

I FORNI ELETTRICI NELLA INDUSTRIA METALLURGICA

Comunicazione del Socio Ing. E. Thovez, detta il 17 Aprile 1916

In questi tempi di terribili lotte fra popoli, ciascun paese è spinto a cercare di utilizzare nel miglior modo le risorse naturali che possiede, allo scopo di rendersi indipendente per quanto è possibile, dagli altri.

Non occorrono parole per ricordare la grave crisi che il nostro paese attraversa per la deficienza di carbone, e la grandissima necessità che noi abbiamo di ricercare quali siano i mezzi che la natura ci ha posto a disposizione per sopprimerli, proprio in questi frangenti nei quali la industria metallurgica è chiamata a fare il più grande sforzo per la difesa nazionale.

Tutti i mezzi che possono essere adottati per economizzare il carbone sono quindi sommamente utili, e fra di essi ritengo che pochi possano apportare così grandi vantaggi quanto la diffusione di quegli interessantissimi apparecchi che sono i forni elettrici per la fusione dei metalli e specialmente del ferro e dei suoi derivati.

Per nostra grande fortuna abbiamo oramai abbastanza dati sperimentali di carattere industrialmente pratico per esser certi che questi nuovi mezzi di lavoro, i quali permettono di utilizzare grandi quantità di energia ricavabili dalle nostre cadute d'acqua, se offrono vantaggi grandissimi in questi tempi in cui tutti i prezzi sono così favolosamente cresciuti, saranno pur sempre vantaggiosi anche nel caso che il prezzo dei carboni ritorni ai valori che si avevano prima della guerra; quindi gli impianti fatti ora troveranno piena ragione economica di esistere anche al ritorno delle condizioni normali.

La questione della applicazione dei forni elettrici alle operazioni metallurgiche ha destato negli ultimi venti anni un interessamento grandissimo sia negli uomini di scienza, sia negli industriali. Si fecero esperimenti svariatisimi ed anche costosissimi. I brevetti di invenzioni sommano a migliaia. Oramai esiste in proposito una letteratura copiosa, ricca di dati sperimentali, di studi teorici, di polemiche accanite e finalmente di risultati industriali e di conclusioni obbiettive ed attendibili.

Rimando quindi i miei cortesi uditori a questa ricca collezione di libri per una più estesa cognizione della questione, e fra gli altri al libro del Collega Ing. Bonini che ha riassunto con molta diligenza il ponderoso argomento.

Riservandomi di comunicare ai Colleghi della Associazione Elettrotecnica qualche notizia di carattere più speciale sulle ultime novità introdotte nei forni ad arco voltaico, mi limiterò in questa modesta comunicazione a riassumere alcune notizie generiche sui vari tipi di forni, sulle operazioni che essi permettono di fare nel campo metallurgico, con speciale riguardo a quelle applicazioni che maggiormente possono tornare utili al nostro paese, sia nelle attuali condizioni straordinarie, sia al ritorno, speriamo non lontano, delle condizioni normali.

Prima di passare nel vivo della questione, ritengo utile, a dimostrare che i forni elettrici sono oramai apparecchi, già entrati veramente nell'industria, ricordare che già nel 1912 si erano prodotte nel mondo 132.000 tonnellate di acciaio elettrico. Da quell'anno le applicazioni si sono andate moltiplicando rapidamente. Si può dire che oramai non solamente i forni elettrici dei vari tipi vanno prendendo posto accanto ai grandi forni a carbone come apparecchi ausiliari, ma in molti casi, specialmente nei paesi poveri di carboni e ricchi di cadute d'acqua, essi li vanno gradatamente soppiantando.

Vari sistemi di Forni. — L'idea di utilizzare le proprietà termiche della corrente elettrica risale ai primi tempi della nuova scienza. Essenzialmente la corrente elettrica venne finora adoperata ad ottenere la fusione dei metalli in due modi. Il primo consiste nella semplice applicazione dell'effetto Joule, e cioè facendo attraversare da una intensa corrente elettrica, il corpo da mantenere in fusione. Quando questa corrente è prodotta da generatori ad una tensione pari a quella con cui viene immessa nel forno, si hanno i *forni* cosiddetti *a resistenza* come quelli del Gin (fig. 1) e dell'Acheson (fig. 2). In altri casi, per non dover addurre al forno correnti di migliaia di Ampère si pensò di portare al forno la corrente ad una tensione elevata, quale proviene dalla linea, e poi di trasformarla nel forno stesso a bassa tensione e conseguentemente a grande intensità, valendosi della induzione ottenibile colle correnti alternate. Questi forni si chiamano appunto perciò *forni ad induzione*, e si possono considerare come derivati dal tipo ideato e costruito dal Ferranti nel 1887.

Per avere una idea sommaria di questo sistema basta ricordare che se in un ordinario trasformatore di corrente alternata si chiude la spirale a bassa tensione in corto circuito su sè stessa, tutta l'energia che la linea adduce al trasformatore si trasforma nell'apparecchio stesso in calore, il quale prende sede

quasi per intero nella spirale stessa. Supponiamo ora che questa spirale sia di una sola spira e sia formata dal metallo liquido contenuto in un cunicolo di materiale refrattario ed avremo così un forno ad induzione.

La corrente serve a mantenere il metallo in fusione, riscaldandolo ancora maggiormente.

Su questo principio sono basati i forni Kjelling (fig. 3), Roechling-Rodenhäusen (fig. 4), Yorth e simili.

Questi forni sono dunque formati dal connubio di un trasformatore elettrico concatenato con un forno di fusione.

Vi è poi tutta un'altra categoria ben distinta dalla precedente e nella quale si ottiene il riscaldamento del metallo da fondere utilizzando la elevatissima temperatura dell'arco voltaico, ed appunto perciò viene designata colla classifica di *forni ad arco*.

Questi forni oramai diffusi nella industria sono paragonabili a colossali lampade ad arco. Infatti in essi brillano potentissimi archi voltaici di migliaia e spesso decine di migliaia di Ampère, passanti sia da un elettrodo di carbone all'altro, come nelle lampade, sia fra carbone e metallo. Questi archi brillano nella camera di fusione del forno. La camera è di materiale fortemente refrattario, nel cui bacino giace il metallo. Una vòlta copre la camera e racchiude gli archi.

Quando gli archi brillano fra i due elettrodi, si dice che il riscaldamento del bagno è indiretto; quando invece l'arco scocca fra gli elettrodi ed il bagno, si dice che il riscaldamento è diretto.

Generalmente si ritiene che il primo forno elettrico ad arco sovrastante al bagno (tipo indiretto) sia quello proposto dal Siemens (fig. 5) nel 1878 ed esposto a Parigi nel 1881; per quanto il Pichon circa venticinque anni prima avesse presentato un tipo con archi brillanti entro un crogiuolo fra coppie di elettrodi posti sopra il bagno.

Si può dire che dal citato tipo del Siemens siano derivati quelli brevettati dallo Stassano (fig. 6 e 7) nel 1898 ed i seguenti, quello del Bassanese (fig. 8 e 9), quello del Rennerfelt (fig. 10) e simili.

Il Siemens stesso aveva poi fin dal 1879 brevettato un tipo ad azione diretta nel quale l'arco si produceva entro un crogiuolo fra un elettrodo attraversante il coperchio del crogiuolo ed un elettrodo sorgente dal fondo del bacino contenente il metallo. Quando il metallo, era fuso, l'arco scoccava fra l'elettrodo superiore ed il bagno metallico (fig. 11)

Il bagno era così inserito sulla corrente e faceva funzione di un elettrodo. Da questo tipo si può ritenere derivato il forno del Girod (fig. 12) che è ora uno

dei più diffusi, ed in certo modo quello Chaplet di Allevard. Il Girod ha uno o più elettrodi annegati nella suola che all'alta temperatura di lavoro diventa conduttrice.

Invece nel tipo Héroult (fig. 13), vi sono due, o tre, elettrodi verticali passanti attraverso fori praticati nella vòlta del forno, i quali vengono quasi a toccare il pelo del bagno contro il quale scoccano gli archi. La corrente attraversa il bagno che riscalda per l'effetto Joule e per effetto degli archi in serie.

Vi sono tipi monofasi e tipi trifasi. In Italia la Fabbrica dei tubi Mannesmann, a Dalmine, presso Bergamo, produce per mezzo di forni Héroult, tutto l'acciaio che riduce in tubi.

Simili al tipo Héroult sono quelli di Harmet, Keller, Gronwall.

In Germania venne pure adottato in un'officina il tipo Natusius (fig. 14) nel quale vi sono tre elettrodi attraversanti la volta e tre altri annegati nella suola, alimentati con corrente trifase regolata con speciali trasformatori. La complicazione del sistema non appare giustificata da vantaggi che vi corrispondano.

Il forno del Bassanese (fig. 8 - 9), antico collaboratore dello Stassano, è un forno a camera rettangolare nella quale penetrano dai fianchi una o più coppie di elettrodi, analogamente a quanto aveva già praticato lo Stassano, ma con una ingegnosa disposizione destinata a inclinare a volontà più o meno gli elettrodi in modo da far variare l'altezza dell'arco rispetto al bagno. Questo forno di costruzione semplicissima e di facile regolazione ebbe già molte applicazioni in Italia nelle officine FIAT, Necchi, Terni, Moto-aratrice, Monteponi, Filut, Officine Savigliano, Metallurgica Cuneese, Società proiettili, ecc. ed altre ne sta per avere fra poco. 21 forni di questo tipo sono in esercizio e 9 sono in costruzione. Esso permette di fare il riscaldamento parte col sistema diretto e parte con quello indiretto ed adopera tensioni assai più elevate che negli altri tipi.

Una serie di forni venne costruita per sostituire col riscaldamento elettrico l'alto forno a carbone ed in essi si applicò generalmente il tipo diretto. Tuttavia essi hanno una grande analogia col fornello da 100 KW, costruito dallo Stassano, e può essere interessante per la storia il mettere a confronto questi grandi forni svedesi (fig. 15) da 3000 KW, con quel piccolo fornello (fig. 6), dal quale evidentemente derivano. Il passaggio però dal primo campione alle attuali costruzioni svedesi richiese quasi venti anni di lavoro e parecchi milioni di spesa.

Passati in sommaria rassegna i principalissimi tipi entrati nella pratica, sarebbe opportuno procedere almeno per sommi capi ad un esame critico dei vari sistemi e delle loro applicazioni. La questione è delle più ardue, dovendosi tener conto di un grande numero di elementi come: il tipo e la qualità del prodotto, il costo dell'impianto, il costo dell'esercizio, il rendimento termico, la du-

rata del rivestimento, quella degli elettrodi, il consumo di energia, il fattore di potenza, la frequenza, il tipo di corrente, la facilità di condotta, la garanzia di un servizio ininterrotto ecc. Difficile riesce poi avere dati veramente attendibili, trattandosi di apparecchi ancora in parte protetti da brevetti che ciascun inventore o concessionario difende con accanimento, vantandone la superiorità sui tipi concorrenti.

Dalle statistiche però emerge anzitutto il fatto che fra le due grandi classi sopra accennate, i forni ad arco vanno prendendo un forte sopravvento sui tipi ad induzione. Nel 1912, vi erano in esercizio nel mondo 108 forni ad arco e 26 ad induzione, ed in costruzione 30 ad arco e 9 ad induzione.

Una dimostrazione convincente della preferenza che i forni ad arco vanno ora godendo sui tipi ad induzione e, fra i forni ad arco, i tipi chiusi su quelli più o meno aperti, è data dal fatto che la Casa Siemens-Schuckert, la quale, resasi concessionaria dei brevetti Roehling-Rodenhauser per forni ad induzione, aveva fatto la più attiva propaganda vantandone la superiorità, acquistò poi quelli del Girod facendo ad essi una grande réclame, ma due anni sono, poco prima dello scoppio della guerra europea, pubblicò nei suoi annunci disegni e réclame di un tipo Monkemoeller ad arco chiuso, trifase, di forma rotonda, che non è altro che un forno Stassano reso semplicemente oscillante. Devesi notare che il Monkemoller era il concessionario dei brevetti Stassano per la Germania ed aveva nella sua Officina od in una vicina Forni Stassano del tipo girevole.

Questa conversione della grande casa tedesca dal tipo ad induzione al tipo ad arco diretto, e da questo al tipo indiretto chiuso, è una prova innegabile della superiorità di questo ultimo sistema.

Esaminerò rapidamente le caratteristiche dei vari tipi e il loro modo di funzionare per poter venire, a qualche criterio sulla scelta dei vari sistemi basata sulle loro particolari proprietà.

Forni a resistenza. — Essi non hanno avuto quasi attiro seguito nell'industria che nel caso dell'Acheson per la fabbricazione di pezzi in grafite, carburundum e simili. Nel trattamento dei metalli furono si può dire sopraffatti dai tipi ad induzione nei quali si può condurre la corrente al forno con minori intensità.

Forni ad induzione. — Essi hanno in generale un fattore di potenza assai basso (da 0,40 a 0,60), richiedono generatori a bassa frequenza appositi (5 a 25 p/s.), e non possono essere allacciati alle reti di distribuzione esistenti. Non è possibile iniziare l'operazione con carica fredda di rottami, mancando la continuità

della sezione nel metallo in cui deve svilupparsi la corrente di corto circuito. Ma il difetto più notevole sta nel fatto che, siccome in questi forni, la sorgente di calore risiede nel metallo stesso, questo è sempre l'oggetto più caldo di ogni altro nel forno, e specialmente esso è a temperatura più elevata delle scorie che galleggiano sulla sua superficie. Ora le scorie sono meno fusibili del metallo e siccome le reazioni chimiche necessarie per la depurazione del metallo avvengono fra metallo e scorie, ed avvengono tanto più facilmente quanto più alta è la temperatura e quanto più esse sono fluide, bisogna ricorrere in questi forni a qualche artificio per renderle più fluide e generalmente si è costretti ad aggiungere loro del Fluoruro di Calcio; ma se si raggiunge con ciò lo scopo di renderle più fusibili, si ha d'altra parte il grave inconveniente che il fluoruro intacca fortemente il rivestimento basico e ne accorcia la durata. Notisi poi che nonostante l'espedito ora descritto, non potendo raggiungere ancora in questi forni le alte temperature dei forni ad arco, i costruttori aggiunsero degli elettrodi nascosti nei fianchi del bacino in modo da far percorrere il metallo da una corrente come in un forno a semplice resistenza: tuttavia non è possibile raggiungere la elevata temperatura dei forni ad arco, pur avendo ancora il difetto di brevi durate di rivestimento che in certi casi sono di appena otto giorni.

Se si aggiunge che le reazioni di depurazione sono più lente, si comprende come malgrado gli sforzi di ingegno degli inventori, questi forni vadano restringendosi in un campo assai limitato. In Germania vennero specialmente applicati come forni ausiliari dei forni Martin e Bessemer per affinare la carica liquida da questi preparata. In Italia, a quanto so, venne impiantato un solo forno ad induzione, il quale non diede risultati troppo felici e non ebbe altro seguito.

Notisi poi ancora che una caratteristica importante per un qualunque tipo di forno, è la sua robustezza; ora, questi forni sono un connubio, di una camera di fusione, nella quale si cerca di ottenere le più alte temperature possibili, e di un trasformatore elettrico, apparecchio delicato, contenente isolanti facili ad essere deteriorati anche a più modeste temperature. Si cercò di proteggere questa parte delicata con ventilazioni ed altri mezzi, ma è facile capire come la delicatezza di questi tipi sia un vizio organico quasi insanabile.

Forni ad arco. — Per meglio illustrare le qualità superiori dei forni ad arco ricorderò che questi forni, stati dapprima adoperati industrialmente per la produzione del carburo di calcio, vennero poi proposti per la riduzione dei minerali, ufficio nel quale diedero eccellenti risultati, e migliori ancora promettono di dare in avvenire; ma nello sperimentarli pel detto scopo, dimostrarono di

possedere altresì qualità che li resero preziosi per le operazioni di fusione e di affinazione o depurazione dei metalli, ma specialmente del ferro e degli acciai.

Il poter lavorare, infatti, l'acciaio in una camera di fusione ad altissima temperatura ed in ambiente neutro, offre vantaggi che i forni a combustione non presentano che raramente. Le operazioni di ossidazione, di riduzione ecc., si possono fare meglio, tecnicamente ed economicamente. Si riesce ora coi forni elettrici ad eliminare quanto si voglia quegli elementi deleteri per le qualità meccaniche dell'acciaio, che sono il fosforo, lo zolfo, le scorie, gli ossidi; i gas ecc. L'ambiente neutro della camera permette di fondervi senza ossidazione metalli facilmente ossidabili come il Silicio, il Cromo, il Tungsteno ecc.

Applicazioni dei forni. — Per meglio giudicare delle qualità dei vari tipi conviene che passiamo in rivista le varie operazioni che in essi si compiono.

La più semplice è la fusione. Il forno elettrico è in sostanza un grande crogiuolo che invece di essere riscaldato all'esterno dalle fiamme di un forno a combustione, contiene nell'interno stesso la sorgente calorifica. Si spiega con ciò come esso abbia tutte le buone qualità del crogiuolo, raggiungendo un rendimento termico enormemente più elevato. Dirò, tanto per dare una dimostrazione sommaria di questa affermazione, che il rendimento di uno dei migliori tipi di grandi forni a crogiuoli, contenente 24 crogiuoli da 35 kg. è di appena il 5 %, mentre un buon forno elettrico ad arco può avere un rendimento elettrotermico del 60 all'80 %. Si vede quindi come anche nei paesi in cui il carbone costa appena L. 12 per tonnellata e l'energia costa L. 0,03 per KWh, il forno elettrico vada soppiantando il crogiuolo. A tanto maggior ragione la cosa si verificherà nei nostri paesi poveri di carbone.

L'elevata temperatura del forno ad arco permette di fondervi anche i metalli meno fusibili ed ottenere quindi leghe composte, come gli acciai rapidi, con grande facilità.

Riduzione di minerali. — Lo Stassano ha il merito di aver proposto ed attuato la riduzione dei nostri minerali utilizzando le nostre forze idrauliche. Questa applicazione non ebbe ancora da noi quello sviluppo che dobbiamo augurarci per lo sfruttamento dei nostri ottimi minerali. Invece nella Scandinavia ebbe realizzazioni grandiose. Nel 1913 vi erano già 20 alti forni elettrici di potenze da 1500 a 6000 KW per un complesso di 45.000 KW (70.000 HP).

Essi producono ghise ottime come quelle al carbone di legna ed a minor prezzo. Devesi ricordare poi che se in essi viene adoperata la energia elettrica

in sostituzione di quella parte di carbone che serve negli alti forni ordinari a scopo di riscaldamento (300 Kg/t), bisogna però ancora aggiungere il carbone per la riduzione (250 Kg. per tonn.). Finora venne a questo scopo adoperato carbone di legna con buon risultato. Il coke invece si dimostrò poco adatto.

Finora questi forni produssero ghise. Ritengo però non lontano il giorno in cui si potrà ritornare alla proposta dello Stassano di ridurre direttamente il minerale in acciaio. L'operazione venne fatta più volte e non posso trattenermi dal ricordare la meraviglia dimostrata da due ingegneri inglesi quando in loro presenza riducemmo del minerale, spedito all'uopo dalla Nuova Zelanda, in ottimo acciaio fino, col quale fu possibile di fare senz'altro dei buoni coltelli. Questa meravigliosa riduzione, che non è in fondo che un ritorno, fatto con mezzi modernissimi, alla pratica preistorica, potrà essere realizzata industrialmente con poche varianti ai forni attuali. Esperimenti recenti fatti in America con forni Héroult hanno dimostrato come la spesa di energia per ridurre direttamente il minerale *in acciaio* sia di ben poco superiore a quella che occorre per ridurlo in ghisa (circa 2500 KWh per tonn.) ed io sono di parere che da un ottimo minerale come quello di Cogne converrebbe assai meglio ricavare direttamente con forni elettrici dell'acciaio fino, anzicchè della ghisa o del ferro omogeneo.

Dato però che anche il forno elettrico richiede, come si disse, per la riduzione, una certa quantità di carbone (preferibilmente carbone di legna) (circa 250 Kg/tonn.) si potrebbe domandare se non si possa ricorrere a qualche altro agente di riduzione in quei paesi in cui difetta il carbone, come da noi o nel Brasile o nel Canada. In questi casi mi pare che si potrebbe pensare ad uno speciale trattamento del minerale fondendolo dapprima coll'arco elettrico e riducendolo con una specie di Bessemeraggio fatto con idrogeno od altro gas. L'idrogeno potrebbe essere ricavato per via elettrolitica anche come sottoprodotto di altre industrie dalle quali si ha gratis. La riduzione degli ossidi di ferro con idrogeno ed idrocarburi venne già trattata dal Ruthenburg. Forse in modo analogo potrebbero essere trattate le ceneri di pirite le quali contengono fino al 60% di ferro e rimangono finora o inutilizzate o trattate come materiale scadente nell'alto forno, in causa dello zolfo che ancora contengono. Si potrebbe tentare di abbruciare questo residuo di zolfo che le rende così deprezzate facendo precedere al Bessemeraggio riducente una insufflazione di ossigeno. Al problema della riduzione coi forni elettrici delle ceneri di pirite ha dedicato lunghi studi teorici e sperimentali l'ing. Carcano al quale è da augurare felice esito di tanto tenace lavoro.

Fusione ed affinazione. — I metodi coi quali veniva fabbricato l'acciaio prima della introduzione dei forni elettrici, e che sono ancora largamente adoperati, sono essenzialmente tre:

— I forni a crogiuoli per gli acciai fini da utensili e per getti sottili e resistenti.

— I convertitori Bessemer e derivati, soffiati dal fondo o sulla superficie del bagno, e rivestiti di refrattari acidi o basici per le grandi produzioni di acciai da rotaie o sbarre di commercio, nonchè per getti.

— I forni a suola Martin con ricuperatori Siemens, i quali andarono prendendo negli ultimi anni il sopravvento sui convertitori e coi quali sia con suola acida, sia con suola basica, si possono fabbricare tutti i tipi correnti di acciaio, dal ferro omogeneo agli acciai semiduri. Gli acciai con alti tenori di carbonio riescono di più difficile fabbricazione in causa della difficoltà di impedire che le fiamme diventino ossidanti. I Martin sono ormai i forni delle grandi acciaierie ed hanno assunto capacità colossali, fino a 200 t. di carica.

Abbiamo già detto che nei forni a crogiuolo si fa della semplice fusione. Per avere acciaio fino bisogna partire da ferro od acciaio purissimo.

Nei convertitori si parte da ghisa fusa nei forni a manica. Se il rivestimento è acido, il convertitore deossida e brucia il Silicio ed il Manganese, ma non defosfora. Bisogna quindi partire da ottime ghise. Con quelli basici (Thomas) si riduce il tenore di fosforo fino a un certo limite, e quindi si può fare un discreto acciaio anche partendo da ghise mediocri.

Il convertitore produce una perdita di metallo che può raggiungere il 20 %. Esso richiede grande pratica ed attenzione nella condotta e facilmente può dare luogo ad acciaio ossidato.

A fianco di questi sistemi che già ricevettero infiniti perfezionamenti nella lunga pratica in cui resero enormi servizi, sono venuti sorgendo i forni elettrici dei vari tipi.

Siccome nel forno elettrico, come già accennammo, e come dirò meglio in seguito, è facile produrre la depurazione dell'acciaio, esso venne in molti casi messo a fianco dei Convertitori e dei Martin per completare la affinazione, versando in esso l'acciaio liquido ottenuto dal Martin o dal Bessemer per depurarne dei residui di solfo e fosforo ancora contenuti e che i detti forni a combustione non possono eliminare. In questo ufficio ausiliare i forni elettrici trovarono finora larga applicazione specialmente in Germania ed in Francia. Fu con essi possibile di produrre acciai di qualità superiore partendo da acciaio comune.

Acciaio elettrico. — Ma il forno elettrico può funzionare meglio ancora come apparecchio indipendente, specialmente ove il carbone sia caro. Infatti si può in esso trattare sia ghise, sia cariche miste di ghise e rottami come nei Martin, sia cariche di soli rottami di ferro. Dato il prezzo dell'acciaio liquido attenuto in Italia coi Martin ed i Bessemer, ritengo che, ove si possa avere energia elettrica a prezzi bassi, convenga da noi trattare direttamente i rottami, con risparmio rispetto al Martin ed al connubio del Martin col forno elettrico. Questa conclusione emerge dai dati che comunicherò in seguito.

Le operazioni nel forno elettrico. — Esaminiamo il caso normale di lavorare rottami freddi. Se questi sono di buona qualità e non si producono acciai di composizione speciale, l'operazione si riduce ad una semplice rifusione. Questo è il caso delle fonderie di getti in acciaio dolce, ed è una delle applicazioni finora più sviluppate. Il forno dà un acciaio molto omogeneo, pastoso, resistente agli urti, dotato di maggiore resistenza e maggiore allungamento di quello ottenuto coi Convertitori e coi Martin, perchè più libero da scorie, da ossidi e da gas occlusi. Il bagno portato a temperatura molto elevata si libera dei detti elementi che lo inquinano e si rende più puro. I getti possono essere fucinati e saldati (bolliti).

Più spesso i rottami contengono fosforo e solfo. Questi due elementi sono i veri veleni dell'acciaio. Il fosforo provoca una cristallizzazione a grossa grana e rende fragile il ferro a freddo. Bastano 7 decigrammi di fosforo in un Kilo di acciaio per renderlo fragile. Il solfo lo rende fragile a caldo e ne rende cattiva la fucinazione.

Si procede dapprima alla defosforazione e poscia alla desolfurazione. Bisogna ossidare il fosforo che si trova sotto forma di fosfuri, formare anidride fosforica e combinarla con calce. A questo scopo si aggiunge ossigeno al bagno caricandovi ossido di ferro, ad es. minerale. Si carica calcare (marmo o meglio calce viva) e dopo avvenuta la reazione si estrae la scoria che galleggia sul bagno. L'operazione si ripete ove occorra fino a che si sia portato il fosforo a quel minimo tenore che si vuole consentire.

Da rottami contenenti anche 0,15 % di Ph si può facilmente discendere a 0,04 che già può essere ammesso per getti buoni e poi si può, prolungando l'operazione, scendere a 0,02 ed anche a meno.

Le scorie fosfatate devono essere tolte con cura, altrimenti nella operazione di successiva carburazione il carbonio ridurrebbe il loro fosforo rimandandolo nel ferro.

Si ha così un bagno di acciaio che rimane ossidato. Bisogna deossidararlo, ed a ciò occorrono aggiunte di metalli o metalloidi più ossidabili del ferro, come il Manganese, il Silicio, l'Alluminio, il Calcio, ecc. ed anche in parte il Carbonio che si aggiunge per avere acciai duri.

La carburazione può essere fatta coll'aggiunta di buona ghisa priva di fosforo o con pezzi di carbone di legna o coke di petrolio o grafite o miscele di ferro e carbone o leghe ricche come la carburite, ecc. Il tenore può essere facilmente controllato in pochi minuti con un saggio colorimetrico.

Avuto un bagno deossidato e carburato si può procedere alla desolfurazione. Essa avviene con aggiunte di Silicio o di carborundum o di carbone e calce o meglio di carburo di calcio. I solfuri di ferro che inquinano il bagno, a contatto del Silicio o del Calcio si dissociano; il solfo forma Solfuro di calcio, il carbonio si ossida in CO ed il solfo passa così a galleggiare nelle scorie. Si scorifica e se occorre si ripete l'operazione. Si ha così un bagno depurato che si può portare al tenore voluto di carbonio o si può dotare di quegli altri elementi che si desiderano per formare tutte le svariate serie di acciai. Volendo acciai composti, si aggiungono i metalli col tenore calcolato in base alla analisi richiesta, es. Ni, Cr, Si, W, Va, Mo, ecc. Nei forni ben chiusi queste aggiunte passano integralmente nel bagno non essendovi sensibili perdite per ossidazione. Si ottiene la composizione voluta con grande esattezza.

Qualora invece si producano acciai dolci può avvenire che per effetto di umidità contenuta nella carica o per imperfetta deossidazione o per aria entrata dalla porta sopra un bagno troppo caldo, si abbia nel bagno dell'ossidulo di ferro disciolto. Il grado di solubilità di questo ingombrante elemento assai dannoso in ogni caso per la resistenza del ferro, va scemando col diminuire della temperatura, tanto che presso al punto della solidificazione avviene separazione e quest'ossido libero attacca il poco carbonio combinato col ferro e produce CO che si svolge in bolle.

Questo fenomeno notissimo ai siderurgici fu per molti anni uno scoglio insormontabile. Si dice in questi casi che l'acciaio *rimonta* perchè esso si riempie di bolle di gas, lievita e cresce come il pane. I lingotti crescono di volume formando sulla testa come un cavolfiore caratteristico, i getti riescono pieni di bollicine. Per evitare questi gravi inconvenienti basta ridurre il detto ossidulo colle citate aggiunte di Silicio, Manganese, Alluminio, Calcio, Idrogeno, ecc. Ottimi risultati ottengono gli Americani con lievi aggiunte di Vanadio, il quale conferisce al ferro una compattezza di grana eccezionale con grandi resistenze e forti allungamenti.

In via normale, conviene sempre, prima di colare l'acciaio, di prelevare

un piccolo saggio, colarlo in una minuscola lingottiera e batterlo al maglio. Se esso è ossidato si screpola sui bordi. Si può poi temperarlo e giudicare della sua durezza rompendolo ed esaminando la grana. Inoltre colandone un altro piccolo saggio in un lingottierina si osserva se nel rapprendersi esso tenda a rimontare o se tenda a succhiare abbassandosi. In questo secondo caso si è certi che è ben deossidato e si può colarlo con sicurezza.

Tutta la condotta del forno è così semplice che a produrre un tipo costante basta un personale assai modesto. L'acciaio può essere lasciato nel forno anche a lungo senza alcun pericolo che abbia a guastarsi e quindi con tutta la comodità desiderabile per fare i saggi e le correzioni volute.

Caratteri costruttivi dei vari tipi di forno. — Come già accennai, le speciali virtù dei forni elettrici rispetto a quelli a combustione risiedono nelle elevate temperature che essi possono produrre e nella possibilità di avere nella camera di fusione una atmosfera che essendo in gran parte composta di CO, di Azoto e di vapori di G e di metalli è di sua natura neutra o riducente. I Forni ad arco hanno grandi vantaggi su quelli ad induzione appunto perchè in essi viene utilizzata la fiamma dell'arco. Ricorderò che ad es. in un arco a corrente continua la temperatura delle punte degli elettrodi si avvicina ai 3900° e quella della corrente gassosa che corre fra di esse ai 4800°. La temperatura delle altre parti del forno è minore e si può ritenere che quella del bagno raggiunga i 2000°

Per acciai dolci che fondono a temperatura elevata (1800°) si riscalda di più, per acciai duri di meno (1500°). Per ghisa bastano 1100° a 1200°.

Salvo che per i trattamenti nei quali occorre una vera elettrolisi del bagno, come avviene nella estrazione dell'alluminio, siccome si tratta di utilizzare solamente le proprietà termiche della corrente, si adopera corrente alternata.

Come per qualunque apparecchio industriale conviene che il rendimento elettrotermico sia il maggiore possibile, e quindi sono migliori i forni chiusi che non lasciano uscire fiamme dalle porte o dati fuori degli elettrodi. Perciò sono da applicare con grande parsimonia i raffreddamenti ad acqua di certe parti, i quali sottraggono molto calore.

Dovendosi estrarre scorie, fare aggiunte, ecc., conviene che la camera di fusione sia accessibile in ogni parte, e siano visibili le estremità degli elettrodi per regolarli e sorvegliarli.

Ma sopra tutte sta la questione del rivestimento refrattario. Oramai nei vari tipi di forni, la parte elettrica e la meccanica hanno raggiunto forme pratiche; le questioni che ancora restano in discussione sono essenzialmente quelle che riguardano gli elettrodi ed il rivestimento.

I refrattari di allumina e di silice che nei forni a combustione resistono oramai in modo soddisfacente non reggono alle elevate temperature dei forni elettrica e specialmente di quelli ad arco.

Si dice che alcuni forni elettrici abbiano la volta in mattoni di silice; ad ogni modo in genere si adotta per tutto il rivestimento la magnesia con qualche parte in cromite o in dolomite. Questa magnesia serve anche, per la sua basicità, nelle operazioni di defosforazione.

La magnesia costa assai più della silice. E' assai più rara e di difficile lavorazione. I migliori mattoni venivano dalla Ungheria. Attualmente le ferriere in Italia si trovano in angustie per la loro mancanza. Vi sono cave di Magnesia, specialmente presso Livorno (Toscana) e si spera che fra qualche tempo anche i mattoni si possano fabbricare da noi. La cosa è di una grandissima importanza e la promessa risoluzione potrebbe apportare grandi benefici.

In mancanza di mattoni si supplisce con pigiate di magnesia, dolomite e catrame, e blocchi di carbone.

Devesi rammentare che nei forni la silice tende a gonfiare ed agglutinarsi, mentre invece la magnesia, che non soffre neppure un principio di fusione, tende a restringersi ed i giunti fra i mattoni tendono ad aprirsi verso l'interno della camera. Si potrebbe dire che la muratura dei piedritti e delle volte in magnesia si comporta come un muro a secco. Questa è la ragione della difficoltà che si incontra a costruire buoni rivestimenti di magnesia e del perchè ne sia ancora così breve la loro durata.

Bisogna, allo scopo di avere lunghe durate del rivestimento, cercare di adottare mattoni normali e di forme semplici per non doverli tagliare. Un mattone tagliato dura sempre meno di uno intatto. Le forme parallelepipedo sono fatte colle presse e la pasta è ben compressa e quindi più compatta. Sono perciò da scartare le forme di volta o di parete che richiedono mattoni sagomati o con faccie non piane, perchè di difficile fabbricazione e non pressati.

I giunti fra i mattoni debbono essere del minimo spessore e riempiti con magnesia e catrame o malta di magnesia. La volta, che è la parte meno stabile e più cementata, deve avere forme semplici e fra tutte è da preferire la volta a botte non troppo depresso e preferibilmente contenuta da un quadro alla base che permetta di sollevarla ed asportarla per riparare il bacino.

Fra i vari tipi di forno sono da preferire quelli che hanno una volta non forata per il passaggio degli elettrodi. I fori nelle volte dei forni diminuiscono grandemente la solidità della volta stessa perchè da essi si iniziano corrosioni e rotture. Inoltre i fori nella volta danno luogo ad un tiraggio d'aria aspirandola

dalla porta ed introducendo aria producono corrosioni degli elettrodi per ossidazione.

La suola del bacino è fatta di magnesia in mattoni con uno strato di magnesia pigiata o dolomite. La suola, specialmente sulla sponda del bagno, è soggetta a corrosioni e quindi bisogna poter accedere ai punti vulnerati e ripararla. I forni che hanno uno o più elettrodi annegati nella suola presentano minore solidità nella suola stessa, la quale è poi di assai più costosa e delicata costruzione.

La questione di maggior peso nella costruzione dei forni elettrici consiste nel poter fare dei rivestimenti refrattari che abbiano la maggior durata possibile. A parità di altre condizioni è perciò da preferire quel tipo di forno che darà la maggior durata di rivestimento. Vi sono grandi differenze di comportamento. Finora certi rivestimenti durano una settimana, altri un mese, altri un mese e mezzo. Se si riflette che alla messa in funzione di ogni nuovo rivestimento vi sono da fare asciugamenti e riscaldi e che il cambio di forno porta qualche inevitabile intervallo di inattività, si comprende come sia utile ridurre al minimo tali fermate. Se si pensa che anche nelle attuali condizioni non ancora ideali di funzionamento, i forni danno già quei buoni risultati che vedremo, si comprende quale grande avvenire possa esser loro riservato quando ulteriori perfezionamenti permetteranno di ottenere maggiori durate di rivestimenti. Già alcuni ingegnosi trovati permettono di avere in questo senso legittime speranze.

In complesso si può dire che i migliori tipi di forni elettrici sono quelli ad arco, di costruzione semplice e con rivestimento che più si avvicini a quello del forno Martin, potendo usufruire, della lunga esperienza che già si fece con tali ottimi forni.

Venendo alla parte elettrica, saranno preferibili quei forni che richiedono piccoli elettrodi e piccole sezioni di condutture. Sono quindi vantaggiosi i forni a tensione relativamente elevata. Essi permettono di ridurre il peso delle condutture che portano migliaia di Ampère, e permettono di adottare piccoli elettrodi. La grossezza enorme degli elettrodi in certi forni è un inconveniente non trascurabile.

Inoltre forni a tensione elevata (da 150 a 200 V) danno luogo ad una migliore utilizzazione della fiamma dell'arco.

I forni ad arco emerso hanno grandi fattori di potenza (0,90) ed andamento tranquillo e possono essere allacciati alle ordinarie reti di distribuzione.

In generale i forni sono costruiti con un bacino che può essere fatto oscillare sopra un basamento fisso. Questa disposizione permette di avere una facile

estrazione delle scorie ed una più agevole manovra di spillamento per la colata. Non ha vantaggio reale per rimescolare il bagno.

Per tutte le considerazioni esposte sono condotto a concludere che i tipi derivati dal crogiuolo Siemens, come quelli di Stassano, Rennerfelt, Bassanese, Gobbi-Angelini e simili siano superiori ai tipi Francesi e Tedeschi. Essi sono più semplici, permettono una buona chiusura, hanno piccoli elettrodi e taluni la volta intera. In Italia di tali tipi ne sono ora in funzione una trentina con ottimo esito, e parecchi altri sono in costruzione.

I forni elettrici oltre che per l'acciaio vennero applicati anche per la fusione di bronzo, rame, ottone, consumando circa un terzo di energia di quanto occorre per l'acciaio, e cioè da 250 a 300 KWh per tonn. Parimenti ottimi risultati diedero per la fusione di ghisa. Si ebbero ghise con grande compattezza e resistenza alla rottura (fino a 36 Kg/mmq.). Per la fusione di ghise si potrà adottare con speciali avvertenze rivestimenti di silice. Parimenti è possibile fabbricare ghise da rottami di ferro qualora, come ora avviene, le ghise scarseggiano.

I forni elettrici vennero pure applicati con buon esito ad altre metallurgie come quella dello zinco ed i felici risultati già ottenuti in certe prove permettono di sperare che si possa in tempi non lontani ricavare lo zinco dai minerali nostrani che finora mandavamo a lavorare in Belgio e in Germania.

Fra le applicazioni dei forni elettrici ritengo che una delle più interessanti per noi sarebbe la fabbricazione dell'ottone, partendo non già dallo zinco metallico e dal rame, ma da rame, carbone e calamina, secondo si praticava in antico coi crogiuoli, come Ing. Erminio Ferraris con geniale idea propone di adottare in questi-tempi di caro prezzo dello zinco.

Acciai fini. — Tralasciando per ora di considerare quelle altre applicazioni che certamente verranno sviluppandosi in seguito, credo possa interessare qualche notizia sulla fabbricazione degli acciai speciali.

L'esperienza ormai dimostra che, mettendo il forno elettrico nelle mani di un chimico iniziato al lavoro di ferriera ed a questa nuova tecnica, è facile ottenere coi forni elettrici tutte le qualità di acciaio esistenti sul mercato.

A chi è abituato alla classificazione degli acciai secondo il loro modo di fabbricazione, come acciaio al crogiuolo, Martin-Siemens, Bessemer, ecc., può parere esagerato che uno stesso apparecchio possa dare tante qualità diverse che non si potevano ottenere che con tipi diversi di forni. Eppure posso accertare per la esperienza fattane che con uno stesso forno fu possibile di fabbricare: ferro extradoloe come ferro di Svezia, acciaio fuso del tipo al crogiuolo, acciaio

al silicio per molle e per lamiere di trasformatori, acciaio da incroci di tram col 18 % di Mn., acciaio per getti di ogni tipo, acciaio rapido capace di tornire il detto acciaio al Manganese che non si intacca colla lima, ecc.

Quello che più importa è che in una fabbricazione regolare, il costo di questi acciai è assai minore di quello che si avrebbe con la fabbricazione a crogiuoli e coi Martin. Intanto devesi notare che rispetto ai crogiuoli, il forno elettrico oltre all'enorme risparmio di combustibile, permette anche di fare una notevole economia nell'acquisto delle materie prime. Infatti il crogiuolo non permette di fare affinazioni. Per avere acciaio buono bisogna fondervi materiale ottimo; facendo poi attenzione di non guastarlo adoperando nel forno carboni solforosi i cui gas possono portare solfo nell'acciaio. Invece col forno elettrico si possono adoperare materiali comuni depurandoli quanto basta. Certamente che più sarà fino il prodotto che si vorrà ottenere e più dovranno essere scelti i rottami da impiegare, per non rendere l'operazione eccessivamente lunga ed onerosa, tuttavia è sempre possibile di ottenere ottimo acciaio con rottami comuni. Non è più affatto necessario di avere ferro di Svezia per fare acciaio di primissimo ordine.

La fabbricazione degli acciai speciali potrebbe avere in Italia coi forni elettrici uno sviluppo assai maggiore. E' una industria abbastanza semplice che richiede solamente, oltre ai forni elettrici, dei forni di riscaldamento e delle serie di magli per la tiratura in barre.

Finora essa non ebbe sviluppo perchè le case estere cercavano in tutti i modi di ostacolarne l'impianto. Essa non presenta difficoltà speciali, salvo che una sistematica osservazione delle regole necessarie per un trattamento termico ben fatto.

Come dato fondamentale si può ricordare questo, che in Italia, quando vivevano i prezzi normali del carbone, l'acciaio al crogiuolo costava da L. 0,70 a L. 1,00 al Kg., mentre l'equivalente acciaio elettrico costava L. 0,20 al Kg.

Vi è quindi un largo campo allo sviluppo di tale industria da noi e vi è da sperare che finalmente possa assumere quella importanza che l'ingente consumo giustificerebbe.

Fonderia elettrica di getti. — L'applicazione dei forni elettrici che ha preso uno sviluppo notevole da noi è la Fonderia di getti di forma su modello.

Rammento che la fonderia di getti in acciaio è industria piuttosto giovane. Trent'anni sono si riteneva quasi impossibile produrre getti di acciaio dolce senza soffiature. L'officina di Terrenoire ne possedeva quasi un segreto. Ho già

accennato come la deossidazione del bagno abbia risolto il problema che allora pareva insolubile. Oramai, per chi conosce il mestiere, non è più difficile ottenere un buon getto bello e sano di acciaio dolce di quanto lo sia fonderlo in ghisa; ma il conoscere questa difficile tecnica ha costato fatiche, studi e denari ingenti.

Le fonderie adoperavano finora i crogiuoli, il convertitore ed il Martin. Il forno elettrico è venuto negli ultimi anni a fare a questi forni a combustione una concorrenza temibile anche nei paesi carboniferi e ciò in grazia della possibilità di avere getti più sani, più belli ed anche assai sottili.

La fondita di getti in acciaio dolce (da 0,15 a 0,30 di C.) è assai più difficile di quelli in acciaio duro, perchè l'acciaio dolce si avvicina al ferro per la sua poca fusibilità. Richiede quindi temperature elevatissime che solo il forno elettrico può produrre con facilità. Esso poi richiede terre assai più refrattarie, tende ad ossidarsi e rimontare, tende a ritirarsi fortemente e rompersi, ove non sia lasciato libero nel raffreddare. Ha poi tendenza di succhiare, lasciando caverne nell'interno che non possono essere colmate che nutrendo il getto con abbondanti matterozze. Siccome tende a rapprendersi rapidamente, deve essere colato con grande prontezza, altrimenti non riempie tutta la forma.

Ma, osservando bene le necessarie precauzioni, si ottengono getti esenti da difetti. Anzi credo che possa essere utile a chi vuole occuparsi di questo ramo della fonderia, di riassumere qui altre indicazioni le quali, se sono valevoli anche per acciaio ottenuto cogli altri tipi di forno, sono tanto più utili per la fonderia elettrica e non sono tutte molto note.

Spesso getti che appaiono sani alla superficie contengono soffiature sotto la scorza, le quali vengono in luce nella lavorazione e rendono il pezzo di scarto con grave danno. Questo difetto dipende dall'aver colato in forme umide o con anime umide. L'acciaio che penetra nella forma fa evaporare l'acqua e questo vapore passa nel getto. L'essicazione delle forme e delle anime deve esser completa, e fatta, non come praticano generalmente i fonditori, con alte temperature e poca ventilazione, ma a bassa temperatura di stufa e abbondante estrazione di aria. Bisogna evitare che un fuoco vivo dia luogo alla formazione di una crosta dura che impedisce poi l'uscita del vapore dalla massa interna. La fusione in verde, con staffe non essicate è una pratica da rigettare in ogni caso.

Altre soffiature dipendono da aria rimasta imprigionata nel metallo, non avendo trovato sfogo per uscire. Questo difetto è comunissimo e causa della maggior parte degli scarti. Per evitarlo bisogna assicurare con ogni cautela la facile uscita dell'aria al momento in cui entra il metallo. La cosa non è sempre facile e richiede per ogni pezzo uno studio diligente, ma riesce facilitata ove si

rammenti che l'aria è più leggera dell'acciaio liquido e può uscire quando si faccia arrivare l'acciaio dal basso nella forma colando come si usa dire a sorgente o a sifone; modo che deve essere adoperato come regola senza eccezione, al contrario di quanto assai spesso fanno i fonditori. Nei getti sottili, l'uscita dell'aria è spesso tanto difficile che gli artificieri a ciò necessari richiedono specialissime attenzioni; ma osservandole bene si può riuscire a colare, ad es., in acciaio dolcissimo un cilindro di motocicletta con tutte le sue alette; cosa che molti ritengono impossibile. Anche le anime devono avere i loro sfoghi per l'aria.

Bisogna ricordare che la terra per le forme da acciaio è quasi pura silice con poco ossido di ferro, è magrissima e non ha corpo; per ottenere la forma bisogna comprimerla a pressioni assai forti (da 6 a 10 Kg/cmq.) più che doppie di quanto occorra per la ghisa, e quindi la terra non ha per nulla la porosità che si ha nelle forme da ghisa, porosità che facilita l'uscita dell'aria.

Altro difetto spesso è dato dalla scoria che viene trascinata nel getto. Conviene colare colla caldaia a tampone e lasciare sulla colata della forma qualche piccolo gorgo in cui si formi un vortice per raccogliere la scoria. Inoltre, data la tendenza della scoria e delle altre impurità a galleggiare sul metallo, conviene di non mettere le superfici piane superiori del getto in posizione orizzontale, ma inclinarle in modo che le scorie vengano portate su verso il montante di sfogo.

Per colare tubi o simili cilindri cavi conviene che il metallo arrivi tangenzialmente e non radialmente, affinché non rompa la terra e si metta in moto di rotazione attorno all'anima, mantenendo sempre caldo e liquido il getto onde impedire soluzioni di continuità e portare su le scorie. Bisogna fare attenzione nel colare di non produrre spruzzi che danno luogo alle *gocce fredde* nel getto.

In molte fonderie è rimasta in vigore la pratica di colare con piccole secchie (*poches*), travasandovi l'acciaio prelevato dalla caldaia grande. Questa pratica è fastidiosa, pericolosa, richiede molto personale e acciaio caldissimo. Essa può essere evitata colando sempre colla caldaia a tampone e riunendo sempre le staffe in pile, ma non in pile verticali (*torchi*) come molti usano. In queste pile, verticali l'aria non esce bene e fa mancare i getti. Bisogna mettere le pile coricate orizzontalmente o meglio un poco inclinate, e colare con una sola colata dal di sotto con tante sorgenti quante sono le staffe, praticando ampi montanti ad ogni staffa. Con questo sistema fu possibile di colare senza scarti grandi serie di pezzi che non si riusciva a fare in nessun altro modo.

Devesi ricordare che l'acciaio dolce presenta fenomeni di ritiro marcatisimo e specialmente una tendenza a cristallizzare nel senso in cui esce il calore dal pezzo. Questo fatto dà luogo alla tendenza a formare delle fessure in tutti

gli angoli rientranti, difetto noiosissimo, che si evita adottando una pratica usata in certe fonderie tedesche ed appena ora iniziata fra noi e che consiste nel collocare nella forma in terra delle *conchiglie* o meglio dei *raffreddatori*, formati da pezzetti di ferro di forma adatta alla superficie del pezzo, contro i quali il metallo subito si rapprende in modo che quello che viene a raffreddarsi dopo non presenta più ritiri nè fessure. Questo sistema diede pure buoni risultati nelle fusioni di bronzo ed alluminio.

Un fatto di grande importanza è che l'acciaio elettrico può essere colato in getti sottili quali finora non si potevano avere che in ghisa malleabile. Siccome i getti in acciaio sono omogenei in tutto lo spessore, possono essere saldati e lavorati come il ferro ed ottenuti a prezzo uguale, io ritengo che l'acciaio elettrico, almeno in Italia, finirà per soppiantare del tutto la ghisa malleabile, prodotto di ripiego che rese eccellenti servizi finchè non si avevano altri modi di avere getti malleabili, ma che oramai ha trovato un sostituto di maggior valore nell'acciaio elettrico. (Fig. 16).

Ritengo poi che il poter avere getti belli, sani e resistenti farà sì che in moltissimi pezzi di meccanica si andrà a poco a poco sostituendo l'acciaio alla ghisa, materiale fragile e infido che ebbe larga ragione di esistere quando non si conosceva il modo di fondere il ferro, ma solo di fucinarlo. Questa sostituzione si va facendo in molti casi ed io credo che il bisogno di ricavare sempre maggiore produzione dalle macchine operatrici che si vanno ora sempre più assoggettando a grandi sforzi porterà di necessità a detta sostituzione. Già si vanno facendo torni con ruote dentate in acciaio cementato e qualche casa americana ha iniziato la fabbricazione di torni con banco in acciaio.

La fonderia dell'acciaio è ancora poco sviluppata da noi. Essa trovò ostacolo nel costo del carbone, nella mancanza di quelle ottime terre che abbondano in Francia e nel Belgio, ma sopra tutto nella mancanza di quel primissimo elemento di tutte le industrie che risiede nella coltura e nella esperienza tecnica. Negli ultimi anni si fecero progressi che meravigliarono i concorrenti esteri e maggiori si potranno fare quando si procederà da noi con più sani principii, in questa come in tutte le altre industrie.

Per organizzare la fonderia di acciaio in Italia, ora che ha trovato nel forno elettrico il modo di concorrere con le fonderie dei paesi carboniferi, bisogna che le varie aziende cessino di farsi la guerra fra di loro e vengano ad intese. Non sarà mai possibile in nessun campo combattere il nemico comune se lottiamo fra di noi. Una buona base di accordo è secondo me la specializzazione. Da noi ciascuna fabbrica produce tutti i tipi di merce possibile. Invece si avrebbero vantaggi enormi dividendosi il lavoro ed i clienti. Ogni genere di lavoro

richiede una tecnica speciale; facendo un genere solo si perfeziona il lavoro e si fanno enormi economie. Citerò il fatto che in Fonderia ogni getto richiede uno studio di persona versatissima. Questi studi e queste prove possono essere ammortizzate su grandi getti, ma non mai sui piccoli se non producendone grandi serie. La grande serie di pezzi uguali è il segreto per guadagnare. Essa permette di operare con macchine su modelli in metallo studiati in ufficio, sottraendo all'iniziativa dell'operaio ogni causa di errore. Il lavoro di formatura può essere fatto allora da manovali, donne e ragazzi.

Invece la fonderia di grossi pezzi è una industria tutta diversa e conviene sia fatta da altri. Richiede operai provetti, fonderia sul cantiere, acciaio diverso, modo di formatura, di ricottura, tutto diverso dalla fonderia minuta.

Un grandissimo aiuto potrebbero dare le Scuole professionali per operai nelle quali però gli insegnamenti dovrebbero essere impartiti non già dai Professori di cattedra o da Ingegneri laureati di fresco in attesa di impiego, ma da veri maestri dell'arte, istruiti e pratici. Chi insegna deve non solamente dire come si fa, ma far vedere egli stesso colle sue mani l'operazione.

Ma non solamente bisogna istruire gli operai, ma i capi ed i padroni, i quali generalmente sono ancora assai impari al loro compito.

Per dare sviluppo a queste industrie è necessario che un qualche aiuto venga dal Governo, almeno nel senso di non ostacolare la loro vita. Purtroppo in passato le fonderie di acciaio ebbero da noi nel Governo un nemico implacabile che favorì sempre gli esteri a nostro danno, specialmente per le provviste delle Ferrovie. Ricorderò come esempio che nel 1909 le boccole dei vagoni che da più anni erano state ridotte in gare successive al prezzo di L. 70 furono fornite qui dal Belgio e dalla Germania a L. 28, e la più grande Fonderia Italiana ne assunse 20.000 in pura perdita, tanto per non licenziare i suoi operai.

In Torino esistevano allora quattro Fonderie di acciaio, nate con ogni sorta di speranze e tenute in piedi poi con sacrifici incredibili. Due di esse lavoravano con forni Robert, una con forni Martin e l'altra con forni elettrici. Tutte andarono in rovina. Non era questione di mezzo di produzione o di capacità industriale, era una questione di prezzi.

L'estero, favorito dal Governo, spazzò tutti come concorrenti noiosi. Una di esse si ricostituì sulle rovine comuni ed ora, dotata di otto forni elettrici, produce molto e guadagna quanto vuole. E' penoso pensare quali aiuti potrebbero dare alla nostra difesa le officine scomparse se ancora fossero in vita.

La guerra attuale ha fatto vedere come le necessità della difesa richiedono che ogni paese abbia una forte organizzazione industriale propria. Se essa può

parere alquanto artificiosa in tempo di pace, può offrire vantaggi enormi in tempi di pericolo.

Del resto la fonderia di acciaio in Italia ha ragione di vivere anche in tempi quieti, quando avrà potuto emanciparsi dal carbone e potrà essere assai prospera ove sia bene organizzata.

L'esperimento ha dimostrato che il costo dei getti elettrici non arriva oggidi ad una lira al Kg. Essi valgono ora sul mercato fino a tre lire. Vi è dunque del margine. Ma anche se il carbone ritornasse ai prezzi di prima, l'acciaio elettrico potrebbe sostenere la concorrenza estera di quello fatto coi forni a carbone, purchè abbia una modesta protezione doganale. Sarebbe sempre una minore esportazione di oro che dovremmo fare.

Costo dell'acciaio elettrico. — Prima di concludere desidero chiarire meglio la questione tanto dibattuta del costo dell'acciaio elettrico in confronto di quello ottenuto coi forni comuni. Molti ritengono che il costo della energia elettrica debba essere un ostacolo alla produzione coi forni elettrici, altri credono che la convenienza esista solamente là dove essa è a prezzi bassissimi, come in Norvegia.

Questo pregiudizio è nato dalla prova purtroppo infelice fatta dagli impianti di forni elettrici eseguiti nei primi anni. Le cose sono ora del tutto mutate. Gli esperimenti che tanti sacrifici costarono ai primi e coraggiosi pionieri hanno messo in evidenza le ragioni dei primi insuccessi e, come sempre accade, dove essi seminarono altri ora raccolgono. Passando dalle mani degli inventori in quelle degli industriali, le cose vennero messe nella loro vera luce e si potè fare una scelta dei tipi e dei metodi veramente adatti all'industria.

La questione venne ampiamente trattata, ma credo che raramente sia stata considerata con tanta obiettività e competenza quanto si trova esposta nel recente trattato del Carnegie (1).

Non ho modo di riprodurre qui, come vorrei, le interessanti tabelle nelle quali, come a conclusione del suo studio, il Carnegie riassume il costo dell'acciaio ottenuto coi forni a crogiuoli alimentati con carbone minuto calcolato al prezzo di L. 12,50 per tonn., quello dei convertitori Bessemer con coke al L. 35/t, quello dei Martin con carbone a L. 35/t e quello di forni elettrici Héroult da 2 a 3 t con

(1) CARNEGIE. — Sidney-Gladwin - *L'acier sa fabrication, son prix de revient.*

energia a L. 0,031 per KWh. Ebbene, per un produzione di 20 a 40 t per settimana, questi prezzi risultano:

Crogiuoli	L. 214 per tonn.
Bessemer	» 139 » »
Martin-Siemens	» 139 » »
Hérault	» 128 » »

Si vede come anche là dove il carbone costa assai meno di quanto costasse da noi prima della guerra il forno elettrico possa competere come costo coi forni a carbone. Notisi poi che la qualità è di gran lunga migliore.

Le materie prime, rottami ed aggiunte sono qui calcolate a L. 75 ad 80 per tonn.

Per una produzione di getti da 50 a 300 tonn. per settimana, il Carnegie, sempre partendo dagli elementi citati, arriva a Bessemer L. 115, Martin 119, Girard 105, Hérault 100.

Ho cercato di ricavare da queste tabelle quali sarebbero i costi in Italia, ed ho ottenuto dei risultati che concordano perfettamente coi costi avuti da statistiche e da dati di costo ricavati personalmente o da altri su fonderie con forni elettrici dei tipi Stassano e Bassanese coi quali ebbi a sperimentare.

Non considero neppure il caso di acciaio per getti fatto al crogiuolo, industria a mio sapere non tentata neppure da noi, ma considero l'acciaio fuso al crogiuolo, di buona qualità comparabile a quello elettrico, tenendo però naturalmente conto che un simile prodotto non può essere fabbricato con rottami comuni, ma solamente con ferro di Svezia od acciaio di cementazione finissimo e di alto prezzo.

Ho supposto di avere forni di capacità poco diversa ed ho fatto i calcoli sia coi prezzi normali, sia cogli attuali enormi prezzi di guerra.

Ho supposto dapprima che l'energia costasse come fece il Carnegie L. 0,031 al KWh ed ottenni le due tabelle allegate dalle quali risultano i rispettivi costi :

Prezzi normali. — Carbone a L. 45; Carica da L. 90 a 100; Energia Elettrica a L. 0,025; Ferro di Svezia a L. 200.

Crogiuolo L. 418; Martin L. 180 Forno elettrico L. 130.

Prezzi di guerra. — Carbone a L. 220; Rottami a L. 250; Energia Elettrica a L. 0,031; Ferro di Svezia a L. 550.

Crogiuoli L. 1293; Martin L. 505; Forno elettrico L. 300.

Si vede da questi calcoli che in tempi di guerra l'acciaio elettrico da noi costa il 78 % meno dell'acciaio al crogiuolo ed il 40 % meno di quello Martin (maggior economia presenta rispetto al convertitore). Questo spiega come negli

ultimi mesi i forni elettrici siano venuti in grande favore e si facciano numerosi impianti. Ma ciò che più è confortante è che essi permettono di essere vantaggiosi anche quando ritornino i prezzi normali. Se infatti esaminiamo la tabella citata vediamo che essi presentano un vantaggio del 70 % sui crogiuoli e del 28 % sui Martin e più sui Convertitori, sempre supposto che il carbone discenda a L. 45 per tonn., il che molti ritengono difficile avvenga almeno per lungo tempo.

I dati di costo che ho riferito basandomi su quelli del Carnegie sono raggiungibili però soltanto nelle migliori condizioni di impianto e di esercizio, ad ogni modo essendosi adottato lo stesso criterio per i vari sistemi il loro valore comparativo non diminuisce.

In media si deve ritenere che praticamente occorrono da 0,800 a 1,100 KWatt-ore per Kg. di acciaio liquido e quindi la spesa di energia elettrica ammonta da L. 8 (avendo come a Terni En. El. a L. 0,01 per KWh) a L. 44 per tonn. per i più piccoli forni calcolando al prezzo di L. 0,04 per KWh a contatore pagato, nei casi più sfavorevoli. Calcolando il costo delle materie in media a L. 100 per tonn. si vede che l'energia elettrica rappresenta circa dal 6 al 26 % del costo dell'acciaio finito. Il resto della spesa è dovuto all'interesse, all'ammortamento dell'impianto, alla mano d'opera, ed alte spese della manutenzione del rivestimento, elettrodi ed accessori.

Dobbiamo ricordare che finora il maggior forno elettrico messo in pratica ha una capacità di 25 tonn., mentre, come si disse, i Martin raggiungono le 75 e le 200 tonn. Di mano in mano che la tecnica permetterà di costruire forni elettrici di maggiore capacità il costo dell'acciaio in essi prodotto andrà naturalmente diminuendo ed il vantaggio a loro favore si farà sempre maggiore.

Questo fatto deve essere di grande conforto per noi. Tanto più se riflettiamo che il costo della energia elettrica deve andare da noi diminuendo di mano in mano che la sua utilizzazione, oggidì ancora imperfettissima, si vada facendo più razionale. Noi sprechiamo ancora milioni di KWatt-ore. I bacini di raccolta montani, gli impianti di ricupero, i collegamenti fra le centrali aventi magre sfasate, l'accumulazione sotto qualunque forma potranno far discendere il prezzo della energia a molto meno della metà di quanto ora paghiamo e, tutte le industrie che ne vivono potranno averne grandi vantaggi. Inoltre converrà, ad imitazione di quanto si fece ad es. nella vicina Savoia, utilizzare le grandi portate estive lavorando prodotti per magazzino, di tipo costante in commercio e riducendo il lavoro nelle magre invernali. Molte piccole fucine potranno risorgere nelle nostre vallate.

Notiamo che gli acciai ad alta resistenza vanno soppiantando in tutte le costruzioni quel prodotto equivoco che la Germania col nome di ferro omogeneo ha lanciato sui mercati soffocando col basso prezzo l'industria del buon ferro. L'artiglieria, l'automobilismo hanno dimostrato i grandi vantaggi degli acciai al Nickel, al Cromo-Nichel, al Vanadio, al Silicio, ecc. Essi si diffonderanno in tutte le altre applicazioni, anche in quelle in cui parevano da escludere a priori. Gli americani hanno infatti introdotto l'uso dell'acciaio al Nickel nei ponti in ferro riducendone fortemente il peso morto; vantaggio notevole per le grandi campate.

Ebbene il forno elettrico è il vero crogiuolo dell'avvenire per la fabbricazione di questi acciai aventi alta resistenza non solamente contro gli sforzi statici ma specialmente contro gli urti.

Non è quindi senza fondamento la fiducia che il forno elettrico, realizzando le speranze di coloro che in esso ebbero fede possa far rinascere nel nostro paese la siderurgia, anzi la metallurgia veramente nazionale, fatta coi nostri minerali e col nostro carbone bianco di cui tanto si è parlato, ma per il quale tanto rimane ancora a fare se si vuole ricavare da esso quella indipendenza dal carbone estero di cui ora sentiamo così penosamente la mancanza.

Ma se già in parte attuata è la lavorazione elettrica dei rottami in servizio delle fonderie di getti e la produzione di acciai, resta ancora da realizzare il sogno più grande che è la riduzione elettrica, alla quale ho prima accennato, dei nostri ottimi minerali. Oltre alle miniere del Bresciano e dell'Elba abbiamo miniere di ferro in Calabria (Mongiana), in Sardegna e più che altrove nella Valle di Aosta, che ancora aspettano di essere messe in valore. Le sole miniere di Gogne hanno svelato alle ricerche decine di milioni di tonnellate di ottimo minerale. Ricordiamoci che queste miniere ora abbandonate furono già in altri tempi la fonte e l'anima di tanto lavoro. La Valle di Aosta fu fino a pochi anni fa un formicaio di fucine. La Germania lavorando con quella energia e quella tenacia che purtroppo adopera anche nelle arti della aggressione, riuscì a sbancare tutte queste ferriere. (L'ultima chiusasi da poco si era ridotta a lavorare billetta tedesca). Col basso prezzo del suo carbone, colla abilità con cui utilizza al solito qualunque trovato possa essere di utilità collettiva, aveva saputo ricavare da minerali scadenti del ferro tollerabile, aveva ridotto al silenzio le nostre fucine nelle quali si produceva quel famoso ferro nostrano che nessun omogeneo della Germania riuscirà mai a sostituire come malleabilità, saldabilità e vera sicurezza nelle costruzioni sia statiche sia dinamiche.

Ebbene, io auguro di gran cuore al nostro paese che i nuovi trovati della tecnica, fra i quali il forno elettrico può essere oramai classificato con onore, permettano di ricavare dalle nostre montagne il nostro ferro. Il ferro, e lo vediamo

pur troppo nella guerra attuale, è l'arma dei popoli. E' nostro dovere di coltivare quello che la natura ha posto nella nostra terra. Esso è altrettanto utile come arma di difesa contro le aggressioni quanto come strumento di pace per le industrie ed il lavoro dei campi.

**Costo comparato di mia tonnellata di acciaio liquido
prodotto coi varii forni.**

1° CASO. — Prezzi normali in Italia.

Carbone a L. 45 la tonn. Rottami ed aggiunte a L. 90 a 100 la tonn.

Energia elettrica a L. 0,025 al KWh. Corrispondente a circa L. 180 KWanno.

Produzione da 20 a 40 tonn. per settimana con forni di 2 a 3 tonn. di carica.

	Crogiuoli	Martin-Siemens	Elettrico
Ammortamento ed interesse	L. 6,25	5,62	2,90
Manutenzione forni	» 7,00	7,00	3,10
Combustibili	» 135,00	45,00	—
Crogiuoli	» 24,00	—	—
Elettrodi	»	—	7,00
Energia elettrica	»	—	20,00
Mano d'opera	» 46,00	22,50	7,50
Materie di carica	» 200,00	100,00	90,00
	—	—	—
Costo di 1 tonn. acciaio liquido	L. 418,25	180,12	130,50

2° CASO. — Prezzi attuali di guerra. Carbone a L. 220, Rottami a L. 250.
Energia elettrica a L. 0,03 corrisp. a circa L. 215 KWanno. (Aprile 1916).

	Crogiuolt	Martin-Siemens	Elettrico
Ammortamento ed interessi	L. 6,25	5,62	2,90
Manutenzione	» 7,00	7,00	3,10
Combustibili	» 660,00	220,00	—
Elettrodi o crogiuoli	» 24,00	—	7,26
Energia Elettrica	» —	—	24,50
Mano d'opera	» 46,00	22,50	7,50
Spese generali	» —	—	4,75
Materie di carica	» 550,00	250,00	250,00
	—	—	—
	L. 1293,25	505,12	300,00