

BOLLETTINO TECNICO
N. 1 1964 VOL. XVII
GENNAIO - MARZO
Spediz. in abbonam. postale - Gruppo IV

FIAT STABILIMENTO
GRANDI MOTORI



Una turbina a gas da 37 - 42 MW per produzione di
energia elettrica

dott. Ing. A. Corgiu

Pag. 1

La produzione di ghisa sintetica al forno elettrico a indu-
zione mediante carburazione dell'acciaio

dott. A. Aldera

Pag. 18



In copertina: Turbina a gas TG 3000
installata nella Centrale Elettrica di
Chivasso

La Memoria presenta una turbina a gas a ciclo aperto "compound", tipo TG 3000 progettata e costruita dalla FIAT e che è una delle turbine a gas di maggiore potenza sinora costruite e in servizio industriale.

La prima unità è entrata in servizio nel settembre 1962 in Italia nella Centrale di Chivasso; altre tre unità dello stesso tipo, destinate a una Centrale elettrica della città di Belgrado, sono attualmente in corso di prova al banco o in corso di montaggio.

La Memoria illustra le considerazioni che determinarono la scelta della potenza e del ciclo della turbina a gas, le principali caratteristiche di progetto e costruttive dei suoi singoli componenti, il sistema di controllo e regolazione e i risultati ottenuti nel primo periodo di esercizio industriale.



Fig. 1 - Una delle turbine a gas TG 3000 per la Centrale di Belgrado, durante le prove al banco nella Sala Prove Turbine dello Stabilimento Grandi Motori

Una turbina a gas da 37 ÷ 42 MW per produzione di energia elettrica

dott. ing. A. Congiu

(Relazione presentata alla "9th Annual Gas Turbine Conference", organizzata a Houston, Texas, dalla A.S.M.E., 1-5 marzo 1964)

Introduzione

Nel settembre 1962 è entrata in funzione in Italia la 1ª turbina a gas tipo TG 3000 da 37 ÷ 42 MW costruita dalla Società FIAT; altre tre unità dello stesso tipo sono attualmente in corso di prova al banco o in corso di montaggio.

La prima unità TG 3000 è installata nei pressi di Chivasso (una piccola città a circa 25 km da Torino), in una Centrale Elettrica realizzata dalla FIAT, in base ad uno speciale accordo con la Società ENEL-SIP (ex Società Idroelettrica Piemonte). Detta Centrale, sistemata a fianco di una Centrale a vapore preesistente, viene impiegata principalmente per coprire le punte di carico giornaliere o come Centrale di integrazione stagionale della rete della Società ENEL-SIP. La fotografia in copertina mostra la sala macchine della Centrale di Chivasso.

La turbina a gas è stata progettata e costruita dalla FIAT, che ha provveduto anche al progetto ed alla realizzazione dell'intera Centrale sia per quanto riguarda le opere civili (fabbricato e fondazioni), sia per la parte relativa ai vari impianti ausiliari ed elettrici, ad eccezione

del generatore elettrico. Nello sviluppo del progetto della turbina a gas, ci si è avvalsi della assistenza della Westinghouse Electric Corporation, con la quale la FIAT stipulò, diversi anni fa, un contratto di collaborazione tecnica nel campo delle turbine a gas.

Le altre tre unità sono destinate ad una grande Centrale Elettrica in corso di costruzione nei nuovi quartieri residenziali della città di Belgrado, in Jugoslavia. Esse saranno impiegate, oltre che per produzione di energia elettrica, anche per produrre, attraverso l'utilizzazione del calore contenuto nei gas di scarico e nell'acqua di raffreddamento del refrigerante aria, acqua calda per l'impianto centralizzato di riscaldamento del nuovo centro abitato. La figura 1 mostra una fotografia di una delle 3 unità di cui sopra, durante le prove al banco presso la Sala Prove Turbine della Grandi Motori.

Trattandosi di una delle turbine a gas di maggiore potenza sinora realizzate ed in servizio industriale, riteniamo potrà risultare interessante che vengano qui presentate le principali caratteristiche di progetto e di disegno della macchina ed un breve resoconto dei risultati ottenuti nel primo periodo di esercizio.

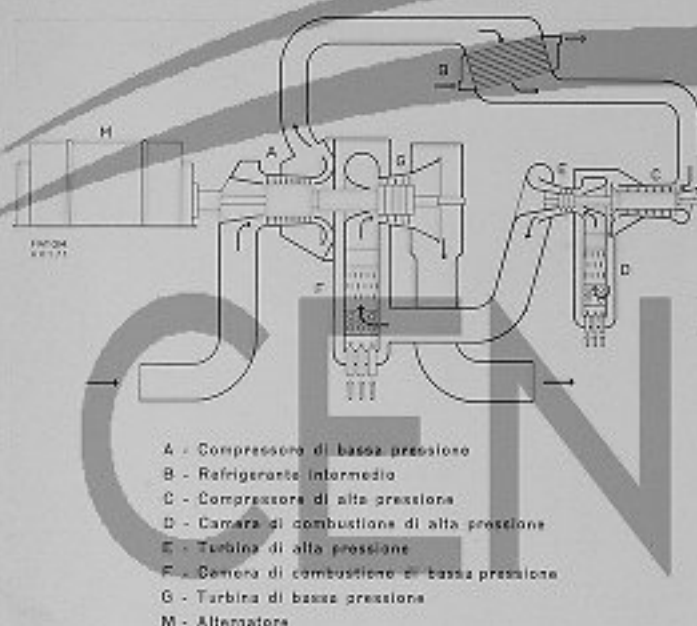


Fig. 2 - Schema dell'impianto e ciclo di funzionamento della TG 3000

Generalità

L'idea di sviluppare una turbina a gas di potenza così elevata ed a ciclo « compound » è nata essenzialmente in considerazione delle particolari esigenze di produzione di energia elettrica e delle disponibilità di combustibili in Italia e in generale in Europa.

In Italia specialmente, buona parte dell'energia elettrica viene prodotta in Centrali Idroelettriche; in conseguenza di ciò, durante i mesi invernali, la deficienza di energia idraulica rende necessario disporre di gruppi generatori di integrazione di potenza abbastanza elevata. Questa fu essenzialmente la ragione che indirizzò la FIAT nello stabilire la potenza di questa unità: venne scelto infatti un valore che, al tempo in cui venne impostato il progetto e nei limiti dello sviluppo allora raggiunto nel campo della metallurgia, poteva già ritenersi prossimo al limite della potenza raggiungibile con una turbina a gas di costruzione relativamente semplice e disegnata con criteri conservativi, quali sono richiesti per una applicazione industriale.

La scelta del ciclo termico è stata fatta in considerazione del fatto che in Europa non si ha disponibilità di combustibili a basso prezzo adatti per essere impiegati nelle turbine a gas senza particolari trattamenti, e pertanto il rendimento della macchina motrice ha un peso abbastanza notevole nel determinare il costo della energia elettrica prodotta. Era quindi indispensabile avere una turbina a gas, anche se di caratteristiche generali alquanto più complesse di quella a ciclo semplice, ma con un rendimento abbastanza elevato per risultare competitiva con le turbine a vapore o i motori diesel di potenza

globale equivalente. È stato perciò scelto il ciclo di tipo « compound » con 2 stadi di compressione e refrigerazione intermedia e con 2 stadi di espansione e ricompressione.

Nello stabilire le caratteristiche termodinamiche del ciclo inoltre è stato fatto un compromesso tra la soluzione senza e con rigeneratore di calore, in modo che l'unità avesse caratteristiche adeguate per l'impiego di un rigeneratore di calore, qualora questo fosse stato richiesto per avere un rendimento ancora più elevato di quello ottenibile con l'unità non rigenerativa.

Anche il disegno della macchina è stato in parte condizionato dalla particolare situazione che si ha in Europa per quanto riguarda il costo dei combustibili, e dal desiderio quindi delle Società produttrici di energia elettrica di impiegare combustibili a basso costo, come la nafta da caldaie. In vista appunto dell'impiego della nafta da caldaie, per entrambi i gruppi di BP e di AP sono stati adottati dei combustori a tubo di fiamma unico, esterni alla macchina, per avere una maggiore libertà nel loro proporzionamento e nel realizzare quindi le migliori condizioni per la combustione dei combustibili del tipo suddetto. Ciò è stato fatto anche se ha richiesto di allontanarsi dal disegno standard delle unità a ciclo semplice costruite dalla FIAT, e di effettuare un lavoro di ricerca e di sviluppo per la messa a punto dei nuovi combustori.

Questo orientamento si è dimostrato sinora più che opportuno: infatti l'unità di Chivasso ha di recente iniziato il funzionamento con nafta da caldaie: le 3 unità di Belgrado sono state vendute proprio per l'impiego, come combustibile base, di nafta da caldaie.

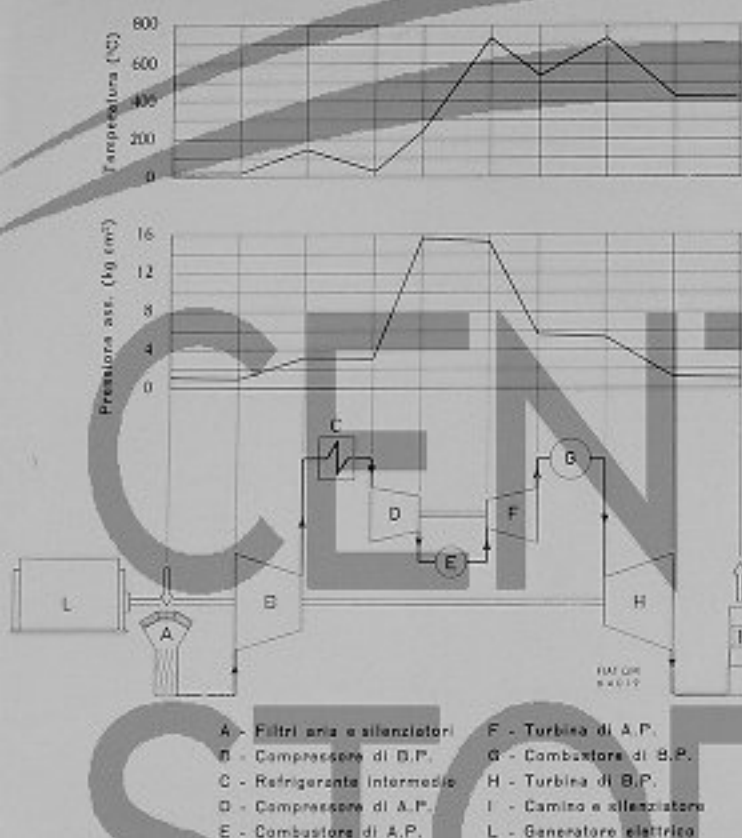


Fig. 3 - Diagramma delle pressioni e delle temperature del fluido di lavoro lungo i componenti della macchina

Ciclo termodinamico

La turbina a gas TG 3000 è una turbina a ciclo aperto « compound », con due stadi di compressione in serie e refrigerazione intermedia, con due stadi di espansione in serie e ricombustione, e senza rigeneratore di calore.

Nella figura 2 è rappresentato lo schema dell'impianto e il ciclo di funzionamento.

Il ciclo del fluido di lavoro è il seguente:

- l'aria aspirata dall'esterno è compressa nel compressore di bassa pressione (BP) sino alla pressione di circa 3,2 ata;
- dopo avere attraversato il refrigerante, dove viene raffreddata sino ad una temperatura di circa 13°C superiore alla temperatura ambiente, viene ulteriormente compressa sino alla pressione di circa 15,7 ata nel compressore di alta pressione (AP);
- l'aria così compressa passa nel combustore di AP dove avviene la prima combustione, e si produce così una miscela di aria e gas combusti alla temperatura di circa 730°C, che si espande attraverso la turbina di AP sino alla pressione di circa 5,8 ata;
- la miscela di aria e gas combusti proveniente dalla turbina di AP, passa nel combustore di BP dove, mediante una ulteriore introduzione di combustibile e

conseguente combustione, si riscalda nuovamente sino alla temperatura di circa 730°C, si espande quindi attraverso la turbina di BP sino alla pressione ambiente e viene quindi scaricata nell'atmosfera.

Nella figura 3 è rappresentato il diagramma delle pressioni e delle temperature del fluido di lavoro lungo i componenti della macchina.

Per realizzare il ciclo di cui sopra è stata adottata la soluzione a due soli alberi, con un gruppo di alta pressione (AP) ed un gruppo di bassa pressione (BP), allo scopo di limitare le dimensioni globali di ingombro dell'unità e la complessità dell'impianto.

Il gruppo di AP è costituito dal compressore e dalla turbina di AP. La turbina di AP sviluppa una potenza pari a circa 52.000 Cv, che è solo sufficiente per l'azionamento del compressore di AP; si tratta quindi di un gruppo autosufficiente, senza produzione di potenza meccanica esterna e che svolge unicamente la funzione di gruppo di sovralimentazione del gruppo di BP. La sua velocità di rotazione nominale è pari a 5740 giri/min.

Il gruppo di BP è costituito dal compressore e dalla turbina di BP. La turbina di BP sviluppa una potenza pari a circa 86.000 Cv, di cui 33.000 Cv circa sono assorbiti dal compressore di BP; sull'asse del gruppo di BP resta quindi disponibile una potenza utile di circa 53.000 Cv per l'azionamento di un generatore elettrico (od altra macchina operatrice). La velocità di rotazione di questo gruppo è stata fissata in 3000 giri/min allo scopo di permettere l'accoppiamento diretto ad un generatore elettrico a 2 poli e 50 Hz.

Il tipo di ciclo scelto per la TG 3000, consente di ottenere dei rendimenti particolarmente elevati anche nella soluzione senza rigeneratore di calore. Inoltre è da notare che, malgrado il compressore di BP sia calettato sull'albero di potenza e l'unità funzioni quindi con una portata di aria praticamente costante, con la ricombustione si ottiene una elasticità di funzionamento tale da mantenere il calo percentuale di rendimento ai carichi parziali a valori sensibilmente minori di quelli che si hanno invece con una unità simile senza ricombustione o a ciclo semplice.

Prestazioni

Sulla base dei dati di progetto, a titolo prudenziale, vennero stabilite le seguenti prestazioni, misurate ai morsetti dell'alternatore, da garantire al Cliente, riferite alla temperatura ambiente di 15°C e al livello del mare, e con una temperatura dell'acqua di raffreddamento di 20°C:

— Potenza	32.000 kW
— Rendimento (riferito al potere calorifico inferiore del combustibile)	25,3 %
— Consumo specifico di calore corrispondente	3400 kCal/kWh

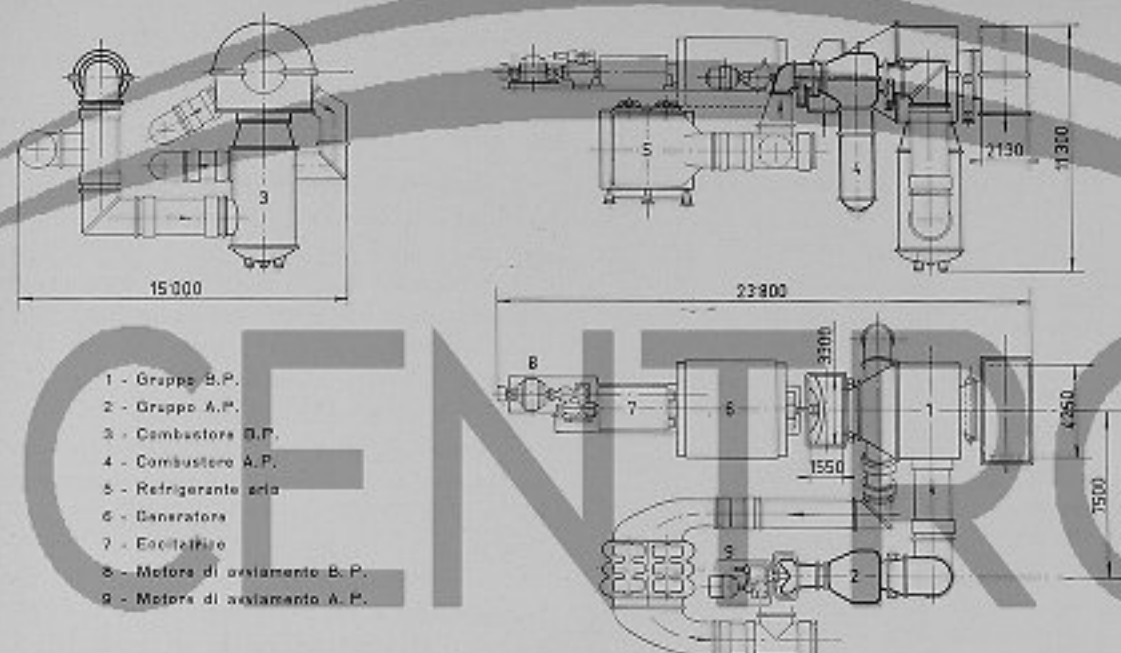


Fig. 4 - Turbina a gas TG 3000 - Viste generali e dimensioni di ingombro

Queste prestazioni sono state notevolmente superate in pratica: infatti, dai rilievi effettuati sulla prima unità installata nella Centrale di Chivasso sono stati ottenuti una potenza ed un rendimento globale rispettivamente del 20 % e del 10 % circa superiori ai valori garantiti. A seguito di ciò, è stato deciso di adottare per la TG 3000 le seguenti prestazioni standard, misurate ai morsetti dell'alternatore, e riferite al livello del mare ed alle sotto indicate temperature ambiente e dell'acqua di raffreddamento:

Temperatura ambiente	°C	15	0
Temperatura acqua raffreddamento aria	°C	20	5
Potenza	MW	37	42
Rendimento (riferito al potere calorifico inferiore del combustibile)	%	27	28
Consumo specifico di calore corrispondente	kCal/kWh	3190	3070

Descrizione generale

Come indicato nella fig. 4 — viste generali e dimensioni di ingombro dell'unità — la turbina a gas TG 3000 nel suo complesso è costituita dai due gruppi di AP e BP affiancati, dal refrigerante aria con relative tubazioni di collegamento alla mandata del compressore di BP e all'aspirazione del compressore di AP, e dai due combustori.

Il combustore di AP è montato in posizione verticale sotto il gruppo di AP ed è direttamente collegato al corpo intermedio del turbogruppo. Anche il combustore di BP, nella 1ª unità, è sistemato in posizione verticale, sotto il gruppo di BP, ed è direttamente collegato al corpo intermedio dello stesso gruppo; una tubazione dotata di giunti di dilatazione collega lo scarico della turbina di AP con la bocca di ingresso nel combustore di BP. Nelle tre unità della Centrale di Belgrado il combustore di BP invece è montato trasversalmente, in posizione orizzontale, sotto i gruppi di AP e BP.

L'alternatore è direttamente accoppiato alla estremità del rotore, lato compressore, del gruppo di BP.

Ciascun gruppo è completato dal gruppo ingranaggi ausiliari e dal relativo motore di lancio.

Circa le principali caratteristiche costruttive, in generale si può dire che, nel progetto e nel disegno dei due gruppi di BP e AP, sono stati seguiti criteri analoghi a quelli sinora adottati per le altre turbine a gas monoasse che fanno parte della produzione standard della FIAT, conservando, ove possibile, le stesse soluzioni costruttive che le caratterizzano.

Tra queste si segnalano in particolare (vedere figure 5 e 6 - sezioni longitudinali dei gruppi di BP e AP):

— il compressore e la turbina di ciascun gruppo sono riuniti in un unico corpo, il quale appoggia sulle fondazioni mediante due soli supporti, di cui uno lato compressore di tipo rigido e fisso, ed uno lato turbina dotato di due bielle, flessibili in direzione trasversale, per consentire la libera dilatazione del turbogruppo in senso assiale e diametrale;

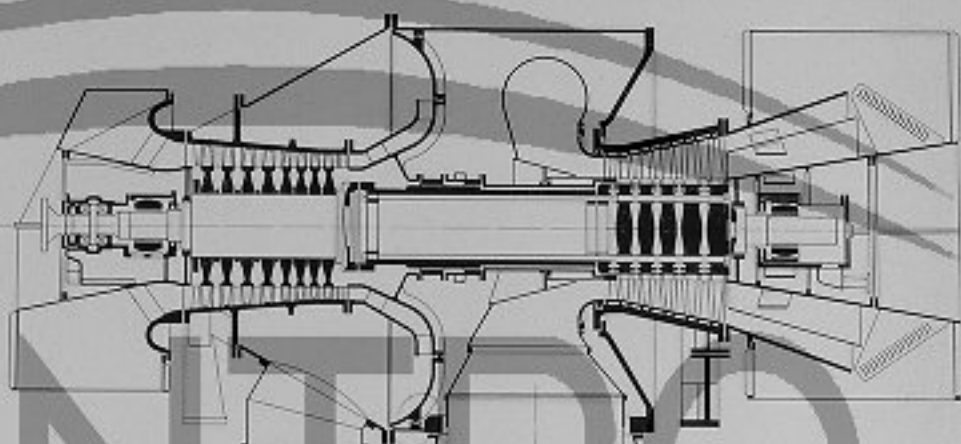


Fig. 5 - Sezione longitudinale del gruppo di B.P.

— il rotore del compressore e il rotore della turbina sono collegati tramite un albero intermedio rigido cavo e formano un unico rotore, il quale poggia su due soli cuscinetti sistemati all'estremità della macchina. E' da notare che questa soluzione è stata conservata anche nel gruppo di BP, il cui rotore ha un peso di circa 25 t ed una distanza tra i cuscinetti di circa 6800 mm (fig. 7 rotore gruppo BP).

Sono state anche conservate le caratteristiche strutturali già adottate nelle unità monoasse per ridurre al minimo deformazioni e sollecitazioni di origine termica sia nella parte rotante che nella struttura fissa, fra le quali:

- rotore turbina costituito da dischi singoli accoppiati tra loro a mezzo di dentature frontali autocentranti e collegati all'albero intermedio a mezzo di lunghi tiranti (fig. 8);
- anelli distributori turbina montati nel corpo turbina a mezzo di una altra serie di anelli, allo scopo di dare una maggiore elasticità all'insieme e creare una camera, tra la zona delle palettature attraversate dai gas caldi e il corpo turbina, nella quale viene inviata una certa quantità di aria di raffreddamento;
- collegamento del supporto cuscinetto lato turbina al corpo della turbina stessa a mezzo di alette elastiche tangenziali, le quali consentono di evitare deformazioni e sforzi eccessivi nella struttura a causa delle differenze di temperatura nei singoli componenti e mantengono allo stesso tempo centrato il rotore (vedere fig. 9 - vista lato scarico turbina BP).

Nel disegnare l'unità è stata inoltre particolarmente curata la semplicità costruttiva sia dell'impianto completo

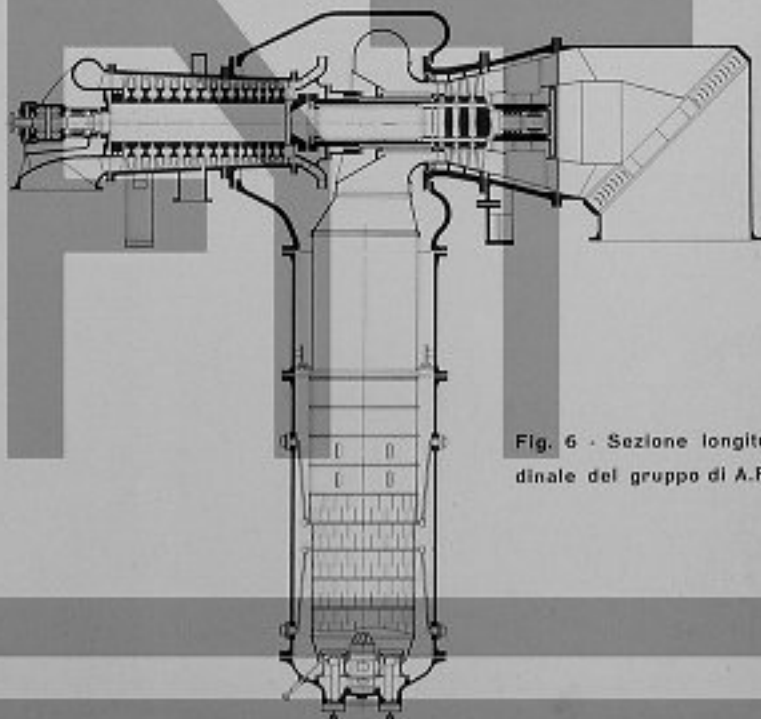


Fig. 6 - Sezione longitudinale del gruppo di A.P.

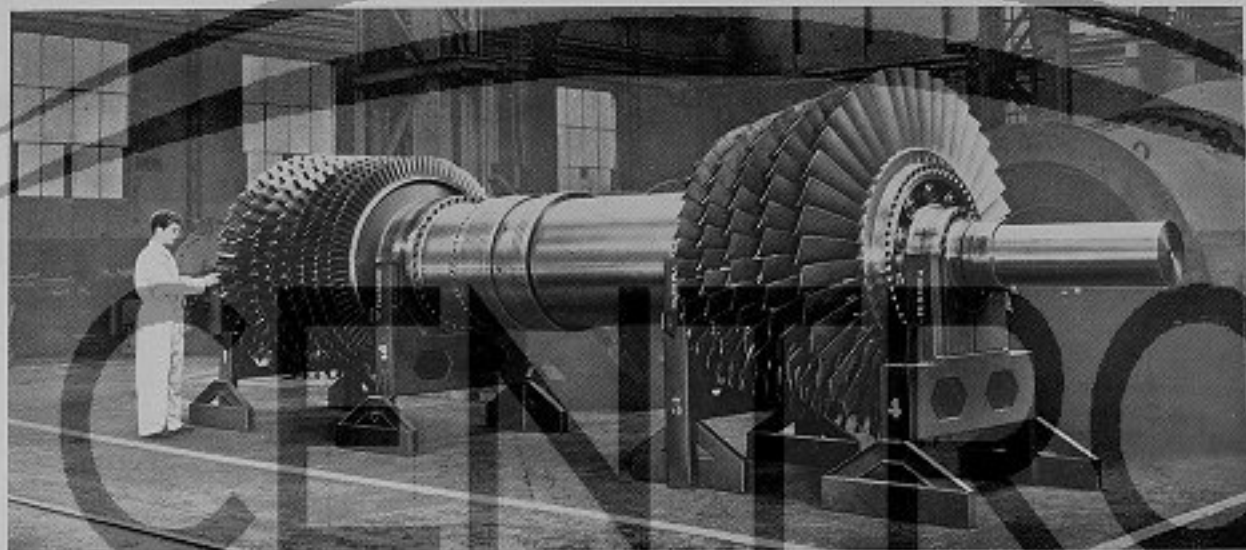


Fig. 7 - Rotore completo del gruppo di B.P.

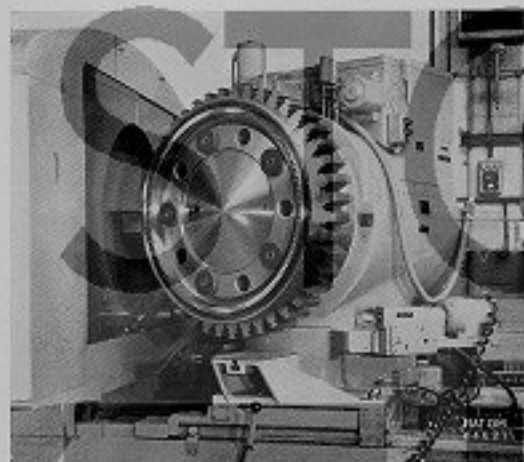


Fig. 8 - Disco turbina di B.P. durante la lavorazione della dentatura frontale autocentrante

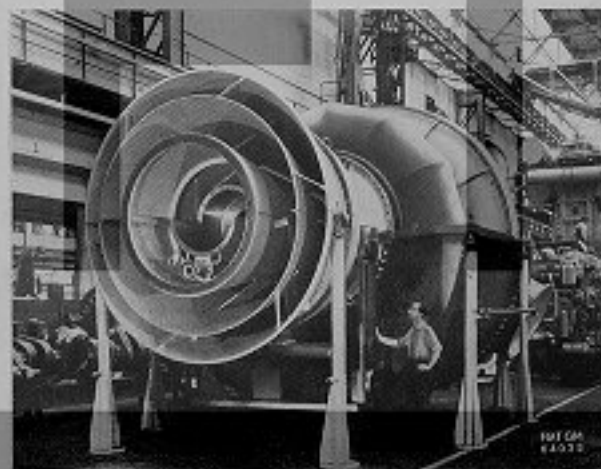


Fig. 9 - Collegamento del supporto cuscinetto lato turbina al corpo turbina mediante alette elastiche tangenziali

che dei suoi singoli componenti, allo scopo di rendere più facili e agevoli le operazioni di ispezione, manutenzione e smontaggio.

Caratteristiche di progetto dei compressori

Come già detto, nella TG 3000 il lavoro totale di compressione dell'aria è suddiviso su due compressori assiali meccanicamente indipendenti, disposti in serie con refrigerazione intermedia.

Il compressore di BP, costituito da 8 stadi, è stato progettato per fornire un rapporto di compressione nominale di 3,1 a 3000 giri/min. Il compressore di AP, costituito da 14 stadi, è stato invece progettato per comprimere l'aria proveniente dal compressore di BP, dopo la refrigerazione, con un rapporto di compressione nominale di 5,1 a 5740 giri/min.

Per le palettature di entrambi i compressori, sono stati seguiti analoghi criteri di progetto: esse sono a diametro di base costante, con grado di reazione di circa il 50% alla base e disegnate per realizzare una particolare distribuzione radiale di velocità, già sperimentata con ottimi risultati nei compressori assiali delle altre unità.

Per le palettature fisse e rotanti di entrambi i compressori sono stati adottati due profili base derivati da profili alari NACA; i profili adottati per le palettature dei primi stadi, aventi un più elevato numero di « Mach », sono stati opportunamente modificati sul bordo di ingresso rispetto al profilo base originale. Le palette rotanti sono rastremate dalla base alla estremità per ridurre le sollecitazioni per forza centrifuga; le palette fisse sono, invece, a sezione costante.

Particolare attenzione è stata posta nello studio e nella determinazione delle caratteristiche di vibrazione delle palette rotanti. In sede di progetto, è stata determinata,

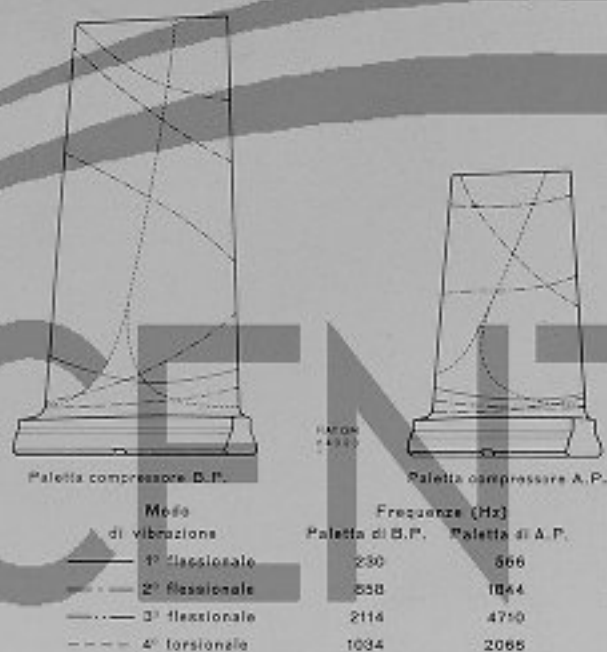


Fig. 10 - Tipiche palette dei compressori di B.P. e A.P. su cui sono indicate le linee nodali e le frequenze proprie rilevate per vari modi di vibrazione

con il calcolo, la frequenza propria fondamentale di vibrazione di ogni tipo di paletta, per controllare che non vi fossero possibilità di risonanza con le palettature fisse o con eventuali altri disturbi presenti nella macchina. I valori calcolati sono stati poi controllati mediante il rilievo diretto, sulle palette al vero, delle frequenze proprie dei vari modi possibili di vibrazione delle palette stesse. Nella fig. 10 sono rappresentate due palette tipiche dei compressori di BP e AP su cui sono indicate le linee nodali e le frequenze proprie rilevate.

Le palettature del compressore sono precedute da una corona di palette fisse di guida per immettere l'aria nella prima fila di palette rotanti secondo le previste condizioni di flusso; un'altra corona di palette fisse radializzatrici, sistemate all'uscita del compressore, elimina

le componenti tangenziali del flusso di aria, allo scopo di ottenere un ingresso assiale nel diffusore.

Dato il particolare disegno di queste unità, per limitare le dimensioni di ingombro assiali, per entrambi i compressori è stato adottato un diffusore di tipo misto assiale radiale. La configurazione finale adottata per il diffusore, è stata determinata attraverso una serie di prove su modelli in scala effettuate presso i Laboratori di Fluidodinamica della FIAT. Il disegno iniziale prevedeva un diffusore praticamente ad arco di cerchio; la configurazione finale adottata ha permesso di ottenere un miglioramento nel rendimento di diffusione di circa il 20%. Nella fig. 11 è rappresentato il banco di prova su cui sono state effettuate le prove di cui sopra.

Nel compressore di BP, l'aria compressa, all'uscita dal diffusore, viene immessa in una voluta ricavata nella stessa struttura portante della macchina, e nella quale sono praticate due bocche, cui si collegano le tubazioni che portano l'aria al refrigerante. Nel compressore di AP, invece, l'aria compressa, all'uscita dal diffusore, viene immessa direttamente nella parte superiore del combustore di AP, dopo avere attraversato l'intercapedine tra corpo intermedio e voluta di ingresso in turbina. Sono state così evitate le tubazioni di collegamento tra gruppo di AP e relativo combustore, rendendo quindi minime le perdite di carico tra mandata compressore e ingresso combustore.

Per evitare il verificarsi di fenomeni di pompaggio nei compressori durante la fase di avviamento, sono stati previsti due spillamenti di aria: uno dalla mandata del compressore di BP, a monte del refrigerante aria, ed uno tra le corone di palette rotanti e fisse del 6° stadio del compressore di AP.

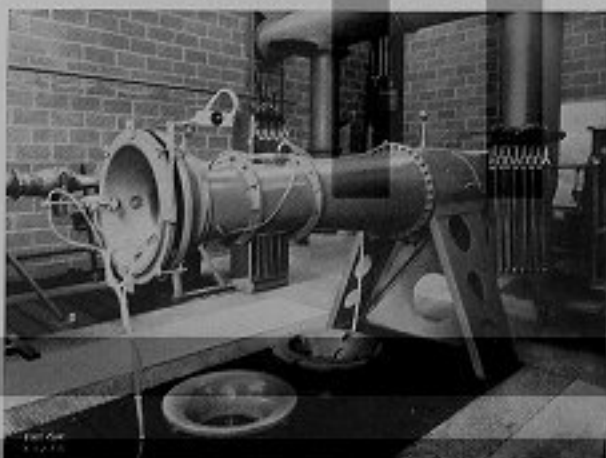
In pratica è stato poi riscontrato che, per evitare il pompaggio durante la fase di avviamento, è sufficiente effettuare lo spillamento di aria unicamente dalla mandata del compressore di BP, mentre è necessario anche lo spillamento dal compressore di AP nel caso di un arresto di emergenza della unità funzionante a carico.

Lo spillamento dell'aria viene effettuato mediante scarico diretto all'atmosfera a mezzo di valvole di by-pass a comando automatico. Il comando di dette valvole è interconnesso con i dispositivi di sequenza automatica di avviamento e di arresto dell'unità, e determina l'apertura e la chiusura delle valvole stesse al momento prestabilito.

Entrambi i compressori hanno il rotore del tipo a dischi forzati a caldo sull'albero, i quali portano sulla corona periferica esterna delle scanalature longitudinali a coda di rondine per il fissaggio delle palette rotanti; queste quindi possono essere smontate singolarmente senza la necessità di rimuovere le palette adiacenti. Le palettature rotanti sono costruite in materiale al 12% di cromo, il quale ha delle ottime caratteristiche di smorzamento agli effetti delle vibrazioni.

Le palettature fisse sono saldate a due semianelli, uno

Fig. 11 - Banco di prova per i diffusori del compressore



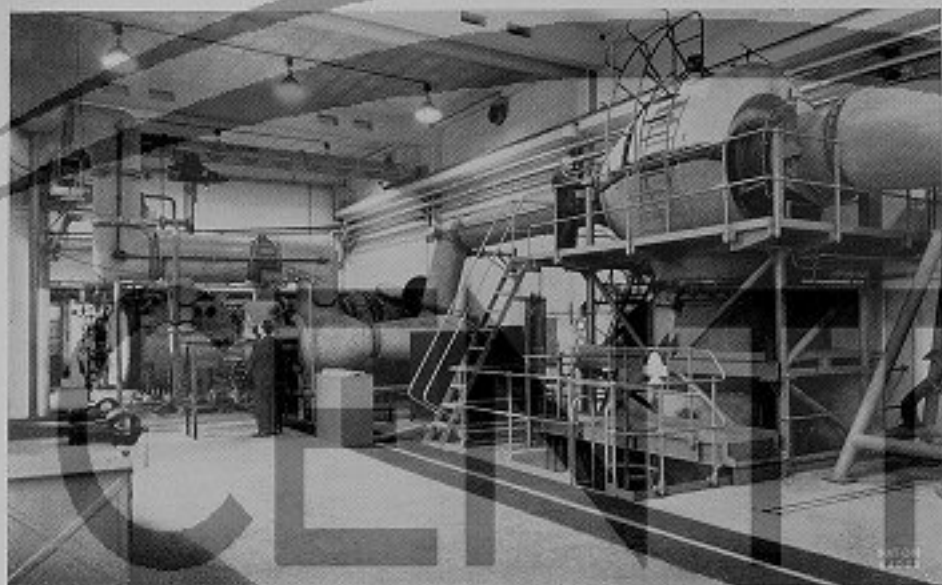


Fig. 12 - Combustori di B.P. e A.P. in prova nella Sala Prove di Combustione del Laboratorio FIAT

interno ed uno esterno: l'anello esterno trova sede in apposite scanalature circolari ricavate nel corpo del compressore, il che consente di poter smontare i due semianelli superiore ed inferiore senza dover rimuovere il rotore.

Caratteristiche di progetto dei combustori

Entrambi i combustori di AP e BP sono del tipo cilindrico a tubo di fiamma unico, e sono dotati di sei iniettori del combustibile sistemati a corona sulla testata del combustore.

Per quanto siano stati realizzati con gli stessi criteri generali di disegno, essi differiscono naturalmente nelle dimensioni e nel proporzionamento dei passaggi d'aria attraverso il tubo di fiamma, in relazione alle diverse condizioni di lavoro. Nel combustore di AP, ad esempio, la pressione dell'aria di alimentazione e la quantità di

calore elaborata sono rispettivamente pari a circa 3 e 2,5 volte i corrispondenti valori del combustore di BP.

Poiché i combustori in argomento differiscono nettamente dai combustori a tubi di fiamma multipli sinora adottati in tutte le turbine a gas monoasse di tipo standard costruite dalla FIAT, essi sono stati disegnati e costruiti in anticipo rispetto agli altri componenti dell'unità, e sottoposti ad una lunga serie di prove presso i Laboratori di Fluidodinamica. Le prove sono state eseguite alimentando i combustori con aria a pressione praticamente atmosferica, ma mantenendo le temperature e le velocità dell'aria all'interno del combustore e la pressione relativa di iniezione del combustibile uguali a quelle che si hanno in condizioni di esercizio effettivo. Nella fig. 12 è presentata una fotografia dei combustori di BP e AP in prova presso i Laboratori.

Sulla base di queste prove, sono state apportate successive varianti al disegno base originale, sino a giungere alla configurazione definitivamente adottata, che presenta delle caratteristiche senz'altro soddisfacenti per quanto riguarda rendimento di combustione, diagramma di temperatura all'uscita, stabilità di fiamma, etc... Al riguardo della stabilità di fiamma può essere interessante citare che il combustore di BP viene fatto funzionare normalmente, sino a circa il 50% del carico, con una immissione minima di combustibile, cui corrisponde un incremento di temperatura di soli $25 \pm 30^\circ\text{C}$.

L'immissione dell'aria all'interno del tubo di fiamma avviene attraverso tre diverse serie di luci, ciascuna di caratteristiche e dimensioni appropriate alla funzione cui è destinata, e in particolare: assicurare una buona combustione e una soddisfacente stabilità di fiamma, creare un film d'aria sulle pareti interne del tubo di fiamma in modo da mantenere la temperatura del metallo entro

Fig. 13 - Disco turbina di B.P. durante la brocolatura delle sedi per palette

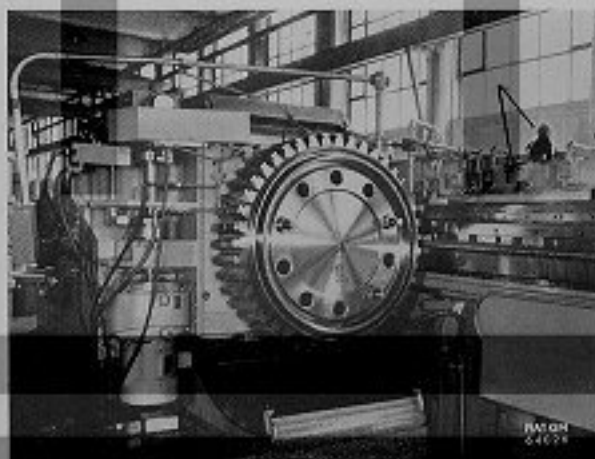
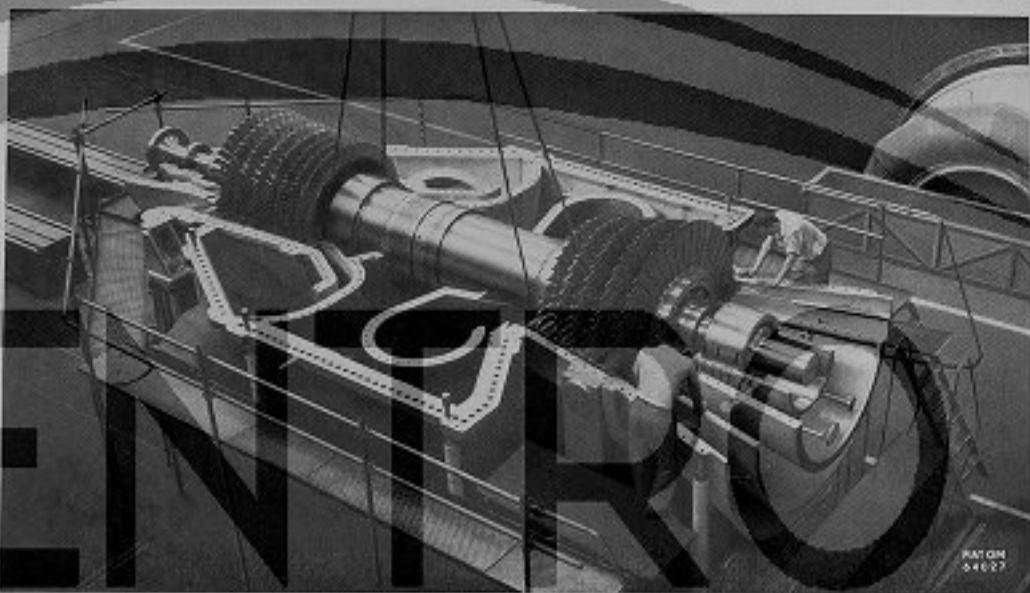


Fig. 14 - Gruppo di B.P. durante il montaggio



limiti accettabili, realizzare un diagramma di temperatura all'uscita del combustore il più possibile uniforme.

L'accensione dei combustori viene effettuata iniettando da prima del combustibile attraverso uno solo dei sei iniettori normali alimentato da una pompa pilota, e provocandone l'accensione a mezzo di una candela ad alta energia. Si inietta quindi combustibile attraverso gli altri cinque iniettori a mezzo della pompa di iniezione principale. Completata l'accensione di tutti gli iniettori, si inserisce l'iniettore pilota nel circuito principale di alimentazione del combustibile mediante una valvola di trasferta e la candela viene portata fuori del tubo di fiamma. Tutte le operazioni di cui sopra avvengono automaticamente al momento e nell'ordine prestabilito, comandate dalla sequenza di avviamento.

Dal punto di vista costruttivo, il tubo di fiamma è costituito da un certo numero di tronchi cilindrici di lamiera di acciaio inossidabile resistente alle alte temperature, e non ha alcun rivestimento in materiale refrattario. I vari tronchi del tubo di fiamma sono sopportati dal corpo esterno a mezzo di un sistema di tiranti tangenziali e longitudinali: ciò consente la loro libera dilatazione mantenendoli allo stesso tempo centrati. Il corpo esterno del combustore di AP, che è alimentato con aria alla temperatura di 240 °C circa, è di acciaio normale al carbonio; nel combustore di BP, invece, data la temperatura piuttosto elevata (circa 540 °C) della miscela di aria e gas combusti con cui è alimentato, il corpo è di acciaio legato ed è rivestito internamente con uno strato di materiale isolante.

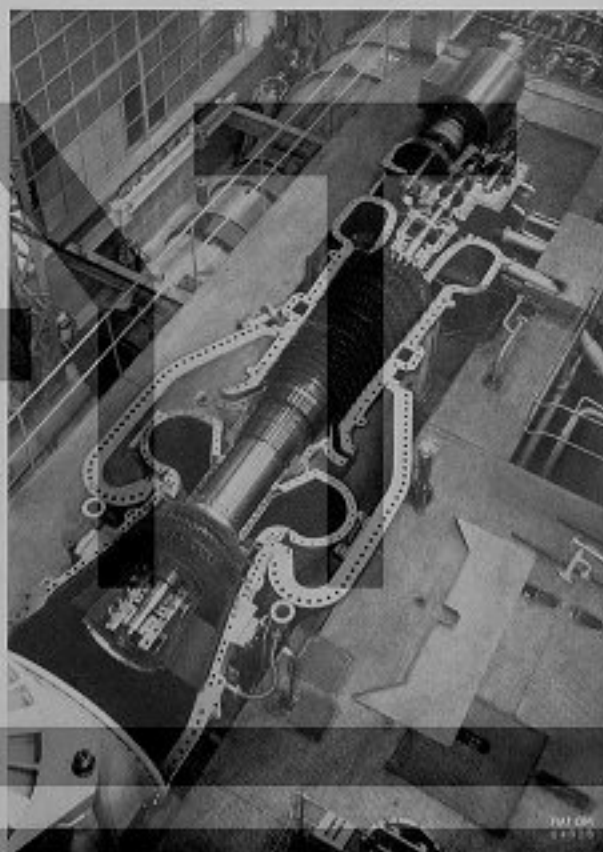
Caratteristiche di progetto delle turbine

Come già detto, nella TG 3000 il lavoro totale di espansione è suddiviso su due turbine assiali, meccanicamente indipendenti, disposte in serie: ciascuna turbina

è preceduta da un combustore, ed è quindi alimentata, a pieno carico, con una miscela di aria e gas combusti alla temperatura massima stabilita per il ciclo termico.

La turbina di AP, progettata per fornire la potenza necessaria per l'azionamento del compressore di AP, è costituita da tre stadi, con un rapporto di espansione totale di progetto di circa 2,7. La turbina di BP, invece,

Fig. 15 - Gruppo di A.P. durante il montaggio



progettata per fornire la potenza necessaria per l'azionamento sia del compressore di BP che dell'alternatore (o della macchina operatrice) è dotata di cinque stadi, con un rapporto di espansione totale di progetto di circa 5.

Le palettature di entrambe le turbine sono a diametro di base costante e svergolate dalla base all'estremità in modo da realizzare la condizione di equilibrio radiale, e mantenere costante, lungo il raggio, l'energia totale e la velocità assiale. In conseguenza di ciò, si ha una variazione del grado di reazione lungo il raggio da circa il 10% alla base sino a valori del $50 \div 70\%$ all'estremità. Le palette rotanti, inoltre, per ragioni meccaniche, sono rastremate dalla base verso l'estremità.

Per alcune palettature sono stati adottati profili derivati direttamente da palettature già impiegate con ottimi risultati su altre macchine; le palette più grandi del gruppo di BP, invece, sono state disegnate ex-novo.

Specie per le palette rotanti degli ultimi stadi della turbina di BP, dove le palette raggiungono delle dimensioni notevoli (l'ultimo stadio di questa turbina ha delle palette di circa 1/2 metro di altezza) ci si è preoccupati di fare un controllo molto accurato delle frequenze proprie di vibrazione, sia attraverso il calcolo che attraverso la determinazione diretta sulle palette al vero.

Le palette rotanti sono montate nei dischi in scansature assiali a forma di albero di abete ricavate alla periferia dei dischi stessi e possono essere smontate singolarmente senza dover smontare le palette adiacenti. La fig. 13 mostra un disco della turbina di BP montato sulla macchina a bruciare per la lavorazione delle sedi per palette.

Per assicurare migliori condizioni di funzionamento, la faccia frontale dei dischi è raffreddata con aria prelevata dal compressore di AP, la quale, dopo avere raffreddato i dischi, passa alla base delle radici delle palette creando così come una barriera alla trasmissione del calore dalle palettature verso i dischi.

L'immissione del gas in turbina avviene attraverso una voluta sistemata tra il compressore e la turbina attorno all'albero intermedio, e contenuta nel corpo intermedio della macchina (fig. 14 e fig. 15 - gruppo di BP e gruppo di AP in corso di montaggio, senza corpo superiore).

L'intercapedine tra corpo esterno e voluta è tenuta in leggera sovrappressione (pari alla perdita di carico attraverso il combustore) rispetto alla pressione dei gas all'interno della voluta. Pertanto il corpo esterno, che, oltre a resistere alla pressione, ha anche la funzione di elemento portante della macchina, in quanto collega il corpo compressore al corpo turbina, è di costruzione robusta.

La voluta, invece, essendo essenzialmente sottoposta a sollecitazioni di origine termica, è costruita in lamiera di acciaio inossidabile resistente ad alte temperature, di spessore relativamente sottile, ed è sopportata dal corpo esterno, in corrispondenza del piano orizzontale, con un opportuno sistema di supporti elastici che ne permettono la libera dilatazione.

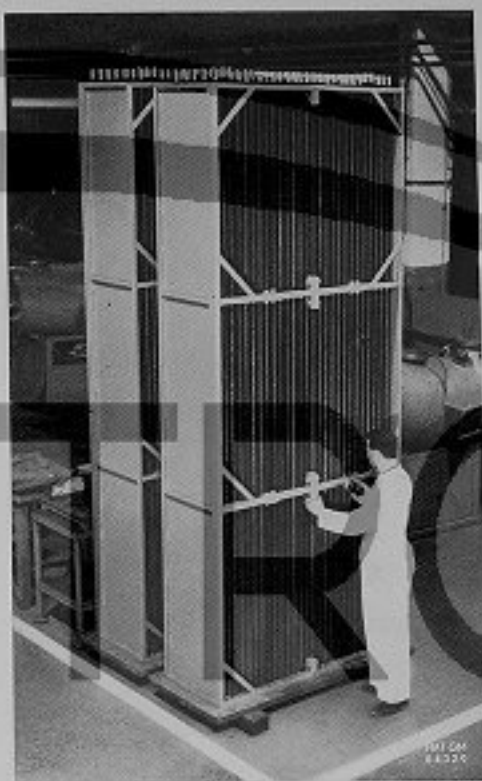


Fig. 16 - Fasci tubuleri del refrigerante aria

Nel gruppo di BP, poiché la pressurizzazione della intercapedine tra corpo e voluta è fatta con i gas di scarico della turbina di AP, aventi una temperatura abbastanza elevata, il corpo intermedio è rivestito, sia

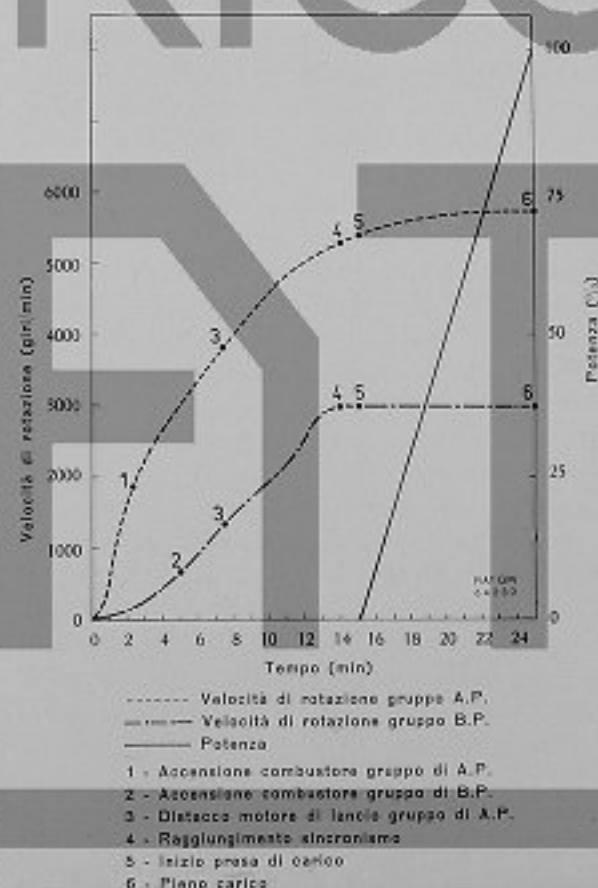


Fig. 17 - Diagramma tipico di avviamento e presa di carico

all'interno che all'esterno, con uno strato di materiale isolante di spessore variabile, distribuito in modo da ridurre al minimo il gradiente termico in corrispondenza dell'accoppiamento al corpo turbina ed al corpo compressore.

La forma e gli spessori dei due corpi intermedi sono stati definiti attraverso delle prove tensiometriche eseguite su modelli in scala.

I gas che si scaricano dalle turbine, prima di essere immessi nel collettore di scarico, attraversano un diffusore anulare conico, il cui disegno è stato sperimentato attraverso una serie di prove di laboratorio su modelli in scala. Il diffusore della turbina di BP, è suddiviso in due coni concentrici per ottenere una migliore efficienza, senza allungare eccessivamente la macchina.

Refrigerante aria

È del tipo a tubi alettati ed è stato previsto per raffreddare la portata totale di aria compressa dal compressore di BP, sino ad una temperatura di 13 °C superiore alla temperatura ambiente. Per ottenere il suddetto raffreddamento, con una temperatura ambiente di 15 °C, sono necessari circa 1000 m³/h di acqua alla temperatura di 20 °C.

Anche per questo particolare ci si è preoccupati della semplicità costruttiva e facilità di manutenzione.

Esso è costituito da 6 fasci tubieri verticali indipendenti, ciascuno completo di testata superiore e inferiore, entro i quali circola l'acqua di raffreddamento con ingresso e uscita dalla testata superiore.

I sei fasci tubieri sono disposti su due file di tre fasci ciascuna: i fasci di ogni fila sono collegati tra di loro in serie, le due file sono collegate a loro volta in parallelo. La circolazione dell'acqua da un fascio all'altro avviene in direzione opposta alla direzione del flusso di aria, realizzando così uno scambio di calore di tipo misto controcorrente-correnti incrociate.

I fasci tubieri sono contenuti in un corpo a forma di parallelepipedo; essi sono sostenuti dal corpo solo in corrispondenza della piastra tubiera superiore e sono liberi di dilatarsi verso il basso. Questa sistemazione consente il facile smontaggio dei singoli fasci tubieri, estraendoli dalla parte alta del refrigerante.

Il corpo è costituito essenzialmente da una struttura saldata in profilati di ferro, chiusa su due lati opposti e sul fondo da pareti in lamiera sagomate a forma di semicilindri affiancati, allo scopo di ottenere la necessaria resistenza alla pressione interna adottando delle lamiere di spessore relativamente sottile.

Nella fig. 16 sono rappresentati i fasci tubieri del refrigerante in corso di montaggio.

Avviamento

In sede di progetto, per ragioni prudenziali, era stato previsto l'impiego di due motori di lancio, di cui uno per il gruppo di BP ed uno per il gruppo di AP.

Durante il primo periodo di esercizio pratico dell'unità, si è constatato che la macchina poteva essere facilmente avviata mediante l'impiego del solo motore di lancio del gruppo di AP, che ha una potenza nominale di 500 kW.

Ciò è reso possibile dal fatto che il gruppo di AP, aspirando l'aria e scaricando i gas rispettivamente attraverso il compressore e la turbina di BP, fornisce a questi energia sufficiente per portare il gruppo di BP sino alla velocità di accensione e assisterlo poi sino al raggiungimento della velocità di autosostentamento.

Mediante l'impiego del solo motore di lancio del gruppo di AP, il tempo richiesto per portare l'unità dalla condizione di macchina fredda alla velocità di sincronismo è di quindici minuti primi; la successiva presa di carico avviene in 10 minuti circa. Nella fig. 17 è rappresentato un diagramma tipico di avviamento e di presa di carico in funzione del tempo.

I tempi sopraindicati possono essere ridotti in caso di emergenza o quando l'avviamento venga effettuato partendo da macchina relativamente « calda ».

Sistema di controllo e regolazione

La turbina a gas TG 3000 è dotata di un complesso di dispositivi elettrici, idraulici e pneumatici i quali provvedono a:

- realizzare la sequenza automatica di avviamento sino alla velocità di autosostentamento, sorvegliando, nel contempo, che tutte le operazioni di sequenza si svolgano nel tempo e nel modo prestabiliti;
- regolare la quantità di combustibile introdotta nei due combustori e mantenere il carico della macchina al valore desiderato;
- proteggere l'unità da eventuali anomalie durante il funzionamento;
- arrestare la macchina in sequenza automatica, o su comando dell'operatore o per l'intervento di uno dei vari dispositivi di sicurezza.

L'insieme di detti dispositivi, che costituisce il sistema di controllo e regolazione della macchina, può essere suddiviso in tre gruppi fondamentali:

- 1) sistema elettrico di controllo
- 2) sistema di regolazione del combustibile
- 3) dispositivi di protezione

1) Sistema elettrico di controllo

Il sistema elettrico di controllo è costituito da un insieme di circuiti elettrici opportunamente interconnessi, che collegano i vari dispositivi ed apparecchiature elettrici necessari per realizzare la sequenza automatica di avviamento e di arresto dell'unità e per controllarne il funzionamento.

I dispositivi impiegati nel sistema elettrico di controllo

sono stati predisposti in modo che il mancato funzionamento di uno qualunque di essi provochi l'arresto dell'unità.

I principali dispositivi primari che comandano la sequenza di avviamento e di arresto e che controllano il funzionamento dell'unità sono costituiti da pressostati, termointerruttori e rivelatori di fiamma. Questi, per mezzo di relays ausiliari e valvole a solenoide, determinano la messa in funzione degli ausiliari della turbina, il verificarsi delle operazioni di sequenza nell'ordine e nel tempo prestabiliti, e il funzionamento dei dispositivi che arrestano l'unità.

- 1 - Pompa principale iniezione
- 2 - Valvola di regolazione principale
- 3 - Servomotore
- 4 - Olio di controllo
- 5 - Regolatore
- 6 - Variagiri
- 7 - Alimentazione olio alta pressione
- 8 - Segnale pneumatico di temperatura
- 9 - Segnale idraulico di velocità
- 10 - Valvola di regolazione all'avviamento
- 11 - Pressione mandata del compressore assiale
- 12 - Valvola fermo turbina
- 13 - Olio di fermo turbina
- 14 - Al fermo meccanico
- 15 - Al fermo elettrico per sovravelocità
- 16 - Valvola d'interruzione
- 17 - Pompa iniezione pilota
- 18 - Valvola di trasferta
- 19 - Iniettori pilota
- 20 - Combustione
- 21 - Valvola di riflusso
- 22 - Al serbatoio del combustibile

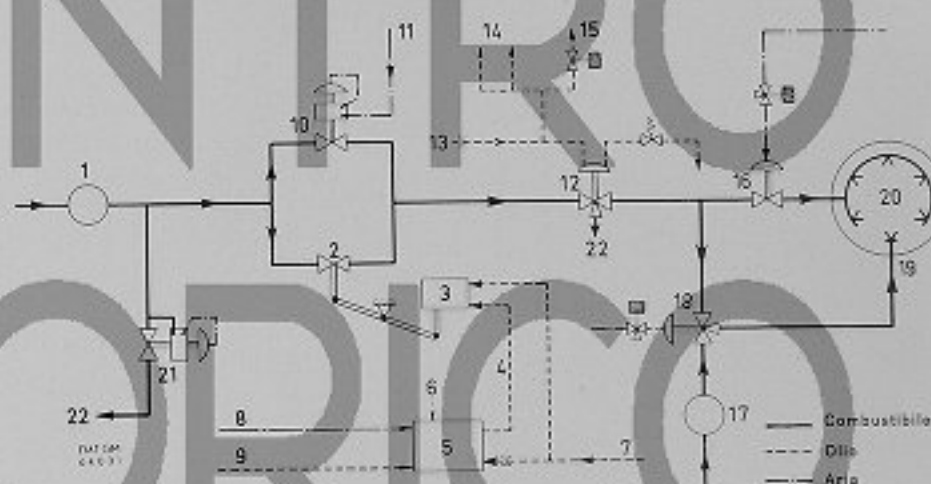


Fig. 18 - Schema di regolazione del combustibile del gruppo di B.P.; uno schema analogo è impiegato per il gruppo di A.P.

Tutti i circuiti elettrici di controllo fanno capo a due relays di blocco (master relays) i quali danno il consenso all'avviamento della macchina solo se sono verificate tutte le condizioni richieste, oppure determinano l'arresto dell'unità nel caso di intervento di uno dei dispositivi di protezione.

2) Sistema di regolazione del combustibile

Gli iniettori del combustibile di entrambi i combustori sono dotati di ugelli a sezione costante: la quantità di combustibile immessa nei combustori viene quindi regolata variando la pressione del combustibile stesso a monte degli iniettori.

Ciascun gruppo è dotato di un sistema indipendente di regolazione e iniezione del combustibile. Nella fig. 18 è rappresentato, in forma semplificata, lo schema di regolazione del combustibile del gruppo di B.P.; uno schema analogo è impiegato per il gruppo di A.P.

Le pompe di iniezione funzionano a pressione e portata costante e sono dotate, sulla mandata, di una valvola automatica di riflusso che mantiene dette condizioni di funzionamento. Tra la pompa e gli iniettori sono inserite due valvole di regolazione in parallelo: una per la fase di avviamento ed una di regolazione principale. Dette valvole provvedono a variare, mediante

strozzamento, la pressione del combustibile a monte degli iniettori e, quindi, la portata di combustibile attraverso gli stessi.

La valvola di avviamento sia del gruppo di AP che del gruppo di BP, è comandata automaticamente dalla pressione di mandata del rispettivo compressore e quindi, praticamente, la sua apertura è regolata in funzione dei giri della macchina.

La valvola di regolazione principale di entrambi i gruppi è invece comandata, tramite un servomotore, dal rispettivo regolatore di velocità.

Il regolatore (fig. 19) è del tipo idraulico: esso determina il posizionamento del servomotore (fig. 20), e quindi l'apertura della valvola di regolazione, variando la pressione nel circuito olio di controllo che comanda il servomotore. Detto circuito è alimentato con olio a pressione costante attraverso un orifizio; il regolatore stabilisce il valore della pressione a valle dell'orifizio (pressione olio di controllo) regolando la portata di olio che viene scaricata dal circuito olio di controllo attraverso delle valvole a tazza contenute nel regolatore stesso.

L'apertura di ciascuna valvola è contrastata da una leva (sbarra di controllo) su cui agiscono delle forze proporzionali ai parametri caratteristici di funzionamento della macchina (velocità di rotazione, temperatura dei gas, carico desiderato, ecc.). L'apertura della valvola e l'entità di detta apertura vengono quindi determinate dall'equilibrio tra il momento risultante delle forze che agiscono sulla sbarra e il momento creato dalla pressione dell'olio di controllo che si stabilisce al disotto della valvola a tazza in funzione della sua apertura.

Il regolatore del gruppo di AP è costituito da tre sbarre, ciascuna delle quali regola l'apertura di una valvola a tazza. Delle tre valvole, che sono collegate in parallelo, si apre, e stabilisce quindi la pressione dell'olio di controllo, la valvola corrispondente alla sbarra

avente il minor momento risultante che contrasta l'apertura della valvola stessa.

Le tre sbarre sono così distinte in relazione alla loro funzione:

a) sbarra di regolazione della velocità di rotazione e del carico: regola la quantità di combustibile immessa nel combustore di AP durante la fase di accelerazione del turbogruppo, dalla velocità di autosostentamento alla velocità di sincronismo, e durante il funzionamento a carico.

Le principali forze applicate su questa sbarra, oltre

di velocità del gruppo di AP, e quando la temperatura dei gas all'ingresso della turbina di AP supera un valore prestabilito. Le principali forze applicate alla sbarra, oltre alla pressione dell'olio di controllo agente sotto la corrispondente valvola a tazza, sono:

- una pressione d'olio proporzionale al quadrato della velocità di rotazione del gruppo di AP;
- una pressione d'aria regolata da un misuratore-trasmettitore di temperatura che rileva la temperatura di ingresso nella turbina di AP;
- la tensione di una molla di taratura.

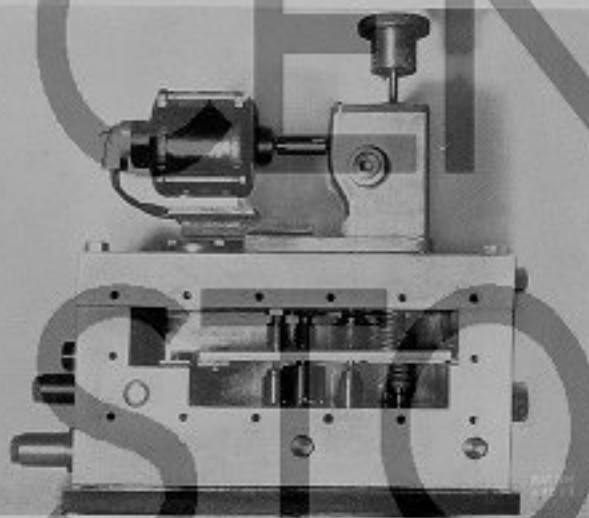


Fig. 19 - Regolatore

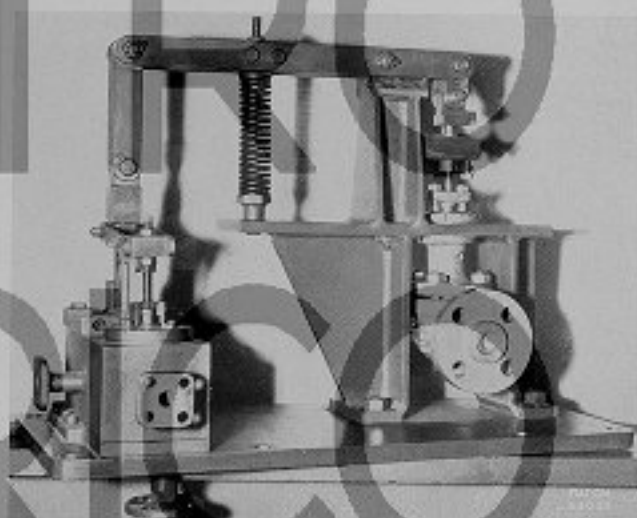


Fig. 20 - Servomotore con valvola di regolazione principale

alla pressione dell'olio di controllo agente sotto la valvola a tazza, sono:

- la tensione della molla del variagiri, che viene regolata a distanza dall'operatore. Essa stabilisce il « setting » del regolatore, e quindi l'apertura della valvola di regolazione, sino a circa il 50 % del carico;
- la pressione dell'aria di asservimento, che viene variata automaticamente, attraverso apposito asservimento, in funzione della pressione dell'olio di controllo del gruppo di BP. Essa stabilisce il « setting » del regolatore, e quindi l'apertura della valvola di regolazione, durante il funzionamento a carichi superiori a circa il 50 %;
- una pressione d'olio proporzionale al quadrato della velocità di rotazione del gruppo di BP, applicata in modo che ad un aumento di detta pressione, e quindi della velocità di rotazione del gruppo di BP, corrisponda una diminuzione della pressione dell'olio di controllo, e quindi una riduzione nella portata di combustibile al gruppo di AP.

b) sbarra limitatrice della accelerazione e della temperatura dei gas all'ingresso in turbina: ha la funzione di limitare la quantità di combustibile immessa nel combustore di AP nel caso di troppo rapide variazioni

c) sbarra limitatrice della velocità massima: ha la funzione di ridurre la quantità di combustibile al gruppo di AP, quando venga superato un prestabilito limite di velocità massima. La stessa sbarra, inoltre, nel caso di un improvviso distacco del carico, provvede a ridurre rapidamente la quantità di combustibile al gruppo di AP ad un valore tale da evitare l'arresto dell'unità per sovravelocità del gruppo di BP.

Le principali forze applicate alla sbarra, oltre alla pressione dell'olio di controllo applicata alla corrispondente valvola a tazza, sono:

- una pressione d'olio proporzionale al quadrato della velocità di rotazione del gruppo di AP;
- una pressione d'aria che, in condizioni normali, ha un valore costante e si annulla nel caso di un improvviso distacco del carico dal gruppo di BP;
- la pressione di una molla di taratura.

Il regolatore del gruppo di BP è costituito da due sbarre e precisamente:

a) sbarra di regolazione della velocità di rotazione e del carico;

b) sbarra limitatrice dell'accelerazione e della temperatura dei gas all'ingresso in turbina.

Il funzionamento delle sbarre, la loro funzione e le forze che stabiliscono la pressione dell'olio di controllo, e quindi l'apertura della valvola di regolazione del gruppo di BP, sono simili a quelli già descritti per le corrispondenti sbarre del regolatore del gruppo di AP, con l'unica differenza che nella prima sbarra manca la pressione d'aria di asservimento e che i segnali di velocità, temperatura, ecc. sono relativi al gruppo di BP.

Detto regolatore, inoltre, agisce solo durante il funzionamento dell'unità a carichi superiori al 50% circa.

3) Dispositivi di protezione

I dispositivi di protezione rilevano le anomalie di funzionamento che potrebbero danneggiare l'unità e provvedono o a segnalarle, a mezzo di allarme acustico e ottico, se dette anomalie si mantengono entro certi limiti e possono quindi essere eventualmente eliminate per intervento dell'operatore, oppure comandano l'arresto immediato dell'unità quando le stesse anomalie superano i limiti di sicurezza. Le principali anomalie di funzionamento che determinano l'arresto dell'unità sono:

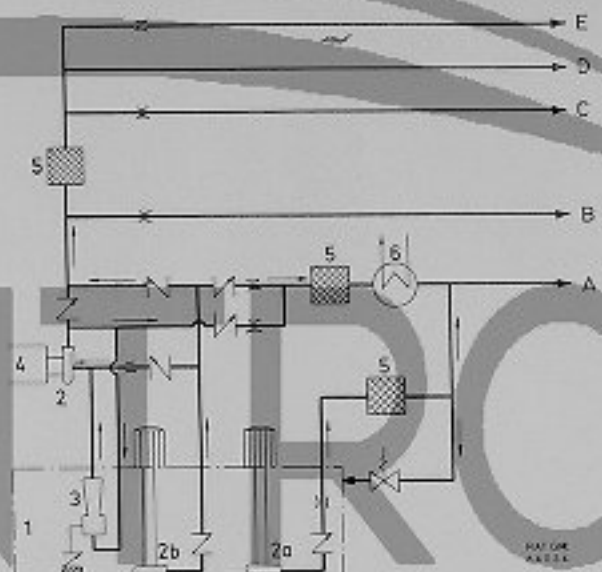
- insufficiente pressione olio di lubrificazione;
- eccessiva temperatura olio lubrificazione;
- eccessiva temperatura metallo bianco pattini reggispinta;
- sovratemperatura dei gas all'ingresso in turbina AP e BP;
- insufficiente pressione combustibile;
- eccessive vibrazioni;
- sovravelocità gruppo AP;
- sovravelocità gruppo BP.

I dispositivi di protezione sono costituiti essenzialmente da termointerruttori, interruttori a pressione, dispositivi meccanici di arresto per sovravelocità ed elementi sensibili alle vibrazioni.

Tutti i dispositivi che comandano l'arresto dell'unità, con il loro intervento, determinano la chiusura di due valvole (valvole di fermo turbina), le quali interrompono immediatamente l'alimentazione del combustibile agli iniettori rispettivamente dei gruppi di AP e BP.

Dette valvole, che sono del tipo con comando a membrana, durante l'avviamento e il funzionamento normale dell'unità, sono tenute aperte, consentendo l'alimentazione del combustibile agli iniettori, da una pressione d'olio costante stabilita in un circuito detto « circuito olio di fermo turbina ». Questo circuito, che è comune ai due gruppi di AP e BP, è alimentato, attraverso un orifizio, con olio a pressione costante, il quale viene continuamente scaricato attraverso un drenaggio tarato, che assicura la fluidità dell'olio e quindi la chiusura rapida delle valvole di fermo turbina.

L'intervento di uno qualunque dei dispositivi suddetti, determina l'apertura di una valvola che scarica l'olio dal circuito di fermo turbina, provocando istantaneamente la caduta della pressione nello stesso circuito, e quindi la chiusura delle valvole di fermo turbina.



- | | |
|---|--|
| 1 - Serbatoio olio | A - Al collettore lubrificazione turbina e alternatore |
| 2 - Pompa principale | B - Alle ventole tachimetriche |
| 2a - Pompa ausiliaria | C - Al circuito olio fermo turbina |
| 2b - Pompa emergenza | D - Al comando servomotori |
| 3 - Elettore | E - Al circuito olio di controllo (regolatori) |
| 4 - Gruppo ingranaggi ausiliari di B.P. | |
| 5 - Filtri | |
| 6 - Refrigerante | |

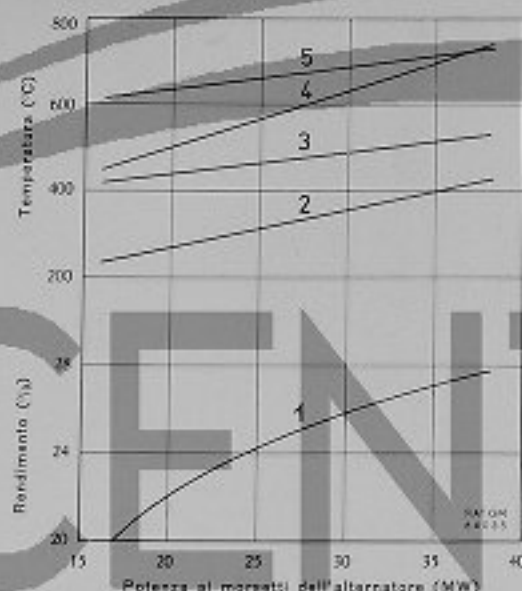
Fig. 21 - Schema circuito olio

Sequenza di avviamento e messa a carico della unità

Per la messa in moto dell'unità, l'operatore, dopo avere predisposto i vari dispositivi di comando degli ausiliari e di controllo su « automatico », preme il pulsante di avviamento sistemato sul quadro comando turbina nella sala di controllo.

Con questa semplice manovra hanno inizio e si compiono successivamente ed automaticamente le varie operazioni necessarie per portare il turbogruppo alla velocità di autosostentamento (corrispondente a circa il 63% della velocità di normale funzionamento del gruppo di AP), tra le quali:

- accoppiamento del giunto pneumatico che collega il motore di lancio all'albero del gruppo di AP e messa in moto dello stesso motore;
- accelerazione del gruppo di AP sino alla velocità di accensione e contemporaneo inizio di lenta accelerazione del gruppo di BP;
- messa in moto delle pompe del combustibile ed accensione del combustore di AP;
- aumento della quantità di combustibile nel combustore di AP; accelerazione del gruppo di AP per azione combinata dell'energia fornita dal motore di lancio e dal combustibile, e contemporanea accelerazione del gruppo di BP fino alla velocità di accensione;
- messa in moto delle pompe del combustibile ed accensione del combustore di BP;



- 1 - Rendimento ai monetti del generatore
 2 - Temperatura del gas allo scarico della turbina di B.P.
 3 - Temperatura del gas allo scarico della turbina di A.P.
 4 - Temperatura del gas all'ingresso della turbina di B.P. (valori calcolati)
 5 - Temperatura del gas all'ingresso della turbina di A.P. (valori calcolati)

Fig. 22 - Prestazioni rilevate in esercizio

- ulteriore accelerazione di entrambi i gruppi di AP e di BP fino alla velocità di autosostentamento;
- disaccoppiamento ed arresto del motore di lancio del gruppo di AP.

Raggiunta la velocità di autosostentamento, l'ulteriore accelerazione dei due gruppi sino alla velocità di sincronismo del gruppo di BP, il parallelo e la successiva messa a carico dell'unità sino a circa il 50 % del carico, vengono effettuati aumentando la quantità di combustibile al combustore di AP, agendo sul variagiri del regolatore di AP.

La quantità di combustibile immessa nel combustore di BP durante queste fasi, viene solo regolata dalla relativa valvola di avviamento ed è tenuta praticamente al valore minimo necessario per assicurare la stabilità di fiamma. La temperatura di ingresso nella turbina di BP e, di conseguenza, la potenza da questa sviluppata, aumentano quindi solo in funzione della aumentata temperatura di scarico della turbina di AP.

Questa distribuzione del carico termico tra i gruppi di BP e di AP corrisponde praticamente, nel campo da vuoto al 50 % del carico circa, alla condizione di rendimento massimo.

L'ulteriore aumento di carico oltre il 50 % viene invece ottenuto aumentando contemporaneamente la quantità di combustibile in entrambi i gruppi. Ciò viene fatto agendo solo sul variagiri del regolatore di BP il quale comanda direttamente, a mezzo del servomotore, la valvola principale di regolazione del gruppo di BP e, attra-

verso l'apposito asservimento, aumenta il « setting » del regolatore di AP e quindi la quantità di combustibile al combustore di AP.

Servizi e macchinari ausiliari

Oltre che dei sistemi di controllo e regolazione e di iniezione del combustibile, già descritti, la TG 3000 è fornita dei normali servizi e macchinari ausiliari necessari per il funzionamento di una turbina a gas, quali il servizio olio di lubrificazione, con relative pompe e serbatoio olio, il servizio aria compressa per l'alimentazione dei dispositivi pneumatici, i gruppi ingranaggi ausiliari.

Il servizio olio di lubrificazione è comune ai due gruppi di AP e BP. Una pompa olio principale, di tipo centrifugo, azionata tramite il gruppo ingranaggi ausiliari dal gruppo di BP, provvede alla circolazione dell'olio durante il funzionamento normale della macchina. Durante la rotazione lenta con viratore, l'avviamento e la fase di arresto dell'unità, l'olio è invece tenuto in circolazione a mezzo di una pompa centrifuga ausiliaria azionata da un motore elettrico a corrente alternata. Questa è proporzionata per poter sostituire la pompa principale ed entra automaticamente in funzione qualora, per una qualsiasi causa, la pressione di mandata di quest'ultima scenda al di sotto di un predeterminato valore.

Una terza pompa, azionata da un motore elettrico a corrente continua, assicura la circolazione dell'olio di lubrificazione durante la fase di arresto e la rotazione con viratore dell'unità, nel caso di mancato funzionamento delle due pompe precedenti.

Le pompe principale e ausiliaria, oltre ad alimentare il circuito di lubrificazione dei gruppi di AP e BP, dell'alternatore e dei gruppi ingranaggi ausiliari, forniscono l'olio ai vari circuiti di controllo e regolazione descritti in precedenza.

Nella fig. 21 è rappresentato in forma semplificata lo schema del servizio olio.

I gruppi ingranaggi ausiliari servono per trasmettere il moto dal motore di lancio e dal viratore al turbogruppo con il necessario rapporto di moltiplicazione o riduzione di velocità, e per comandare il dispositivo meccanico di sovravelocità, il tachimetro e la ventola tachimetrica che fornisce una pressione d'olio proporzionale al quadrato della velocità di rotazione, utilizzata nel sistema di controllo e regolazione. Il gruppo ingranaggi del gruppo di BP inoltre, come già detto, comanda anche la pompa olio principale.

Primo periodo di esercizio

La prima unità costruita e installata nella Centrale di Chivasso, dopo un primo periodo di messa a punto, ha iniziato, nel settembre 1962, il servizio industriale di integrazione invernale per conto della Società ENEL-SIP, che si è protratto fino al marzo 1963.



Fig. 23 - Centrale termoelettrica di Chiavasso con turbina a gas FIAT TG 3000

Durante questo primo periodo di esercizio industriale, l'unità ha totalizzato circa 2100 ore di funzionamento in parallelo, con una produzione totale di energia di circa 60.000.000 di kWh, cui corrisponde un carico medio di circa 28.500 kW.

Sinora l'unità ha funzionato con un combustibile distillato leggero speciale, che in Italia gode di particolari agevolazioni fiscali per l'impiego nelle Centrali Termoelettriche.

La pratica esperienza di esercizio ha confermato che detto distillato è un ottimo combustibile per le turbine a gas, sia per le sue qualità fisico chimiche, sia per il suo prezzo che, rapportato al potere calorifico, è di poco superiore a quello dei combustibili residui.

Di recente l'unità è stata dotata di un impianto completo di lavaggio e additivazione per l'impiego di nafta da caldaie; il funzionamento con detto tipo di combustibile è iniziato alla fine del mese di ottobre 1963.

Prima e dopo il servizio industriale l'unità è stata sottoposta ad una serie di prove per esaminare in dettaglio, a diverse condizioni di carico, il comportamento del turbogruppo nei suoi organi e parti principali, e per rilevare i vari parametri di funzionamento e confrontarli con i valori di progetto. A tale scopo l'unità è stata dotata di una numerosa strumentazione di misura e controllo, in aggiunta a quella di dotazione normale della macchina.

I risultati ottenuti, sia dal punto di vista termodinamico che meccanico, sono assolutamente soddisfacenti.

Nel grafico di fig. 22 sono riportate le curve delle temperature di ingresso e di scarico delle turbine di AP e BP del rendimento e in funzione del carico, rilevati durante le prove di cui sopra. La potenza e il rendimento sono riferiti alla temperatura ambiente di 15°C e alla pressione ambiente di 760 mmHg. Come risulta da detto grafico, con una temperatura effettiva dei gas all'ingresso delle turbine di AP e BP

pari a circa 730 °C, sono state ottenute le seguenti prestazioni:

- potenza ai morsetti dell'alternatore 38.270 kW
- rendimento, riferito ai morsetti dell'alternatore 27,8 %

L'installazione della TG 3000 nella Centrale di Chivasso

La fig. 23 mostra, in alcune sezioni e piante, la Centrale di Chivasso, dove è installata la 1ª unità TG 3000; nella fig. 24 è rappresentata una vista esterna.

L'edificio è del tipo a struttura mista metallica e in muratura.

Nella Sala Macchine, a quota 6 m dal piano terra, sono sistemati affiancati i gruppi di BP e di AP, con relativi motori elettrici di avviamento e gruppi ingranaggi ausiliari, e l'alternatore completo di eccitatrice. Allo stesso livello della Sala Macchine è sistemata la Sala controllo

dell'unità, con quadri a parete per gli strumenti di misura, di allarme e sicurezza del turbogruppo, e con banco centrale a leggio per i dispositivi di comando della turbina a gas e relativi ausiliari.

Nei locali a piano terra sono sistemati i combustori di AP e BP, il refrigerante dell'aria e i macchinari ausiliari.

Il condotto di aspirazione è in muratura: sul suo fronte è sistemata una batteria di filtri aria-rotanti in bagno d'olio, e al suo interno porta una serie di pannelli insonorizzanti opportunamente disposti. Anche il camino di scarico, che è in lamiera di acciaio, è rivestito all'interno, sino ad una certa altezza, di pannelli insonorizzanti. Il silenziamento dell'aspirazione e dello scarico si sono dimostrati particolarmente efficaci: il rumore raggiunge valori senz'altro tollerabili all'esterno della Centrale ed è praticamente nullo a qualche decina di metri dalla Centrale stessa.



Fig. 24 - Vista esterna della Centrale di Chivasso



La produzione di ghisa sintetica al forno elettrico a induzione mediante carburazione dell'acciaio

dott. A. Aldera

(Memoria presentata al 7° Convegno di Fonderia Assofond - Trieste)

Viene discussa, dal punto di vista metallurgico, la elaborazione al forno elettrico a induzione a bassa frequenza dei più diversi tipi di ghisa sintetica, ottenuti attraverso la carburazione dell'acciaio.

Le caratteristiche delle ghise sintetiche così prodotte, espresse sotto forma di "indici di qualità", sono in genere superiori a quelle delle ghise di composizione analoga fuse al cubilotto.

Le strutture metallografiche risultano in stretta correlazione con le caratteristiche meccaniche; entrambe vengono influenzate sia dal tipo di acciaio in carica sia dal sistema usato per la carburazione.

Introduzione

Il forno elettrico a induzione a bassa frequenza o a frequenza di rete (50 Hz) ha trovato in questi ultimi anni un campo di applicazioni sempre più vasto nella produzione e nella elaborazione metallurgica delle ghise. E questo non solo per il tipo a canale, in cui il raffreddamento a circolazione di acqua della zona più sollecitata termicamente ha permesso l'installazione di forni di sempre maggiore potenza e capacità, ma soprattutto per il tipo a crogiolo a cui intendiamo fare riferimento in questa nota.

Tralasciando di prendere in esame le particolarità tecniche di alcuni tipi recentissimi di forni a bassa frequenza (ottenimento di valori tripli per la frequenza senza impiego di convertitori rotanti, possibilità di variare la concentrazione del flusso magnetico a seconda del livello del bagno mediante inserimento o disinserimento di gruppi di spire), ricordiamo soltanto alcune caratteristiche particolari di questi forni.

Vantaggi rispetto al cubilotto:

- ottenimento di un metallo particolarmente puro e ad analisi controllata (fusione in assenza del coke e del vento);
- possibilità di raggiungere temperature elevate;
- possibilità di mantenere alla temperatura voluta la quantità desiderata di metallo;
- carica di materiali di qualsiasi pezzatura compresa la tornitura;
- energica agitazione del bagno con conseguente omogeneità di temperatura e di composizione e possibilità di realizzare alcune particolari reazioni metallurgiche;
- possibilità di produrre, con sicurezza di analisi, ghise speciali e ghise legate.

Svantaggi rispetto al cubilotto:

- maggiore costo della installazione;
- costo di fusione (o di trasformazione) più elevato.

Vantaggi nei confronti dei forni a induzione a media frequenza (> 500 Hz):

- minore costo dell'installazione e della manutenzione elettrica;
- agitazione del bagno;
- migliore rendimento elettrico.

Svantaggi:

- la stessa agitazione del bagno, che è direttamente proporzionale alla potenza assorbita, pone un limite alla massima potenza specifica;
- necessità di lasciare sempre un fondo-bagno e di usare per l'avviamento una carica di pezzatura determinata.

La carburazione dell'acciaio e la produzione della ghisa sintetica

In questa nota cercheremo di approfondire una applicazione particolare dei forni a induzione a frequenza di rete e precisamente l'ottenimento, attraverso la carburazione dell'acciaio, di una vasta gamma di ghise, aventi caratteristiche meccaniche e metallurgiche superiori a quelle delle ghise analoghe fuse al cubilotto. Per semplicità e in analogia con l'uso fattone nella letteratura tecnica anglosassone, adotteremo per la ghisa così prodotta il termine « ghisa sintetica ».

Perché un tale procedimento possa trovare la sua ragione d'essere occorre che la sua validità sia confermata da una valutazione economica e metallurgica del problema. Considerata la varietà delle situazioni particolari di ogni fonderia, è difficile trovare un accordo o quanto meno una uniformità di giudizi sull'aspetto economico della carburazione dell'acciaio.

Tutti conoscono, infatti, la difficoltà di reperire sul mercato rottami di acciaio di qualità soddisfacente e soprattutto costante, in quantità sufficiente e a un prezzo concorrenziale rispetto a quello della ghisa di prima fusione.

Si verifica però per alcune fonderie, particolarmente per quelle collegate con industrie meccaniche, siderurgiche o cantieristiche, la disponibilità di forti quantitativi di sfridi di lamiera ovvero di boccame o di tornitura selezionata di acciaio; per cui il problema viene ad assumere una validità e un interesse notevoli.

Le stesse considerazioni valgono per l'inserimento di tale procedimento nel ciclo di produzione della fonderia. Anche in questo caso la utilità del procedimento è legata e condizionata dalla situazione di impianti e di esercizio del reparto forni di ogni singola fonderia.

Relativamente all'aspetto metallurgico è invece più facile trarre conclusioni di validità generale.

Sotto questo punto di vista le esigenze da soddisfare sono essenzialmente:

- a) ottenere, con garanzia di elevata qualità e assoluta riproducibilità, tutta la gamma delle normali ghise;
- b) rendere possibile e rapido il passaggio da un tipo di ghisa all'altro (entro determinati limiti) mediante correzione del bagno e senza totale svuotamento del forno;

c) inserire questa produzione nel problema più generale della scelta e della utilizzazione dei materiali metallici nella fonderia.

Sempre dal punto di vista metallurgico le soluzioni possibili sono due: ghisa totalmente sintetica, in cui l'acciaio carburato sostituisce tutti i normali costituenti della carica, e ghisa parzialmente sintetica, in cui sostituisce la sola ghisa in pani.

I vantaggi della prima soluzione sono: semplificazione delle operazioni di pesata e di carica, facilità di modifiche al bagno metallico e sicurezza di analisi.

I vantaggi della seconda soluzione sono dati soprattutto dalla possibilità di utilizzare i ritorni e il boccame di giro specie nel caso in cui questi o per il valore commerciale (ghisa sferoidale) o per la presenza di particolari elementi non possono essere destinati alla carica dei cubilotti.

Si può naturalmente prevedere anche una soluzione intermedia con ghisa totalmente sintetica per alcuni tipi di metallo e ghisa parzialmente sintetica per altri, come ad esempio la ghisa sferoidale.

Prima di analizzare le singole reazioni metallurgiche che intervengono nella elaborazione dei vari tipi di ghisa sintetica, premettiamo una breve descrizione del forno a induzione di cui ci siamo serviti per le prove di produzione, e dei materiali che costituiscono la carica, con un accenno alla preparazione delle cariche.

Forno a induzione a bassa frequenza

Si tratta di un forno monofase a frequenza di rete con crogiolo della capacità di 6000 kg (diametro 880 mm e altezza 1750 mm) e con le seguenti caratteristiche elettriche:

- tensione massima di alimentazione del forno 500 V;
- intensità di corrente massima assorbita dal forno 12.000 A;
- intensità di corrente massima con linea rifasata 2000 A;
- $\cos \varphi$ 0,8 ÷ 0,9 ottenuto con 4 batterie di condensatori di cui una ad inserimento automatico;
- potenza massima assorbita 850 kW;
- produzione oraria 1200 kg di ghisa (a 1500 °C) con un consumo di circa 0,7 kWh/kg;
- velocità di surriscaldamento del bagno metallico (a forno pieno) circa 3 °C/min;
- raffreddamento con acqua (a circuito aperto) delle spire.

La potenza assorbita varia molto con il coefficiente di riempimento del forno e si riduce a meno di 200 kW nel caso di un fondo-bagno inferiore a 500 kg; in queste condizioni, le calorie dissipate equivalgono all'incirca a quelle assorbite e il processo di fusione delle cariche solide viene rallentato fortemente e anche bloccato. Per questo motivo lo svuotamento del forno (a meno di

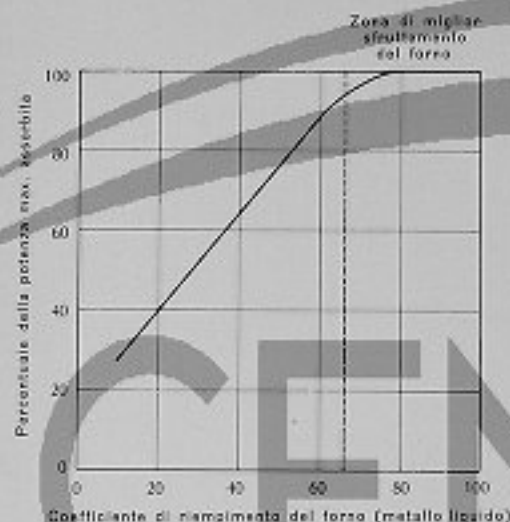


Fig. 1 - Relazione tra potenza assorbita ed altezza del bagno

successiva integrazione con carica liquida) non dovrebbe mai essere spinto oltre i 4/5 della capacità (fig. 1).

La resistenza del refrattario, nelle nostre condizioni di marcia di circa 10 ore giornaliere, corrisponde alla fusione di circa 1000 ± 1200 t di ghisa.

Materiali di carico

A) *Mezzi carburanti* - Inizialmente, sono stati provati il polverino di coke e i rottami di elettrodi di grafite, ma i migliori risultati sono stati ottenuti con una speciale grafite ad alto carbonio e con basso tenore di zolfo (0,20 per cento) disponibile sul mercato in pezzatura da 2 a 5 mm.

B) *Acciaio* - Le prove sono state condotte su tre tipi di acciaio selezionato e su acciaio in monte di provenienza varia e qualità eterogenea.

Le analisi medie dei materiali sono riportate sulla tabella 1.

Tab. 1 - Composizioni medie degli acciai				
Provenienza	C	Si	Mn	S
Acciaio molle	0,55	1,65	0,80	0,020
Stridi lamiera	0,15	0,20	0,70	0,025
Acciaio in monte	—	—	—	—
Boccone acciaio	0,12	0,40	0,70	0,025

C) Ferro leghe

- Ferro Silicio 75-80 %;
- Ferro manganese 18-20 % e 75-80 %;
- Ferro Cromo 55 % e 60-65 %;
- Ferro Vanadio 80 %;
- Ferro Molibdeno 60-65 %;
- Rame in catodi.

Nel caso di una ghisa totalmente sintetica, l'esecuzione delle cariche viene grandemente facilitata dal trasporto dell'acciaio in contenitori di tara conosciuta pesati all'atto stesso del rovesciamento e svuotamento mediante lettura diretta del dinamometro applicato al gancio della gru.

In questo modo, l'aggiunta della grafite e delle ferrolleghe può essere calcolata con la massima precisione e immediatezza; per la grafite, poi, che viene fornita in sacchetti del peso di 20 kg, la pesata si riduce alle quantità che eccedono tale misura o un suo multiplo.

La valutazione del metallo presente nel forno può essere fatta da un occhio esercitato con un errore del $5 \div 10$ %; è anche possibile usare aste tarate di controllo che, però, non possono tener conto della variazione di capacità del forno dovuta al progressivo consumo del refrattario.

L'impiego di tornitura di acciaio, in sostituzione di una parte della carica, è sempre possibile ed economicamente conveniente; lo stesso dicasi per la tornitura di ghisa, a condizione che la raccolta e l'immagazzinamento diano la certezza di una perfetta separazione dei vari tipi di materiale.

Con il forno a induzione e con i materiali ora descritti sono state prodotte sinora più di 100 t di ghisa sintetica: in via sperimentale per le ghise meccaniche ad elevata, media e bassa resistenza e per le ghise tipo lingottiera, e parallelamente alla normale produzione per le ghise a grafite sferoidale.

Carbonio

La carburazione dell'acciaio può essere ottenuta in due modi:

- aggiungendo il mezzo carburante sulla superficie del bagno fuso;

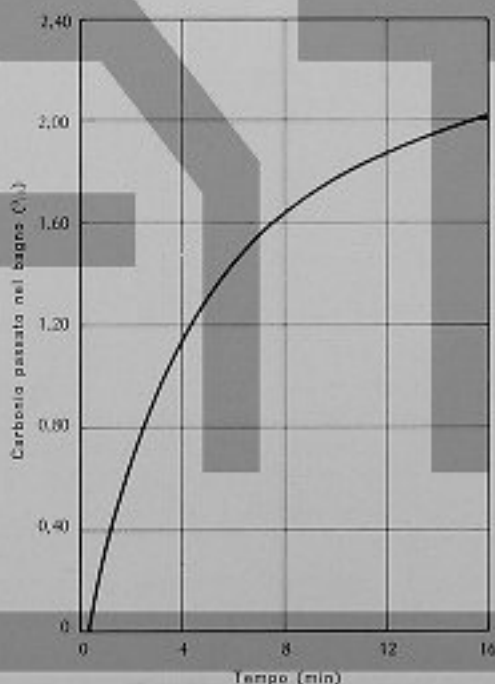


Fig. 2 - Carburazione in superficie. Carbonio iniziale del bagno 1%. Carbonio aggiunto 2,5 %

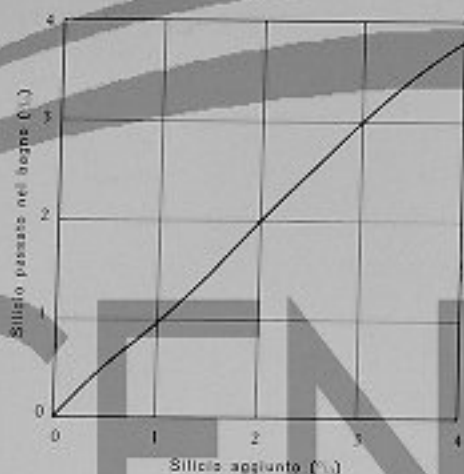


Fig. 3 - Rese di introduzione del silicio nel bagno

— caricando il mezzo carburante insieme alla carica metallica fredda.

L'andamento della carburazione « in superficie » in funzione del tempo è rappresentato schematicamente dal diagramma di fig. 2. Inoltre, bisogna tenere presente che la velocità di carburazione è funzione anche della temperatura del metallo e della velocità di diffusione del carbonio presente (e quindi del movimento del bagno).

In generale, si può dire che la carburazione in superficie risulta un procedimento lento e di risultati non soddisfacenti.

Appare invece molto più efficace l'aggiunta della grafite insieme all'acciaio durante la carica del materiale solido; la proporzione dei due materiali non richiede cure particolari ed eventuali squilibri in favore dell'uno o dell'altro vengono ad essere annullati a fine carica e a bagno totalmente fuso.

Si ha pure il vantaggio di proteggere maggiormente il rivestimento refrattario del forno dall'azione aggressiva dell'acciaio e non si corrono pericoli di surriscaldamento del bagno, sempre possibili con una massiccia aggiunta di grafite in superficie.

La carburazione in superficie è invece utile nel caso si richiedano variazioni in aumento della percentuale di carbonio dell'ordine dello 0,10 ÷ 0,30 %. In questo caso, le quantità di grafite sono relativamente piccole, l'assorbimento del carbonio richiede un tempo limitato e il movimento del bagno è in grado di mantenere libera una certa porzione della superficie, per cui diventa possibile il controllo pirometrico della temperatura.

Le rese di carburazione riscontrate con l'aggiunta della grafite insieme alla carica solida sono molto elevate: non tenendo conto delle ceneri presenti nel mezzo carburante, si raggiungono facilmente e sicuramente rese dell'ordine del 90 %.

Le rese di carburazione in superficie sono inferiori (intorno al 60 ÷ 70 %) e occorre una certa cura nella scorificazione del bagno e del controllo della temperatura per ottenere risultati costanti e riproducibili (vedere tabella 2).

Partendo da un bagno di 4700 kg con carbonio iniziale 2,68 % e aggiungendo ogni volta in superficie 20 kg di grafite, la resa è risultata successivamente pari al 74,55-74,74 %, mentre il carbonio del bagno è passato rispettivamente a 2,96-3,17-3,45-3,73 %. Entro certi limiti la resa di carburazione non è quindi influenzata dal carbonio presente.

Anche l'influenza del tenore di Si non appare sensibile; applicando entrambi i sistemi di aggiunta della grafite e mantenendo il Si nei limiti di analisi delle normali ghise, non si sono riscontrate variazioni significative.

L'abbassamento della percentuale di carbonio, ottenibile attraverso diluizione con acciaio, è una operazione semplicissima i cui risultati analitici sono facilmente ed esattamente prevedibili.

Silicio

L'introduzione di questo elemento non presenta difficoltà (fig. 3). Usando ferro-silicio al 75-80 %, la resa è praticamente del 100 % e la dissoluzione nel bagno rapidissima.

Per abbassare il tenore di silicio senza ricorrere alla affinazione, l'unica possibilità è data dalla aggiunta calcolata di acciaio a basso tenore di silicio, oppure, volendo contemporaneamente innalzare il carbonio, di ghise tipo canadese.

Manganese

Per l'introduzione del manganese nel bagno, non si hanno difficoltà anche se le rese non sono così elevate come per il silicio (fig. 4).

L'abbassamento del tenore di Mn è reso difficile dalla presenza di questo elemento in tutti i tipi normali di acciaio. Tuttavia, il problema non si pone per le normali ghise in cui generalmente il Mn richiesto (0,5 ÷ 0,8 %) è superiore o dello stesso ordine di grandezza di quello dell'acciaio.

Tab. 2 - Rese di carburazione %

Provenienza acciaio	Rese = $\frac{C_{\text{finale}} - (C_{\text{iniziale}} + C_{\text{acciaio}})}{C_{\text{aggiunto con la grafite}}} \times 100$			
	Acciaio molle	Stadi lamiera	Acciaio in monte	Boccame acciaio
Carburazione diretta	94,5	88,5	80,5	84
(introduzione della grafite a freddo insieme alla carica metallica solida)	90	96	—	—
	90	94	—	—
	92,5	95,5	—	—
Carburazione in superficie	66	59	—	55,5
(introduzione della grafite per aggiunta al bagno già fuso)	58	61,5	—	—
	69,5	72	—	—
	—	65,5	—	—

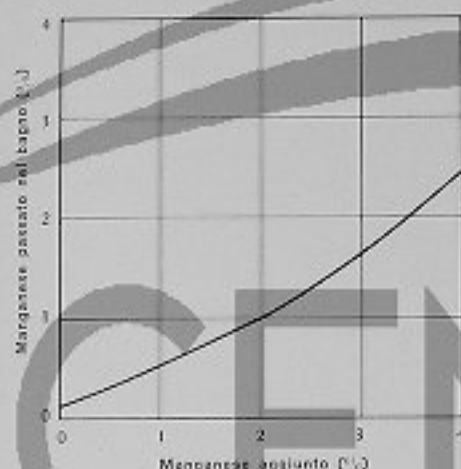


Fig. 4 - Rese di introduzione del manganese nel bagno

L'aggiunta di altri elementi (Cr, Cu, V, Mo) non presenta difficoltà, dato che tutte le relative ferroleghie si prestano all'introduzione nel forno a induzione (e in qualche caso anche direttamente in siviera).

Solfo e fosforo

Le ghise sintetiche contengono entrambi questi elementi in tenori non superiori a quelli dell'acciaio di partenza.

Usando rottami di acciaio di qualità, è facile scendere per il solfo a meno dello 0,03 % e per il fosforo a meno dello 0,04 %.

Questa caratteristica rende le ghise sintetiche particolarmente adatte alla produzione delle ghise sferoidali.

Variazioni di analisi nel bagno fuso

Durante il surriscaldamento del bagno o in genere nel periodo di permanenza ad elevate temperature, si può prevedere una certa variazione degli elementi più facilmente soggetti a fenomeni di ossidazione e riduzione.

Le possibili reazioni avvengono tra metallo e atmosfera e tra metallo e rivestimento refrattario; sono favorite dalle alte temperature, dal movimento del bagno e da un elevato rapporto superficie/volume del bagno stesso.

La letteratura tecnica a questo proposito riporta che fino a 1350 °C, nel caso di rivestimento acido, non si hanno reazioni apprezzabili.

Al di sopra di questa temperatura, il carbonio inizia a ridurre la silice del refrattario e si può quindi verificare, al limite, non una diminuzione, ma un aumento del silicio presente nel bagno accompagnato da un corrispondente calo del carbonio.

Evidentemente, le nostre condizioni sperimentali (temperatura, permanenza in forno, quantità di metallo, rapporto superficie/volume del bagno) non erano tali da permettere il verificarsi delle reazioni sopra accennate.

Infatti, mantenendo per due ore a 1470 °C il forno

pieno, sono state riscontrate le seguenti variazioni di analisi:

Carbonio	da	3,24	a	3,23 %
Silicio	da	1,62	a	1,56
Manganese	da	0,83	a	0,78
R _t	da	29,1	a	29,1 kg/cm ²

Analogamente per una permanenza di 14 ore circa a 1300 °C si sono avute le seguenti variazioni:

(I) Carbonio	da	3,57	a	3,52 %
Silicio	da	1,74	a	1,66
Manganese	da	0,41	a	0,40
(II) Carbonio	da	3,57	a	3,54
Silicio	da	1,87	a	1,80
Manganese	da	0,52	a	0,49

In definitiva, non sono da prevedersi variazioni sensibili di analisi durante la permanenza del metallo allo stato liquido; comunque, queste variazioni non sono diverse da quelle che si verificano nella elaborazione al forno a induzione delle normali ghise. L'importanza pratica di queste variazioni di analisi diventa trascurabilissima nel caso che la spillata avvenga non appena il metallo arriva alla temperatura desiderata, come è sempre consigliabile sia dal punto di vista economico che metallurgico.

Carburando i vari tipi di acciaio disponibili e correggendo il bagno con aggiunte calcolate di grafite e ferroleghie, sono stati prodotti vari tipi di ghise sintetiche, da quelle ad alta resistenza alle normali ghise meccaniche, dalle ghise tipo lingottiera alle ghise adatte alla trasformazione in sferoidale.

Di alcune ghise sintetiche riportiamo, a titolo di esempio, analisi chimica e caratteristiche meccaniche nella tabella 3.

Tab. 3 - Analisi chimica e caratteristiche meccaniche di alcune ghise sintetiche

Descrizione	C	Si	Mn	P	Cr	R _t	HB
Ghise non legate ad elevata resistenza	2,95	1,70	0,58	0,04	0,23	47,6	262
Ghise meccanica ad alta resistenza	3,09	1,55	0,57	0,04	—	41,6	229
Ghise meccanica a media resistenza	3,22	1,94	0,49	0,035	—	30,5	223
Ghise meccanica a bassa resistenza	3,39	1,71	0,58	0,04	—	26,9	217
Ghise tipo lingottiera oppure base per ghise a grafite sferoidale	3,60	1,68	0,66	0,04	—	20,7	163

Caratteristiche meccaniche delle ghise sintetiche

Nella maggioranza dei casi, le caratteristiche meccaniche delle ghise sintetiche risultano notevolmente superiori a quelle delle ghise di composizione analoga fuse

al cubilotto, mentre le durezza, e quindi in prima approssimazione anche la lavorabilità, sono dello stesso ordine di grandezza.

Ci è sembrato opportuno approfondire l'analisi di questo fenomeno; per mantenerci svincolati dalle singole analisi chimiche e per disporre di un parametro valido per tutti i casi e applicabile anche alle normali ghise del cubilotto, siamo ricorsi all'uso degli indici di qualità elaborati da vari ricercatori e in particolare da Patterson e Collaud.

Come è noto, questi indici sono riferiti al *grado di saturazione* (Sc), cioè al rapporto fra il carbonio presente nel bagno e il Carbonio corrispondente al punto eutettico. Quest'ultimo si calcola dall'analisi chimica con formule diverse, più o meno complesse, ma che sostanzialmente danno risultati numerici equivalenti:

$$C_{\text{eutettico}} = 4,23 - 0,312 Si - 0,33 P + 0,18 \times (Mn + 1,76 S)$$

oppure

$$C_{\text{eutettico}} = 4,23 - 0,312 Si - 0,33 P + 0,066 Mn$$

o anche più semplicemente:

$$C_{\text{eutettico}} = 4,26 - \frac{1}{3} (Si + P)$$

Questa espressione semplificata è stata da noi adottata per il calcolo del Carbonio eutettico e quindi del grado di saturazione.

$$Sc = \frac{C}{4,26 - \frac{1}{3} (Si + P)} \quad [1]$$

Resistenza relativa (RG) o grado di normalità (Reilegrad)

$$\text{Posto per definizione } RG = \frac{Rt}{Rt_{\text{teorica}}}$$

(Rt = resistenza a trazione)

applicando la relazione ricavata sperimentalmente

$$Rt_{\text{teorica}} = 100 - 80 Sc \text{ (valida per provette } \varnothing 30)$$

$$\text{si ottiene } RG = \frac{Rt}{100 - 80 Sc} \quad [2]$$

La resistenza relativa ci dirà, cioè, se una data ghisa presenta una resistenza superiore o inferiore a quella prevedibile in base all'analisi (e cioè al grado di saturazione) e quale è l'entità di tale differenza.

Durezza relativa (DR)

$$\text{Per definizione } DR = \frac{HB}{HB_{\text{teorica}}}$$

(HB = durezza Brinell)

Introducendo la relazione sperimentale tra Rt e HB ricavata da Patterson (e valida per provette $\varnothing 30$)

$$HB_{\text{teorica}} = 100 + 4,3 Rt$$

da cui per sostituzione di Rt si ha:

$$HB_{\text{teorica}} = 100 + 4,3 (100 - 80 Sc) = 530 - 344 Sc$$

$$\text{si ottiene: } DR = \frac{HB}{530 - 344 Sc} \quad [3]$$

Vale per la durezza relativa quanto già detto a proposito della resistenza relativa: con l'avvertenza che in questo caso sono desiderabili, salvo eccezioni particolari, durezza relative basse o quanto meno non superiori a 1.

I limiti superiore e inferiore della resistenza e durezza relativa, quali sono riportati dalla letteratura tecnica, sono:

RG compreso tra 0,6 e 1,3

DR compreso tra 0,8 e 1,3

In prima approssimazione si può dire che una ghisa è tanto migliore quanto più la sua resistenza a trazione è alta e la sua durezza bassa.

Viene così introdotto l'indice di qualità (Qi) che è dato dal rapporto $\frac{\text{resistenza relativa}}{\text{durezza relativa}}$ e rappresenta quindi, in certo qual modo, la « tenacità » della ghisa, cioè la sua capacità di accoppiare durezza basse a resistenze elevate.

$$Qi = \frac{RG}{DR} \quad [4]$$

Per confermare la validità di tali parametri, ne abbiamo effettuato il calcolo per due tipi di ghise meccaniche fuse al cubilotto, servendoci delle medie di sei analisi successive e prendendo in considerazione per ognuno dei due tipi di metallo 10 di tali valori medi, per un totale quindi di 60 + 60 analisi (tab. 4).

Tab. 4 - Caratteristiche e indici di qualità del metallo GC (cubilotto)

Valori medi di analisi					Indici di qualità			
C	Si	P	Rt	HB	Sc	RG	DR	Qi
3,09	1,62	0,10	31,7	234	0,840	0,97	0,97	1,00
3,15	1,59	0,11	31,6	229	0,855	1,00	0,97	1,03
3,12	1,55	0,10	31,8	229	0,840	0,97	0,95	1,02
3,12	1,59	0,11	30,7	235	0,845	0,95	0,98	0,97
3,16	1,52	0,09	31,6	232	0,850	0,99	0,97	1,02
3,21	1,58	0,10	31,0	223	0,870	1,01	0,97	1,04
3,15	1,53	0,09	32,4	227	0,848	1,00	0,95	1,05
3,15	1,42	0,09	30,7	236	0,838	0,93	0,98	0,95
3,16	1,57	0,10	31,1	240	0,855	0,98	1,02	0,96
3,13	1,49	0,09	34,4	240	0,840	1,04	1,00	1,04
Media dei 10 valori					0,848	0,984	0,976	1,01

Analogo calcolo per la GE ha dato i seguenti valori:

$$RG = 0,964 \quad DR = 0,973 \quad Qi = 0,991$$

Avuta conferma della piena validità di tali indici, abbiamo effettuato analogo calcolo per un certo numero

di fusioni al forno a induzione di ghise sintetiche al 100% per le quali erano disponibili tutti i dati analitici.

I risultati sono riportati nella tabella 5 in cui viene messo in rilievo anche il tipo di acciaio di partenza e il genere di carburazione effettuato (durante la carica o in superficie).

Tab. 5 - Indici di qualità delle ghise sintetiche								
Carburazione durante la carica					Carburazione in superficie			
Tipo acciaio	Sc	RG	DR	Qi	Sc	RG	DR	Qi
Acciaio molle	0,81	0,93	0,88	1,05				
	0,88	1,06	0,95	1,11	0,85	0,95	0,93	1,02
	0,91	1,00	0,93	1,04	0,89	1,01	0,98	1,03
	0,92	1,04	0,95	1,08				
	0,96	0,90	0,82	1,10				
Stridi lamiera					0,86	1,06	0,98	1,09
					0,86	1,07	0,98	1,10
					0,88	1,09	0,98	1,11
	0,83	1,31	0,93	1,40	0,89	1,06	1,00	1,06
	0,86	1,28	0,97	1,31	0,89	1,05	1,00	1,05
	0,98	1,23	1,09	1,12	0,90	1,14	1,02	1,12
					0,92	1,13	0,99	1,14
Acciaio in monte					0,93	1,19	1,04	1,14
	0,91	0,97	1,05	0,92				
Boccone di acciaio	0,80	1,34	1,03	1,30	0,86	1,17	1,03	1,14

Nessuna delle ghise considerate ha subito trattamenti di inoculazione di qualsiasi tipo, allo scopo di non dovere tenere conto di una nuova variante nella valutazione degli indici di qualità.

Pur non essendo il numero dei dati disponibili sufficiente per una rielaborazione statistica degli stessi, da un esame approfondito degli indici riportati nella tabella si possono trarre alcune interessanti considerazioni:

- Con il variare del grado di saturazione, non si nota una variazione significativa e in una stessa direzione dei tre parametri RG DR e Qi; ciò sta a indicare la validità del tutto generale del metodo di calcolo degli indici.
- In 20 delle 21 ghise esaminate l'indice di qualità è superiore a 1 e in alcuni casi raggiunge valori assai elevati (massimo 1,40).
- Solo 4 valori su 21 della durezza relativa sono superiori a 1 e il valore massimo che compare è 1,09.
- Solo 4 valori su 21 della resistenza relativa sono inferiori a 1 e il valore minimo che compare è 0,90.

e) Per tutti i tipi di acciaio l'indice di qualità della ghisa ottenuta è più elevato quando l'aggiunta della grafite è avvenuta insieme alla carica solida.

f) L'acciaio molle ha un comportamento nettamente diverso dall'acciaio lamiera e la ghisa ottenuta presenta una minore resistenza relativa accompagnata però anche da una minore durezza relativa per cui l'indice di qualità è sempre superiore a 1.

g) L'uso di acciaio in monte (non selezionato) sembra dare i peggiori risultati, anche se tale valutazione meriterebbe una conferma attraverso un maggiore numero di dati sperimentali.

h) Il boccone di acciaio, nonostante la presenza di una sensibile percentuale di cromo, non è causa di valori elevati di durezza relativa nella ghisa sintetica.

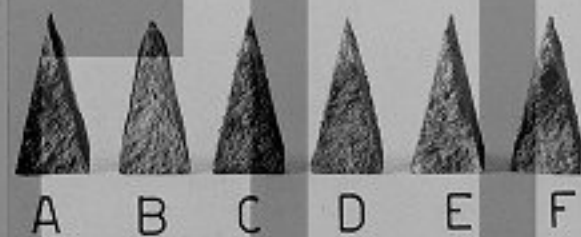
i) Dei valori che compaiono nel gruppo delle ghise ottenute dall'acciaio lamiera, alcuni si riferiscono a una ricarburazione del bagno per aggiunta in superficie e altri a una decarburazione per diluizione con acciaio, ma in ogni caso i valori dei tre parametri non presentano differenze significative.

j) In genere i singoli gruppi di valori sono omogenei, il che sta a indicare la relativa costanza nel tempo del tipo di materiale caricato e la scarsa influenza di eventuali fattori accidentali.

Altre caratteristiche delle ghise sintetiche

Suscettibilità alla tempra. - Contrariamente all'opinione corrente in merito, la suscettibilità alla tempra risulta normale se non inferiore alla media; le provette Meehanite da 3/4 di pollice appaiono adatte per tutti i tipi di ghisa considerati.

La figura 5, che riporta un esempio di tali provette per alcune ghise di caratteristiche diverse, dimostra che



A	Tempra 5	C = 3,10 %	Si = 1,84 %
B	Tempra 4	C = 3,30 %	Si = 1,60 %
C	Tempra 4	C = 3,42 %	Si = 1,60 %
D	Tempra 6	C = 3,26 %	Si = 1,65 %
E	Tempra 8	C = 3,17 %	Si = 1,63 %
F	Tempra 4	C = 3,46 %	Si = 1,62 %

Fig. 5 - Provette di tempra

Fig. 6 - Perlite compatta in ghisa sintetica ad elevata resistenza (Nital) (x 500)



la profondità di tempra varia relativamente poco con il variare del tenore di carbonio.

Comportamento alla colata. - Grazie anche alla possibilità di colare a temperature elevate e al basso tenore di solfo, le ghise sintetiche appaiono di facile colabilità.

I getti colati in ghisa sintetica sono sani e compatti e l'alimentazione da parte delle materozze è normale.

Struttura metallografica. - Il raggiungimento di valori di resistenza a trazione, in alcuni casi elevatissimi e in genere di un indice di qualità molto soddisfacente, è giustificato pienamente dalla struttura metallografica delle ghise sintetiche.

A) Matrice - La matrice risulta sempre (su provette $\varnothing 30$) costituita dal 100% di perlite compatta e regolare e solo parzialmente risolta a 500 ingrandimenti (fig. 6) con esclusione assoluta di carburi e di ferrite; questo vale anche per tenori di C elevati (fino a 3,55%).

Nei provini ricavati da sezioni maggiori persiste la tendenza a una struttura perlitica; ad esempio, una ghisa con 3,22% di C e 1,94% di Si non denota assolutamente presenza di ferrite nemmeno al centro di un barrotto cilindrico del diametro di 60 mm.

B) Grafite - La forma della grafite e la sua distribuzione si presenta diversa nei vari casi considerati (tutte le ghise prese in esame non hanno subito trattamenti di inoculazione) ed è in stretta correlazione con il parametro « resistenza relativa ».

Si va quindi da disposizioni perfette di grafite tipo A (classificazione ASTM) per ghise con resistenza relativa superiore a 1,20 (fig. 7a) a distribuzioni buone per resistenze relative intorno a 1,10 (figg. 7b-c) fino a forme

deteriori tipo B e D per valori di RG inferiori a 1 (fig. 7d).

Nessuna correlazione si può, invece, stabilire tra forma della grafite e durezza relativa anche per il fatto che i valori di quest'ultima variano entro limiti più ristretti che non quelli della resistenza relativa.

Anche tra forma della grafite e grado di saturazione non esiste una correlazione sicura.

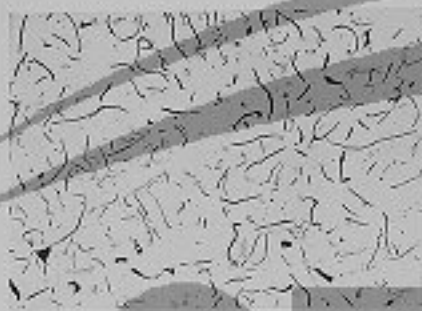
Le figure 8, 9 e 10 corrispondono a tre coppie di ghise aventi Sc praticamente eguale a due a due (0,80 e 0,81 - 0,86 e 0,86 - 0,99 e 0,95).

In tutti e tre i casi una ghisa si presenta con grafite esclusivamente di tipo A perfetta per forma, distribuzione e orientamento, mentre nell'altra compare insieme a grafite di tipo A anche grafite in rosette (tipo B) o interdendritica (tipo D e E).

Circa l'influenza del materiale di partenza, si può ripetere quanto già affermato per le caratteristiche meccaniche: le ghise sintetiche ottenute per carburazione degli sfondi di lamiera e del boccame di acciaio sono migliori di quelle ottenute per carburazione dell'acciaio molle (che contiene già in partenza una percentuale sensibile di carbonio).

A parità, poi, di acciaio caricato, i migliori risultati si hanno effettuando la carburazione durante la fusione della carica piuttosto che carburando in superficie durante la fase di surriscaldamento.

L'interpretazione di questi risultati e di questi dati di fatto richiede uno studio alquanto approfondito dei fenomeni legati alla separazione della grafite e alla formazione delle celle eutettiche, studio che ci ripromettiamo di eseguire in un prossimo futuro, collegandolo con quello delle modificazioni introdotte nella struttura metallografica e nelle caratteristiche meccaniche dai vari trattamenti di inoculazione, sia nel forno a induzione che in siviera.



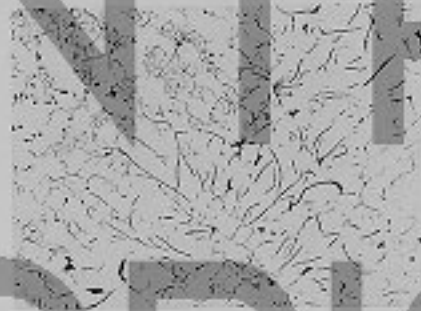
a) $RG = 1,31$ - Grafite tipo A distribuita uniformemente e senza orientazione preferenziale (ottima)



b) $RG = 1,14$ - Grafite tipo A con distribuzione abbastanza uniforme e senza orientazione preferenziale (buona)



c) $RG = 1,07$ - Grafite tipo A con distribuzione abbastanza uniforme e orientazione in parte a caso e in parte preferenziale (discreta)

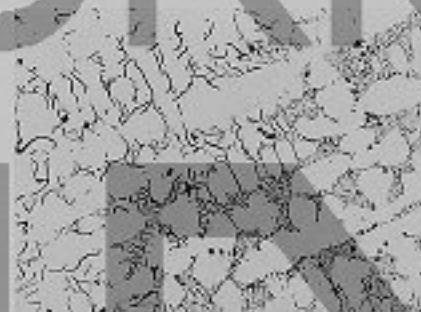


d) $RG = 0,95$ - Grafite tipo B (scaglie) e tipo D (interdendrítica) (scadente)

Fig. 7 - Correlazione tra forma della grafite e relativa resistenza ($\times 50$)



a) $RG = 1,34$; $Sc = 0,80$ - Grafite tipo A con distribuzione uniforme e senza orientazione preferenziale (ottima). Materiale di carica: boccato acciaio



b) $RG = 0,93$; $Sc = 0,81$ - Grafite tipo A e tipo D (interdendrítica) con distribuzione irregolare e orientazione preferenziale (scadente). Materiale di carica: acciaio molle

Fig. 8 - Forma e distribuzione della grafite in ghise sintetiche a basso tenore di carbonio ($Sc = 0,80 - 0,81$) ($\times 50$)



a) $RG = 1,28$; $Sc = 0,85$ - Grafite tipo A con distribuzione uniforme e senza orientazione preferenziale (ottima). Materiale di carica: stitoli lamiera



b) $RG = 0,95$; $Sc = 0,85$ - Grafite tipo B (scaglie) e tipo D (interdendrítica) (scadente). Materiale di carica: acciaio molle

Fig. 9 - Forma e distribuzione della grafite in ghise sintetiche a medio tenore di carbonio ($Sc = 0,86 - 0,86$) ($\times 50$)

Fig. 10 - Forma e distribuzione della grafite in ghise sintetiche ad elevato tenore di carbonio ($Sc = 0,99 - 0,95$) ($\times 50$)



a) $RG = 1,25$; $Sc = 0,99$ - Grafite tipo A con distribuzione uniforme e senza orientazione preferenziale (ottima). Materiale di carica: sferidi lamiera



b) $RG = 0,90$; $Sc = 0,95$ - Grafite tipo A e tipo D (interdendritica) (coadente). Materiale di carica: acciaio molle

Conclusioni

Sulla base dei risultati sperimentali ottenuti al forno elettrico a induzione a frequenza di rete da 6 t si può affermare quanto segue:

- E' possibile carburare praticamente ogni tipo di acciaio, ma i migliori risultati si ottengono con acciaio selezionato a basso carbonio.
- La resa di carburazione è maggiore carburando durante la carica che non in superficie a bagno fuso.
- E' possibile produrre praticamente ogni tipo di ghisa, compresa la sferoidale.

- E' possibile, con aggiunte di grafite, acciaio e ferroleghie, modificare il bagno con sicurezza di analisi e, quindi, passare da un tipo di ghisa all'altro senza dovere svuotare il forno.

- Le caratteristiche delle ghise sintetiche prodotte sono superiori a quelle di ghise di composizione analoga fuse al cubilotto.

- I parametri « resistenza relativa », « durezza relativa » e « indice di qualità » possono essere applicati vantaggiosamente all'esame delle caratteristiche meccaniche e delle strutture metallografiche delle ghise sintetiche.

BIBLIOGRAFIA

- PATTERSON e SIGG: *Ueber den Einfluss der Schmelzföhrung im Induktionsöfen und der Schmelzbehandlung auf die Eigenschaften von Gussstählen*. (Giesserei, techn. wiss. Beihefte n. 25, 1959).
- W. PATTERSON: *Beitrag zur Wirkung von Pfannenzusätzen auf Gussstählen. Relfegrad und relative Härte als Qualitätsmerkmale*. (25° Congresso Internazionale di Fonderia). (Giesserei 1959, pag. 289-301).
- A. COLLAUD: *Le problème de la qualification des fontes grises et le rôle de la structure secondaire*. (27° Congresso Internazionale di Fonderia). (Giesserei 1960, pag. 719-732).
- W. PATTERSON: *Relative Härte und Relfegrad als Begriffe zur Bewertung von grauen Gussstählen*. (Giesserei 1958, pag. 385-387).
- K. H. BROKMEIER: *Die Bedeutung der Induktionsöfen für die Giesserei*. (24° Congresso Internazionale di Fonderia).
- C. S. JOHNSON: *Main-frequency melting of cast-iron scrap*. (Foundry Trade Journal 1963, pag. 369 e segg.).

Navi con motori FIAT entrate in servizio nel 1963

Riportiamo i nomi e le fotografie di alcune navi, azionate da motori FIAT, entrate in servizio nel corso del 1963. Nell'elenco che segue, per le navi militari riporteremo, oltre al nome, il tipo di motore, mentre per le navi mercantili riporteremo in ordine successivo: il nome della nave, il tipo e la potenza del motore di propulsione, il nome dell'Armatore e la data di entrata in servizio dell'unità.

Per i motori costruiti su licenza, dopo il dato di potenza del motore riporteremo il nome del Licenziatario.

NAVI MILITARI CON MOTORI DI NOSTRA COSTRUZIONE



M/cannoniera 491 . 2 motori 560 000 . Marina Militare Italiana . 5-63

NAVI MERCANTILI CON MOTORI DI NOSTRA COSTRUZIONE



GALASSIA



URANIA

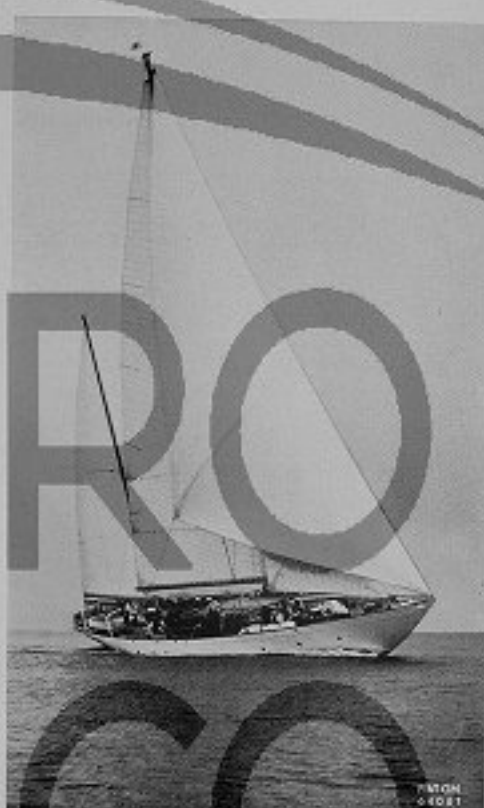
M/a RIO CORRIENTES	C 759 S da 10800 Cv	Empresa Lineas Maritimas Argentinas - Buenos Aires	2-63
M/a GALASSIA	908 S da 16800 Cv	Sidermar - Societa' d'Armamento - Genova	3-63
M/c URANIA	B 365 S da 1200 Cv	Gerolimich - Trieste	4-63
M/a ATLANTIC BREEZE	B 758 S da 11200 Cv	East Atlantic Shipping Co. - Chios	4-63



TAIYUNG



DREZNICA



TIZIANA

Ketch TIZIANA	MB 836 Bb da	500 Cv	Itala S. A. - Ciudad de Panama (Panama)	5-63
M/e LERICI SECONDA	B 758 S da	11200 Cv	Tankerflotta - Soc. di Navigazione, S.p.A. - Genova	5-63
M/n TAIYUNG	C 526 TS da	3150 Cv	Taiwan Navigation Co. Ltd. - Keelung	6-63
M/n DREZNICA	C 757 S da	8400 Cv	Jugoslavenska Linijska Plovdba - Rijeka	6-63



ATLANTIC STAR



ATLANTIC EAGLE

M/n ATLANTIC STAR	B 758 S da	11200 Cv	East Atlantic Shipping Co. - Chios	7-63
M/e ISPICA	2 x L 236 da	2 x 350 Cv	Cossiga - Compagnia di Navigazione S.p.A. - Palermo	7-63
R/ro KILAVUZ 7	B 366 da	1110 Cv	Denizcilik Bankasi T.A.O. - Istanbul	8-63
M/n QUIRINALE	B 758 S da	11200 Cv	Lloyd Triestino - Soc. p. Az. di Navigazione - Trieste	9-63
M/n ATLANTIC EAGLE	B 758 S da	11200 Cv	East Atlantic Shipping Co. - Chios	9-63



GROBNIK



FLECHA DEL LITORAL



MASSIMO PRIMO



ANTONELLO DA MESSINA

M/a GROBNIK	C 757 S da	8400 Cv	Jugoslavska Linijska Plovidba - Rijeka	9-63
Alize, FLECHA DEL LITORAL	MB 820 Dh da	1350 Cv	Almar - Buenos Aires	9-63
M/a MASSIMO PRIMO	B 759 S da	12600 Cv	Polinnia - Soc. p. Az. di Navigazione - Palermo	10-63
M/a ANTONELLO DA MESSINA	B 486 TS da	2910 Cv	Sirena - Sicilia Regionale di Navigazione - Palermo	10-63



LEONARDO DA VINCI

M/a ANTONIOS DE MADES	B 758 S da	11200 Cv	East Atlantic Shipping Co. - Chios	11-63
M/a LEONARDO DA VINCI	909 S da	18900 Cv	Navigazione Marittima Statale del Mar Nero - Odessa	12-63
R/m PROVENÇAL 10	B 366 S da	1440 Cv	Soc. Provençale de Remorquage - Marseille	12-63
M/a VITTORE CARPACCIO	B 486 TS da	2910 Cv	Sirena - Sicilia Regionale di Navigazione - Palermo	12-63

TRASFORMAZIONE DI APPARATI MOTORI



FERNDALE



PTOLOMÉE

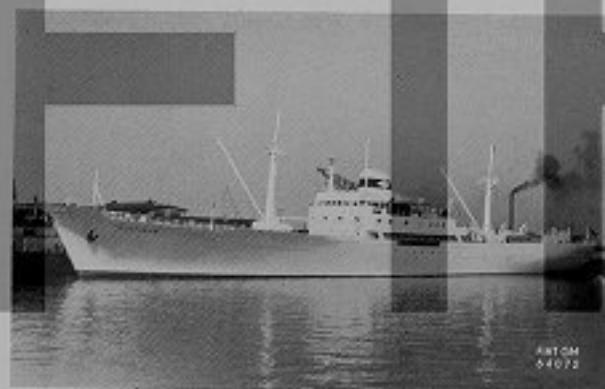
Draga PTOLOMÉE	2316 S da	1800 Cv
M/a SILVER STAR	B 757 S da	9800 Cv
M/a CITTÀ DI ABBAZIA	2 x L 230 S da	2 x 640 Cv
M/a FERNDALE	B 757 S da	9800 Cv

Vianini Dragaggi - Soc. p. Az. Lavori Marittimi - Roma	3-63
United Sea Carriers Ltd. - Monrovia	4-63
Armanavi - S. p. A. - Napoli	5-63
Fearnley & Eger - Oslo	9-63

STORICO

NAVI MERCANTILI CON MOTORI FIAT
COSTRUITI DAI LICENZIATARI

ANNEMARIE KRÜGER



ELSFLETH



SAGITTARIUS

M/a ANNEMARIE KRÜGER	B 526 TS da	3600 Cv Bosnig
M/a ELSFLETH	C 756 S da	7200 Cv Bosnig
M/a SAGITTARIUS	908 S da	16800 Cv CRDA

Haus Krüger GmbH - Hamburg	1-63
Union-Paaretsedererei - Bremen	3-63
Italcrid S. p. A. - Genova	4-63



JOHANN SCHULTE

M/n JOHANN SCHULTE B 759 S da 12600 Cv Borsig
 M/n FERNWIND B 757 S da 9800 Cv Borsig
 M/n TRANSOCEANICA ELENA B 757 S da 9800 Cv Ansaldo



FERNWIND

Schulte & Bruns - Emden 5-63
 Fearnley & Eger - Oslo 5-63
 Comp. Italiana Marittima di Navig. S.p.A. - Genova 5-63



PALATINO

M/n PALATINO B 758 S da 11200 Cv CRDA
 M/n VIMINALE B 758 S da 11200 Cv Ansaldo
 M/n ALHENA C 525 T da 1975 Cv Borsig



SANDALION

Lloyd Triestino S.p.A. di Navigazione - Trieste 6-63
 Lloyd Triestino S.p.A. di Navigazione - Trieste 7-63
 Anglo Reederei Richard Adler & Söhne - Bremen 8-63



ESQUILINO

M/n SANDALION 908 S da 16800 Cv CRDA
 M/n ESQUILINO B 758 S da 11200 Cv Ansaldo
 M/n TRANSOCEANICA SILVIA B 757 S da 9800 Cv Ansaldo
 M/n MARGARETHE BOLTEN B 759 S da 12600 Cv Borsig
 M/n TRANSOCEAN. GIOVANNA B 757 S da 9800 Cv Ansaldo



TRANSOCEANICA SILVIA

Italcargo Soc. di Navigazione - Palermo 9-63
 Lloyd Triestino S.p.A. di Navigazione - Trieste 9-63
 Comp. Italiana Transoceanica di Navigaz. - Genova 10-63
 Aug. Bolten Wm. Miller's - Nachfolger - Hamburg 10-63
 Comp. Italiana Transoceanica di Navigaz. - Genova 12-63



CENTRO STORICO FIAT

Pubblicazione trimestrale - Direttore Responsabile: Dott. Ing. LUCIANO TRABUCCO
Registrato al Tribunale di Casale Monferrato in data 16-Marzo-1955 con il N. 49

Vista esterna Centrale di Chivasso
con turbina a gas FIAT TG 3000

