

Le possibilità di impiego della ghisa ottenuta al forno elettrico

Viene posto in evidenza come le possibilità di utilizzazione della ghisa ottenuta al forno elettrico possano essere vantaggiosamente estese a ogni tipo di ghisa.

Sotto l'aspetto tecnologico, viene messa in luce soprattutto l'importanza fondamentale del procedimento di affinazione della ghisa al forno elettrico, onde avere garanzia di qualità superiore e di costanza nelle caratteristiche. Viene inoltre affermata la possibilità di avere, al forno elettrico, condizioni di condotta e di controllo più accurate che non con altri mezzi fusori.

Sotto l'aspetto economico, vengono rilevati i possibili vantaggi di minor costo della ghisa ottenuta al forno elettrico, specialmente quando sia dato di poter disporre di torniture adatte per essere direttamente immesse nelle cariche e si possa contare su di un'intensa e razionale utilizzazione dei forni.

In un nostro precedente studio sulle caratteristiche della ghisa grigia ordinaria ottenuta al forno elettrico in confronto con quella analoga ottenuta al cubilotto (1), è stato messo in evidenza come taluni fonditori abbiano avuto, o per insufficiente esperienza specifica, o per tentativi non ben condotti e quindi non perfettamente riusciti, o magari per considerazioni, talvolta giustificate, di ordine economico, qualche diffidenza sulla possibilità di impiego, su base industriale, della ghisa ottenuta al forno elettrico.

Lo studio, pur essendo stato effettuato in un periodo di tempo non ancora pienamente conclusivo per la messa a punto del procedimento di fusione al forno elettrico, aveva chiaramente dimostrato i vantaggi qualitativi da noi ottenuti sulla ghisa del cubilotto e, in talune circostanze favorevoli di esercizio, anche dal punto di vista economico.

Ne derivava per noi, che la gamma di impiego delle ghise ottenute al forno elettrico poteva estendersi in un campo maggiore di quello relativo all'impiego del cubilotto, comprendendo essa, oltre le ghise speciali, con tenore molto basso di carbonio, e le ghise legate o titolate, ivi inclusa la sferoidale, anche le ghise comuni.

Dall'uso continuo ed esclusivo dei forni elettrici nella fonderia di ghisa della Fiat di Mirafiori, in funzione da oltre due anni, con produzione giornaliera di un centinaio di tonnellate di getti, è risultato confermato quanto segue:

- a) qualità costante e soddisfacente della ghisa prodotta;
- b) riduzione a un minimo trascurabile delle anomalie di carattere metallurgico sui getti, dovute a deficienti caratteristiche della ghisa, e conseguente eliminazione pressochè totale degli scarti per tali cause;
- c) massima regolarità di rifornimento della ghisa fusa alle linee di colata;
- d) costo minimo della ghisa liquida, messa a punto per la colata dei getti.

Il forno elettrico possiede una serie di prerogative particolari. Esso permette la produzione di ghisa di qualità costante non solo come composizione, ma anche per talune caratteristiche non facilmente ottenibili con l'impiego di altri mezzi fusori. Fra le caratteristiche qualitative ottenute al forno elettrico possiamo infatti ascrivere anche quella di poter sottoporre il bagno a determinate ope-

razioni di affinazione, di ciclo termico e di desolfurazione.

Fra le più apprezzabili caratteristiche pratiche del forno elettrico ad arco diretto in impiego singolo, oppure, a seconda del caso, in combinazione opportuna con altre unità costituenti un sistema di fusione e di rifornimento della ghisa fusa alla fonderia, è da rilevarsi la elasticità dell'erogazione, in funzione dell'energia elettrica assorbita. Esso permette perciò in modo conveniente la colata di grossi getti richiedenti forti masse di liquido, e può assicurare con larghezza il flusso regolare della ghisa a temperatura elevata, anche con variazioni notevoli di quantità, da momento a momento, alle linee di colata nelle grandi fonderie di serie.

In favore della ghisa elettrica, è pure oggi confermato anche l'aspetto economico, cioè il costo della carica fusa. Specialmente in paesi come l'Italia, ove il coke ha costo relativamente più elevato della energia elettrica e per fonderie come quelle della Fiat, che hanno anche il problema e la possibilità della conveniente utilizzazione di forti masse di torniture selezionate, provenienti dalla lavorazione meccanica dei getti, tale minor costo è ormai un fatto acquisito.

Tralasciando di trattare, nella presente relazione, di tutti i tipi di ghise speciali, per le quali l'uso del forno elettrico è largamente diffuso sia in Italia che all'estero, vediamo invece quali risultino le utili possibilità di impiego della ghisa elettrica per getti ordinari relativi a produzioni automobilistiche e motoristiche in genere, nel qual campo fino a ieri dominava e ancor oggi prevale largamente il cubilotto.

La ghisa elettrica, ovvero l'impiego del forno elettrico per la fusione della ghisa, gode, nei confronti del cubilotto, di una serie di vantaggi che possono essere indicati nei seguenti punti principali.

A) Vantaggi qualitativi.

- 1) Possibilità di rigoroso controllo nonchè di messa a punto della composizione del bagno con conseguente costanza di prodotto;
- 2) Possibilità di sottoporre la fusione a un ciclo termico ben determinato;
- 3) Possibilità di effettuare la disossidazione e la desolfurazione accurata del bagno metallico;
- 4) Minimo contenuto di gas nella ghisa;
- 5) Caratteristiche meccaniche più elevate;
- 6) Maggiore fluidità della ghisa liquida.

B) Vantaggi pratici e funzionali.

1) Possibilità di utilizzare direttamente nella carica le torniture di ghisa e il materiale di pezzatura varia, non rigorosamente selezionato, nei riguardi della composizione, fatta eccezione per le impurità nocive;

2) Grande elasticità di erogazione per colate continue, specie in sistemi fusori combinati, quale, ad esempio, il sistema « triplex » adottato dalla Fiat.

C) Vantaggi di ordine economico.

Nel caso di utilizzazione, al forno elettrico, della tornitura, in misura normalmente corrispondente a quella ricavata dalla lavorazione meccanica dei getti prodotti, il bilancio di costo, nei confronti col cubilotto, risulta nettamente favorevole alla ghisa elettrica.

Vantaggi qualitativi

1. - POSSIBILITÀ DI RIGOROSO CONTROLLO DELLA COMPOSIZIONE DELLA GHISA LIQUIDA.

I forni elettrici, in particolare quelli ad arco diretto, permettono di controllare nel modo più rigoroso la messa a punto della composizione del bagno. Nota la quantità di ghisa liquida contenuta nel forno, si tratta di procedere al prelievo del campio-

trografo, che, nel caso di impiego del forno elettrico ad arco, trovano la più interessante applicazione.

Con l'uso del quantometro, la determinazione del tenore di silicio e dei vari altri elementi metallici della ghisa, viene normalmente effettuata in pochi minuti, cioè nello stesso tempo richiesto per la determinazione del tenore di carbonio col metodo volumetrico. È quindi sempre possibile, effettuata la colata della provetta di analisi prima del surriscaldamento del bagno, avere i risultati in tempo utile per poter procedere alle eventuali correzioni mediante aggiunte di acciaio, o di carbonio, o di ferro-leghe, o degli altri elementi richiesti.

Con il forno elettrico, opportunamente condotto, non avvengono variazioni sensibili nella composizione della ghisa costituente il bagno metallico (figura 1). A differenza del cubilotto, il forno elettrico richiede, nella correzione della composizione della ghisa, la semplice aggiunta dei correttivi richiesti, introdotti nel bagno con le dovute norme. Nessun supplemento di correttivi deve essere normalmente previsto per perdite dovute a ossidazione.

2. - POSSIBILITÀ DI SOTTOPORRE LE FUSIONI A UN CICLO TERMICO BEN DETERMINATO.

Temperatura e durata di riscaldamento del bagno metallico hanno notevole influenza sulla struttura e sulle caratteristiche meccaniche e fisiche della

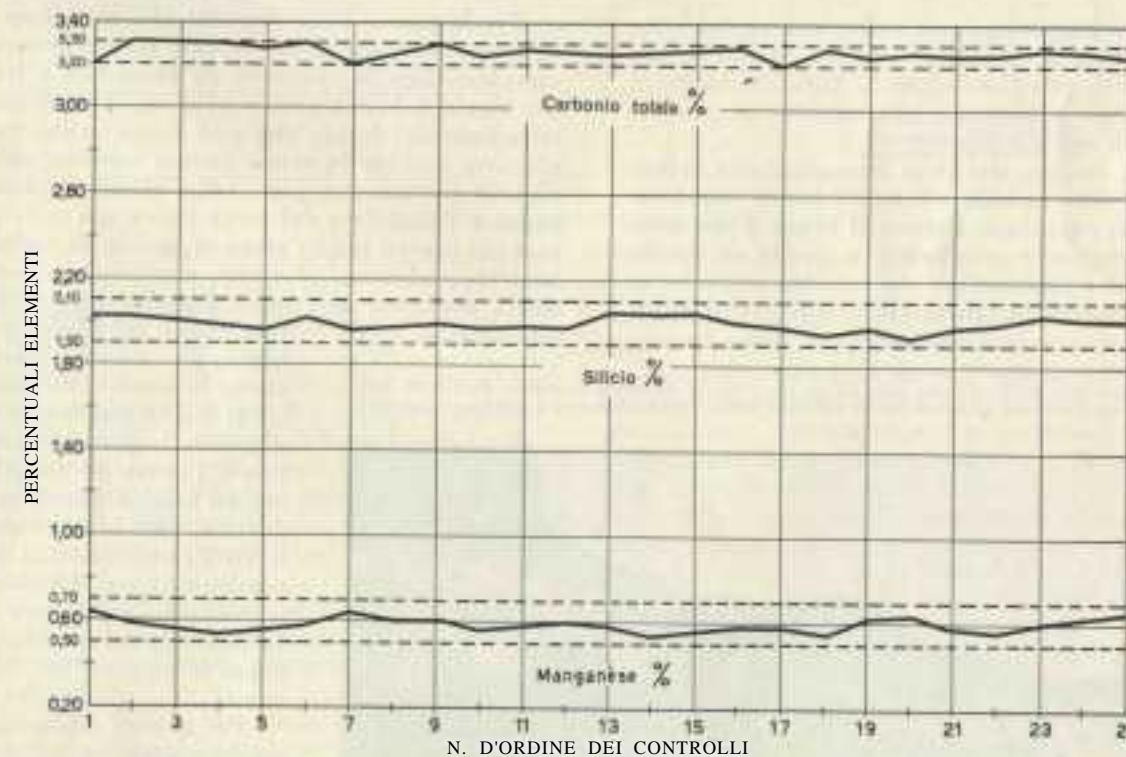


Fig. 1 - Variazioni dei 3 elementi principali di uno stesso tipo di ghisa, per una serie di colate al forno elettrico.

ne sul quale effettuare l'analisi e di eseguire quindi con cura le correzioni richieste.

Fino a pochi anni addietro le analisi delle ghise erano ottenute unicamente per via chimica, nel qual caso occorreva un tempo notevole per averne i risultati; oggi, invece, è possibile valersi di nuovi mezzi rapidi di controllo, quali il *quantometro* e lo *spet-*

ghisa. Surriscaldando la ghisa tra 1450° e 1550° C, le lamelle di grafite si affinano e la struttura diventa più omogenea e compatta (2) (3). In seguito a prove da noi condotte, elevando la temperatura del bagno al grado sopracitato, si è riscontrato, nei quattro tipi di ghisa presi in esame, oltre al sensibile miglioramento della struttura, l'aumento della

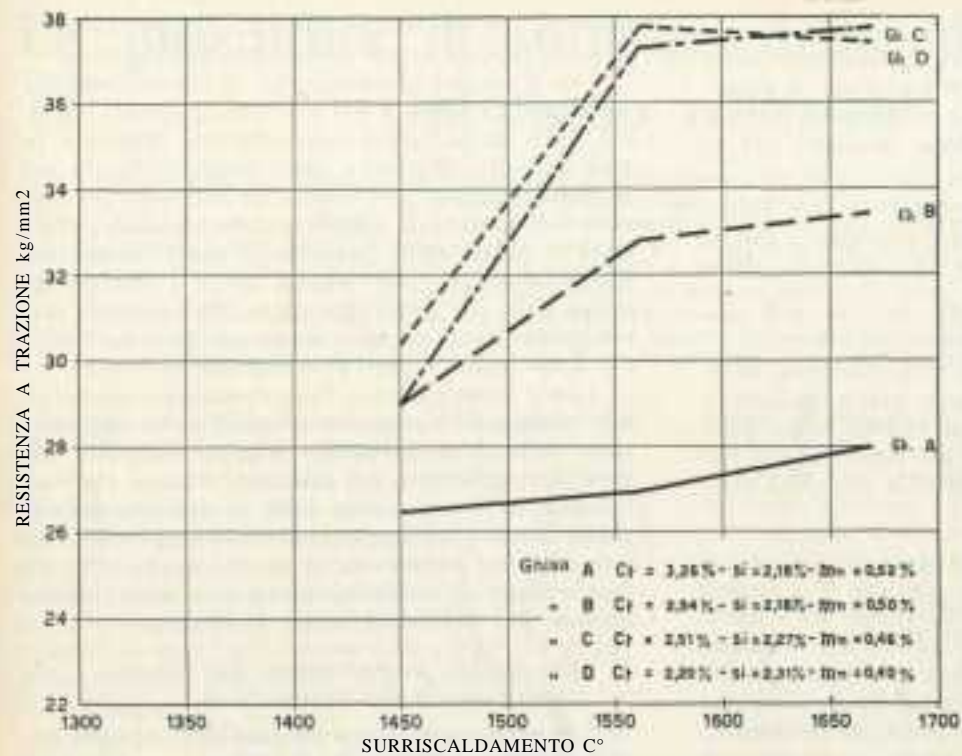
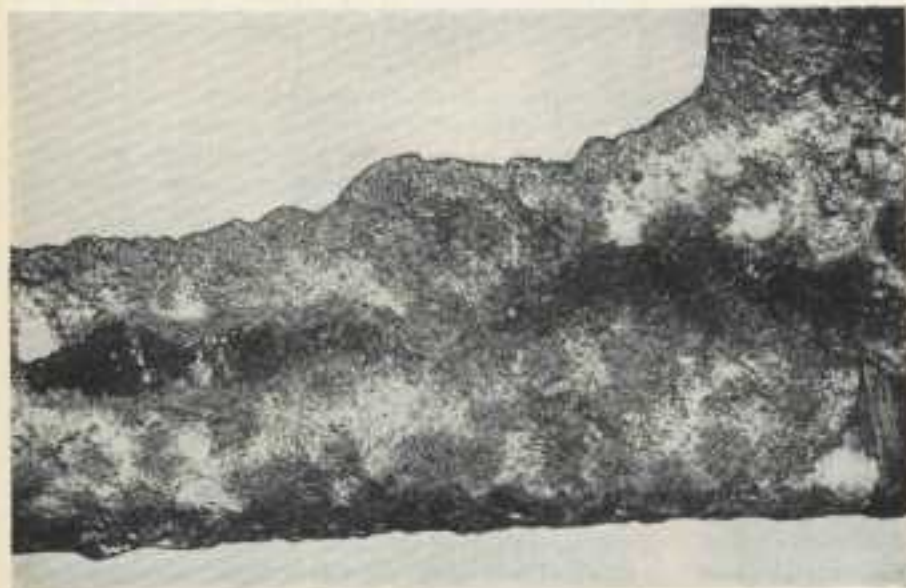


Fig. 2 - Influenza del surriscaldamento della ghisa in forno sulla resistenza a trazione.

resistenza a trazione per un valore che va dal 6 %, per ghisa tipo A, con C.E. = 3,99 %, al 30 % per ghisa tipo C, con C.E. = 3,30 % (fig. 2). Anche il riscaldamento prolungato, a temperature medie, agisce nello stesso senso (4).

È noto, inoltre, che tutte le reazioni che avvengono tra bagno metallico e scoria hanno una temperatura di equilibrio. Portare il bagno a una temperatura superiore o inferiore a quella di equilibrio, significa promuovere una reazione in un senso piuttosto che in un altro. Onde ottenere il risultato migliore, occorre formulare un piano preciso

Fig. 3 - Aspetto della frattura di un getto colato con ghisa la cui scoria conteneva 27,7 % di FeO. Appaiono evidenti tre difetti tipici: risucchio interno, temprà inversa e soffiature superficiali.



di elaborazione del bagno che tenga conto dei diversi fattori aventi effetto determinante sulla struttura e sulle caratteristiche meccaniche della ghisa.

Al riguardo, il forno elettrico si presenta quale mezzo docile e preciso che dà al fonditore la possibilità di sottoporre la ghisa ad un ciclo termico definito, con limiti di oscillazione molto ristretti. Infatti, i moderni forni elettrici dispongono di un'ampia gamma di tensione e di intensità di corrente, in modo da rendere possibile la regolazione della potenza immessa nel forno, in funzione della quantità di ghisa contenuta e della temperatura da raggiungere.

3. - POSSIBILITÀ DI EFFETTUARE LA DEOSSIDAZIONE E LA DESOLFORAZIONE DEL BAGNO METALLICO.

a) *Le reazioni che interessano il bagno metallico.*

Per lo studio delle reazioni che avvengono nel forno elettrico per ghisa, occorre tenere presente il complesso liquido costituito da ghisa fusa e scoria, che forma il bagno vero e proprio, il rivestimento refrattario del forno, che può essere acido, basico o neutro e infine la massa gassosa esistente nel bacino. Il rivestimento può cedere taluni elementi al bagno e l'atmosfera del forno può a sua volta ricevere gas diversi quali: ossigeno, ossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno, azoto ecc. e trasmettere i medesimi alla parte liquida. Una quantità sufficiente di scoria di tipo adatto sul bagno metallico può ridurre notevolmente lo scambio di elementi tra il bagno stesso e il rivestimento, impedendo o limitando l'usura di quest'ultimo. Le reazioni tra ghisa fusa e scoria, sono favorite e accelerate da uno strato di scoria emulsionata nel bagno (denominato « strato attivo » dal Losana) (5) nel quale avvengono le reazioni di affinazione.

Per quanto riguarda l'atmosfera esistente nel forno, si può dire che essa dipende essenzialmente dallo andamento delle reazioni che nel forno stesso si effettuano. Essa può però essere modificata con l'opportuna aggiunta di elementi nel bagno, atti a costituire la scoria. Il colore della fiamma e dei fumi

che sfuggono dal forno, attraverso alle connesure esistenti tra le diverse parti, fornisce spesso elementi sufficienti per giudicare se l'atmosfera è riducente, neutra o ossidante.

Le reazioni di affinamento della ghisa sono, sostanzialmente, analoghe a quelle che regolano l'affinazione dell'acciaio. Risultano però diverse le concentrazioni degli elementi che prendono parte alle diverse reazioni e variano di conseguenza sia la velocità di queste che le temperature di equilibrio.

Le caratteristiche della scoria sono determinate dalla composizione degli elementi introdotti per la relativa formazione e dalla natura del rivestimento refrattario del forno. Tali caratteristiche devono essere poste in rapporto con l'azione che si vuole esercitare sugli elementi contenuti nel bagno metallico.

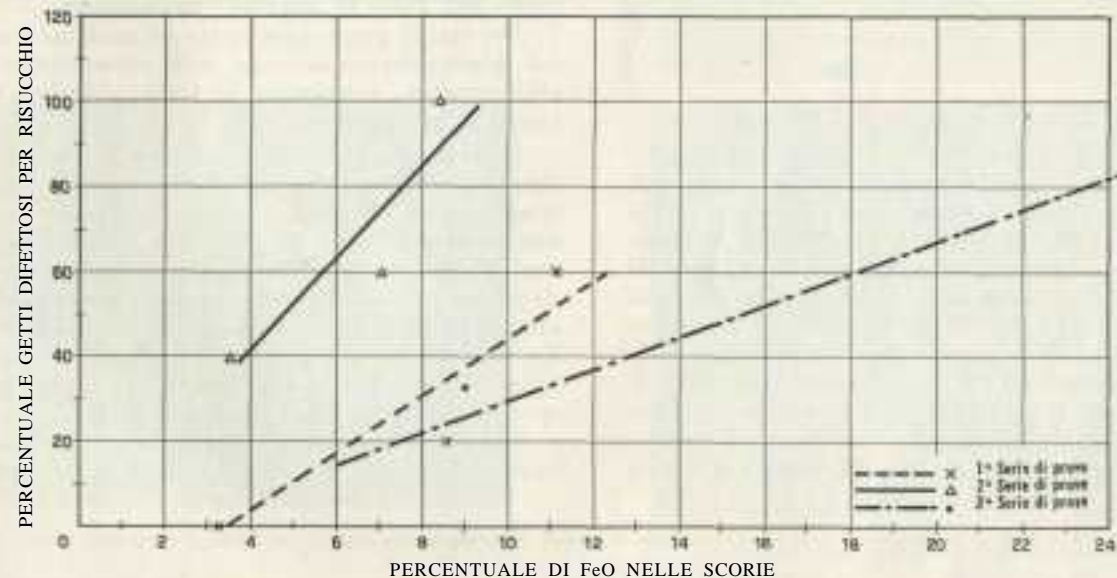


Fig. 4 - Getti difettosi per risucchio esterno, in funzione del contenuto in FeO sulle scorie.

b) *Effetto degli ossidi sulle proprietà della ghisa ordinaria.*

Nella fusione e nella elaborazione della ghisa elettrica occorre avere la massima cura per la eliminazione degli ossidi. Gli ossidi di ferro (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) possono essere preesistenti nel materiale caricato, sotto forma di ruggine, squame o inclusioni, così come possono prodursi nella operazione stessa di fusione, quando la medesima non sia condotta correttamente.

Tali ossidi risultano assai nocivi alla qualità della ghisa colata e possono produrre nei getti una serie di difetti che si possono riassumere nei seguenti punti principali:

- ghisa meno fluida, cioè meno adatta alla colata dei getti con pareti sottili;
- aumento dei risucchi interni;
- aumento della percentuale di carbonio combinato sotto forma di cementite, con conseguente minore lavorabilità dei getti;
- aumento delle incrinature a caldo e a freddo per causa del maggiore coefficiente di ritiro;
- aumento dei punti duri nei getti;
- soffiature e porosità superficiali per le reazioni tra carbonio e ossigeno (fig. 3);

— aumento delle segregazioni a causa della presenza degli ossidi con più basso punto di fusione.

I costituenti strutturali che hanno tendenza a segregare nella ghisa ossidata sono la grafite, il carburo di ferro e il fosforo. La grafite determina in questo caso la caratteristica struttura dendritica.

Le segregazioni in ossidi di ferro, che hanno azione stabilizzante sui carburi, danno luogo al noto fenomeno della temprà inversa (fig. 3 e 6A).

A seguito di una serie di prove da noi condotte per stabilire l'influenza del grado di ossidazione della ghisa grigia, abbiamo avuto modo di rilevare che, aumentando il tenore di ossido ferroso nella scoria, si riscontra anzitutto un aumento della durezza dei getti, a causa della maggior quantità di carburo di ferro stabilizzata dall'ossido. Inoltre, la

lavorabilità dei getti risulta sensibilmente ridotta per la presenza di cementite.

Si è presa in esame anche l'influenza del tenore in ossido ferroso nelle scorie, in rapporto al difetto di risucchio riscontrato in un particolare tipo di getto. Dalla fig. 4 si può rilevare che, al disotto del 5 % di FeO , il risucchio esterno è poco sentito, mentre per percentuali maggiori, i getti analogamente difettosi diventano notevolmente più numerosi. Per quanto riguarda il risucchio interno, rivelato per mezzo di esame radiografico (fig. 5), si è riscontrato che il 60 % dei getti difettosi sono stati colati con ghisa avente scoria contenente il 7 % di FeO , mentre con scoria contenente il 27,7 % di FeO i getti difettosi costituiscono la totalità.

Circa l'esame della frattura è interessante notare, come risulta dalla fig. 6, che la ghisa ordinaria, a struttura normalmente perlitica, si presenta quasi completamente di struttura bianca, quando la relativa scoria contiene il 27,7 % di FeO (getto A); trotata, con l'11 % di FeO (getto B); trotata limitatamente ai bordi esterni, con il 7 % di FeO (getto C); interamente grigia, con il 2,97 % (getto D).

Le micrografie delle figure dal n. 7 al n. 14 riflet-

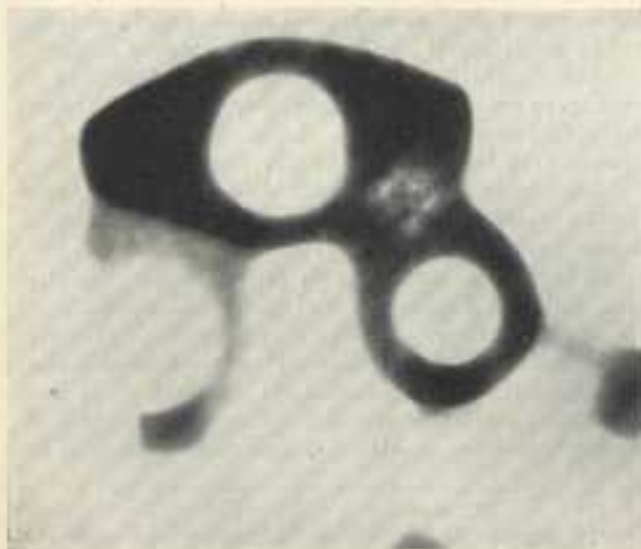


Fig. 5 - Aspetto del risucchio interno all'esame radiografico.

tono le strutture riscontrate nei getti colati con tali tipi di ghisa. È interessante notare che, con scorie contenenti il 27,7 % di FeO, la struttura è quella caratteristica della ghisa bianca, per la presenza di forti quantità di cementite. Gradualmente, col diminuire di FeO nella scoria, la cementite scompare e la grafite perde a mano a mano la struttura dendritica per assumere, in corrispondenza del 2,97 % di FeO, la caratteristica struttura lamellare su matrice interamente perlitica.

Anche per la ghisa malleabile, come per quella

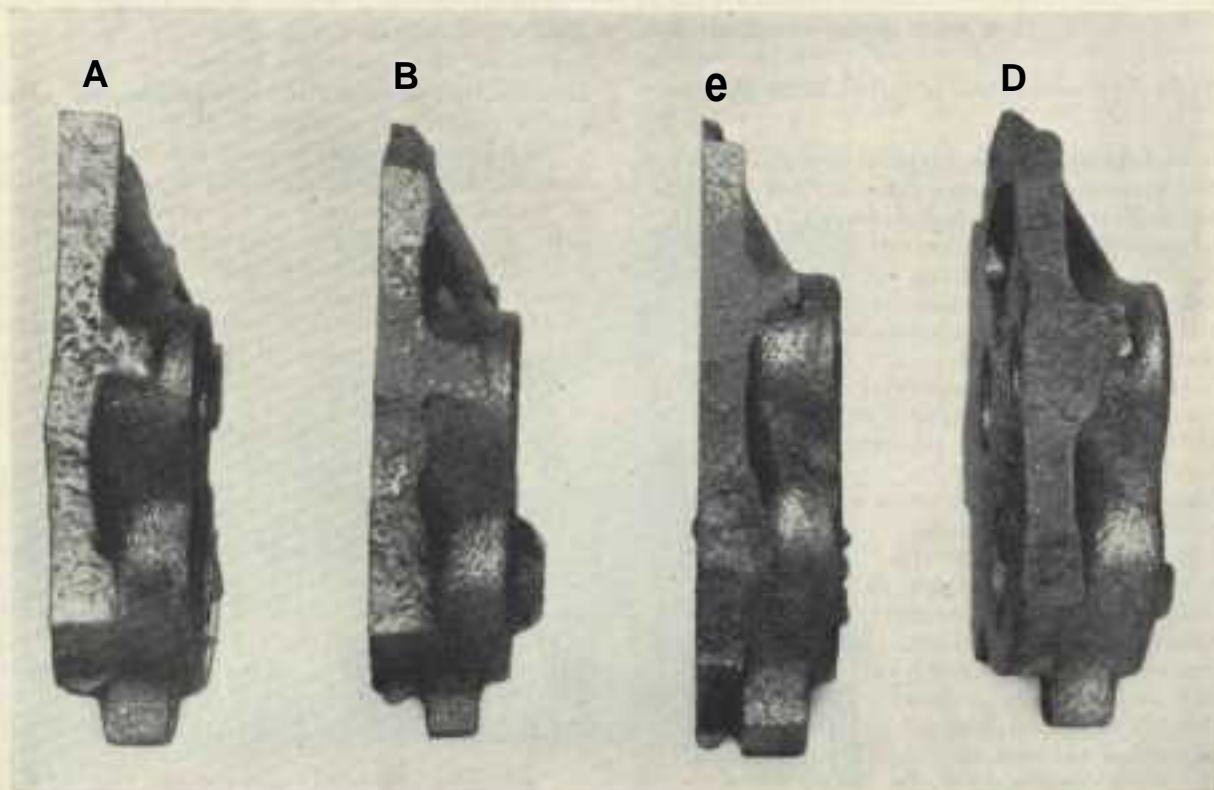
ordinaria, è essenziale l'accurato controllo della disossidazione del bagno, essendo tale operazione importante, non solo per le caratteristiche fisico-mecchaniche risultanti, ma anche per l'effetto sul trattamento termico di malleabilizzazione dei getti. Con ghisa ossidata, la malleabilizzazione non avviene regolarmente.

Nel periodo iniziale della produzione di ghisa malleabile col forno elettrico ad arco, abbiamo effettuato una interessante sperimentazione riguardante l'influenza del grado di deossidazione sulle caratteristiche meccaniche e fisiche della ghisa malleabile. Il risultato è espresso nei valori della tabella a pag. 444, i quali, per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza e di allungamento, riassumono una serie numerosa di dati, ottenuti su provette colate con ghisa di analoga composizione.

Dai dati di questa tabella risulta evidente l'entità del miglioramento ottenuto sulle caratteristiche di allungamento, nonostante la forte riduzione del tempo di malleabilizzazione.

Nelle figure 15 e 16 sono messe a confronto le strutture di due ghise malleabili, aventi analoga composizione chimica, delle quali, l'una riguarda una ghisa malleabile le cui scorie erano di colore nero, l'altra, una ghisa malleabile le cui scorie erano di colore grigio-chiaro. Le provette corrispondenti alla fig. 15 hanno dato resistenza a trazione di Kg/mm^2 50,5 e $A\% = 2,9$ per un ciclo di malleabilizzazione di ben 56 ore, mentre le provette corrispondenti alla fig. 16, hanno dato $R/\text{Kg/mm}^2$ 38,3 e $A\% = 27,6$ con durata del ciclo di malleabilizzazione di 36 ore. La fig. 15 riflette la struttura di

Fig. 6 - Aspetto della frattura di getti colati con ghisa di uguale composizione ma con diverso tenore di FeO nelle scorie.



Micrografie relative a getti colati con ghisa avente scorie con tenori decrescenti in FeO.

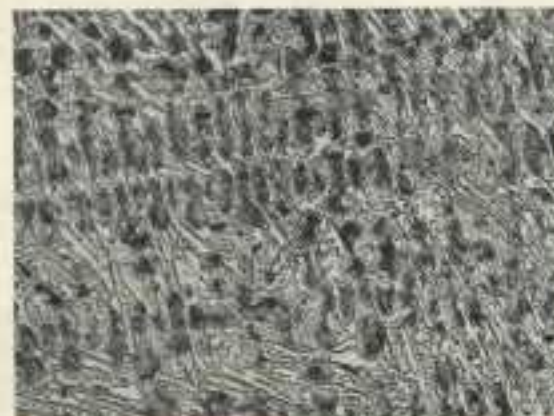


Fig. 7 - Att. Nital - FeO nelle scorie 27,7 %.



Fig. 8 - Att. Nital - FeO nelle scorie 10,93%.

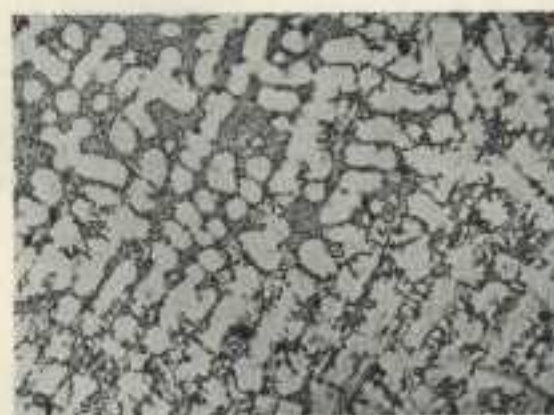


Fig. 9 - Att. Nital - FeO nelle scorie 8,87%.



Fig. 10 - Att. Nital - FeO nelle scorie 7%.



Fig. 11 - Att. Nital - FeO nelle scorie 5,98%.



Fig. 12 - Att. Nital - FeO nelle scorie 5 %.

una ghisa malleabile la quale, nonostante la ricottura prolungata, presenta la caratteristica struttura a « occhio di bue », mentre la fig. 16 riflette una ghisa malleabile la quale, pur con durata di ricottura nettamente inferiore, presenta le migliori caratteristiche.

Anche G. Vennerholm e N. Bogart della Ford Motor Company di Dearborn - Mich. (6), ebbero modo di studiare l'effetto della insufficiente disossi-

dazione del bagno di ghisa malleabile prodotto al forno elettrico sulle caratteristiche meccaniche e fisiche nonché sulla attitudine alla malleabilizzazione dei getti prodotti, pervenendo ad analoghi risultati.

c) *Il rivestimento refrattario dei forni.*

Il rivestimento refrattario dei forni assume particolare importanza, non solo quale materiale de-

Colore delle scorie	Resistenza a trazione kg/mm ²	Allungamento %	Durata del ciclo di malleabilizzazione ore
Nero	40,7	6,9	50
Grigio-chiaro	39,2	18,2	36

terminante il tipo di scoria da aggiungere al bagno, ma, anche, come elemento che può prendere parte alle diverse reazioni che si sviluppano nelle varie fasi di affinazione.

I materiali refrattari impiegati per il rivestimento dei forni elettrici, si suddividono in quattro grandi categorie: basici, acidi, neutri e anfoteri. I due ultimi tipi di materiali trovano raramente impiego per il costo elevato. I materiali basici e acidi sono invece di uso corrente nei forni elettrici per la fusione della ghisa.

I materiali refrattari basici più comuni sono la magnesite e la dolomite. La magnesite, dotata di ottime caratteristiche di refrattarietà (punto di fusione 2135° C) e, per talune applicazioni, di lunga durata in esercizio, presenta l'inconveniente del costo elevato. La dolomite, che esiste abbondante in Italia, è di costo non eccessivo e possiede pure elevate caratteristiche di refrattarietà, nonché prerogative di carattere pratico, per la facilità di riparazione delle parti usurate.



Fig. 13 - Att. Nital - FeO nelle scorie 3,51%.

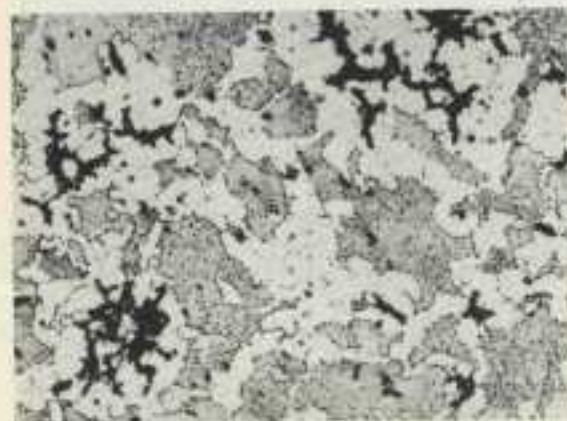


Fig. 15 - Struttura di provette in ghisa malleabile, relative a bagno ricoperto di scoria di colore nero.

Il rivestimento basico del bacino contenitore del bagno nel forno permette facilmente l'impiego di scorie di affinazione nettamente basiche e quindi offre la possibilità, come diremo in seguito, di desolfurare a fondo il bagno metallico. Il refrattario acido è, invece, costituito prevalentemente da silice. Il rivestimento di questo tipo, molto conveniente dal punto di vista economico essendo la silice abundantissima ovunque, può venire impiegato sia come pigiata, con opportuni agglomerati, che sotto forma di blocchi o mattoni.

Il rivestimento acido viene generalmente adottato quando si desidera nel bagno metallico buona disossidazione e buone caratteristiche di fluidità.

d) Affinazione in forno con rivestimento basico.

Con scoria formata essenzialmente da calce e carbone la deossidazione avviene secondo la reazione:



Fig. 14 - Att. Nital - FeO nelle scorie 2,97%.

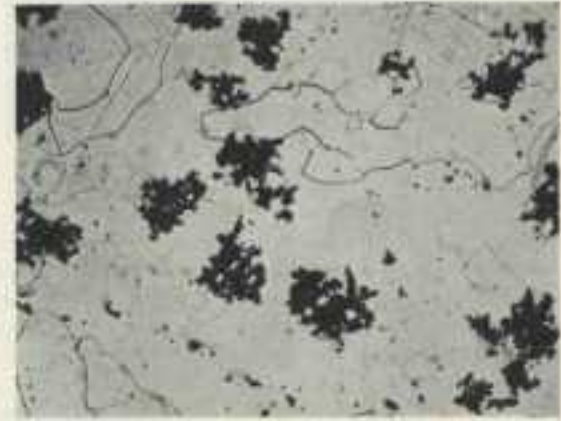


Fig. 16 - Struttura di provette in ghisa malleabile, relative a bagno ricoperto di scoria di colore grigio-chiaro.

Sotto l'arco, per la temperatura molto elevata, si ha formazione di carburo di calcio:



Tale prodotto è un energico disossidante. Esso reagisce con l'ossido ferroso come segue:



La formazione di carburo di calcio avviene quando la concentrazione in ossido ferroso si è notevolmente ridotta: perciò la presenza di tale composto, rivelata da un acuto odore di acetilene quando un pezzo di scoria venga immerso in acqua, indica che la deossidazione è normalmente soddisfacente.

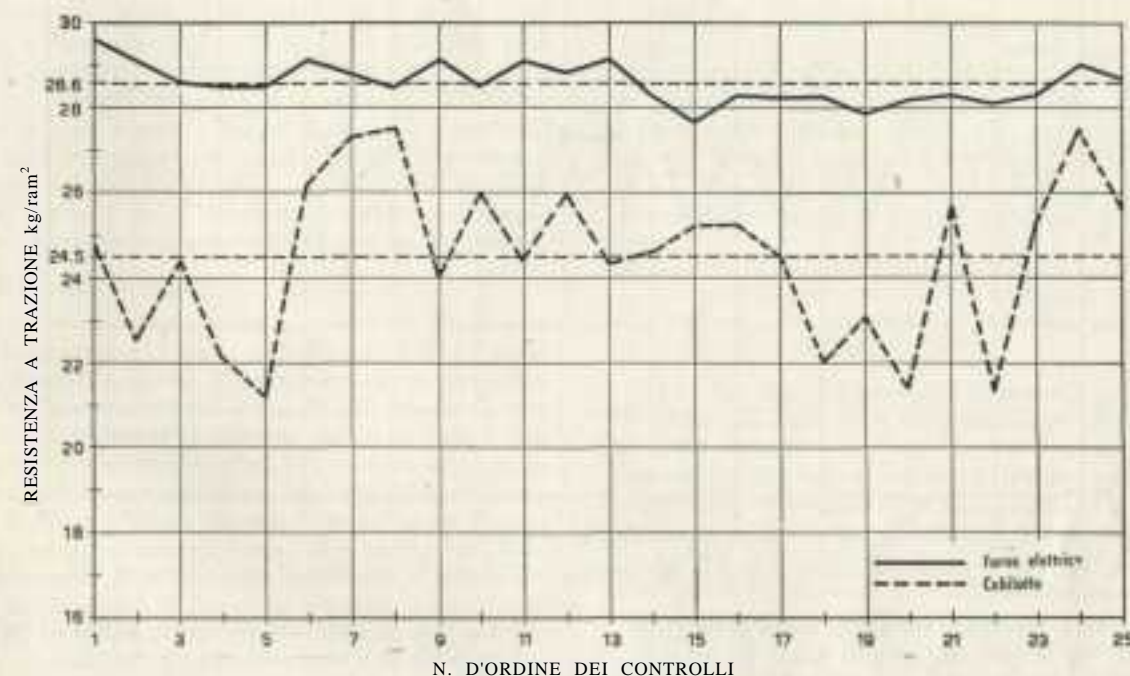
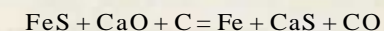
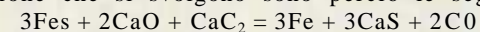
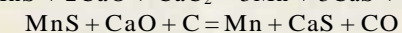
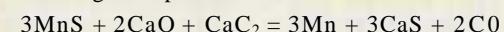


Fig. 17 - Dati di resistenza a trazione su ghisa di pari composizione (CE) fuse al cubilotto e al forno elettrico ad arco.

Una delle prerogative della scoria basica è pure quella di offrire la possibilità di desolfurare a fondo il bagno. Allo scopo, la scoria deve essere fortemente basica e, come già si è detto, deve aversi formazione di carburo di calcio. Le reazioni di desolforazione che si svolgono sono perciò le seguenti:



mentre il solfuro di manganese viene decomposto in modo analogo e precisamente:



Queste ultime reazioni risultano particolarmente interessanti poichè nelle ghise il solfo si trova quasi totalmente sotto forma di solfuro di manganese.

Fonditori e metallurgici sono concordi nell'ammettere che il tenore elevato di solfo sia da considerarsi nocivo alla ghisa. Esso tende a stabilizzare i carburi, ad aumentare il ritiro, a diminuire sensibilmente la fluidità e la resistenza a trazione.

La possibilità di ottenere la desolforazione pressoché totale è particolarmente utile nella produzione della ghisa sferoidale.

e) Affinazione in forno con rivestimento acido.

Molto discusse sono le reazioni che possono effettuarsi in forno acido. Si può tuttavia affermare che la deossidazione con scorie acide è molto più energica che non con scorie basiche. Ciò è dovuto alla maggiore tendenza dell'ossido ferroso di combinarsi nelle scorie acide per formare silicato di ferro. Nelle scorie basiche si ha sempre una aliquota di ossido ferroso libero maggiore che non nelle scorie acide, poichè il silicato di ferro, contenuto nelle scorie acide, è molto più stabile del ferrito di calcio, che si forma nelle basiche.

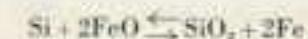
Dato che, a pari temperatura, la percentuale di

ossido ferroso contenuto nel bagno metallico è proporzionale alla percentuale di ossido ferroso libero nella scoria, ne consegue che, nel processo acido, potremo avere più facilmente il bagno assai meno ricco in ossido ferroso che non nel processo basico.

Nelle reazioni caratteristiche del processo acido, può avvenire la riduzione della silice, quando nella scoria vi sia del carbone, secondo le seguenti reazioni:



Il silicio così ottenuto passa nel bagno ove reagisce con l'ossido ferroso eventualmente presente:



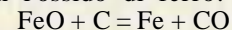
La silice ritorna perciò nella scoria dalla quale altro silicio, ridotto secondo le prime reazioni sopracitate, migra nel bagno, ove prosegue la reazione fino a ridurre il tenore di ossido ferroso a valori minimi. Successivamente il silicio tenderà a passare nel bagno metallico, ma l'aggiunta preventiva di adeguata quantità di calce alla scoria può opporsi, per la formazione di silicato di calcio, alla migra-

zione incontrollata di silicio dalla scoria al bagno metallico.

Anche in forno con rivestimento acido può essere ottenuta, ove occorra, la desolfurazione del bagno, quando venga aumentata leggermente la quantità di calce prevista per la scoria normale (deossidante) e quando venga aggiunto del coke in polvere in modo da produrre carburo di calcio. La quantità di calce da aggiungere deve essere però limitata e controllata, onde evitare azione corrosiva sul rivestimento refrattario del forno. Occorre però sottolineare che normalmente la ghisa elettrica non richiede di es-

della ghisa nel procedimento stesso di fusione, con l'aria soffiata. Il Somigli (12), che ha condotto una serie di ricerche, tendenti a stabilire la natura dei gas assorbiti dalla ghisa fusa al cubilotto, ha rilevato la presenza di notevoli quantità di:

— *ossido di carbonio*, che si forma per reazione del carbonio con l'ossido di ferro:



— *anidride carbonica*, normalmente in minima quantità, poiché, a temperatura elevata, si ha la reazione:

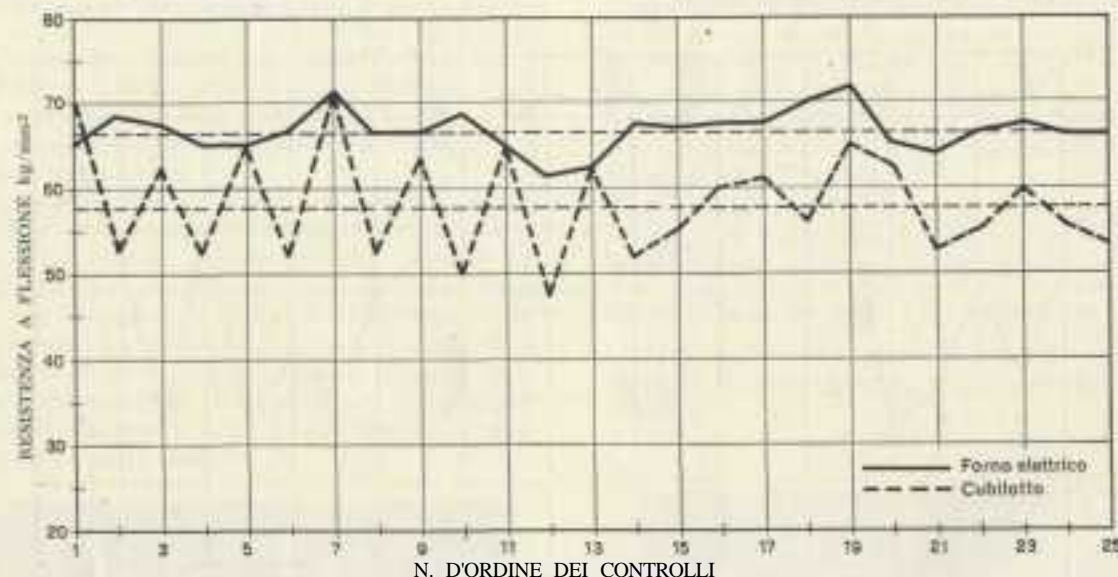
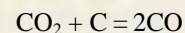


Fig. 18 - Dati di resistenza a flessione su ghise di pari composizione (CE) fuse al cubilotto e al forno elettrico ad arco.

sere desolforata, perché il tenore di solfo delle ghise provenienti dalle più importanti fonti di rifornimento è quasi sempre minimo, tollerabile per quasi tutti gli impieghi.

4. - MINIMO CONTENUTO DI GAS NELLA GHISA.

È noto che la ghisa rifusa con i vari mezzi fusori può assorbire grande quantità di gas, la solubilità dei quali aumenta con l'aumentare della temperatura e della pressione. Anche le ghise in pani originarie dell'alto forno contengono già normalmente notevoli quantità di gas, assorbiti sia durante la produzione che, eventualmente, durante l'immagazzinamento. Si ritiene perciò interessante accennare brevemente quale possa essere l'influenza di tali gas, secondo le più recenti ricerche, sulla struttura, e, conseguentemente, sulle caratteristiche fisiche e meccaniche della ghisa. Viene tralasciato di trattare dell'influenza dell'ossigeno e dei relativi ossidi sulla ghisa, poiché tale argomento è già stato trattato precedentemente.

L'idrogeno ha un sensibile effetto stabilizzante sui carburi (8) (9). L'azoto, invece, secondo Timmons e Crosby (10) ha l'effetto di aumentare notevolmente la quantità di ferrite nella ghisa. Tale proprietà dell'azoto è stata rilevata anche dal Riley (11).

Nel cubilotto, i gas possono essere assorbiti, anche in quantità notevoli, perché portati a contatto

— *idrogeno*, in notevole quantità, proveniente dall'umidità dell'aria soffiata;

— *azoto*, in percentuale elevata, portato principalmente dall'aria soffiata;

— *metano*, del quale è difficile stabilire l'esatta provenienza.

La ghisa fusa al forno elettrico, già per il fatto che la fusione e l'affinazione possono effettuarsi senza l'intervento dell'aria e di combustibili generatori di gas diversi, è indubbiamente meno soggetta a tali inquinamenti e contiene perciò meno gas di quella fusa al cubilotto.

5. - CARATTERISTICHE MECCANICHE PIÙ ELEVATE.

Già nel nostro studio precedentemente citato (1) si era fatto rilevare che le caratteristiche meccaniche della ghisa elettrica, a parità di composizione, erano superiori a quelle della ghisa di cubilotto. Ora, dopo ulteriore periodo di lavoro e di messa a punto, soprattutto, del procedimento di deossidazione, sono stati raggiunti risultati ancora nettamente migliori.

Nella fig. 17, sono stati riportati i risultati di una serie di valori di resistenza a trazione rilevati su provette fuse rispettivamente con ghisa del cubilotto e con ghisa del forno elettrico, di pari composizione. Dai valori rispecchiati risulta che la ghisa elettrica è dotata di resistenza a trazione superiore di 4,1 Kg/mm², pari al 16,7 %, rispetto alla ghisa

Tipo di forno	Resistenza		Scarto rispetto alla media		Scarto % rispetto alla media	
	a	media kg/mm ²	massimo kg/mm ²	minimo kg/mm ²	massimo	minimo
Cubilotto	trazione	24,5	+ 3	— 3,4	+ 12,5	— 13,9
Forno elettrico	trazione	28,6	+ 1	— 0,9	+ 3,5	— 3,12
Cubilotto	flessione	57,5	+ 13,5	— 10	+ 23,5	— 17,4
Forno elettrico	flessione	66,5	+ 5,5	— 5	+ 8,15	— 7,4

del cubilotto. Anche per quanto riguarda la resistenza a flessione (fig. 18) la ghisa elettrica presenta valori medi maggiori di 9 Kg/mm², pari al 15,7 %.

Dalle due figure risulta, inoltre, la regolarità delle caratteristiche meccaniche della ghisa elettrica, poiché i limiti minimi e massimi, rispetto alla media, entro i quali oscillano i valori delle resistenze, risultano come da tabella in testa di pagina.

6. - MAGGIORE FLUIDITÀ DELLA GHISA LIQUIDA.

Si è già accennato come il tenore in ossidi e in solfo influenzino in senso negativo la fluidità della ghisa. Quale evidente conseguenza della deossidazione ed eventualmente della desolfurazione o, comunque, del tenore minimo in solfo, ottenibili con l'impiego del forno elettrico, si riscontra nella ghisa un elevato valore di fluidità e di colabilità nei getti. Nelle numerose prove comparative condotte in confronto con ghisa del cubilotto, si è riscontrato che, nell'intervallo di temperatura utile per la colata dei getti, la colabilità della ghisa elettrica corrisponde a quella di cubilotto per valori di temperatura inferiori di circa 50° C.

Vantaggi pratici e funzionali

1. - POSSIBILITÀ DI UTILIZZARE DIRETTAMENTE NELLA CARICA LE TORNITURE DI GHISA E IL MATERIALE DI PEZZATURA VARIA, NON RIGOROSAMENTE SELEZIONATO, NEI RIGUARDI DELLA COMPOSIZIONE, FATTA ECCEZIONE PER LE IMPURITÀ NOCIVE.

Per fonderie connesse con officine per la lavorazione meccanica dei getti, si presenta, molto spesso, il problema della utilizzazione conveniente di grandi quantità di tornitura di ghisa. Talvolta si tratta di recuperare materiale pregiato per gli elementi contenuti in lega. Con l'impiego del forno elettrico le torniture possono essere introdotte nella carica in percentuali molto elevate, senza alcun inconveniente per il prodotto finale. Né devono destare preoccupazione le impurità eterogenee non metalliche, quali, ad esempio, olio, stracci, terra, ecc., generalmente contenute nella tornitura, perché esse vengono generalmente eliminate nel processo di fusione e di scorificazione.

Altro vantaggio che non può essere trascurato, è quello di potere utilizzare per le cariche pani o rottami in pezzatura di notevoli dimensioni. Tali materiali richiederebbero invece dispendioso lavoro per essere ridotti in frammenti qualora fossero destinati al cubilotto.

Data la facilità della messa a punto della composizione, col forno elettrico è anche possibile l'utilizzazione di materiale (pani e rottami) aventi composizione varia. Ove possano essere esclusi con sicurezza gli elementi nocivi alle caratteristiche richieste, risulta consentito l'impiego di tipi di cariche aventi costo nettamente inferiore, nei confronti delle cariche analoghe richieste al cubilotto.

2. - GRANDE ELASTICITÀ DI EROGAZIONE PER COLATE CONTINUE, SPECIE IN SISTEMI FUSORI COMBINATI, QUALE, AD ESEMPIO, IL SISTEMA « TRIPLEX » ADOTTATO DALLA FIAT.

La Fiat ha assicurato il rifornimento continuo di ghisa alle linee di colata, mediante un complesso di forni elettrici che (fig. 19), all'atto pratico, si è dimostrato idoneo a soddisfare pienamente le esigenze della fonderia. Con tale sistema, le cariche, composte solo di pani, rottami e torniture, con esclusione dell'aliquota di acciaio e dei correttivi, vengono fuse in forni da 15-16 tonnellate. In essi, la ghisa viene solamente portata allo stato liquido e sottoposta a un sommario trattamento mediante calce e carbone, con scorificazione che permette di ottenere un primo stadio di deossidazione e l'asportazione di sostanze non metalliche eventualmente contenute nella carica. La ghisa viene quindi trasferita in altri forni analoghi ad arco diretto, da 8 Tonn., muniti di rivestimento acido, mediante secchie di uguale capacità. In questi forni, idonei a ricevere soltanto cariche liquide, viene effettuata l'aggiunta dei correttivi; poi, completata la deossidazione per opera di elementi adatti, costituenti la scoria affinate, viene effettuato il surriscaldamento del bagno. Mediante canali, che mettono in comunicazione diretta i forni di affinazione con quelli di attesa, la ghisa viene trasferita in questi ultimi, cioè nei forni speciali a induzione, a bassa frequenza. Da tali forni la ghisa viene regolarmente prelevata per la distribuzione alle linee di colata dei getti. Tale sistema ha le seguenti prerogative:

- offre la possibilità di utilizzare al massimo i forni fusori e di affinazione, evitandone le attese passive;
- garantisce la massima omogeneità di composizione della ghisa;
- permette l'efficace controllo della deossidazione e della composizione del bagno;
- consente opportuna elasticità di erogazione alle linee di colata, per la notevole riserva di ghisa contenuta nei forni di attesa.

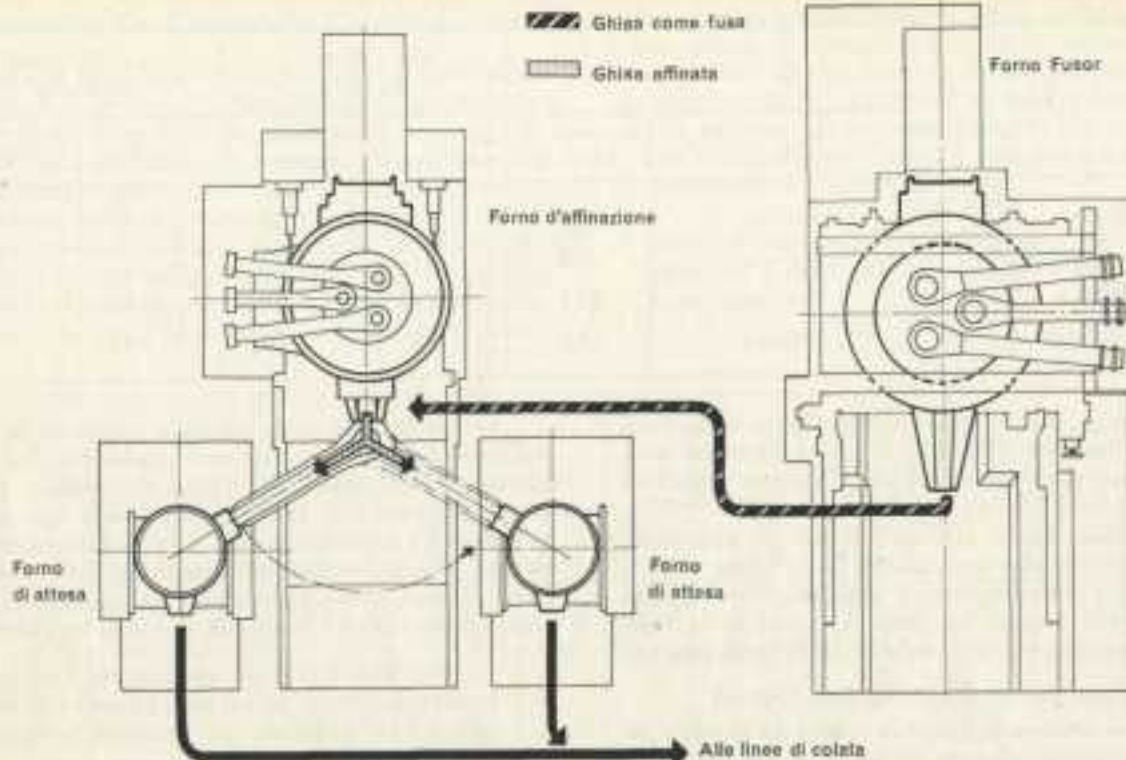


Fig. 19 - Schema del sistema « triplex » adottato dalle Fonderie Fiat Mirafiori per la fusione, l'affinazione e l'attesa della ghisa.

Vantaggi di ordine economico

Il minor costo della ghisa elettrica, nel confronto con quella prodotta al cubilotto, è dovuto essenzialmente al minor costo del materiale utilizzabile nella carica. A prescindere dalla possibilità di trasformare rottame o torniture di acciaio di basso costo, procedendo alla carburazione e all'aggiunta degli altri elementi richiesti mediante determinate operazioni e norme, sussiste la grande risorsa dell'assorbimento delle torniture di ghisa disponibili normalmente dalle officine per la lavorazione meccanica dei getti in misura mediamente corrispondente al 15 % in peso dei getti stessi.

Le torniture di ghisa hanno valore commerciale che normalmente non giunge al 25 % del valore della ghisa in pani e perciò l'utilizzazione delle medesime, anche nella sola quantità corrispondente ai getti prodotti, da parte di una fonderia, induce evidentemente riduzione assai sensibile nel costo della carica.

Anche le razionali e favorevoli condizioni di condotta dei forni elettrici costituiscono, come detto, elemento basilare per limitare al minimo il costo della ghisa colata. La conveniente e appropriata scelta dei materiali refrattari e degli elettrodi, il buon isolamento termico, la migliore regolazione elettrica, e, soprattutto, la rapida successione delle operazioni di fusione e di affinazione della ghisa, con tempi minimi e assenza di inutili soste, consentono, ai forni elettrici, consumo ridotto anche di energia. Tale consumo, in un sistema « triplex » quale è quello adottato dallo Stabilimento Fonderie della Fiat - Mirafiori, può essere mantenuto a circa 0,8 Kwh per chilogrammo di materiale colato, o anche al disotto di tale valore, in relazione al ritmo più o meno intenso di produzione.

Perciò anche il costo di fusione della ghisa, tenuto conto di tutti gli elementi che lo compongono, risulta per noi inferiore a quello relativo all'impiego del cubilotto.

Mario Barbero

BIBLIOGRAFIA

- (1) BARBERO M. • FORTINO D., *Il forno elettrico nella fonderia di ghisa* (Memoria presentata al 2° Convegno di Fonderia ASSOFOND) - Ottobre 1952.
- (2) FREAR C. L., *Direct-arc acid lined furnace for gray iron* - Trans. A.F.A. 1933.
- (3) DI GIULIO A. - WHITE A. E., *Factors affecting the structure and properties of gray cast iron* - Trans. A.F.A. 1936.
- (4) PIWOWARSKY E., *Hochwertiges Gusseisen (Grauguss)* - Springer Verlag, Berlin, 1951.
- (5) MOLDENKE R., *Principles of Iron Founding* - Mc Craw Hill, New York (1930).
- (6) VENNERHOLM G. - BOCART N., *Effect of slag-types on heart treatment of malleable iron* - Trans. A.F.S., volume 57, 1949.
- (7) LOSANA L., *Lezioni di metallurgia* - Lib. tecnica, ed. V. Giorgio, 1945.
- (8) BOYLES A., *The structure of cast iron* - American Society of metals, 1946.
- (9) SCHNEBLE A. W. - CHIPMAN J., *Factors involved in superheating gray cast iron and their effects on its structure and properties* - Transactions American Foundrymen's Association, voi. 52, 1944.
- (10) TIMMONS G. A. - CROSBY V. A., *Effect of pouring temperature on the strength and microstructure of gray cast iron* - Transactions American Foundrymen's Association, vol. 49, Dicembre 1941.
- (11) RILEY R. V., *Factors affecting the solubility of carbon in iron* - Foundry Trade Journal, n. 1829 del 20 Settembre 1951, n. 1830 del 27 Settembre 1951.
- (12) SOMIGLI G., *Il gas nella ghisa* - L'Industria Meccanica, Gennaio 1941.