella fase iniziale di sviluppo nella quale, accanto al lavoro cauto e riservato inerente alla messa a punto in esercizio dei primi impianti, si intreccia l'azione commerciale e pubblicitaria — per sua natura audace ed esuberante — specie se, come sta avvenendo, essa è assecondata da una richiesta abbastanza viva ed impaziente.

Ci troviamo quindi in una fase molto interessante, ma ancora fluida, confusa, piena di speranze e nello stesso tempo di incertezze, nella quale è difficile fare il punto della situazione, sia nel campo puramente tecnico e costruttivo, sia in quello delle reali possibilità di impiego pratico.

Siamo in altri termini ancora lontani dal momento in cui si potrà fare una sintesi e trarre delle conclusioni e noi ci limiteremo perciò ad affrontare il problema alla larga e da un punto di vista generale, cercando soprattutto di spiegare i motivi tecnici ed applicativi di questa ondata di interesse e di speranze.

Questo faremo valendoci, per quanto possibile, della nostra particolare posizione di vecchi costruttori di motori Diesel e di recenti costruttori di generatori di gas a stantuffi liberi e di turbine a gas, innestando così su una ormai lunga esperienza una esperienza recente ma che, pur essendo breve, ha se non altro il pregio di essere di prima mano e forse abbastanza spassionata.

2. - Il sistema formato da una turbina a gas alimentata da uno o più generatori di gas a stantuffi liberi e quello equivalente con generatore di gas a motore classico con manovellismo non sono, come è noto, delle novità, in quanto i primi esperimenti risalgono ad almeno 25 anni, ma essi sono proseguiti per molto tempo piuttosto a rilento, con alterne vicende e senza attirare mai una soverchia attenzione.

Infatti, come spesso accade per le cose ibride, questo ingegnoso tipo di macchina non è stata presa in seria considerazione né dai costruttori dei motori Diesel, che solo ora vi scorgono, per ragioni che vedremo, un reale interesse pratico, né dai costruttori di turbine a gas. Questi ultimi, in modo particolare, hanno seguito a tendere, e giustamente, alla soluzione integrale e perfetta del loro problema mediante la turbina che aziona direttamente il proprio compressore rotativo, e forse si sono sentiti ancor meno attirati a studiare questa soluzione di ripiego, perchè non possedevano e forse non possiederanno mai la necessaria esperienza per affrontare la progettazione e la messa a punto di un generatore di gas alternativo, problema tutt'altro che facile anche per il più qualificato costruttore di motori Diesel.

Quindi per molti anni si sono avuti qua e là in Europa solo dei tentativi isolati sia con generatori a stantuffi liberi (SIGMA in Francia e SULZER in Svizzera) sia con generatori a motore classico (SULZER in Svizzera, BRISTOL in Inghilterra, GÖTAVERKEN in Svezia) ma senza apprezzabili sviluppi pratici e commerciali.

Questa situazione sarebbe probabilmente rimasta stazionaria ancora per lungo tempo se non fossero intervenuti abbastanza di recente alcuni fatti nuovi, capaci forse di sbloccarla e cioè:

a) L'interesse, da parte dei costruttori dei grossi veicoli ferroviari e stradali, di disporre di macchine aventi ingombri, pesi e consumi specifici circa equivalenti a quelli dei motori Diesel di pari potenza, ma molto più elastiche, cioè capaci di fornire coppie elevate e crescenti

si bassi giri, come avviene per es. in una turbina a gas (o a vapore) alimentata da un generatore di gas (o di vapore) indipendente. Tale motrice permetterebbe loro di realizzare un obiettivo pratico molto importante e cioè l'uso di una trasmissione meccanica senza un cambio, o al più con un cambio o un convertitore di coppia ad un solo gradino, soluzione ideale sotto tutti gli aspetti, specie quando le potenze in gioco sono relativamente elevate.

b) L'interesse da parte degli Armatori di disporre di una motrice di pari rendimento, semplicità e sicurezza del motore Diesel lento, a 2 tempi, semplice effetto, oggi in generale sovralimentato — che da almeno 30 anni è sotto tutti gli aspetti la macchina più adatta per la propulsione del comune naviglio da carico — anche al di là della potenza unitaria di  $12 \rightarrow 15.000$  Cv effettivi, oltre la quale solo da poco tale genere di motore comincia a salire.

Infatti l'inaspettato e rapidissimo aumento della portata e della velocità delle navi da carico — petroliere in particolare — al quale stiamo da qualche anno assistendo (sono già abbastanza numerose le petroliere da 50.000 t di portata a 16  $\rightarrow$  17 nodi, e ve ne sono in costruzione da 80 a 100.000 t) ha fatto salire le potenze fino a  $20 \rightarrow 25.000$  Cv effettivi per asse.

Per la propulsione di queste vere isole galleggianti non v'è stato inizialmente altra scelta che gli apparati motori a vapore ad alta pressione, con turbina e riduttore ad ingranaggi, cioè impianti che pur avendo fatto di recente dei grandissimi progressi nel peso, nell'ingombro e nel consumo specifico:

- sono assai complicati, e quindi richiedono personale navigante molto qualificato, difficile da reperire e da conservare;
- consumano almeno il 50 % in più di combustibile rispetto ad un motore Diesel, e quindi hanno delle spese di esercizio assai maggiori;
- sono infine meno in grado di offrire quelle garanzie di sicurezza di funzionamento e di facilità di manutenzione che erano peculiari dei vecchi impianti a vapore a moderata pressione e surriscaldamento e che sono analogamente proprie degli attuali motori Diesel di tipo lento, sovralimentati o no.

Vorrei soggiungere che forse vi sono state anche delle altre ragioni ad agitare le acque a favore del binomio « Generatore di gas - Turbina » e precisamente:

c) L'inopinato lento e difficile sviluppo applicativo della turbina a gas propriamente detta a causa del suo basso rendimento termico, dovuto alla impossibilità pratica

di salire con la temperatura di ingresso in turbina oltre gli attuali  $620 \rightarrow 700^\circ\text{C}$  (a seconda del tipo di combustibile).

Altro ostacolo alla sua diffusione è la sua, per ora dubbia, capacità di bruciare — senza danni alle palettature — la nafta da caldaia (Banker C) che rappresenta il combustibile liquido più economico esistente sul mercato mondiale.

L'impiego della turbina a gas resta quindi limitato a quei casi in cui si dispone di combustibili liquidi o gassosi di buona qualità e a basso prezzo (campi petroliferi - gasdotti - raffinerie) oppure a quei casi di servizi saltuari o speciali (centrali elettriche di punta, gruppi di emergenza - naviglio militare) nei quali il fattore rappresentato dal maggior costo del combustibile può essere compensato o dalle minori spese di ammortamento o da altri motivi, quali per es. il minor peso ed ingombro, la rapidità di avviamento, la minima richiesta di acqua, ecc.

d) La tenacia con cui la Ditta francese SIGMA ha proceduto, dal 1935 in avanti, nelle prove del generatore di gas a stantuffi liberi, favorita in questo dall'appoggio offertole dal Governo Francese che si è fatto promotore dell'impiego di alcuni impianti su piccole navi della Marina Militare ed in diverse centrali minori della nazionalizzata « Electricité de France ».

A queste prove ha dato successivamente un notevole impulso tecnico la GENERAL MOTORS che dal 1953 si è interessata sia dei generatori di piccola e media potenza per la locomozione stradale e ferroviaria, sia di quelli di maggiore potenza per uso navale. Una nave mercantile, la « William Patterson », di proprietà del Governo Americano, è azionata appunto da un impianto di questo genere della potenza di 6000 Cv ed è in esercizio da circa un anno.

e) Il desiderio, non espresso, ma forse più generale di quanto non si creda, che spinge i maggiori costruttori di motrici termiche a cercare qualche nuova soluzione, ora che nel campo dei motori Diesel il rapido successo pratico della sovralimentazione e nel campo delle turbine a vapore l'altrettanto rapida corsa verso le alte pressioni e i forti surriscaldamenti intermedi, stanno esaurendo i temi su cui era ragionevole fare assegnamento per un massiccio progresso nelle prestazioni e nei consumi.

3. - Ma il generatore di gas con la sua turbina, cioè questo strano connubio tra una macchina alternativa ed una rotativa, tra una macchina che con la sua complicazione e lentezza rappresenta piuttosto il passato ed una tanto semplice e veloce da simboleggiare meglio di

ogni altra l'avvenire, è proprio in grado di soddisfare alle varie e tanto ambiziose aspettative che si sono ora enumerate?

Prima di tentare una risposta credo sia opportuno sgombrare il campo da un grosso dilemma iniziale e cioè stabilire quale dei due tipi di generatore di gas di cui oggi si dispone in pratica — quello a motore classico con manovellismo e quello a stantuffi liberi — sia tecnicamente preferibile ed offra maggiori prospettive di ulteriori sviluppi.

Direi senz'altro quello a stantuffi liberi. Infatti il generatore di gas, come dice il suo nome, ha la funzione di trasformare l'energia calorifica del combustibile in una corrente di gas caldo e compresso, atta ad azionare con il maggior rendimento termico possibile la turbina a gas a cui il generatore è associato.

Per raggiungere questo scopo è chiaro che:

a) il generatore deve effettuare la trasformazione primaria — da energia calorifica del combustibile in energia interna della corrente di gas — con il massimo rendimento globale possibile;

b) la corrente di gas che esce dal generatore deve possedere la massima entalpia possibile, affinché la trasformazione secondaria — da energia interna della corrente di gas in energia meccanica sull'asse della turbina — possa avvenire con il massimo rendimento termico.

Ora siccome in una turbina a gas moderna di tipo industriale e funzionante — come nel caso nostro — a nafta da caldaia, l'unica limitazione pratica è data dalla temperatura di ingresso che non deve superare i  $620 \div 630^\circ\text{C}$ , è chiaro che occorre fare in modo che i gas escano dal generatore ad una temperatura che tenda — sia pure ad una certa distanza — a tale limite e ad una pressione la più elevata possibile, compatibilmente si intende con il regolare funzionamento del generatore.

Ma in una motrice endotermica l'elevare il livello delle temperature di scarico e delle pressioni di alimentazione e di scarico vuol dire, in parole povere, sovraccaricare il motore: dunque un generatore di gas — a parità di altre condizioni — è tanto migliore quanto più alto è il suo limite di sovraccaricabilità termica e meccanica.

Credo infatti che molto propriamente ci possiamo valere di simile termine perché i generatori di gas — tanto a stantuffi liberi quanto a manovellismo — sono, nella loro parte motrice, dei veri motori Diesel, costretti però a funzionare con rapporti di sovralimentazione molto

maggiori dei motori propriamente detti ed a temperature di scarico nettamente superiori.

In queste condizioni di fortissima sovralimentazione — che vedremo aggirarsi intorno alla pressione assoluta di  $5 \text{ kg/cm}^2$  — le pressioni di compressione e quelle di combustione e quindi il carico sugli organi del manovellismo, cuscinetti in particolare, divengono così elevate da non offrire più, nel campo dei motori classici a 2 e a 4 tempi, delle soluzioni ragionevolmente sicure e durevoli. Altrettanto dicasi, sia pure in grado minore, per le sollecitazioni termiche e meccaniche delle testate cilindro e delle eventuali valvole e organi della distribuzione.

Il generatore di gas a stantuffi liberi, privo come è di cuscinetti, di testate cilindro, di valvole, di organi della distribuzione, si trova quindi per natura in una posizione di notevole privilegio, per quanto sussistano anche per esso, nella marcia alle elevatissime prestazioni che si richiedono, i gravi problemi della lubrificazione e del raffreddamento delle camicie, degli stantuffi e della durata delle fasce elastiche.

Inoltre, vuoi per l'assenza del manovellismo, vuoi per il perfetto equilibrio delle sue forze alterne, esso permette di aumentare sensibilmente il rapporto di compressione — e quindi il rendimento termico del ciclo — e di funzionare a velocità di stantuffo di circa  $10 \text{ m/sec}$ , cioè praticamente a velocità doppia di quella di un normale motore a 2 tempi di pari diametro.

Queste considerazioni — e ne vedremo più avanti delle altre — sono, credo, sufficienti a farci concludere che il generatore di gas a stantuffi liberi è, sia in teoria che in pratica, nettamente superiore a quello a motore classico con manovellismo.

4. - Esaurito l'argomento della scelta del tipo di generatore di gas, ritorniamo di nuovo al tema a cui ci siamo proposti di rispondere e cioè: il binomio « Generatore a stantuffi liberi - Turbina a gas » possiede in sé qualità tali da farlo ragionevolmente ritenere, non solo una motrice soddisfacente dal punto di vista termodinamico, ma anche e soprattutto una macchina vitale dal punto di vista pratico e quindi con un buon avvenire applicativo?

Risposta parziale abbastanza facile per la turbina, perché l'unica sua limitazione attuale, che è quella di non poter essere alimentata a temperature superiori ai  $620^\circ\text{C}$  qualora si bruci nafta da caldaia, non ha qui alcuna importanza pratica, essendo poco probabile che si riesca a far marciare il generatore di gas con temperature di scarico stabilmente superiori ai  $550^\circ\text{C}$ .

Simile moderata temperatura dei gas, unita alla loro altrettanto moderata pressione, anch'essa difficilmente

aumentabile molto al di là degli attuali  $5 \div 5,5 \text{ kg/cm}^2$  assoluti, rendono la turbina costruttivamente molto semplice e leggera.

Bastano infatti 4 o 5 stadi, non occorrono né per i dischi né per le prime file di palette fisse o mobili materiali di difficile rifornimento e costosi, non vi sono particolari problemi di progetto, di lavorazione, di montaggio o dubbi circa la durata dei materiali e perciò anche la manutenzione dovrebbe risultare facile ed economica.

Nel campo della propulsione navale con trasmissione diretta a mezzo di riduttore ad ingranaggi, qualora non si voglia ricorrere all'impiego dell'elica reversibile, è possibile realizzare la marcia indietro per es. con una turbina di marcia indietro che fornisca circa il 50% della potenza e che sia inseribile mediante apposito giunto idraulico.

In sintesi si può perciò dire che la parte turbina non presenta le difficoltà costruttive, né desta le preoccupazioni di esercizio che si riscontrano oggi nelle turbine a gas propriamente dette e, sia pure in grado minore, nelle turbine a vapore ad altissima pressione e forte surriscaldamento: il rendimento della macchina è elevato, la sicurezza di funzionamento praticamente assoluta.

Anche per quanto riguarda lo sporcamento delle palette, pur non disponendosi finora di dati sicuri relativi a un lungo esercizio effettivo, non si nutrono degli eccessivi timori, visto il regolarissimo comportamento in questo senso delle ormai numerose turbosolfianti a gas di scarico applicate ai grossi motori navali a 2 tempi, funzionanti a nafta da caldaia.

Quindi nel sistema « Generatore di gas a stantuffi liberi - Turbina a gas », se vi sono delle difficoltà o delle incognite da superare, queste non dipendono — o dipendono solo in misura secondaria — dalla turbina; essa lavora in condizioni termiche e meccaniche molto moderate, avendo un larghissimo margine a disposizione per eventuali aumenti nella temperatura e nella pressione dei gas in entrata, dovuti agli auspicabili progressi nelle prestazioni termiche e meccaniche dei generatori di gas.

5. - Incognite e difficoltà — se vi sono — le incontreremo perciò nel generatore di gas, anzi le abbiamo già intraviste quando si è osservato come il generatore, per rendere accettabile il rendimento complessivo del sistema, deve funzionare nella sua parte motrice in condizioni che, paragonate a quelle di un motore normale a 2 tempi sovralimentato di pari diametro, corrispondono ad un fortissimo sovraccarico termico e meccanico.

È vero che il paragone è, almeno in parte, improprio, perché il generatore di gas si presta molto meglio a sopportare simili condizioni di funzionamento, ma non v'è

dubbio che il principale ostacolo da superare, anche in vista di ulteriori progressi nelle prestazioni del generatore, e quindi nel rendimento del sistema, è appunto quello inerente a questo gravoso tipo di marcia che gli è peculiare.

È perciò un problema da affrontare soprattutto da un punto di vista motoristico, cercando di sfruttare l'esperienza relativa al settore — abbastanza affine — dei motori a 2 tempi di medio e grande diametro.

Vi sono naturalmente nel generatore di gas a stantuffi liberi, molti altri problemi, quali per es. quelli non semplici della regolazione e della stabilità di marcia ai vari carichi, quelli inerenti al collegamento meccanico dei due stantuffi fra di loro, quello dell'avviamento della macchina, quello dell'arresto automatico qualora la corsa superi il limite di sicurezza e quello della sincronizzazione dei generatori negli impianti multipli. Inoltre si presentano abbastanza complessi anche i problemi relativi ai dispositivi di iniezione, al lavaggio, alla forma della camera di combustione e alla distribuzione dei getti, alla eliminazione dei trafilamenti di olio lubrificante verso il compressore e nel serbatoio di lavaggio, al silenziamento dell'aria di aspirazione, ma sono tutte difficoltà minori e che è lecito ritenere superabili attraverso prove sistematiche di confronto e di messa a punto tra le varie soluzioni possibili.

In sintesi si può quindi dire che il generatore di gas a stantuffi liberi è una macchina costruttivamente molto semplice perché priva di manovellismo e di organi della distribuzione e soprattutto più adatta dei motori classici a funzionare agli elevati carichi termici e meccanici necessari, per ottenere un rendimento termico globale del sistema circa equivalente a quello di un normale motore Diesel di pari potenza.

È una macchina che, pur avendo già dato dei risultati brillanti — non solo per le sue prestazioni e consumi, ma anche per la sua presumibile attitudine a bruciare combustibili scadenti, in conseguenza del grande eccesso di aria disponibile e agli elevatissimi valori delle pressioni e delle temperature di fine compressione — richiederà ancora un notevole lavoro di perfezionamento, attraverso il quale è probabile che non solo si consolidino nella pratica i risultati ottenuti nelle prove, ma si riesca a migliorarli ulteriormente, specie per quanto riguarda la sicurezza, la regolarità di marcia e l'attitudine al servizio continuo e prolungato.

Quindi risposta parziale al nostro quesito favorevole anche per quanto si riferisce al generatore di gas, sebbene esso, a differenza della turbina che gli è accoppiata, si presenti come una macchina alquanto più difficile e meno matura.

6. - Resta ormai da formulare la risposta complessiva e cioè il sistema « Generatore di gas a stantuffi liberi - Turbina » ha realmente davanti a sé un avvenire ?

Le speranze al momento attuale sono molte e si indirizzano fondamentalmente su tre tipi di utilizzazione: impianti fissi per la produzione di energia elettrica, azionamento nei grossi veicoli ferroviari e stradali, propulsione navale.

A) *Impianti termoelettrici.* — Il motore Diesel a 4 tempi sovralimentato sembra imbattibile per la formazione di gruppi di media, piccola e piccolissima potenza: è infatti semplice, abbastanza veloce, poco ingombrante, economico, sicuro di funzionamento e facile di regolazione, rapidissimo nell'avviamento e nella messa a regime, ottimo nei consumi anche ai carichi ridotti. Unico punto a favore del generatore di gas è in questo momento la sua migliore attitudine a bruciare combustibili scadenti.

La turbina a vapore è a sua volta — almeno per ora — imbattibile nelle grandi centrali di base; resta quindi aperto, alla turbina con generatori di gas, il campo delle centrali intermedie, grosso modo tra i 2000 e i 25.000 kW, ove deve naturalmente competere con le seguenti alternative:

a) impianto con motori Diesel a 4 tempi sovralimentati e relativamente veloci, che oggi si producono correntemente per potenze unitarie di 1500 ÷ 2500 kW;

b) impianto con motori Diesel a 2 tempi, semplice effetto, sovralimentati di grande diametro e lenti, ottenibili correntemente per potenze unitarie tra i 4 e i 10.000 kW;

c) impianto con turbine a vapore, indicato nei casi in cui interessi un forte ricupero di calore, oppure quando si intenda sistemare un solo gruppo della potenza di 20 ÷ 25.000 kW;

d) impianto con turbine a gas propriamente dette, adatto in modo speciale per i servizi di punta o stagionali, specie se si dispone di combustibile gassoso o leggero a basso prezzo, o se vi sono limitazioni nella disponibilità di acqua.

In questo campo delle medie centrali la turbina con generatore di gas ha delle buone prospettive di successo, specialmente se si creeranno, come si sta cercando di fare, dei generatori di potenza unitaria abbastanza elevata (1500 ÷ 2000 Cv) in modo da non aumentare troppo il numero dei generatori. Infatti avremmo una soluzione che rispetto:

— *all'alternativa a)* cioè con motori Diesel a 4 tempi sovralimentati e relativamente veloci è di costo circa equivalente, ma ha il probabile vantaggio di bruciare nafta da caldaia e di essere più semplice specie nella parte elettrica, in quanto permette di concentrare la potenza su uno o due turboalternatori. E' di altrettanto rapida messa a regime ed altrettanto economica nella marcia con carichi ridotti, potendosi ridurre convenientemente il numero dei generatori in azione;

— *all'alternativa b)* cioè con motori Diesel a 2 tempi di grande diametro e lenti è di costo sensibilmente minore, anche per quanto riguarda la parte edile. Rapidità di avviamento e di messa a regime equivalente, e così pure facilità di regolazione e di marcia ai carichi minori. Vi è però ancora oggi una minor sicurezza di bruciare combustibili scadenti, ciò che è certo e provato ormai da anni per i grossi motori;

— *all'alternativa c)* e cioè con turbina a vapore, è di costo sensibilmente minore, dà luogo a consumi minori, specie ai carichi ridotti, è di molto più rapida messa a regime ed ha maggiore attitudine alla marcia alle andature ridotte. Richiede molto meno acqua di raffreddamento, permette di suddividere la potenza su due o più gruppi senza particolari complicazioni o perdite di rendimento. Resta però il dubbio, già accennato, circa la capacità effettiva di bruciare combustibili pesanti;

— *all'alternativa d)* e cioè con turbina a gas, è di costo maggiore, ma è di gran lunga migliore nei consumi; ha le stesse probabilità ed incertezze circa l'impiego delle nafta da caldaie. Rapidità di messa a regime equivalente.

B) *Azionamento dei grossi veicoli ferroviari e stradali.* — Dominio finora incontrastato, anche nei veicoli più potenti e pesanti, del motore Diesel, il quale possiede i moltissimi pregi che tutti conosciamo, ma fornisce purtroppo una coppia motrice non solo poco variabile, ma, da un certo punto in poi, addirittura decrescente al diminuire della velocità, il che obbliga all'impiego di cambi meccanici o di trasmissioni idrauliche od elettriche, con relative complicazioni, maggiori costi, pesi, ingombri, perdite di rendimento, maggiori probabilità di avarie, ecc.

Il sistema generatore di gas-turbina elimina questa manchevolezza in quanto la turbina, alimentata separatamente dal suo generatore, è in grado di fornire le maggiori coppie di spunto, di accelerazione del veicolo e di

marchia in salita, o da sola, o al più con un cambio ad un convertitore ad un solo gradino, da inserirsi una volta tanto per es. all'inizio di una lunga salita. Richiede per contro un notevole complesso di riduzione di giri.

In questo tipo particolare di applicazione il generatore di gas, oltre a tale vantaggio, ne presenta diversi altri, minori ma abbastanza importanti, e cioè:

- probabilità di poter bruciare dei combustibili pesanti, almeno nei tipi di maggiori dimensioni e potenza, ciò che rappresenterebbe un discreto interesse economico nell'esercizio delle grosse locomotive di linea;
- assenza di vibrazioni;
- facilità di sistemazione in piatto al disotto della carrozzeria;

fattori questi due ultimi particolarmente apprezzabili nelle automotrici e nei grossi autobus.

**C) Propulsione navale.** — E' questa la direzione verso la quale si direbbero orientati attualmente i maggiori sforzi applicativi e lo comprovano sia le numerose licenze che la Ditta SIGMA ha collocato da un paio di anni presso diverse fabbriche di motori marini in Inghilterra, Germania, Stati Uniti e Giappone, sia i lavori di ricerca cui parecchie di queste fabbriche si stanno dedicando. Infatti da due o tre anni si è formato nel campo degli apparati motori marini destinati alle navi da carico, una nuova e promettente area di sviluppo, quella tra i 10 e i 20 - 25000 Cv eff. per asse.

Tali sono infatti le potenze necessarie per la propulsione monelica (Nota 1) delle navi da carico di grande e di grandissimo tonnellaggio e veloci che si stanno costruendo in sempre maggior numero presso tutte le principali Marine Mercantili, perchè esse rappresentano la soluzione più economica dei grandi trasporti di massa — in genere prodotti petroliferi e minerali — qualora essi si svolgano con continuità tra porti particolarmente attrezzati per il rapidissimo imbarco e sbarco della merce (Nota 2).

Nota 1) - La propulsione monelica è quella preferita sia per il miglior rendimento propulsivo in generale, sia per il miglior governo nella navigazione in acque ristrette e nei canali, sia infine per la maggiore semplicità e il minor peso e costo dell'apparato motore.

Nota 2) - Il problema dell'economicità dei trasporti dei prodotti di massa che in genere si svolgono su lunghi percorsi (per es. dal Golfo Persico verso l'Europa ed il Nord America per gli oli minerali greggi; dal Nord America verso l'Europa per il carbone; dal Centro Africa o dal Centro America verso l'Europa ed il Nord America per i minerali di ferro, ecc.) è di fondamentale e crescente importanza nell'economia moderna, perchè il costo del trasporto incide su queste merci povere in ragione del 30 - 40% del loro valore, in regime di noli normali, e può salire oltre al 50% nei periodi di noli alti.

Ora l'unico tipo di macchina che fosse senz'altro disponibile in questo campo di potenze era la turbina a vapore e quindi su queste grandi navi da carico si sono di regola montati gli stessi apparati motori, del resto ottimi dal punto di vista del peso, dell'ingombro e del rendimento termico, che erano fino a pochi anni fa di impiego esclusivo sulle grandi navi da passeggeri.

Il risultato pratico sembra però inferiore alle previsioni, sia perchè il servizio di queste navi da carico è tale da non consentire lavori di manutenzione di una qualche importanza se non nelle soste annuali per il carenaggio, sia perchè il personale di macchina è meno specializzato di quello — fisso in organico — delle navi di linea, sia infine perchè l'armamento libero — salvo quello statunitense e quello dei paesi d'oltre cortina — non gode di sovvenzioni di sorta e svolge la sua attività su un mercato — quello dei noli — che è forse l'unico in cui il gioco della concorrenza si realizzi davvero su scala internazionale. L'armamento libero è perciò sensibilissimo, specie in regime di noli normali o bassi, a tutte le forme possibili di economia (nei consumi, nelle spese di condotta e di manutenzione, di assicurazione, ecc.) ed a tutte le perdite (per fermate, rallentamenti, deviazioni per lavori, rimorchi, ecc.).

Per questo tipo di armamento, che è di gran lunga il più diffuso e il più dinamico, il motore Diesel lento, a trasmissione diretta, rappresenta come si è già detto, la macchina ideale, perchè brucia gli stessi combustibili scadenti delle caldaie, ma consuma il 35% in meno. Inoltre è semplice, robusto, e quindi adatto, come le vecchie motrici alternative a vapore, ad essere affidato ad equipaggi mediocri e in continuo avvicendamento; è formato da tanti cilindri eguali e quindi si presta ad una manutenzione continuativa, fattibile a rate anche nelle brevi soste per le operazioni di carico e scarico. Infine in caso di emergenza può continuare a funzionare con uno o più cilindri fuori servizio e non contiene, all'infuori dell'asse a manovella, pezzi la cui riparazione o sostituzione richieda lungo tempo. Abbisogna di pochi ausiliari, per nulla delicati, non richiede automatismi di sorta, non vi sono prescrizioni speciali di esercizio che, venendo meno, possano provocare avarie gravi (Nota 3).

E' perciò naturale che l'armamento libero stia ritornando sui suoi passi e questo spiega sia l'attuale sensibile

Nota 3) - I moderni impianti a vapore sono invece, sotto questi aspetti, molto vulnerabili. Basti pensare per es. alla perdita di tempo necessario per approvvigionare in caso di avaria gli alberi delle turbine e dei riduttori, le ruote dei riduttori, i collettori delle caldaie, i fasci tubieri dei condensatori, all'intralcio nel servizio provocato da avarie o da irregolarità dei numerosi automatismi e dei servizi ausiliari delle caldaie, alle gravi conseguenze che possono derivare dall'impiego di acqua non sufficientemente distillata e così via.

richiesta dei motori Diesel di maggior diametro, a due tempi semplice effetto e sovralimentati, della potenza effettiva tra 1500 e 2000 Cv per cilindro e quindi capaci di formare unità fino a circa 20 ÷ 25000 Cv (Nota 4), sia l'interesse verso altri tipi di apparati motori magari più complessi, come il Diesel-elettrico e quello con motori accoppiati mediante giunti elettrici e riduttore, o quasi inediti, come quello con generatori di gas a stantuffi liberi e turbina a gas.

Quest'ultimo tipo di apparato, essendo più semplice del Diesel-elettrico e del Diesel con riduttore, è quello che attira maggiormente l'attenzione: peccato che per entrare in lizza, debba ancora combattere la sua prima e più dura battaglia che è quella di vincere la tradizionale prudenza del campo armatoriale, prudenza del resto più che giustificata, perché anche su una sola nave si tratta di mettere in gioco interessi di parecchie migliaia di milioni.

Comunque, se come è ragionevole sperare, verranno fra breve messi in produzione generatori di gas di potenza unitaria sui 1500 ÷ 2000 Cv eff. e di sicuro affidamento, è probabile che le prospettive di successo, in campo navale, del sistema generatore di gas-turbina, siano molto buone perché esso in definitiva potrebbe dare i vantaggi del motore Diesel lento e cioè:

*Nota 4) - Tutte le maggiori fabbriche di motori Diesel marini offrono attualmente motori a due tempi, semplice effetto, sovralimentati, di diametro intorno agli 800 ÷ 900 mm e corsa intorno ai 1600 ÷ 1800 mm, in grado perciò di sviluppare la potenza normale di 1500 ÷ 2000 Cv eff. per cil. a 105 ÷ 120 giri/min.*

- basso consumo specifico anche alle andature ridotte;
- probabile capacità di bruciare nafta da caldaia;
- articolazione della macchina su tanti elementi uguali ed indipendenti, e quindi tali da migliorare la sicurezza di funzionamento;
- semplicità di impianto, rapidità di avviamento e di messa a regime, facilità di condotta e di regolazione.

In più consentirà un guadagno sensibile nel peso e negli ingombri e risulterà probabilmente più pratico ed economico nella manutenzione, in quanto essa sarà effettuabile in gran parte anche in navigazione, escludendo un generatore per volta.

Infine il sistema permetterà di raggiungere potenza di 20 ÷ 25000 Cv per asse senza il ricorso a quelle dimensioni meccaniche eccezionali, caratteristiche dei motori Diesel lenti di grandissimo diametro, di cui abbiamo ora parlato.

Dopo questa rapida rassegna circa la posizione passata e presente e circa le prospettive avvenire del sistema « Generatore di gas a stantuffi liberi - Turbina a gas », è venuto il momento di giungere a una conclusione che ci sembra, in linea di massima, favorevole non solo perché il sistema ha un ottimo rendimento termico e possiede caratteristiche costruttive molto attraenti, ma perché ha davanti a sé diversi campi applicativi in pieno sviluppo e nei quali esso si presenta con dei notevoli vantaggi tecnici ed economici rispetto alle soluzioni tradizionali che gli sono competitive.

Ing. SEVERO FILIPPINI

# FIAT

## CONSIDERAZIONI SULLA SOVRALIMENTAZIONE CON RAFFREDDAMENTO DELL'ARIA NEI MOTORI DIESEL A 4 TEMPI

### Premessa.

Scopo della presente relazione è quello di illustrare alcuni dei problemi che si presentano nei motori Diesel a 4 tempi allorché vengono sovralimentati con turbosoffianti a gas di scarico e con raffreddamento dell'aria di alimentazione dei cilindri motori.

In questo moderno sistema di sovralimentazione, che ha finora permesso di arrivare fino a triplicare la potenza ottenibile con un motore ad aspirazione naturale, le nuove prestazioni che si possono raggiungere, le caratteristiche dei refrigeranti aria e delle turbosoffianti a gas di scarico, il modo di sfruttare l'energia dei gas di scarico dai cilindri motori, sono argomenti che presentano nuovi aspetti sui quali faremo le nostre considerazioni.

### 1) Le prestazioni ottenibili dai motori sovralimentati con raffreddamento dell'aria.

È noto che la sovralimentazione di un motore consiste nell'aumentarne la potenza, introducendo nei cilindri dello stesso un maggior peso di aria, in modo da potervi bruciare un maggior peso di combustibile.

Questo scopo viene raggiunto aumentando la densità dell'aria, inviata ai cilindri motori mediante compressori, il cui comando può essere indipendente o derivato dal motore con metodi di varia natura.

In questa relazione noi ci riferiremo al caso dei compressori azionati mediante l'energia contenuta nei gas di scarico dei cilindri motori, cioè al caso delle turbosoffianti a gas di scarico.

L'aumento della densità dell'aria, essendo funzione della pressione e della temperatura dell'aria stessa all'uscita della soffiante di sovralimentazione, avviene con una

legge che dipende dal modo con cui viene effettuata la compressione.

Se la compressione è adiabatica, come avviene in pratica nelle soffianti comunemente adottate, l'aumento della

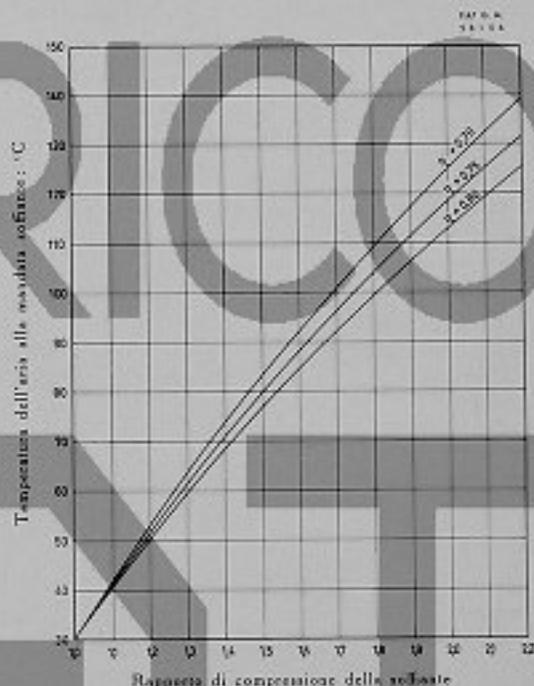


Fig. 1 - Variazione della temperatura dell'aria in funzione del rapporto di compressione della soffiante per una temperatura dell'aria ambiente di 30°C e per diversi rendimenti isoentropici  $\eta$  della soffiante.

pressione di mandata dell'aria è sempre accompagnato da un aumento di temperatura, così come è rappresentato nel diagramma della fig. 1.

In questo diagramma abbiamo infatti riportato sulle ascisse i rapporti di compressione della soffiante di sovralimentazione e sulle ordinate le temperature rag-

giunte dall'aria all'uscita della soffiante, nell'ipotesi che la temperatura all'aspirazione sia di  $30^{\circ}\text{C}$  e che il rendimento isoentropico di compressione vari da 0,7 a 0,8.

In questo caso, quindi, l'aumento della densità dell'aria, al crescere del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, avviene con una legge inferiore a quella di proporzionalità, nel senso che, se per esempio si raddoppia il rapporto di compressione, la densità dell'aria aumenta soltanto di circa il 55 %.

Nel grafico di fig. 2, abbiamo rappresentato tale legge riportando sulle ascisse i rapporti di compressione della soffiante di sovralimentazione e sulle ordinate il rapporto tra la densità dell'aria alla mandata e quella all'aspirazione, nell'ipotesi che la temperatura all'aspirazione sia di  $30^{\circ}\text{C}$  e che il rendimento isoentropico di compressori vari da 0,7 a 0,8.

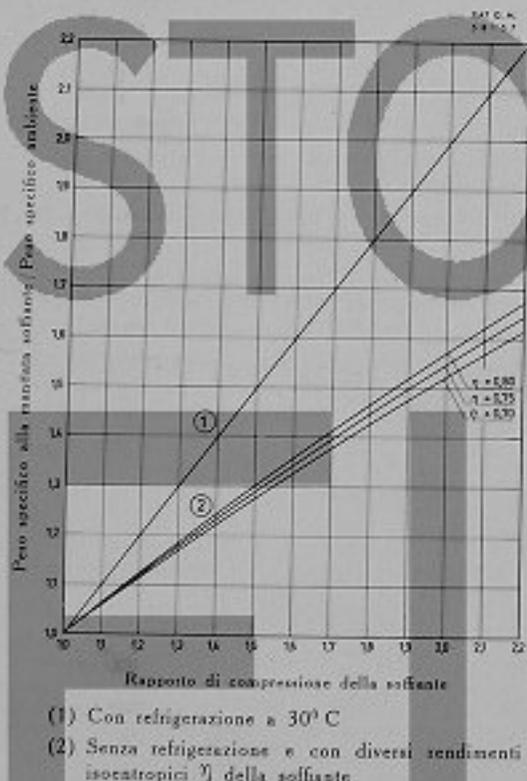


Fig. 2 - Variazione del peso specifico dell'aria in funzione del rapporto di compressione della soffiante e per una temperatura dell'aria ambiente di  $30^{\circ}\text{C}$ .

È questo il caso dei motori in cui l'aria, compressa dalla soffiante di sovralimentazione, viene inviata direttamente all'aspirazione dei cilindri motori senza refrigerazione intermedia.

Invece, nel caso in cui venga effettuata la refrigerazione intermedia dell'aria di sovralimentazione, la densità dell'aria stessa varia secondo la retta 1 dello stesso grafico di fig. 2, nell'ipotesi che la temperatura dell'aria dopo la refrigerazione venga sempre riportata alla temperatura di aspirazione di  $30^{\circ}\text{C}$ .

La differenza che si nota nel grafico di fig. 2 tra la densità dell'aria senza e con refrigerazione intermedia, è ancora più significativa se al posto della densità si riportano le prestazioni effettive ottenibili nei due casi dello stesso motore.

Considerazioni sulle prestazioni ottenibili da un motore al variare della pressione di sovralimentazione possono essere fatte solo dopo aver stabilito quali condizioni occorre rispettare per assicurare al motore un comportamento del tutto regolare.

Queste condizioni sono essenzialmente tre, e riguardano il rapporto aria-combustibile, il carico termico e il carico meccanico del motore.

A questo proposito ricordiamo che:

1) Il rapporto aria-combustibile è un indice caratteristico della combustione di un motore. Per un dato tipo di motore esiste un rapporto aria-combustibile, limite al disotto del quale la combustione comincia ad essere incompleta e lo scarico diventa fumoso, il tutto a scapito del comportamento generale della macchina.

2) Il carico termico è un indice, purtroppo non facilmente definibile, delle sollecitazioni cui vengono sottoposti gli organi a contatto con i gas caldi per effetto della distribuzione di temperatura che in essi si stabilisce.

Per un motore di un dato tipo e di una data dimensione esiste, per ciascuno degli organi a contatto con i gas caldi, uno stato termico limite che non si può superare senza accorciare la vita del motore o addirittura comprometterne il funzionamento. Questo perché da quel limite in poi si possono verificare rotture delle testate cilindro e degli stantuffi motori, grippamento delle camicie, incollamento delle fasce di tenuta per effetto della carbonizzazione dell'olio di lubrificazione ed altri gravi inconvenienti del genere citato.

Vari studiosi hanno proposto di stabilire, quale indice del carico termico, la temperatura dei gas di scarico, la

temperatura media dei gas durante un ciclo, le calorie totali asportate dal mezzo refrigerante alle pareti, ecc., e tutto ciò allo scopo di stabilire un criterio in base al quale individuare le condizioni di funzionamento di un dato tipo di motore agli effetti del carico termico.

Quale indice del carico termico noi assumeremo, nelle prossime considerazioni ed a titolo di esempio da non generalizzare, le calorie totali asportate dal mezzo refrigerante le pareti dei cilindri motori. Questa assunzione significa che se è sperimentalmente noto che un dato inconveniente di carattere termico si verifica, allorché le calorie totali, asportate dal mezzo refrigerante le pareti, assumono un certo valore, lo stesso inconveniente si verificherà, qualunque sia il ciclo indicato, ogni qual volta le calorie asportate dalle pareti raggiungano il medesimo valore limite.

3) Il carico meccanico è un indice delle sollecitazioni cui vengono sottoposte le strutture del motore per effetto delle pressioni dei gas. Per un dato tipo di motore esiste un livello di pressioni limite oltre il quale può essere compromessa la resistenza meccanica delle varie parti componenti il motore e principalmente dei cuscinetti di biella e di banco. Anche in questo caso, come in quello precedente, sono più avvantaggiati i motori veloci di piccola cilindrata, dove le strutture sono largamente proporzionate per ragioni pratiche di lavorazione ed i cuscinetti di biella e di banco debbono resistere a forze, la cui parte preponderante è dovuta alla inerzia delle masse in movimento.

Tenendo presente che i limiti, di cui abbiamo parlato sopra, sono strettamente legati al tipo di motore da sovralimentare, ne segue che non è possibile stabilire una legge generale che permetta di sapere in ogni caso quali sono le prestazioni che si possono ottenere mediante la sovralimentazione.

Occorre pertanto eseguire, caso per caso, un approfondito esame delle condizioni di funzionamento di un motore e stabilirne le prestazioni massime che esso può dare, rimanendo sempre in sicurezza rispetto alla più limitativa delle condizioni sopra citate:

a) *Limitazione data dal rapporto aria-combustibile.* — Questo è il caso dei motori veloci di piccola cilindrata, la cui sopportabilità ai carichi termici e mec-

canici è elevata, come abbiamo precedentemente accennato, e nei quali la più limitativa delle tre condizioni sopra descritte è, precisamente, quella relativa al rapporto aria-combustibile. Tale rapporto, al variare della pressione di sovralimentazione, deve allora essere almeno costante e non inferiore al limite di sicurezza per una buona combustione.

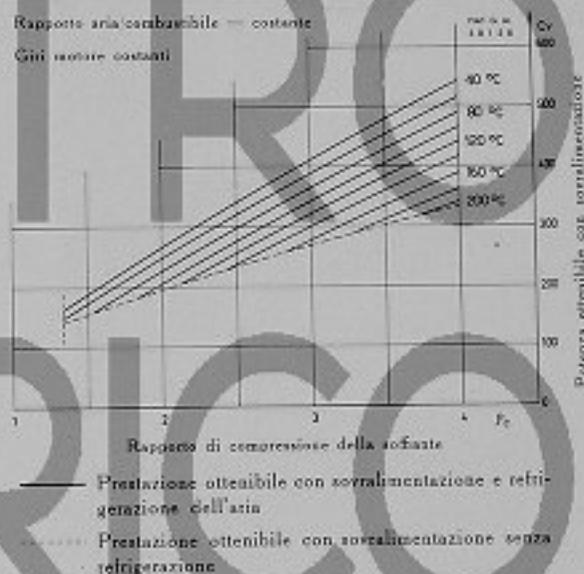


Fig. 3 - Influenza della sovralimentazione sulla potenza sviluppata da un motore di 100 Cv alla p.m.a. di 6 kg/cm<sup>2</sup>, al variare del rapporto di compressione della soffiante.

In questo caso le prestazioni ottenibili dal motore, al variare della pressione dell'aria di sovralimentazione, seguono approssimativamente le curve riportate nel diagramma di fig. 3.

In tale grafico abbiamo infatti riportato in ascisse i rapporti di compressione della soffiante di sovralimentazione ed in ordinate le potenze sviluppabili dal motore, avendo assunto pari a 100 la potenza che può sviluppare lo stesso motore non sovralimentato alla p.m.a. di 6 kg/cm<sup>2</sup>.

Le ipotesi di calcolo sono le seguenti:

- Rapporto di compressione del motore costante e quindi pressioni massime di combustione variabili con il rapporto di compressione della turbosoffiante.
- Rendimento della turbosoffiante costante al variare del rapporto di compressione della stessa.
- Alimentazione della turbina secondo il sistema a pressione costante.

Le curve a tratto continuo riportate su questo grafico sono relative a diverse temperature dell'aria all'aspirazione dei cilindri motori e quindi con diversi gradi di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

La curva a tratto discontinuo è relativa al motore senza raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

Dal grafico di fig. 3 si nota che:

- In ogni caso, all'aumentare del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, aumenta la potenza effettiva del motore.
- Per una data potenza, più bassa è la temperatura dell'aria all'aspirazione dei cilindri motori, più basso è il rapporto di compressione richiesto alla soffiante e più basse sono quindi anche le pressioni massime del ciclo indicato del motore.
- Gli aumenti di potenza segnalati nel grafico in esame sono certamente rilevanti, ma non bisogna dimenticare che essi comportano in ogni caso un forte aumento delle sollecitazioni termiche e meccaniche del motore, rispetto a quelle del motore funzionante nelle condizioni scelte come riferimento.

Un aumento delle sollecitazioni termiche del motore si verifica anche nel caso in cui la temperatura dell'aria, all'aspirazione dei cilindri motori, sia mantenuta costante per effetto della più elevata densità dell'aria di sovralimentazione e quindi dei gas a contatto delle pareti caricate termicamente.

In base a quanto sopra detto, possiamo quindi concludere che, volendo effettuare una sovralimentazione con rapporto aria-combustibile costante e rapporto di compressione del motore costante, è sempre possibile ottenere un aumento di potenza effettiva sia raffreddando che non raffreddando l'aria di sovralimentazione, ma che in ogni caso tale aumento di potenza è sempre accompagnato da un aumento delle sollecitazioni termiche e meccaniche del motore.

Fino a che un tale aumento di sollecitazioni termiche e meccaniche è sopportabile da parte degli organi sovraccaricati, è possibile ottenere la desiderata potenza, sempre che le caratteristiche delle turbosoffianti e le condizioni ambientali, ove sono definitivamente sistemati i motori, rispondano alle condizioni di progetto.

b) *Limitazioni date dal carico termico.* — È questo, in genere, il caso dei motori lenti di grande diametro il cui limite alla sopportabilità termica viene

raggiunto prima che il rapporto aria-combustibile raggiunga il suo valore limite per una buona combustione.

Le prestazioni che si possono ottenere dal motore sono diverse da quelle segnalate nel grafico di fig. 3 e assumono i valori indicativi riportati nel grafico di fig. 4.

Anche in questo grafico abbiamo riportato in ascisse il rapporto di compressione della soffiante di sovrali-

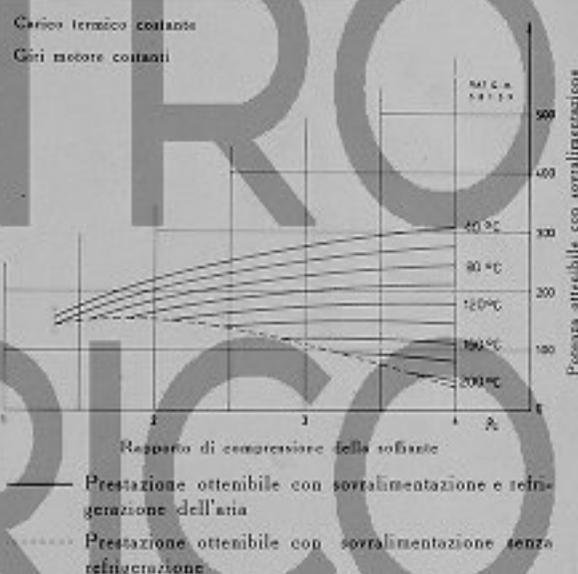


Fig. 4 - Influenza della sovralimentazione sulla potenza sviluppata da un motore di 100 Cv alla p.m.e. di 6 kg/cm<sup>2</sup>, al variare del rapporto di compressione della soffiante.

mentazione ed in ordinate le potenze sviluppabili dal motore, assunta per base la stessa potenza di riferimento del grafico di fig. 3.

Le curve a tratto continuo sono relative alle potenze ottenibili mediante diversi gradi di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione, la curva tratteggiata è invece relativa alle potenze ottenibili senza raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

Le conclusioni che si possono trarre da questo grafico sono molto indicative. In questo caso la diversità del comportamento del motore senza e con raffreddamento dell'aria è decisiva ed è a favore di quest'ultima soluzione.

La curva tratteggiata del grafico suddetto mostra infatti che la potenza ottenibile al variare del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, presenta un massimo leggermente più alto di 100 Cv, per poi diminuire decisamente. In altre parole questo

significa che a parità di sollecitazioni termiche, non conviene aumentare oltre un certo limite il rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, perché da quel limite in poi la potenza raggiungibile dal motore diminuisce anziché aumentare.

Questo comportamento del motore senza raffreddamento dell'aria di sovralimentazione si spiega perché,

Curva a: Rapporto  $\frac{\text{aria}}{\text{combustibile}}$  costante

Curva b: Carico termico costante

Indice 1: Press. max combust. variabile

Indice 2: Press. max 85 kg/cm<sup>2</sup>

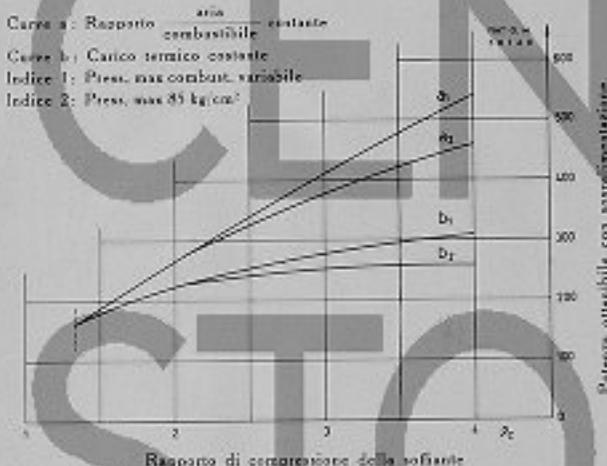


Fig. 5 - Influenza della sovralimentazione con raffreddamento dell'aria a 40°C sulla potenza sviluppata da un motore di 100 Cv alla p.m.e. di 6 kg/cm<sup>2</sup>, al variare del rapporto di compressione della soffiante.

do avendo mantenere costante la temperatura degli organi a contatto dei gas caldi al variare del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, occorre aumentare sostanzialmente il rapporto aria-combustibile nei cilindri motori, il che va a scapito della potenza resa dal motore, non solo per via diretta, ma anche per via indiretta, perché la diminuire di molto l'energia a disposizione della turbina a gas di scarico.

Adottando invece il raffreddamento dell'aria di sovralimentazione, il bilancio è più favorevole, sempre che il raffreddamento sia efficace, nel senso che permetta di raggiungere un aumento di potenza tale da giustificare non solo l'applicazione del refrigerante di aria, ma anche l'adozione di turbosoffianti di più grandi dimensioni, adeguate alle più grandi quantità di aria di sovralimentazione. Facciamo ancora presente che il diagramma di fig. 4 è stato ottenuto tenendo costante il solo carico termico del motore e non quello meccanico nel senso che, mantenendo costante il rapporto di compressione

del motore, abbiamo ammesso che le pressioni massime del ciclo indicato crescano all'aumentare della pressione di sovralimentazione.

c) *Limitazione data dal carico meccanico.* —

Il dover mantenere le sollecitazioni meccaniche entro i limiti normali di sicurezza costituisce ovviamente un ulteriore limite che viene ad aggiungersi sia a quello dovuto al rapporto aria-combustibile, sia a quello dovuto al carico termico del motore.

In questo caso le prestazioni indicate nei grafici di figg. 3 e 4 non sono più ottenibili in quanto, per limitare le pressioni dei gas nei cilindri motori, occorre adottare provvedimenti che causano l'abbassamento del rendimento termico del ciclo in esame.

Questi provvedimenti riguardano essenzialmente la riduzione del rapporto di compressione del motore, a mezzo del quale è possibile contenere le pressioni massime di combustione entro limiti tollerabili dalle sue strutture.

Avendo assunto come limite meccanico da non superare, la pressione massima di combustione di 85 kg/cm<sup>2</sup>, le prestazioni ottenibili dal motore con aria raffreddata sono riportate a titolo indicativo nel diagramma di fig. 5 sia per il caso in cui è costante il rapporto aria-combustibile, sia per il caso in cui si debba tenere costante il carico termico del motore.

E' da tener presente che, verso gli elevati valori della pressione dell'aria di sovralimentazione, le prestazioni indicate nel grafico di fig. 5 sono praticamente irrealizzabili perché esse comportano un tale abbassamento del rapporto di compressione del motore, da compromettere innanzitutto le sue capacità di avviamento e poi la regolarità del fenomeno di combustione.

In altre parole occorre tener presente che, da un certo limite in poi, non si può ottenere maggiore potenza senza sovraccaricare meccanicamente un motore nato per funzionare ad aspirazione naturale o con un basso grado di sovralimentazione, a meno di non irrobustire le strutture che lavorano in sovraccarico. Quest'ultimo provvedimento però ha anche un suo limite, oltre il quale conviene orientarsi verso motori di tipo diverso da quelli tradizionali (per esempio generatori di gas a stantuffi liberi) o verso l'adozione di cicli speciali (per esempio ciclo Miller), i quali comportano però una maggiore complicazione costruttiva.

## 2) L'impianto di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

L'impianto di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione non presenta problemi nettamente diversi da quelli di un comune impianto di scambiatori di calore aria-acqua. Occorre soltanto avere particolare riguardo per i refrigeranti aria i quali debbono rispondere ad esigenze contrastanti fra di loro quali la leggerezza e robustezza, piccolo ingombro e grande efficacia di raffreddamento.

In base a quanto detto nel paragrafo precedente, si vede che l'entità del grado di sovralimentazione ottenibile con il raffreddamento dell'aria è strettamente legata alla temperatura della sorgente fredda che si ha a disposizione.

Nei refrigeranti aria-acqua, che soddisfino contemporaneamente ad una buona ed economica efficacia di raffreddamento e che abbiano delle dimensioni compatibili con le esigenze del motore, il salto di temperatura tra l'aria, all'uscita dei refrigeranti, e l'acqua di raffreddamento all'entrata, può variare da 10° a 23°C, a seconda

inferiore od uguale alla temperatura dell'aria all'aspirazione della soffiante di sovralimentazione, (vedi figg. nn. 3, 4 e 5) l'aumento di potenza ottenibile con il raffreddamento dell'aria è sostanzioso; in caso contrario l'aumento di

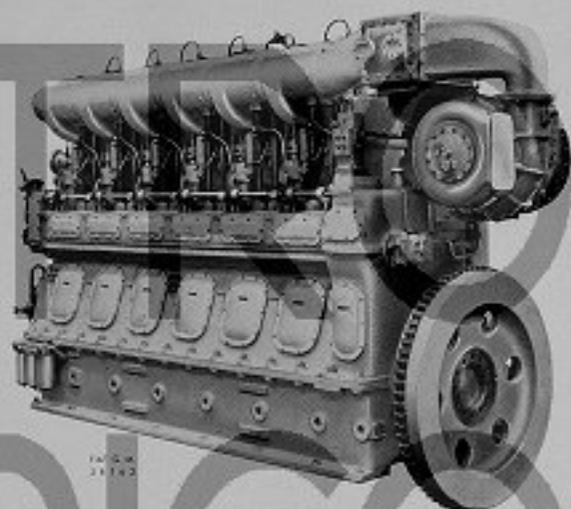


Fig. 7 - Motore FIAT A 308 ESS a quattro tempi sovralimentato con refrigerazione dell'aria.

potenza risulta minore, il che può rendere in alcuni casi dubbia la ragione economica dell'impianto stesso di raffreddamento.

Casi che sono oggetto di particolare studio sono, sotto questo punto di vista, i motori per trazione ferroviaria o per alcuni impianti fissi, nei quali non si può disporre di sorgenti di acqua per effettuare il raffreddamento in circuito aperto dell'aria di sovralimentazione.

In questi casi l'acqua di raffreddamento viene adoperata secondo un circuito chiuso e pertanto deve essere a sua volta raffreddata dall'aria ambiente mediante altri scambiatori di calore il che riduce di molto la possibilità di raffreddare efficacemente l'aria di sovralimentazione.

Nello schema della fig. 6 abbiamo riportato a titolo di esempio, un refrigerante aria costruito dalla Brown Boveri, sia per il funzionamento con acqua dolce che con acqua salata.

In un refrigerante di questo tipo, i tubi d'acqua sono in cubral, le alette in rame, le piastre in acciaio o in metallo muntz, i coperchi in ghisa o in bronzo, le pareti in ghisa. Il tutto è studiato in modo da permettere una facile ed efficace pulizia dei depositi di varia origine,

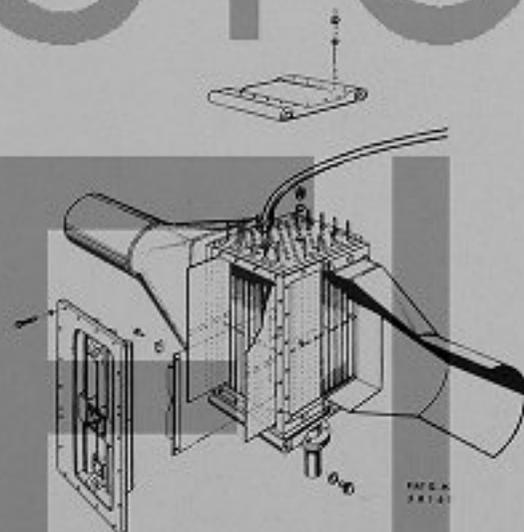


Fig. 6 - Refrigerante Brown Boveri per aria di sovralimentazione. Schema di smontaggio e pulizia.

della temperatura dell'aria all'uscita della soffiante di sovralimentazione.

Questo significa che, fino a quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è molto bassa, ad esempio

fattore questo che permette di non provocare perdite di carico troppo dannose per il buon funzionamento del

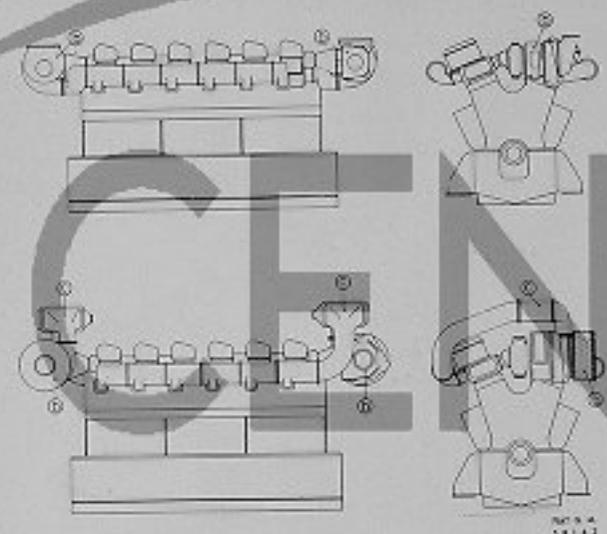


Fig. 8 - Sistemazione dell'apparato di sovralimentazione (b) in un motore a 12 cilindri a V con e senza refrigeranti aria (c).

circuito di sovralimentazione e di non variare troppo l'efficacia termica dello scambiatore.

una pressione di sovralimentazione di 2 kg/cm<sup>2</sup> di 10 ÷ 15 l/Cvh.

La fotografia di fig. 7 rappresenta un esempio di applicazione pratica di refrigerante per aria su di un motore da 1100 Cv a 500 giri/min di nostra produzione. Si tratta del motore A 306 ESS avente 6 cilindri in linea con diametro di 300 mm e corsa di 350 mm.

### 3) Le turbosoffianti a gas di scarico.

La sovralimentazione, effettuata mediante raffreddamento dell'aria di aspirazione dei cilindri motori, comporta nuove esigenze anche nei confronti delle turbosoffianti, le quali debbono essere adatte a smaltire maggiori quantità di aria con più elevati rapporti di compressione, ed avere ottimi rendimenti globali senza allontanarsi da costruzioni semplici che permettano una facile e buona manutenzione.

La necessità di smaltire portate di aria più elevate, porta di conseguenza l'adozione di turbosoffianti di maggiori dimensioni, il che, assieme alle tubazioni lato aria e lato gas del motore, contribuisce ad ingrossare tutto

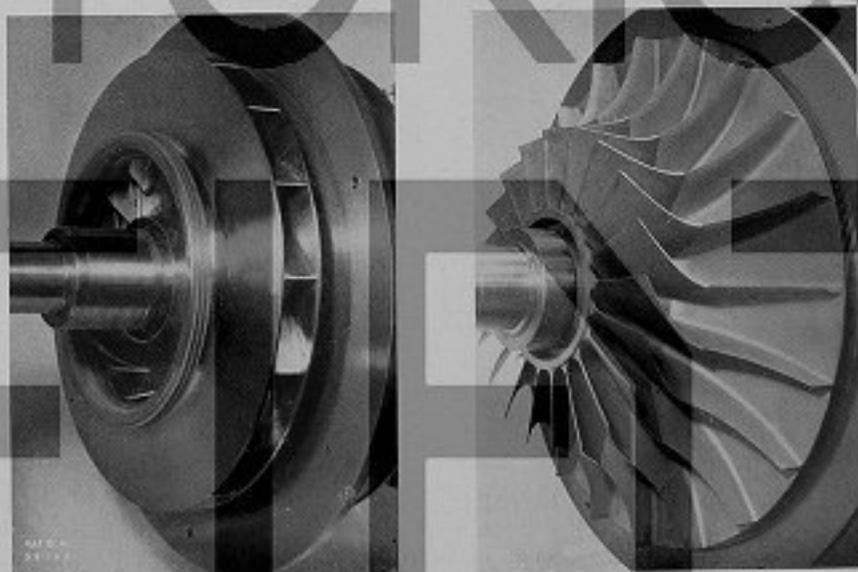


Fig. 9 - Giranti di turbocompressori Brown-Boveri, a sinistra per bassi rapporti di compressione a destra per alti rapporti di compressione.

Le perdite di carico lato aria di questi refrigeranti non superano i 200 mm di acqua. La perdita di carico lato acqua si aggira sui due metri di acqua. Le portate di acqua in circolazione nei refrigeranti aria sono, per

il circuito di sovralimentazione del motore stesso. In altre parole, nel passare verso gli alti gradi di sovralimentazione, si assiste ad un fenomeno caratteristico secondo il quale il motore resta di dimensioni invariate,

mentre crescono decisamente le dimensioni degli organi formanti il circuito di sovralimentazione.

A titolo di esempio abbiamo messo a confronto nella fig. 8, due schemi relativi ad un motore a 12 cilindri



Fig. 10 - Rotore di turbosoffiante De Laval.

a V (diametro = 230 mm, corsa = 270 mm) per trazione ferroviaria, funzionante con due diversi gradi di sovralimentazione. Di questi due schemi, quello riportato in alto rappresenta il motore funzionante a basso grado di sovralimentazione (potenza = 1450 Cv a 1000 giri/min) con turbosoffianti di dimensioni ridotte e senza refrigerante aria, quello riportato in basso rappresenta lo stesso motore funzionante con alto grado di sovralimentazione (potenza = 2000 Cv a 1000 giri/min) con turbosoffianti di dimensioni maggiori e refrigeranti aria.

Per quanto riguarda gli elevati rapporti di compressione delle soffiante di sovralimentazione, il problema non è facile, specialmente in vista della semplicità che deve avere la costruzione della turbosoffiante stessa.

Diversi costruttori hanno provato ad adottare compressori assiali o compressori radiali a più stadi, giungendo però a delle costruzioni più complicate e più ingombranti per cui, per il momento, la costruzione in scala industriale si limita ai compressori centrifughi ad un solo stadio, secondo delle soluzioni che, in alcuni casi, sono modelli di semplicità. Con questi turbocompressori il rapporto di compressione di miglior funzionamento è compreso tra 2,5 e 3. La fotografia di fig. 9 rappresenta un confronto tra due giranti di soffiante Brown Boveri a basso e ad alto rapporto di compressione. In queste due costruzioni la soffiante di sovralimentazione è nettamente separata,

mediante un diaframma intermedio, dalla turbina a gas di scarico di tipo assiale.

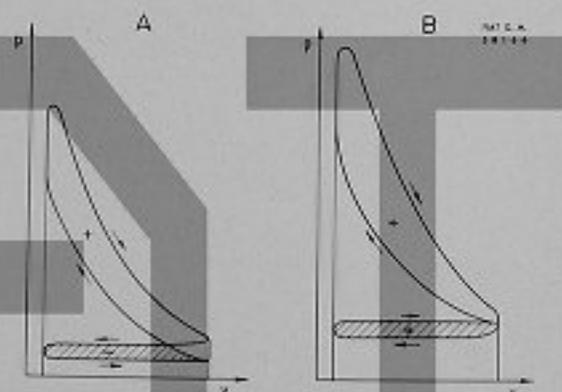
I più alti rapporti di compressione della soffiante indicata a destra della fotografia di fig. 9 sono dovuti in parte alla più elevata velocità periferica (circa 400 m/s) ammessa dal materiale con cui viene costruita la ventola a palette radiali ed in parte alla adozione della ventola di precompressione di tipo assiale.

La fotografia di fig. 10 rappresenta la girante di una soffiante De Laval. In questa costruzione sia la soffiante che la turbina a gas sono invece del tipo radiale e formano un unico blocco il cui asse è sostenuto da un solo lato mediante cuscinetti a strisciamento.

Quanto più elevato è il grado di sovralimentazione con raffreddamento dell'aria di aspirazione dei cilindri motori, tanto più sensibile è il comportamento del motore alla variazione del rendimento della turbosoffiante.

Da qui viene la necessità di avere elevati rendimenti, specialmente nei casi in cui la sovralimentazione avviene con grandi eccessi di aria e di conseguenza con basse temperature dei gas di scarico.

Il rendimento della turbosoffiante si ripercuote sul funzionamento del motore con lo stabilire, a parità di pressione di aspirazione dei cilindri motori, una contro-pressione di scarico più o meno grande, diminuendo o



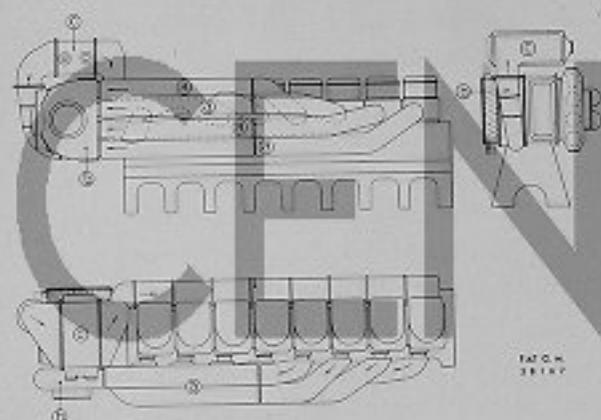
A) Motore non sovralimentato  
B) Motore sovralimentato

Fig. 11 - Cicli indicati.

aumentando così il lavoro degli stantuffi motori durante la fase di scarico.

Questo fenomeno non solo influisce sul lavoro indicato del motore, ma anche sul lavaggio della camera di

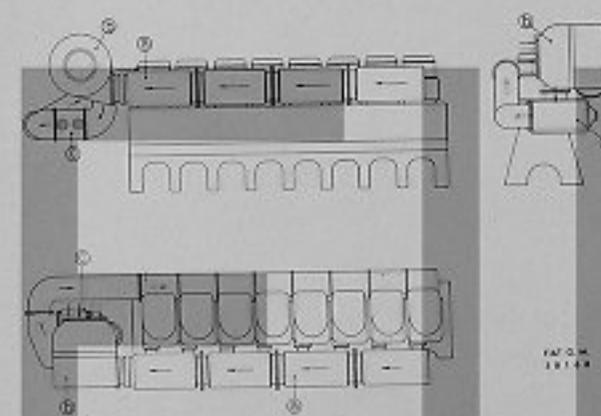
combustione, in quanto può addirittura capitare il caso che la controcompressione di scarico superi la pressione all'ingresso dei cilindri motori, provocando così un ritorno di gas nella camera di combustione.



- a) Collettori di scarico  
b) Turbosoffiante a gas di scarico  
c) Refrigerante aria

Fig. 12 - Sistema di scarico ad impulsi di pressione. Esempio di scarico di un motore ad 8 cilindri con turbina a 4 ingressi.

In questo caso, il ciclo indicato del motore presenta, in corrispondenza delle fasi di lavaggio e scarico, un'area di lavoro negativa, così come è nella fig. 11, analogamente

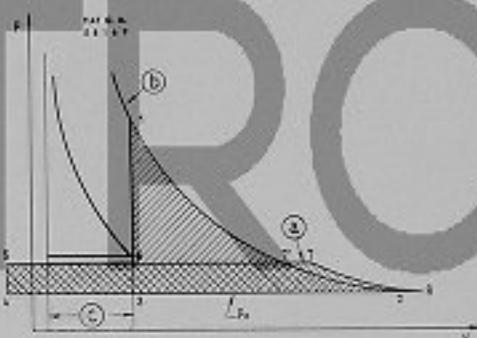


- a) Collettore di scarico  
b) Turbosoffiante a gas di scarico  
c) Refrigerante aria

Fig. 13 - Sistema di scarico a pressione costante. Esempio di scarico di un motore a 8 cilindri con turbina ad un ingresso.

mente a quanto accade nei motori ad aspirazione naturale, nei quali però il lavoro per l'aspirazione e lo scarico dei gas avviene totalmente a spese dello stantuffo motore.

Un fenomeno del genere descritto si può notare in un qualsiasi motore sovralimentato che funzioni in condizioni di carico molto lontane dal punto di funzionamento ottimo, sia delle turbosoffianti che del sistema di scarico dei gas dai cilindri motori. A questo proposito è bene vedere il diagramma di fig. 14.



- a) Pressione gas ingresso turbina  
b) Ciclo indicato  
c) Corsa  
 $p_0$ : Pressione ambiente

Fig. 14 - Energia disponibile per la turbosoffiante a gas di scarico.

#### 4) La scelta del sistema di scarico dei gas dai cilindri motori in relazione all'alimentazione delle turbosoffianti.

Il sistema di scarico dei gas presenta nuovi problemi allorché si desiderano alti gradi di sovralimentazione e quindi elevati valori della pressione dell'aria all'aspirazione dei cilindri motori.

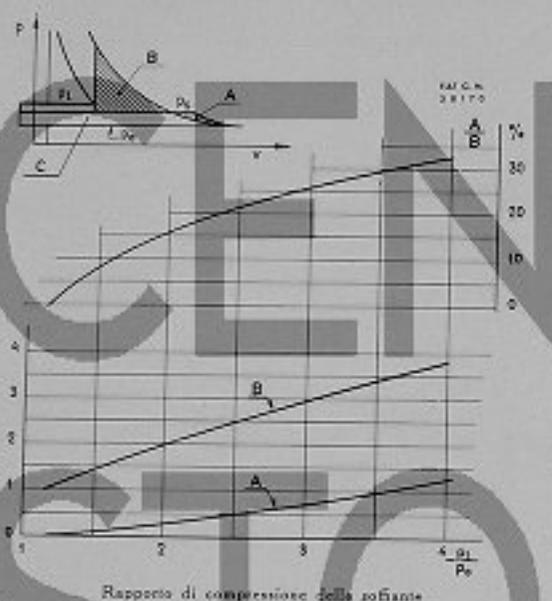
Come è noto non tutti i sistemi di scarico si comportano nella medesima maniera agli effetti della utilizzazione dell'energia dei gas di scarico dai cilindri motori, di conseguenza anche in questo caso ci si presenta la questione della scelta di uno dei due sistemi più in uso.

In sostanza si tratta di vedere se tra i due sistemi ormai considerati tradizionali, conviene ancora adottare quelli ad *impulsi di pressione*, come nei motori a basso grado di sovralimentazione, o conviene passare al sistema più semplice a *pressione costante*.

Questi due sistemi differiscono nel fatto che quello ad impulsi di pressione utilizza i gas nelle stesse condizioni di pressione e temperatura che questi hanno durante la fase di scarico dai cilindri motori, e quello a pressione costante utilizza i gas raccolti in un unico grande

serbatoio in cui si scaricano i gas provenienti dai cilindri motori.

Un esempio di scarico secondo il sistema ad impulsi di pressione è rappresentato dal disegno di fig. 12, in



- $p_1$ : Pressione aspirazione cilindri  
 $p_a$ : Pressione gas ingresso turbina  
 $p_0$ : Pressione ambiente  
 A: Energia cinetica a pressione costante  
 B: Energia dell'impulso  
 C: Quantità di energia comune ai due sistemi di scarico

Fig. 15 - Confronto fra le energie disponibili nel sistema di scarico ad impulsi di pressione, e nel sistema a pressione costante, a meno dell'area comune C.

cui la turbina a gas di scarico di un motore a 8 cilindri presenta 4 ingressi in modo da ricevere separatamente gli impulsi di pressione provenienti dai vari cilindri motori senza provocare interferenze tra gli scarichi di un cilindro con quelli del cilindro successivo in ordine di scoppio.

In questo sistema il volume di ciascun collettore di scarico gioca un ruolo di grande importanza, in quanto dalla sua grandezza dipende la forma dell'impulso di pressione che arriva in turbina e quindi dell'energia a disposizione di quest'ultima.

Le migliori condizioni si ottengono con volumi piccoli, che in pratica non è sempre facile realizzare, per ragioni di sistemazione del circuito di sovralimentazione del motore.

Un esempio di scarico secondo il sistema a pressione

costante, è rappresentato dal disegno di fig. 13 in cui la turbina a gas di scarico è ad un solo ingresso e spilla il gas da un unico grande collettore, nel quale vengono raccolti i gas scaricati dai vari cilindri motori.

In questo caso, più grande è il volume del collettore unico dei gas di scarico, meglio si comporta il sistema, in quanto permette alla turbina a gas di funzionare a pressione praticamente costante e sempre nel punto di ottimo rendimento.

Le energie teoricamente disponibili secondo i due sistemi di scarico sono rappresentate dalle aree riportate nel diagramma di fig. 14, che rappresentano, in coordinate pressione-volume, la parte inferiore di un ciclo indicato.

L'area (1-2-4-5-6-1) rappresenta l'energia teorica a disposizione per il sistema ad impulsi di pressione, l'area (5-7-8-4-5) rappresenta l'energia teorica a disposizione per il sistema a pressione costante. Le due aree citate hanno in comune l'area (5-7-2-4-5) e differiscono per l'area (1-7-6-1) appartenente al sistema ad impulsi di pressione e per l'area (7-7-8-2-7') appartenente al sistema a pressione costante.

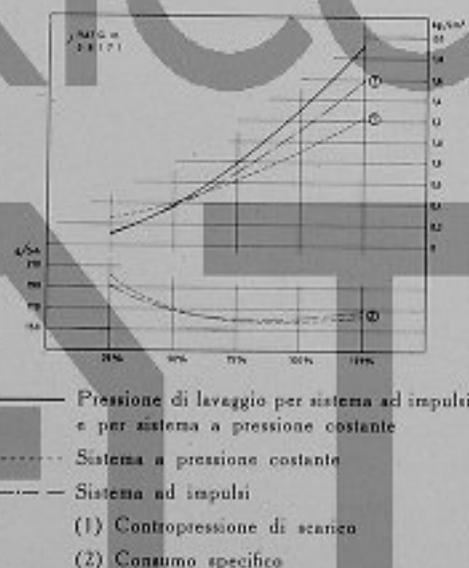


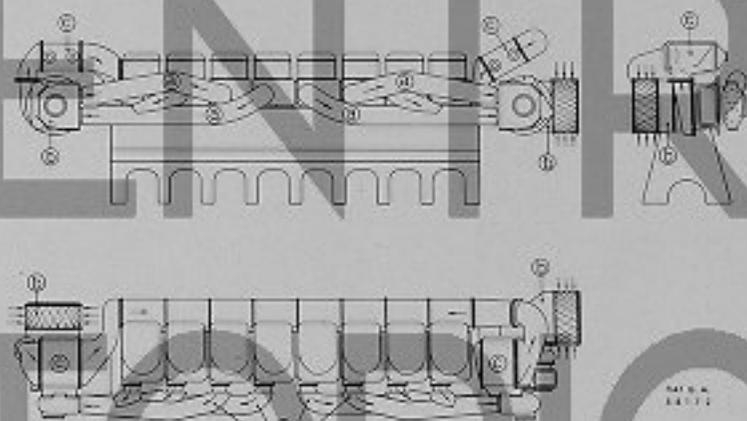
Fig. 16 - Pressione dell'aria di lavaggio, controcompressione di scarico e consumo specifico nei sistemi di sovralimentazione a pressione costante e ad impulsi di pressione.

Questo significa che nel passare dal sistema ad impulsi di pressione a quello a pressione costante, si perde l'energia relativa all'area (1-7-6-1) e di essa se ne recupera l'area (7-7-8-2-7'). In effetti con il sistema a

pressione costante viene recuperata l'energia cinetica che i gas di scarico acquistano, per effetto dell'area (1-7-6-1), sotto forma di incremento di temperatura e quindi di volume dei gas nel collettore unico di scarico. L'entità di questo recupero di energia cinetica è funzione della pressione dell'aria all'aspirazione dei cilindri motori e quindi del grado di sovralimentazione dei cilindri stessi.

di pressione che ha parecchi punti di vantaggio rispetto al sistema a pressione costante. In esso infatti accade quanto segue:

- La turbina non può mai funzionare nel punto di ottimo rendimento perchè varia continuamente la pressione e quindi la velocità dei gas all'ingresso delle palette.



a) Collettori di scarico - b) Turbosoffianti a gas di scarico - c) Refrigeranti aria

Fig. 17 - Sistema di scarico ad impulsi di pressione.

Esempio di scarico di un motore ad 8 cilindri con due turbosoffianti a due ingressi del gas.

Nel diagramma di fig. 15 abbiamo riportato sulle ascisse i valori del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, in ordinate i valori delle aree A e B come percentuali dell'area A, che si avrebbero nel motore se funzionasse ad aspirazione naturale. Sullo stesso diagramma abbiamo riportato in ordinate i valori del rapporto tra le aree A e B, che rappresenta anche la variazione percentuale dell'energia cinetica recuperata nel sistema a pressione costante, rispetto a quella disponibile secondo il sistema ad impulsi di pressione.

In base a questo diagramma si può concludere che più elevato è il rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, più elevato è il recupero dell'energia cinetica relativa all'area A e quindi la differenza tra le energie teoricamente disponibili nei due sistemi diventa sempre più piccola. Per giudicare però dell'entità effettiva del vantaggio di un sistema rispetto all'altro, occorre ancora considerare come influiscono su di essi le perdite di energia nei condotti e nella turbina.

Sotto questo punto di vista è il sistema ad impulsi

- La turbina, per esigenze di sistemazione, non è ad ammissione totale in quanto in generale riceve separatamente gli scarichi dei vari cilindri. Questa parzializzazione è motivo di perdita di energia.

- Il volume dei collettori di scarico non può essere ridotto al minimo, sia per esigenze costruttive, sia perchè, evitando da un lato le perdite dovute ad una cattiva forma dell'impulso di pressione, si accrescerebbero dall'altro lato le perdite dovute all'attrito dei gas nei condotti.

Tutto ciò riduce sostanzialmente l'energia teorica a disposizione del sistema ad impulsi di pressione, per cui possiamo concludere che, fino a quando la differenza di energia teorica disponibile nei due sistemi è grande, il vantaggio, nonostante le forti perdite, è a favore del sistema ad impulsi di pressione, e ciò avviene verso le basse pressioni di sovralimentazione; quando invece la differenza tra le energie teoriche disponibili è piccola il vantaggio è a favore del sistema a pressione costante, il che avviene verso gli elevati gradi di sovralimentazione.

Una simile constatazione a favore del sistema a pressione costante, aggiunta a quella della semplicità costruttiva degli organi di scarico, alla libera sistemazione delle turbosoffianti sul motore e, quasi sempre, alla riduzione delle dimensioni delle turbine, rende senz'altro possibile l'adozione di questo sistema per elevati gradi di sovralimentazione, sempre che, come vedremo più avanti, il motore venga impiegato per funzionare a carico costante o per carichi poco diversi da quelli di progetto.

A conferma di quanto sopra detto, abbiamo riportato nel diagramma di fig. 16 i risultati di alcune prove condotte su un motore ad 8 cilindri secondo i due sistemi di scarico sopra accennati. In questo diagramma abbiamo riportato sulle ascisse le pressioni medie effettive sviluppate dal motore, funzionante a giri costanti, e sulle ordinate i consumi specifici di combustibile, le pressioni dell'aria all'ingresso e all'uscita dai cilindri motori. Questi dati sono particolarmente dimostrativi del comportamento del motore, che funziona meglio con il sistema ad impulsi di pressione o con quello a pressione costante, a seconda che il suo carico sia inferiore o superiore al 65 % di quello di progetto.

della turbina a pressione costante e lo sfruttamento integrale dell'energia contenuta negli impulsi di pressione.

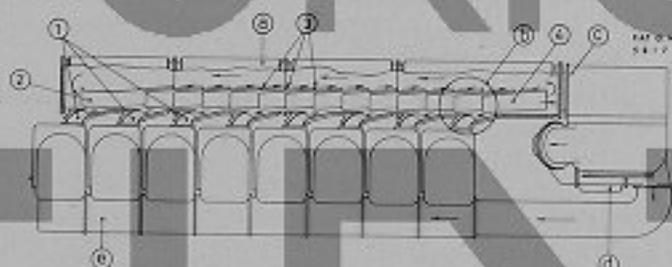
Per allargare il campo di applicabilità dei due sistemi di scarico, si cerca di avvicinarsi il più possibile alla condizione di ottimo sopra citata, anche se per vie e per ragioni sostanzialmente diverse.

Per il sistema di scarico ad impulsi di pressione, si tratta infatti di allargare il campo della sua applicabilità verso gli alti gradi di sovralimentazione, mentre, per il sistema a pressione costante il problema è il contrario.

a) *Sistemi ad impulsi di pressione.* — Nel sistema ad impulsi di pressione uno dei principali motivi di perdita è costituito dal fatto che la turbina lavora con pressione d'ingresso variabile, il che significa che non può sempre lavorare in condizioni di ottimo rendimento.

Per ottenere migliori condizioni di funzionamento, occorrerebbe ridurre al minimo l'intervallo di tempo che passa tra la fine dello scarico di un cilindro e l'inizio dello scarico del cilindro successivo, collegato allo stesso collettore.

In questo modo si eviterebbe lo svuotamento del collettore tra uno scarico e l'altro, con il relativo abbassa-



- |                                    |                                                        |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| a) Collettore di scarico           | 1) Ugelli convergenti allo scarico di ciascun cilindro |
| b) Convertitore di impulsi         | 2) Convergente del convertitore ad impulsi             |
| c) Turbosoffiante a gas di scarico | 3) Diffusori intermedi                                 |
| d) Refrigerante aria               | 4) Diffusore finale                                    |
| e) Collettore di lavaggio          |                                                        |

Fig. 18 - Sistema di scarico a pressione costante.

Utilizzazione dell'energia disponibile negli impulsi di pressione per mezzo dei convertitori di impulsi.

### 5) Considerazioni sulla progettazione dei sistemi di scarico dei gas dai cilindri motori.

Per ottenere il massimo ricupero di energia dai gas di scarico dei cilindri motori, occorrerebbe evidentemente utilizzare i vantaggi dei due sistemi di scarico tradizionali, attuando ad esempio contemporaneamente l'alimentazione

mento di pressione del gas verso valori poco adatti ad un efficiente funzionamento della turbina.

I disegni di fig. 12 e fig. 17 sono esemplificativi della disposizione dei condotti di scarico relativi a due prove condotte su un motore a 8 cilindri in linea di recente costruzione.

Secondo il disegno di fig. 12 il motore ha 4 collettori di scarico, ciascuno dei quali è collegato a due cilindri con scarichi distanziati di  $360^\circ$ . In questo caso, fra la fine dello scarico di un cilindro e l'inizio dello scarico del cilindro successivo, il collettore ha il tempo di svuotarsi quasi completamente e quindi la turbina viene alimentata con forte discontinuità e lavora perciò con cattivo rendimento.

I motori più avvantaggiati sono quelli i cui collettori di scarico collegano il maggior numero di cilindri, in modo che gli scarichi si susseguono senza permettere svuotamento alcuno. La possibilità di collegare più cilindri nello stesso collettore è naturalmente legata alla durata di ciascuna fase di scarico. Più piccola è tale durata, più grande è il numero di cilindri che possono essere collegati allo stesso collettore, senza paura che l'inizio dello scarico

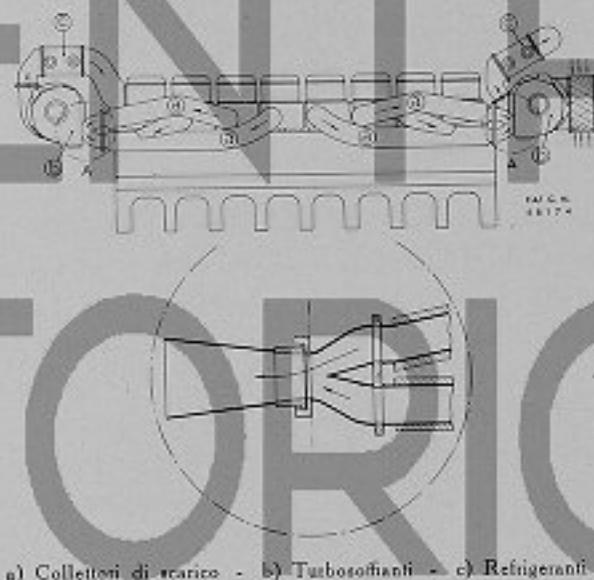


Fig. 19 - Sistema di scarico a pressione costante.

Utilizzazione dell'energia contenuta negli impulsi di pressione mediante un convertitore di impulsi.

Nel cerchio il particolare A in sezione ed ingrandito.

Secondo il disegno di fig. 17, il motore ha sempre 4 collettori di scarico di cui però ciascuno collega due cilindri con scarichi distanziati di  $270^\circ$ . In questo modo ogni collettore invece di svuotarsi completamente ad ogni scarico si svuota ogni due scarichi. Ciò vuol dire che viene ridotto a metà il numero delle volte in cui la turbina è costretta ad elaborare l'energia contenuta nei gas di scarico in zone di cattivo rendimento, il che va a tutto vantaggio del comportamento del sistema di scarico e quindi del funzionamento del motore.

Le prove eseguite secondo i due schemi riportati nelle figg. 12 e 17 hanno confermato il miglior comportamento dello schema di fig. 17 il quale ha, a suo ulteriore vantaggio, anche il fatto di avere tubi più corti e quindi di piccolo volume e ridotte perdite di carico per attrito.

dell'uno interferisca con la fine dello scarico dell'altro impedendone il regolare svuotamento ed il lavaggio. Sono meglio adatti a questo scopo i motori che non effettuano il lavaggio, nei quali cioè la durata della fase nella quale le valvole di aspirazione e di scarico sono contemporaneamente aperte è ridotta al minimo, perchè minimo è il ritardo alla chiusura della valvola di scarico dopo il P. M. I.

Nei motori invece che effettuano il lavaggio, occorre che questo sia ridotto a quel minimo che è necessario all'espulsione dei gas residui dalla camera di combustione.

Alcune prove da noi effettuate a questo proposito, hanno dimostrato la possibilità di ridurre sensibilmente la durata della fase di lavaggio senza variare le sollecitazioni termiche del motore, a tutto vantaggio dell'energia contenuta nei gas di scarico.

b) *Sistema a pressione costante.* — Lo svantaggio principale nel sistema di scarico dei gas a pressione costante è quello di non essere adatto a motori il cui carico varia fortemente e rapidamente.

Se il carico del motore varia fortemente, sappiamo che verso i bassi gradi di sovralimentazione il sistema di scarico a pressione costante non ha sufficiente energia da permettere alle turbosoffianti a gas di scarico di funzionare senza l'aiuto dello stantuffo motore e senza che la contropressione dei gas allo scarico dei cilindri sia più elevata della pressione dell'aria all'aspirazione degli stessi. Questo è uno svantaggio serio perché può dar luogo ad un ritorno di gas nei cilindri motori, con inquinamento dell'aria di sovralimentazione e sporco delle valvole.

Se il carico del motore poi varia rapidamente, il sistema di scarico a pressione costante si adatta meno rapidamente del sistema ad impulsi di pressione al nuovo stato di equilibrio.

Allo scopo di migliorare il comportamento del sistema di scarico a pressione costante ai bassi carichi del motore, sono stati ideati alcuni accorgimenti: si tratta in sostanza di quei sistemi di scarico chiamati anche scambiatori di pressione che invece di recuperare l'energia degli impulsi sotto forma di temperatura, la recuperano sotto forma di pressione.

Infatti mentre nel sistema a pressione costante tradizionale (ved. fig. 13) l'energia contenuta nell'impulso di pressione si trasforma in energia cinetica, male utilizzata perché si presenta sotto forma di moti irregolari che, estinguendosi, danno luogo ad un aumento di temperatura, in questi nuovi sistemi l'energia degli impulsi viene sfruttata per imprimere, in modo regolare, a tutta la massa dei gas di scarico una velocità che, trasformata opportunamente, dà luogo al citato recupero di energia sotto forma di pressione.

Lo schema di fig. 18 rappresenta una originale realizzazione dei sistemi sopra citati.

Tenendo presente che lo scarico dei gas avviene in due fasi ben distinte, di cui la prima è quella dello scarico ad alta pressione e la seconda quella dello scarico a bassa pressione, lo schema citato permette di utilizzare l'altissima velocità dei gas di scarico della prima fase per accelerare i gas della seconda fase, in modo da portare tutta la massa dei gas di scarico alla stessa velocità.

Data la non contemporaneità delle due fasi di scarico è necessario l'ausilio di una colonna dello stesso gas che lunge da cosiddetto fluido intermedio.

In questo modo il gas della prima fase di scarico, accelera il fluido intermedio il quale a sua volta accelera il gas uscente dal cilindro nella seconda parte della fase di scarico.

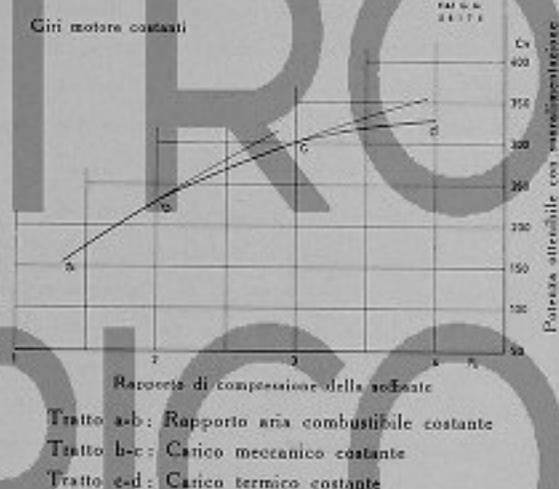


Fig. 20 - Variazione della potenza del motore in funzione del rapporto di compressione della soffiante per funzionamento con aria raffreddata a 40° C in confronto ad una potenza del motore non sovralimentato di 100 CV alla p.m.a. di 8 kg/cm<sup>2</sup>.

Con la disposizione delle tubazioni di scarico come indicata nello schema di fig. 18 si verifica che:

- i gas della prima parte della fase di scarico raggiungono un'altissima velocità nei tubi convergenti (1) sistemati allo scarico di ciascun cilindro motore;
- il fluido intermedio viene prelevato dallo stesso collettore unico di scarico a pressione costante e accelerato attraverso il convergente (2);
- l'energia cinetica di tutta la massa dei gas di scarico più quella del fluido intermedio viene trasformata in energia di pressione a mezzo dei diffusori (3) di spillamento intermedio e del diffusore finale (4).

Nello schema di fig. 19 è rappresentata un'altra soluzione del sistema di scarico sopra accennato. Secondo questo schema la trasformazione dell'impulso di pressione avviene in un tubo convergente-divergente in cui confluiscono due o più collettori di scarico.

In questo modo il gas uscente ad alta velocità da un collettore, fa da estrattore del gas uscente dal collettore unito allo stesso tubo convergente.

### Conclusione.

Le considerazioni sopra riportate ci permettono di fare le seguenti conclusioni:

a) Le prestazioni raggiungibili dai motori sovralimentati con raffreddamento dell'aria sono sensibilmente influenzate dalla temperatura dell'aria all'aspirazione dei cilindri motori e quindi dalla temperatura del mezzo refrigerante che si ha a disposizione.

b) A parità di temperatura di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione, le prestazioni dei motori variano, con il variare del rapporto di compressione della soffiante di sovralimentazione, con una legge che dipende dall'ordine con il quale intervengono il rapporto aria-combustibile, il carico meccanico e il carico termico a limitare la potenza del motore. Qualora, per esempio, questi parametri si succedano, nella loro funzione limitatrice, nell'ordine sopra citato, la legge di variazione della potenza di un motore al variare del rapporto di compressione dell'aria di sovralimentazione è approssimativamente indicata nella fig. 20.

c) Le massime prestazioni ottenibili dai motori con un buon raffreddamento dell'aria di sovralimentazione, si

raggiungono adottando soffianti con elevati rapporti di compressione e motori con elevate pressioni massime di combustione. Sotto questo punto di vista si vede che, da un certo momento in poi, debbono variare i criteri di progettazione sia delle turbosoffianti che dei motori, in quanto questi non possono più essere considerati come provenienti da semplici trasformazioni di motori ad aspirazione naturale.

d) I rendimenti globali delle turbosoffianti debbono essere i più alti possibili specialmente nei motori sovralimentati con raffreddamento dell'aria, nei quali, quanto più elevato è il grado di sovralimentazione, tanto più sensibile è il comportamento del motore stesso all'efficienza delle turbosoffianti a gas di scarico.

e) Nei motori con elevato grado di sovralimentazione è più vantaggioso il sistema di scarico dei gas dai cilindri motori a pressione costante, purché il carico del motore non sia fortemente variabile.

f) Allo scopo di permettere ad un motore, funzionante con un sistema di scarico a pressione costante, di avere anche un buon comportamento ai bassi carichi, si possono realizzare dei sistemi che recuperino, sotto forma di pressione, l'energia dei gas contenuta negli impulsi di pressione esistenti durante la prima fase dello scarico dai cilindri motori.

Ing. GIORGIO CILIBERTO.

### BIBLIOGRAFIA

- R. BIRMAN - "Aerothermodynamic considerations involved in turbocharging four - and two - cycle Diesel engines .." - Transactions of the ASME, vol. 78 - January 1956, Nr. 1; S. 171 - 183.
- R. MILLER - "The effect of charge temperature and pressure on rating of Diesel engines and a variable compression ratio supercharging system for 2 and 4 cycle internal combustion engines .." - Proceeding of the 23th conference of the Oil and Gas Power, Division ASME, June 25 - 29, 1951, Dallas, Texas.
- H. HERGER and Dr. E. JENNY - "Turbocharging of Diesel Engines Present State and Future Developments .." - IV Congresso CIMAC - Zurigo, 1957.
- R. BIRMAN - "New Developments in Turbocharging .." - SAE Paper No. 250 - January 1954.

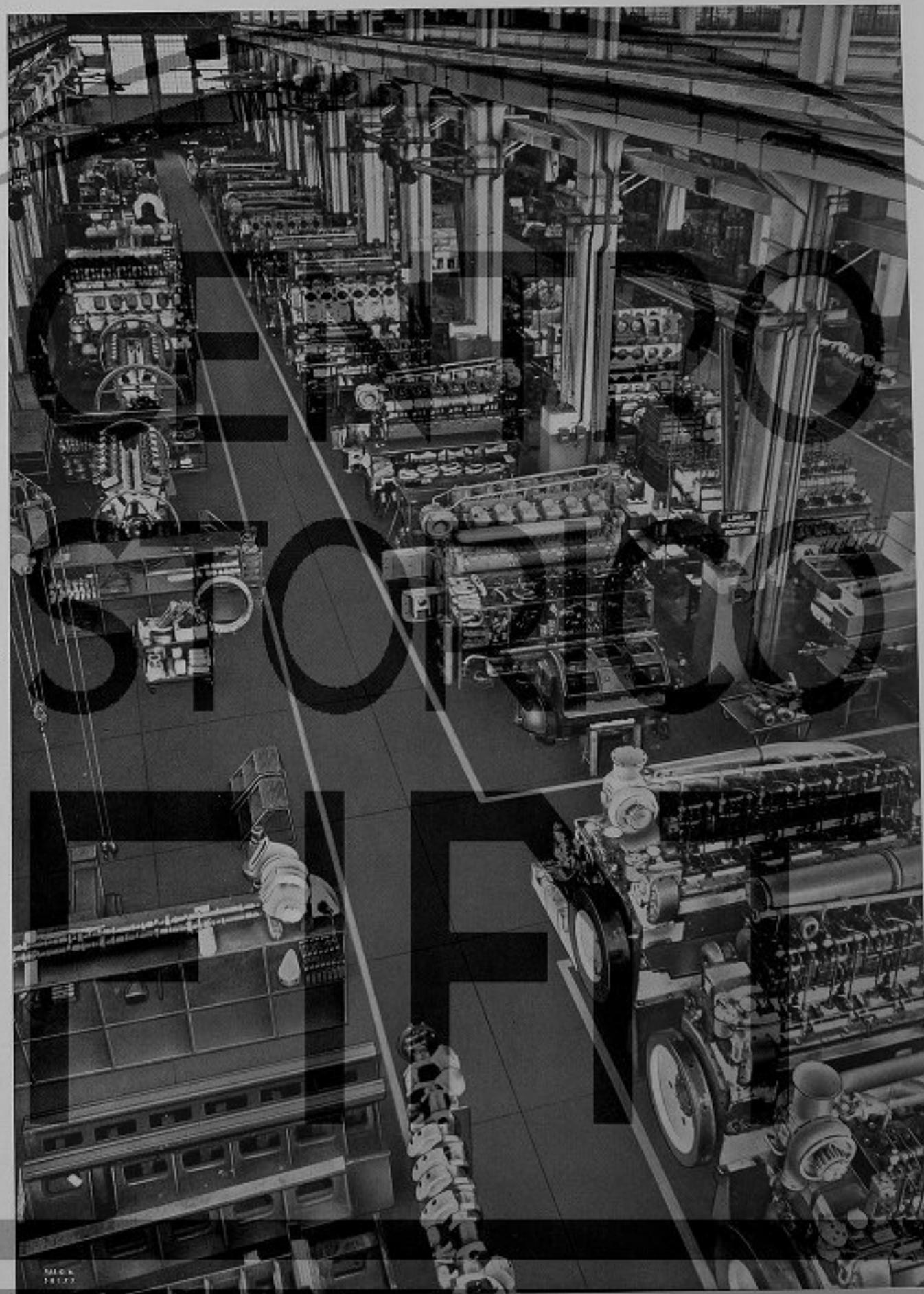


# CENTRO STORICO FIAT

Pubblicazione trimestrale - Direttore Responsabile: Dott. Ing. LUCIANO TRABUCCO

Registrato al Tribunale di Casale Monferrato in data 15 Marzo 1955 con il N. 49

Spedizione in abbonamento postale - Gruppo IV



Reparto motori a quattro tempi - Sala montaggio.