

# Lo sviluppo dei cicli di produzione compatti e continui quale fattore di successo nell'industria dell'acciaio

R. Bruno

*La riduzione diretta del minerale di ferro, i processi di riduzione-fusione per la produzione della ghisa, l'acciaieria a ciclo continuo, il colaggio di spessori sottili, la laminazione diretta di prodotti as-cast, i processi di rivestimento in continuo costituiscono le innovazioni tecnologiche che, compattando il ciclo produttivo dell'acciaio, consentiranno, oltre ai vantaggi connessi ai minori costi d'investimenti e produzione, ai risparmi energetici ed allo sviluppo di prodotti di più elevata qualità specializzati per i singoli impieghi, di recepire le sempre più severe istanze di riduzione dell'inquinamento ambientale. Decisivo a questo riguardo è stato lo sviluppo delle tecnologie di colaggio a spessori sottili che da un lato, con gli impianti per bramme sottili, hanno consentito l'affermarsi della laminazione diretta a caldo alla base dello spettacolare sviluppo dei "mini-mills" in USA e dall'altro, con gli impianti di colaggio diretto di nastri sottili (strip casting), potranno consentire la laminazione diretta a freddo di prodotti as-cast. A medio termine con il definitivo affermarsi a livello tecnico-economico dello strip casting per un'ampia gamma di prodotti e lo sviluppo industriale delle tecnologie, ora in fase di studio, dell'acciaieria in continuo (Direct Steel), si realizzeranno i primi impianti completamente in continuo, dalle materie prime ai trattamenti di finitura e rivestimento, determinando in tal maniera, per le industrie siderurgiche ed impiantistiche più innovative, ulteriori e concrete possibilità di successo. In tale contesto le ricerche più fondamentali in corso in Giappone ed in Europa sulla metallurgia di processo e di prodotto stanno offrendo nuove e stimolanti basi conoscitive per lo sviluppo di nuove famiglie di acciai a prestazioni nettamente superiori a quelle tradizionali.*

Parole chiave: acciaio, impianti, mini-acciaierie

## INTRODUZIONE

La rapida affermazione delle mini-acciaierie (mini-mills) da ciclo elettrico dotate di impianti innovativi per il colaggio a spessori sottili per la produzione di laminati piani si è manifestata principalmente in USA e nei paesi emergenti del terzo mondo, per i suoi indubbi vantaggi in termini di costi d'investimento e di semplificazione e compattazione del ciclo produttivo (1).

Con il ricorso ai materiali preridotti con bassi contenuti di impurezze ed a tecniche di metallurgia secondaria, si è migliorato il grado di pulizia dell'acciaio ed ampliata la gamma di acciai ottenibili, rendendo il ciclo elettrico competitivo con i cicli integrali tipici dei grandi stabilimenti.

Attualmente le acciaierie greenfield adottano quasi integralmente i nuovi sistemi produttivi, mentre le grandi acciaierie, alle prese con problemi di ammodernamento e potenziamento degli impianti produttivi, sono alla ricerca di nuove soluzioni che combinino i vantaggi tecnologici del ciclo elettrico con quelli metallurgici del ciclo integrale.

Tecniche fortemente innovative come il colaggio diretto di nastri hanno raggiunto lo stadio di sviluppo industriale per la produzione di acciai inossidabili e stanno trovando campi di applicazione anche per produzioni di massa (per esempio per gli acciai al Carbonio).

Nel presente lavoro s'intende prendere in esame i più recen-

ti sviluppi dell'innovazione tecnologica nell'industria siderurgica e l'affermarsi con sempre maggior vigore dei sistemi compatti di produzione.

## SVILUPPO DELLE MINI-ACCIAIERIE E DELLA COLATA CONTINUA DI BRAMME SOTTILI

La rapida diffusione negli U.S.A. dei mini-mills a ciclo elettrico per la produzione di laminati piani è stata imposta in primis dalla crisi siderurgica degli anni '80 che ha favorito lo sviluppo di tecnologie innovative a bassi costi di investimento, maggiormente sopportabili dalle industrie private rispetto agli ingenti capitali richiesti dagli impianti tradizionali che fino allora erano stati gestiti dalle industrie siderurgiche a controllo pubblico o statale.

Questa situazione era particolarmente presente nella siderurgia americana che negli anni '80 era alle prese con l'esigenza di rinnovare profondamente i suoi impianti produttivi.

Il successo dei mini-mills in USA è documentato dai dati di profitto annuale, dal 1991 al 1999, comparati con dati analoghi degli impianti più grandi a ciclo integrale (Figura 1).

Nell'intero periodo si è registrato in media una differenza a favore dei mini-mills di ~14 US\$/t (28 US\$/t è stato il profitto medio dei mini-mills e 14 US\$/t quello degli impianti più grandi a ciclo integrale).

Le oscillazioni nei profitti dei mini-mills sono state minori a ragione della diversa struttura dei costi: più elevati quelli variabili nei mini-mills, più elevati quelli fissi nei major-mills. Il fenomeno della forte diffusione delle mini-acciaierie è documentato in USA dal fatto che nel 2001 la capacità produttiva di questi impianti per laminati piani e lunghi porterà ad

Roberto Bruno

Centro Sviluppo Materiali SpA

Memoria presentata al 28° Convegno Nazionale AIM, Milano, 8-10 novembre 2000

ciò richiede un maggior grado di pulizia acciaio ed una forte stabilità e riproducibilità del processo per assicurare la qualità richiesta. Per questo motivo l'avvento del processo TSC è avvenuto per la produzione di laminati piani di acciai commerciali al C, puntando in prima istanza sui risparmi di investimento e produzione.

Le tecnologie TSC che si sono maggiormente affermate in questi anni sono le seguenti:

- CSP (Compact Strip Production) della Schloemann Siemens
- ISP (In-Line Strip Production) della Mannesmann-Demag e del Gruppo Arvedi
- FTSC (Flexible Thin Slab Casting) della Danieli
- QSP (Quality Strip Production) della Sumitomo
- Conroll (Continuous Rolling) della VAI.

Gli impianti installati o in corso di avviamento sono indicati in Tabella I, per un totale di 47,75 Mt/anno.

Il sistema che si è maggiormente affermato in questi anni è il CSP da 50 mm che funziona con la lingottiera a funnel.

Diversi studi sono stati dedicati a mettere in luce il diverso comportamento delle lingottiere a imbuto e piana sullo scambio termico in lingottiera, la stabilità del menisco, la deformazione delle piastre, la lubrificazione, etc. (2)(3)(4).

### I MINI-MILLS ED IL PROBLEMA DEI SOSTITUTI DEL ROTTAME

Nel 2010, secondo previsioni largamente condivise, in termini quantitativi si passerà da una produzione di 770 Mt/a di acciaio grezzo ad una di 980 Mt/a (5). La quota di acciaio prodotto al forno elettrico raggiungerà il 45% della produzione globale, dall'attuale 37%.

La fase espansiva del forno elettrico, che ha preso vigore dalla fine degli anni '80 con l'installazione negli USA di mini-mills dotati di colate continue a spessori sottili, appare quindi destinata a protrarsi nel tempo.

Un effetto collaterale è che gli USA da principali esportatori di rottame ne sono diventati i primi consumatori, contribuendo così a modificare profondamente i flussi di questo materiale nel commercio internazionale.

Il previsto aumento del consumo mondiale di rottami che, secondo alcune previsioni, passerà dagli attuali 379 Mt/a a 434 Mt/a (6), creerà ulteriori turbative di mercato.

Per coprire quest'aumento si attingerà prevalentemente al rottame obsoleto mentre sarà stazionaria o in calo la disponibilità del rottame di alta qualità ("home" e "prompt") il cui costo, pur in presenza di ampie oscillazioni, si avvicinerà a quello della ghisa liquida senza però avere i vantaggi di quest'ultima (contenuto energetico e purezza chimica).

L'aumento della quota produttiva, solo in parte soddisfatto da un maggiore impiego di rottame, abbinato all'ampliamento della gamma del prodotto verso acciai a più alta qualità, in particolare piani, sta modificando profondamente la tipologia dei materiali in carica al forno elettrico con una ri-

chiesta crescente di sostituti del rottame a più alta purezza. Si tratta sostanzialmente di preridotti (DRI, HBI), se ottenuti da processi di riduzione diretta (DR = Direct Reduction), o di ghisa liquida (HMS) se da processi di riduzione per fusione (SR = Smelting Reduction) o a doppio stadio (riduzione + fusione).

L'uso sempre più esteso dei sostituti del rottame è all'origine di una nuova evoluzione in siderurgia che mette in discussione le tradizionali filiere del ciclo elettrico e del ciclo integrale.

Gli aspetti più qualificanti di questa evoluzione riguardano in particolare le tecnologie ed i processi relativi a:

- impianti per la produzione dei sostituti solidi e liquidi
- acciaierie elettriche a ciclo integrale ("Integrated Mini-Mill") aventi nella filiera produttiva impianti per la produzione dei sostituti
- forni elettrici / reattori ibridi idonei ad avere in carica rottame e sostituti solidi e liquidi.

### Processi di riduzione diretta

Nel campo della riduzione diretta il mercato è ancora dominato da processi tipo MIDREX ed HYL III, con una quota dell'84%(7). Questa situazione è probabilmente destinata a modificarsi nel futuro dopo il decollo industriale di due nuovi processi FINMET e CIRCORED sviluppati, rispettivamente, dalla VAI e dalla LURGI e che utilizzano fini di minerale di ferro.

Si prevedono incrementi significativi nel consumo dei sostituti solidi (per acciaierie elettriche e per acciaierie a ciclo integrale) destinato a passare, secondo alcune stime, dagli attuali 47 Mt/a a 64 Mt/a nel 2005 e a 86 Mt/a nel 2010(8). Altre previsioni più ottimistiche si spingono fino a 100 Mt/a(6) sempre nel 2010.

Se si esaminano gli ultimi 4 anni si può constatare, come evidenziato dalla Tabella II che la capacità produttiva al livello mondiale è aumentata, nel periodo in esame, di 12 Mt/a circa.

Per quei mini-mills USA interessati alla produzione di acciai di qualità l'opzione tecnologica principale è l'impiego di preridotto, meglio se prodotto in loco, in sostituzione parziale o totale del rottame.

Di particolare rilievo due iniziative industriali che hanno portato a realizzare, presso Puerto Ordex in Venezuela e presso Port Hedland in Australia impianti operanti secondo il processo FINMET con una capacità complessiva di 4,4 Mt/a.

Il processo FINMET, basato sull'impiego di quattro reattori in cascata a letto fluido, fra loro interconnessi, impiega come materie prime, minerali di ferro in piccola pezzatura e gas naturale fornendo preridotto HBI con grado di metallizzazione del 93% circa, evitando le operazioni costose di pelletizzazione o altri processi di agglomerazione.

Tutta la produzione di Puerto Ordex è destinata all'esportazione mentre quella di Port Hedland verrà in parte esportata

IMPIANTI	LOCALITÀ	CAPACITÀ	PROCESSO	AVVIO	SITUAZIONE
LISCO II	Libia	0,65	MIDREX	1997	Operativo
Tuscaloosa Steel	USA	0,80	MIDREX	1997/1998	Operativo
AIR	USA	1,20	MIDREX	1998	Operativo
COMSIGUA	Venezuela	1,00	MIDREX	1998	Operativo
BHP	Australia	2,20	Finmet	1999/2000	Operat./In costr.
Cliffs & Assoc	Trinidad	0,50	Circored	1999	Fase collaudo
Ispat DR3	Trinidad	1,36	MIDREX	1999	Fase collaudo
Lebedinsky GOK	Russia	0,90	HYL III	1999	In costruzione
Orinoco Iron	Venezuela	2,20	Finmet	1999/2000	In costruzione
POSVEN	Venezuela	1,50	HYL III	2000	In costruzione

Tab. II - Nuove installazioni di impianti di riduzione diretta.

Tab. II - New direct reduction plants.

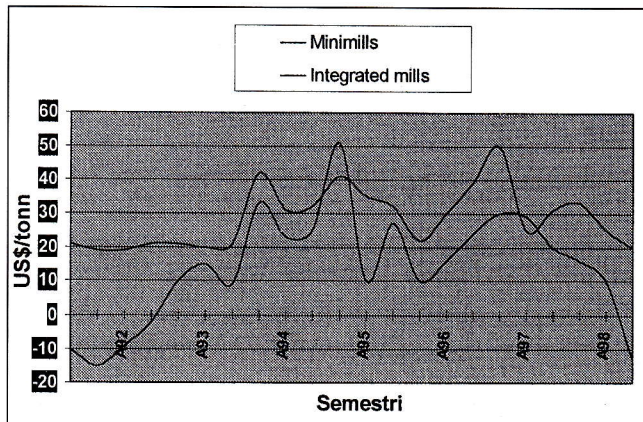


Fig. 1 - Utili di esercizio.

Fig. 1 - Profits.

un accrescimento produttivo di 20 Mt. Tale sviluppo è essenzialmente da attribuire allo straordinario successo delle tecnologie di colaggio di bramme sottili per la produzione di laminati piani (Thin Slab Casting, TSC), a sua volta determinato da una serie di fattori concomitanti quali:

- le società costruttrici di impianti, alla ricerca di nuovi mercati, ebbero l'intuizione di sviluppare una tecnologia radicalmente nuova ma parimenti compatibile con il processo tradizionale
- nello stesso periodo si assisteva ad una riduzione di capacità produttiva dell'industria siderurgica americana che aveva la necessità di rinnovare radicalmente gli ormai obsoleti impianti di conversione e colaggio dell'acciaio (a metà anni '80 la quota di acciaio colato in continuo negli

U.S.A. era appena del 30%). Era forte perciò l'attrattiva di poter disporre di impianti di produzione molto flessibili, a carattere regionale, che necessitassero di bassi costi di investimento rispetto agli impianti a ciclo integrale.

I principi informativi che hanno guidato lo sviluppo di questa tecnologia sono stati i seguenti:

- riduzione dei costi di investimento, di consumi energetici e di produzione
- compattazione e semplificazione del ciclo produttivo
- riduzione dei tempi di produzione
- mantenimento e/o miglioramento del livello qualitativo del prodotto
- sviluppo di nuovi prodotti.

La nuova tecnologia di colaggio di bramme sottili è contraddistinta dai seguenti aspetti tecnologici:

- alta velocità (fino a 7 m/min)
- spessore compreso tra 50 mm (sottile) e 150 mm (medio)
- formato lingottiera a facce piane o ad imbuto (funnel mould)
- geometrie su misura dello scaricatore
- riscaldamento e laminazione diretta delle bramme a nastro a caldo
- produzione di laminati a caldo di basso spessore ( $\leq 1$  mm).

I due ultimi aspetti risultano i più innovativi ai fini della compattazione del ciclo produttivo e richiedono l'ottenimento di bramme prive di difettosità superficiale ed interna.

L'aspetto della qualità superficiale diventa determinante se si tiene presente che i formati sottili assumono un fattore di riduzione dello spessore pari a circa 5 (da  $\approx 250$  mm nel colaggio tradizionale a  $\approx 50$  mm nel T.S.C.) e in egual misura un aumento della velocità di colaggio, per cui la superficie, a parità di peso colato, aumenta dello stesso fattore. Tutto

IMPIANTO	CAPACITÀ PRODUTTIVA (Mt/anno)	START UP	TECNOLOGIA DI COLAGGIO
Nucor Steel, Crawfordsville, IN. USA	1.8	1989-1994	CSP
Nucor Steel, Hickman, AR. USA	2.0	1992-1994	CSP+FTSC
Nucor Steel, Berkley, SC. USA	2.4	1996-2000	CSP
Steel Dynamics, Butler, IN. USA	2.2	1996	CSP
Hylsa, SA. Monterrey, Messico	1.5	1995	CSP
Hanbo Steel, Asan Bay, Corea	2.0	1995	CSP
Gallatin Steel, Warsaw, KY. USA	1.0	1995	CSP
Acme Steel, Riverdale, IL. USA	1.0	1996	CSP
Nippon Denro, Dolvi, India	2.4	1996-2000	CSP
Aceria Compacta Bizkaglia SA, Bilbao, Spagna	0.9	1996	CSP
NSM, Chonburi, Thailandia	1.2	1997	CSP
ASM, Malaysia	2.0	1998	CSP
Zhujiang Steel, Cina	0.8	1998	CSP
Baotou Steel, Cina	2.0	2000	CSP
Handan Iron, Cina	1.2	2000	CSP
Mega Steel Sdn Bhd, Malaysia	2.0	1998	CSP
Posco, Kwangyang, Corea	1.8	1996	ISP
Arvedi, Cremona, Italia	0.5	1992	ISP
Saldanha Steel, Rivoria, Sud Africa	1.4	1998	ISP
Algoma Steel, Sault Ste Marie, Ont. Canada	2.0	1997	FTSC
Avesta-Sheffield, AB, Svezia	0.6	1988	CONROLL
Armco-Mansfield, OH. USA	1.1	1993	CONROLL
North Star/BHP Steel, OH. USA	1.35	1996	SUMITOMO
Trico Steel, AL. USA	2.2	1996	SUMITOMO
Siam Strip Mill, Thailandia	1.5	1998	SUMITOMO
Posco, Kwangyang, Corea	2.0	2001	CSP
KS-Posco, Indonesia	1.0	1999	CSP*
Thyssen Krupp Stahl AG, Germania	2.4	1999	CSP
ANSDK, Egitto	1.0	1999	CSP
Corus, Ijmuiden, Olanda	1.5	2000	ISP
AST Terni, Italia (inox e speciali)	1.0	2001	CSP
TOTALE	47.75		

Tab. I - Stabilimenti produttivi con macchine di colaggio di bramme sottili (situazione attuale ed immediato futuro).

Table I - Plants with thin slab casting mills (current situation and immediate future).

(\*) Dai dati SMS la macchina che doveva entrare in funzione a fine 1999 è attualmente ferma

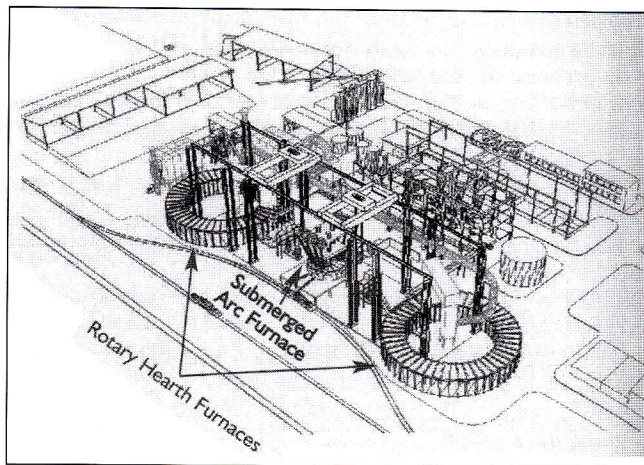


Fig. 2 - Impianto Redsmelt a doppio RHF (12).

Fig. 2 - Double RHF Redsmelt plant.

ed in parte andrà ad alimentare un'adiacente acciaieria elettrica.

Se si esamina il mercato mondiale, mentre attualmente solo il 30% di DRI e HDI è destinato al mercato ed il 70% consumato da acciaierie limitrofe, nel 2010 la quota per il mercato salirà al 50%.

Assai promettenti, anche in termini di risparmio energetico, appaiono le tecnologie di carica diretta del DRI caldo. Un esempio è l'acciaieria HYLSA di Monterrey (Messico), ove è entrata recentemente in funzione una linea per la produzione di prodotti piani che rientra nella definizione di acciaieria elettrica integrata ("Integrated mini mill"). L'integrazione verticale comprende infatti le fasi di riduzione del minerale, fusione al forno elettrico, colata continua fino alla laminazione a caldo (9).

La linea comprende un modulo da 0,7 Mt/a per la produzione, con il processo HYL, di DRI. Il preridotto, ancora caldo, viene trasportato pneumaticamente ad un forno dove giunge alla temperatura di 500°C. Il forno, bielelettrodo in CC della Danieli, viene alimentato in modo continuo e al 100% dal DRI introdotto nello spazio tra i due elettrodi dove convergono gli archi elettrici, allo scopo di facilitare la fusione

e ridurre il consumo di E.E. portandolo a 460 KWh/t. L'acciaio, del peso di 135 t, viene spillato con cadenza oraria, in un forno-siviera, andando infine ad alimentare un impianto di colata continua CSP.

**Processi di riduzione per fusione (SR) e nuovi processi per la produzione di ghisa liquida**

L'unico processo di SR decollato a livello industriale è il COREX della VAI del quale sono operativi o in fase di avvio 5 impianti con le sigle di COREX C-1000 (1000 t/g) e COREX C-2000 (2000 t/g) con una capacità produttiva annua per modulo rispettivamente di 350.000 t/a e di 700.000 t/a.

Come è noto questo processo impiega come agente riducente carbone non cokificabile e minerale di ferro caricato in forma di pellets o in piccola pezzatura. La capacità produttiva complessiva di questi impianti è di 4,8 Mt/a.

Il processo COREX genera un gas di riduzione (export-gas) che viene utilizzato per produrre energia elettrica o per alimentare, come nel caso di Saldanha Steel, un impianto MIDREX per la produzione di DRI, con grado di metallizzazione fino al 94% (10).

Altri processi di SR quali HISmelt, DIOS, CCF, Romelt, CleanSMelt, pur avendo dimostrato la fattibilità tecnica su scala pilota, non sono ancora accettati a livello industriale.

La combinazione forno a suola rotante - forno ad arco sommerso, nota come RHF - SAF (acronimi rispettivamente di "Rotary Hearth Furnace" e di "Submerged Arc Furnace"), e basata su uno stadio di riduzione ed uno di fusione, sta incontrando un crescente interesse da parte di numerosi costruttori quali SMS-Demag, Sumitomo, Kobe Steel.

Il processo prevede la riduzione delle pellets verdi, costituite da minerale di Fe, carbone e legante, nel forno RHF ed il loro trasferimento, allo stato ridotto, nel forno SAF dove avviene la loro fusione, con separazione, allo spillaggio, della ghisa dalla scoria.

E' prossimo l'avvio, dopo alcune modifiche al forno SAF, dell'impianto RHF-SAF da 0,5 Mt/a di ghisa liquida installato presso Iron Dynamics (USA) e destinato ad alimentare la vicina acciaieria della Steel Dynamics(11).

La versione Redsmelt, commercializzata da SMS-Demag, utilizza per il forno RHF il processo "Inmetco" di cui è licenziataria. Viene offerta anche la versione a doppio forno RHF, con una capacità produttiva di 0,7 Mt/a di ghisa liquida (Fig. 2) (12). Il forno RHF viene anche impiegato per riciclare rifiuti siderurgici contenenti Fe.

L'altoforno, visto come generatore di ghisa liquida per acciaierie elettriche integrate, viene proposto da SMS-Demag in una versione compatta, denominata CBF (Compact Blast Furnace), per una capacità produttiva di ~1 Mt/a. Il progetto, avviato nel 1998, è basato sull'altoforno nr. 2 di Tubarao. Il principale vantaggio, oltre ai bassi costi operativi, è un costo di investimento < 130 \$/t(13).

Esistono anche impianti di capacità inferiore, i mini altoforno (MBF=Mini Blast Furnace) nel campo 0,1-0,25 Mt/a, diffusi nei paesi in via di sviluppo e che oggi alimentano con ghisa liquida impianti siderurgici collegati(12).

**Acciaieria elettrica integrata alimentata da rottame e ghisa liquida**

Analogamente a quanto sta avvenendo per le acciaierie collegate ad unità di produzione di DRI/HBI, sono sorte acciaierie elettriche alimentate da ghisa ottenuta con processi di riduzione per fusione.

Si ricorda in particolare la già citata Acciaieria di Saldanha in Sud Africa collegata ad un impianto COREX C-2000 in grado di produrre annualmente 0,65 Mt/a di ghisa liquida e di alimentare, con il gas di export, un impianto MIDREX della capacità di 0,8 Mt/a di DRI.

Questi materiali assieme a ghisa solida/rottame, nelle per-

EUROPA		
Cockerill Sambre	Belgio	1 x 140t CC finger shaft
Severstal	Russia	3 x 100 t CA
Unimetal	Francia	1 x 150 t CC (part time)
Huta Czestochowa	Polonia	1 x 100t
INDIA		
Nippon Denro Ispat	Dolvi	2 x 180t CA
Usha Alloys	Jamshedpur	1 x 30t CA
GIAPPONE		
Daiwa Steel	Mizushima	1 x 110t CC - 1 x 120t CC
Kyoei Steel	Nagoya	1 x 110t CC
Mitsubishi Steel	Muroran	1 x 100t C
SUDAFRICA		
ISCOR	Venderbijlpark	3 x 155t CA
ISCOR	Pretoria	2 x 120t CA (chiuso nel 1997)
Saldanha Steel	Saldanha	1 x 150t CA a doppio tino (ghisa liquida da Corex)

Tab. III - Forni elettrici con ghisa liquida in carica.

Tab. III - Cast iron charge electric furnaces.

centuali medie di: 40% ghisa liquida, 55% DRI e 5% ghisa solida/rottame costituiscono la carica di un forno a doppio tino (CONARC) concepito per insufflare elevate quantità di O<sub>2</sub> mediante lancia verticale. Vengono dichiarati consumi di E.E. dell'ordine di 240 kWh/t(10).

L'impiego di ghisa liquida nelle acciaierie elettriche sta diventando una pratica corrente come evidenziato nella Tabella III che riporta un elenco di 12 acciaierie sparse nel mondo che utilizzano ghisa proveniente da altoforno o da impianti SR(10). Ad esse si aggiungerà la Steel Dynamics (USA) non appena sarà operativo l'impianto RHF-SAF della Iron Dynamics.

Avendo in carica il 30% di ghisa liquida il minor consumo di E.E. rispetto ad una carica 100% rottame è dell'ordine di 150 kW/t (10).

A differenza dei forni tipo CONARC, nati esplicitamente per trattare elevate percentuali di ghisa liquida (fino al 60%), i forni elettrici tradizionali non vanno oltre il 30-35%, talvolta con problemi gestionali(14).

**Reattori ibridi**

Gli acciai da ciclo integrale, dovendo difendere le loro quote di mercato nel settore dei prodotti piani, stanno diventando consapevoli che la ghisa liquida può diventare un fattore strategico a loro favore se si toglie rigidità al ciclo altoforno-convertitore ad ossigeno. Vedono pertanto con interesse la sostituzione del BOF con reattori oxy-elettrici.

Le motivazioni sono di varia natura: evitare costosi revamping della cokeria, ridurre l'impatto ambientale, aumentare la capacità produttiva al minimo costo, ridurre i costi di produzione(15). Un'altra motivazione è legata alla qualità del prodotto.

E' stato accertato che per certi tipi di prodotti piani e tubolari è sufficiente introdurre in carica 40% di ghisa liquida per rientrare nelle specifiche analitiche(16), evitando così di fornire "overquality" non richieste dal cliente.

Comune agli acciai elettrici e a quelli da ciclo integrale è quindi la necessità di disporre di reattori di nuova generazione particolarmente flessibili per coprire tutto il campo di variabilità dei volumi di ghisa liquida in carica, orientativamente 20-70%. In Figura 3 sono riportati i consumi attesi di E.E. all'interno di questo intervallo.

In uno studio condotto dal CSM e che ha dato origine ad una

domanda di brevetto sono state identificate le caratteristiche di un reattore ibrido dotato di fondo conduttore, la cui geometria non si discosta in maniera significativa da quella di un convertitore ad ossigeno e dove l'erogazione di E.E. avviene mediante uno speciale monolettrodo(17).

E' stato stimato(18) che nel 2010 saranno a disposizione, prevalentemente per acciaierie elettriche, 30-40 Mt/a circa di HMS provenienti dai processi di riduzione per fusione (SR) e da processi tipo RHF-SAF.

Con il nuovo scenario ora delineato, a questi volumi abbastanza modesti andrebbero aggiunti quelli, probabilmente di ordine superiore, proveniente dall'altoforno e destinati ad alimentare forni elettrici /reattori ibridi di nuova generazione.

**GLI SVILUPPI DELLA TECNOLOGIA DI COLAGGIO DI BRAMME SOTTILI**

Un'importante considerazione di base deriva dall'osservazione che prima della commercializzazione della tecnologia di colaggio di bramme sottili, esistevano, eccetto che per la laminazione a caldo, varie opzioni tecnologiche per impianti di minor capacità e quindi a basso costo di investimento, per tutte le altre fasi della produzione di nastri a caldo. A questo riguardo la laminazione a caldo ha rappresentato un vero e proprio collo di bottiglia che ha impedito lo sviluppo di alternative impiantistiche a basso costo di investimento. Gli impianti di laminazione a caldo convenzionali per essere efficienti economicamente devono avere una capacità di 4Mt e costi intorno a 200-250 \$ per t di capacità installata. L'impianto integrale completo (altoforno + convertitore) con una colata continua tradizionale, ha un costo di 300-350 \$ per t.

L'adozione della colata continua di bramme sottili nello stesso impianto integrale ha una soglia di efficienza economica intorno a 2 Mt di capacità e un minor costo di circa il 30%. Vantaggi fino al 30% si hanno anche in termini di costi operativi dovuti ad un insieme di fattori quali per esempio i minor consumi energetici, la più alta produttività nel lavoro. Circa quest'ultimo aspetto è interessante sottolineare che agli inizi degli anni '80 i grandi impianti a ciclo integrale registravano un dato di 10 ore uomo per la produzione di 1 t di

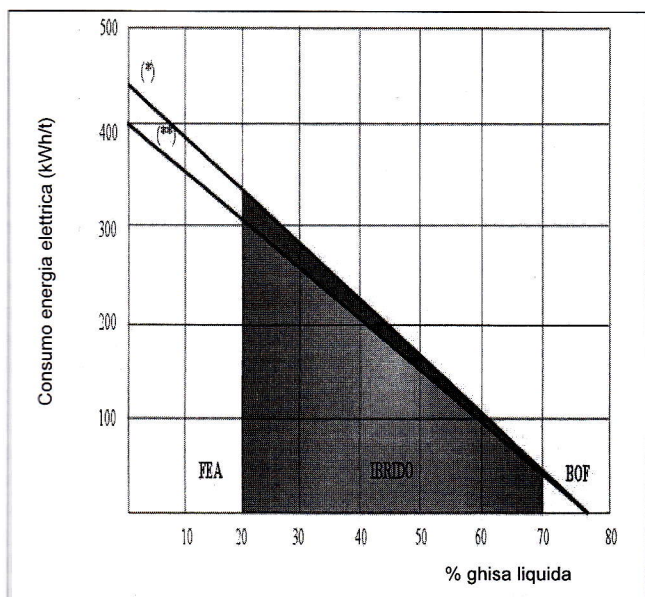


Fig. 3 - Consumo E.E. in funzione della percentuale di ghisa liquida.

Fig. 3 - Electric power consumption as a function of the percentage of cast iron.

	BOF (1954-1964)	Colata continua (1962-1972)	Mini-mills (1989-1999)
USA	15	5	46
Europa Occ.	16	8	3
Giappone	40	16	4

Tab. IV - Tasso di crescita degli impianti nel mondo per tecnologie diverse.

Tab. IV - Growth rate of plants in the world for different technologies.

nastri a caldo. Oggi negli stessi impianti la media è di 3 ore uomo, mentre nei mini-mills con FEA+colaggio di bramme sottili è di circa 1 ora uomo.

Sulla base di questi dati, assai positivi e favorevoli per lo sviluppo ulteriore della tecnologia del colaggio in bramme sottili, c'è da osservare che comunque il grado di diffusione di impianti nel mondo è stato diverso nelle diverse aree geografiche (Tabella IV). La crescita di gran lunga maggiore è avvenuta negli USA per i motivi già esposti nei precedenti capitoli.

Le motivazioni che possono spiegare la minore diffusione in Europa e in Giappone riguardano i costi di produzione dei mini-mills, determinati in buona parte dai costi dell'elettri-

Tipo di prodotto	Vantaggi principali	Tipo di acciaio	Innovazioni impiantistiche
Laminati a caldo a spessori ultra-sottili (0,8-1,5 mm)	Sostituzione di laminati a freddo convenzionali in molte applicazioni Tolleranze dimensionali ridotte Formabilità a freddo (eccetto il profondo stampaggio)	Calmati all'Al e interstitial free laminati a caldo in fase austenitica o ferritica	Aumento del numero e della potenza delle gabbie di laminazione per l'incremento della deformazione totale Impianti di descagliatura più efficaci per migliorare la qualità superficiale Lay-outs più compatti e incremento della velocità di laminazione per la riduzione delle perdite di calore e l'aumento delle proprietà meccaniche Tavola run-out corta (40 m) dotata di sistemi di raffreddamento ultra-fast Duplice posizionamento dei down-coilers per la laminazione ferritica

Tab. V - Innovazioni in corso o previste nei trattamenti down-stream nelle linee di colaggio di bramme sottili.

Tab. V - Innovations in down-stream treatments in thin slab casting mills.

cità e del rottame più elevati che negli USA. Inoltre i produttori europei e giapponesi a ciclo integrale hanno una posizione sul mercato assai più forte dei produttori USA, con una verticalizzazione e un'integrazione assai spinta con gli utilizzatori intermedi e finali. Gli stessi produttori infine controllano importanti quantità del rottame raccolto di alta qualità.

Esistono perciò in questi paesi elevati rischi per gli investimenti nei nuovi mini-mills anche se lo sviluppo di filiere innovative con l'integrazione degli impianti di produzione di ghisa liquida con il FEA e con tecnologie di colaggio di spessori sottili in versioni ottimizzate ad hoc, potrebbero in futuro contribuire a modificare il quadro competitivo.

La disponibilità della tecnologia TSC è stata, come già detto, la chiave per i produttori e le aziende impiantistiche per lo sviluppo di metodologie di produzione a minore intensità di investimento. Successivamente il successo dei mini-mills ha prodotto una spinta eccezionale verso lo sviluppo e l'affinazione dei sostitutivi del rottame, in particolare negli USA, essenzialmente per il miglioramento della qualità dei prodotti.

Un'altra conseguenza è la prospettiva, che in qualche caso è già concreta realtà produttiva, di impiegare la tecnologia TSC collegata direttamente ad un impianto di laminazione, per la produzione di nastri a caldo di spessore fra 0,8 e 1,5 mm in grado perciò di sostituire i prodotti a freddo. Notevoli progressi in questo senso sono stati ottenuti presso lo Stabilimento ISP di Cremona del Gruppo Arvedi.

L'attrattiva tecnico-economica di tale tecnologia sta determinando una tendenza verso i cicli di colaggio + laminazione endless e semi-endless, quindi più compatti e controllati (Tabella V)

La tecnologia TSC opportunamente migliorata ed adattata (per esempio l'adozione di sistemi di liquid core reduction e di soft reduction, nuovi disegni della lingottiera, freni elettromagnetici, oscillatori idraulici, etc.) sta inoltre dimostrando di poter sostituire la colata tradizionale anche negli impianti a ciclo integrale, come già sta avvenendo in nuovi impianti di questo tipo o in recenti revamping o incrementi di capacità in impianti già esistenti.

La prima combinazione della TSC (CSP) con un ciclo integrale è stata realizzata dalla ACME (USA) nel 1999 per la produzione anche di acciai con carbonio ultra-basso; subito dopo Algoma Steel (Canada) con un impianto TSC della Danieli ha avviato la produzione di diversi gradi di acciai, a medio C e HSLA, inclusi i gradi peritettici.

Impianti a ciclo integrale alimentano impianti di colaggio

CSP in Cina con convertitori da 100 t (Handan) e 230 t (Baoton).

Un'altra applicazione della TSC, nel ciclo altoforno-convertitore, la prima in Europa, è stata realizzata dalla Thyssen Krupp Stahl, Bruckhausen, ove un impianto CSP è stato inserito in una linea per la produzione di nastri a caldo ultrasottili con spessori finali minori di 1 mm.

CORUS NL sta avviando la produzione di acciai di qualità con un impianto di TSC (tipo ISP) nel proprio stabilimento a ciclo integrale di Jimuiden.

Altre iniziative simili sono in fase di progettazione o di avvio, favorite anche alle continue innovazioni prodotte dai costruttori di impianti, frequentemente in collaborazione con gli enti di R&S dei grandi produttori.

#### Lo sviluppo delle tecnologie di colaggio di bramme sottili di acciai inossidabili

Un'altra chiara dimostrazione delle potenzialità della tecnologia TSC nella produzione di acciai di elevata qualità viene dai risultati di un progetto pluriennale di R&S condotto a Terni, da Acciai Speciali Terni, Siemag Schloemann e CSM per la messa a punto del ciclo di produzione di acciai inox su un impianto CSP, alimentato da FEA+AOD.

La ricerca condotta in laboratorio e su impianto sperimentale ha permesso di evidenziare i meccanismi metallurgici alla base delle caratteristiche di qualità dei prodotti e di individuare conseguentemente gli interventi tecnologici migliorativi.

E' stato evidenziato per esempio il ruolo di alcuni miglioramenti della tecnologia CSP per eliminare le depressioni longitudinali nel colaggio di acciaio AISI 304 attraverso: l'incremento di spessore da 50 a 60 mm, l'impiego dell'oscillatore idraulico ed il ricorso a nuovi tipi di polveri di colaggio; interventi con i quali si è drasticamente ridotta l'insorgenza nell'area del funnel di tali difetti sulla bramma (Figura 4).

Un ruolo preponderante nei miglioramenti qualitativi ottenuti, sia a livello di bramme sottili che di nastri a caldo e freddo di AISI 304, è stato esercitato dalla lingottiera.

Sono state sviluppate diverse generazioni di lingottiere, modificando il disegno del funnel in funzione delle caratteristiche di solidificazione dei vari acciai e delle loro proprietà meccaniche ad alta temperatura.

Gli aspetti maggiormente considerati sono stati i profili orizzontale e verticale del funnel, il tipo di conicità, lineare o multipla, ed il tipo di rivestimento delle piastre di rame per regolare lo scambio termico in lingottiera.

L'ottimizzazione di questi parametri ha portato a conseguire

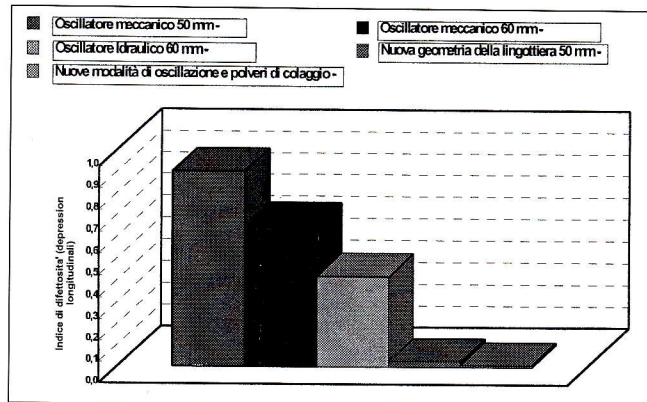


Fig. 4 - Progetto AST, SMS, CSM: miglioramento della qualità superficiale di acciai inox AISI 304 determinato da modifiche nella tecnologia CSP.

Fig. 4 - AST, SMS, CSM Project: entrancement of surface quality in AISI 304 stainless steels determined by modifications of CSP technology.

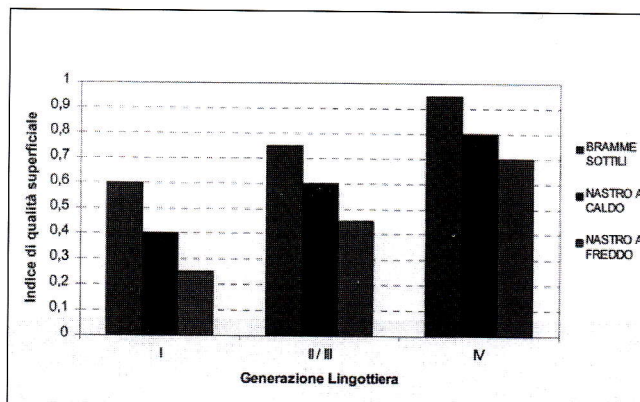


Fig. 5 - Progetto AST, SMS, CSM: qualità del prodotto AISI 304 in funzione del tipo di lingottiera.

Fig. 5 - AST, SMS, CSM Project: product quality of AISI 304 as a function of mould type.

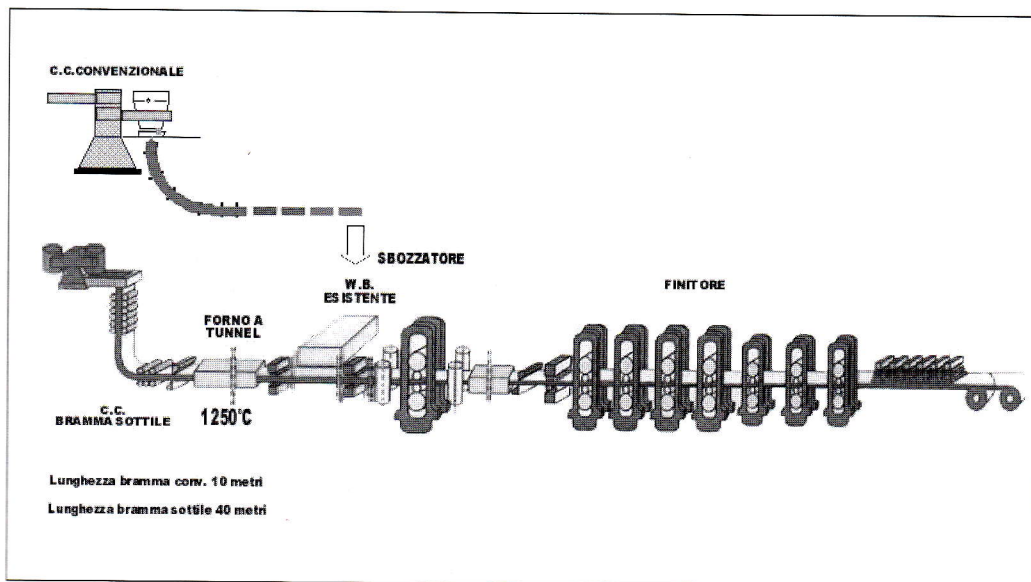


Fig. 6 - Layout del nuovo sistema produttivo integrato AST di Terni. Produzione nastri di acciai speciali da bramme sottili e bramme convenzionali con "Mix Rolling".

Fig. 6 - Lay out of the new integrated plant at AST Terni. Production of special steels strips from thin and conventional slabs with "Mix Rolling".

i risultati qualitativi mostrati in Fig.5

Tali interventi hanno consentito di produrre bramme sottili esenti da depressioni longitudinali: ciò consente di effettuare il 100% di laminazione diretta delle bramme sottili, rispetto a circa l'80% di hot charging delle bramme convenzionali di AISI 304, con grossi vantaggi in termini di risparmio energetico.

L'uso della lingottiera di generazione IV, che favoriva lo scambio termico uniforme al menisco, e la messa a punto di nuovi tipi di polveri di colaggio ad alta capacità lubrificante hanno permesso di eliminare la difettosità superficiale delle bramme senza operare interventi sulla composizione chimica dell'acciaio.

L'utilizzo di questi strumenti e l'adozione della modalità di oscillazione inversa, consentita dall'oscillatore idraulico per variare in tempo reale l'ampiezza di oscillazione, hanno consentito di raggiungere nella fase finale della sperimentazione velocità di colaggio fino a 4,5 m/min, con conseguenti riflessi positivi sulla qualità superficiale delle bramme e dei nastri.

Sulla base dei risultati ottenuti Acciai Speciali Terni ha avviato negli scorsi mesi l'implementazione del Progetto con la realizzazione di un impianto industriale di capacità 1 Mt, il primo a livello mondiale per la produzione con tecnologie TSC di acciai inox (Figura 6).

#### IL COLAGGIO DIRETTO DI NASTRI SOTTILI (STRIP CASTING)

La tecnologia viene studiata da numerose aziende ed istituti di ricerca. Alcuni dei progetti sono in fase di industrializzazione (BHP, IHI e NUCOR per acciai al Carbonio; TKS, USINOR, VAI nel progetto EUROSTRIP per acciai inox) o già industrializzati (Nippon Steel, Mitsubishi Heavy Industries per acciai inox austenitici).

Le informazioni tecniche, come pure le stime sui costi di produzione e di investimento, sono difficilmente reperibili; le soluzioni adottate sono diverse seppure, nei casi citati, sia stato impiegato il sistema di lingottiera a rulli controrotanti (twin-roll).

Esperienze dirette in Italia sono quelle derivanti da un progetto di ricerca avviato nel 1987 da Acciai Speciali Terni in collaborazione con il CSM. Il progetto è ora nella sua fase conclusiva nell'ambito del più ampio e già citato progetto EUROSTRIP che si sta sviluppando con la realizzazione e l'avviamento, nel corso di questo anno, di un impianto pre-industriale presso la Krupp Thyssen Nirosta di Krefeld (Figura 7), avente una capacità iniziale di produzione di alcune migliaia di t/mese di nastri di acciaio inossidabile, implementabile, in una seconda fase, in un impianto industriale da 400.000 t/anno da completare entro il 2003.

FABBRICAZIONE A FLUSSO CONTINUO DELL'ACCIAIO

L'evoluzione tecnologica in atto verso la compattazione spinta del ciclo di fabbricazione ha come sbocco conclusivo quella che viene definita: "Fabbricazione Diretta dell'Acciaio" ("Direct Steelmaking").

La "Technology Road Map" edita da Eurofer nel 1999 così definisce il "Direct Steelmaking": una linea totalmente continua per la produzione di acciaio grezzo mediante reattori continui per l'affinazione della ghisa liquida nel ciclo da minerale e per la fusione ed affinazione dell'acciaio nel ciclo da forno elettrico.

Questa definizione fa esplicito riferimento ad un flusso continuo di materie prime o di metallo liquido lungo la linea, da attuare mediante reattori di tipo continuo.

Esistono altre definizioni di "Direct Steelmaking", ad es. di provenienza USA(19), che non escludono, in una linea tendenzialmente a flusso continuo, qualche discontinuità locale con l'inserimento ad es. di componenti "batch".

Comune ad ogni definizione è, come si è già detto, la necessità di un concatenamento delle diverse fasi del ciclo di sia dal punto di vista logistico che della tecnica impiantistica.

L'argomento riguardante la fabbricazione diretta dell'acciaio è stato oggetto di uno studio di fattibilità condotto nell'ambito di un progetto CECA(19) coordinato dal CSM e con la partecipazione di Istituti di ricerca europei.

Lo studio che ha preso in esame sia la linea da minerale che quella da forno elettrico ha analizzato alcuni reattori a flusso continuo: reattore di desolfurazione a colonna (CSM), reattore a canale a tre stadi (NRIM), reattore "spray" (BISRA), reattore a canale elettromagnetico in contro corrente, reattore di affinazione continua ad emulsione (IRSID)).

Pur valutando le prestazioni di questi reattori ancora al di sotto della soglia necessaria per il trasferimento alla scala industriale e con problemi legati al loro inserimento nella linea produttiva, lo studio è ottimista sulle prospettive industriali del "Direct Steelmaking" sul lungo periodo.

Se fino ad ora non si sono registrati ulteriori significativi progressi nella reattoristica basata sul flusso continuo di metallo liquido, il caricamento delle materie prime al forno elettrico con flusso continuo è invece diventato una realtà industriale ormai consolidata.

Un recente studio (20), che ha messo a confronto le principali tecnologie di fabbricazione dell'acciaio al forno elettrico, ha evidenziato che il caricamento del rottame con flusso continuo, abbinato al suo preriscaldamento, porta ad una riduzione dei consumi energetici, ad un aumento della produttività a parità di potenza elettrica installata e ad un minore impatto ambientale. Dall'esame delle grandezze che esprimono l'impatto ambientale (contenuto di inquinanti nei fumi, disturbi in rete, livello di rumore emesso dagli archi, polveri raccolte dall'impianto di abbattimento, etc.) si è potuto concludere che il forno a caricamento continuo va considerato come intrinsecamente ecologico.

In prospettiva il forno a caricamento continuo, ad es. nella versione nota come CONSTEEL, potrebbe rappresentare il primo anello della catena impiantistica basata sul concetto di "fabbricazione a flusso continuo dell'acciaio," essendo idoneo sia allo spillaggio continuo sia a mantenere costante nel tempo l'analisi chimica e la temperatura dell'acciaio.

La già citata acciaieria elettrica HYLSA di Monterrey, può già essere considerata, con l'esclusione del forno-siviera, una linea a flusso continuo dall'ingresso dei minerali di ferro in acciaieria fino al prodotto finito (coil a caldo).

CONCLUSIONI

• La domanda mondiale di prodotti in acciaio appare generalmente in crescita in quanto viene influenzata positivamente

dalla tendenza favorevole, oggi rilevabile a livello internazionale, a maggiori investimenti di capitali (per esempio nelle costruzioni, infrastrutture, impiantistica, trasporti etc.).

• La spinta in tal senso è anche determinata dai più bassi tassi di inflazione rispetto al passato e dalla crescita economica dei paesi in via di sviluppo, che sta avvenendo, in alcune aree geografiche, con ritmi anche maggiori del previsto (per esempio in Cina).

• Ne consegue che la disponibilità delle nuove tecnologie per la produzione dell'acciaio, che sta determinando più rapidi ritorni degli investimenti, favorirà la loro diffusione dagli USA, dove è iniziato e si sta sviluppando il fenomeno dei mini-mills, anche ad altri paesi, compresi quelli europei.

• Tale diffusione a seconda del più o meno elevato livello di competitività dei grandi impianti a ciclo integrale, avverrà tramite l'integrazione graduale con questi ultimi o con lo sviluppo indipendente di mini-mills.

• I criteri basati sull'economia di scala dei grandi impianti man mano verranno rimpiazzati, disponendo delle nuove tecnologie in continuo, da criteri basati sulla flessibilità dei nuovi cicli e impianti rispetto al mix di produzione, al tipo di materie prime ed alle esigenze variabili del mercato.

• I costi di produzione con le nuove tecnologie saranno progressivamente meno condizionati dal costo del lavoro e a questo riguardo diventerà essenziale la disponibilità di personale sempre più qualificato.

• La specializzazione e la localizzazione dei nuovi impianti saranno determinate sempre più dal mercato ed in questa ottica la collaborazione con gli utilizzatori intermedi e finali diventerà vieppiù un fattore premiante.

• Crescente sarà il ruolo delle tecnologie informatiche sia nell'attività di R&S (simulazione di processi primari e di lavorazione, modellistica microstrutturale, prototipazione di componenti etc.) sia sui controlli delle variabili di produzione. Analogamente i progressi nei sistemi di comunicazione e di reti informatiche impatteranno positivamente sui collegamenti fra stabilimento produttivo, fornitori e clienti intermedi e finali. La notevole e recente crescita del numero delle iniziative di joint-venture fra aziende siderurgiche nel settore dell'E-Commerce avrà in tal senso un effetto favorevole sul mercato dei prodotti e più in generale sulla competitività del sistema acciaio.

• E' verosimile prevedere che parimenti si diffonderà anche la più aggressiva e più sfidante cultura manageriale che caratterizza la gestione dei mini-mills USA, contribuendo così ad incrementare l'efficienza produttiva e commerciale e a fornire così un'immagine meno usuale e più positiva dell'industria dell'acciaio.

• Le attività di R&S, i cui risultati sono indubbiamente alla base dei progressi tecnologici in atto, stanno ora orientandosi, in Europa ed in particolare in Giappone, a tematiche più fondamentali sotto la spinta dei criteri di miglioramento dell'ambiente e della conservazione delle risorse. Si punta decisamente, con crescenti impegni finanziari, a definire una piattaforma di conoscenze di base il cui successivo sfruttamento, previsto nel lungo termine, permetterà di realizzare progressi radicali nelle tecnologie di produzione (fusione, solidificazione, deformazione, trattamenti). Diverrà pertanto possibile, per esempio attraverso l'ottenimento di gradi di purezza elevati e microstrutture ultrafini, la messa a punto di nuove generazioni di acciai (gli ultra-steels) con proprietà meccaniche, di resistenza a fatica e a corrosione e di comportamento ad alta temperatura notevolmente superiori a quelle tradizionali, in grado perciò di garantire assai più alti livelli di sicurezza e durata in servizio nelle condizioni di impiego anche le più severe.

MEMORIE

1/2001

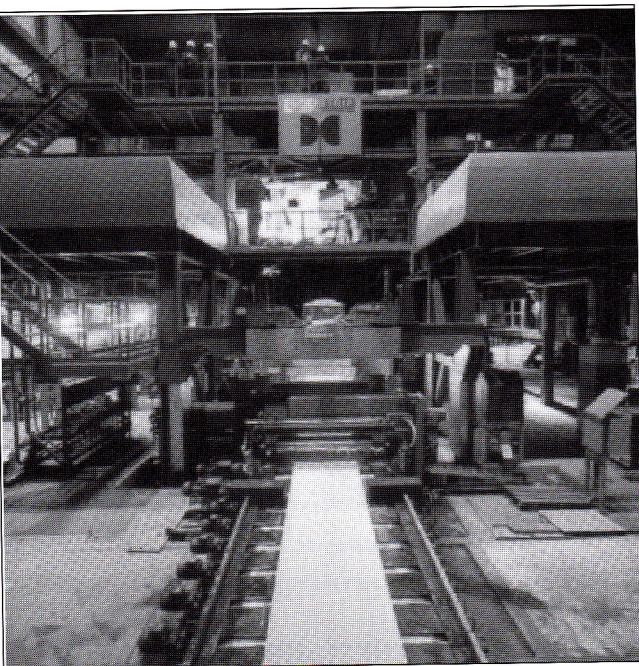


Fig. 7 - Progetto EUROSTRIP: foto ufficiale dell'impianto preindustriale di strip casting di Krefeld (KTN) in attività.

Fig. 7 - EUROSTRIP Project: official photograph of the Krefeld strip casting preindustrial plant in operation.

Parallelamente sta proseguendo l'attività di R&S e di sperimentazione su impianto pilota a Terni, che ha visto diverse fasi di sviluppo della tecnologia. Questa è stata messa a punto attraverso la realizzazione di ben 4 impianti sperimentali, realizzati in epoche successive con componenti e sistemi di colaggio progressivamente migliorativi fino all'impianto attuale, che permette la produzione di nastri sottili (<4 mm) e di larghezza max 1100 mm (Figura 8). I processi messi a

punto riguardano in primis la produzione di nastri di acciai inox austenitici, le cui caratteristiche, dopo trattamento o successiva laminazione a freddo, sono del tutto comparabili se non migliorative rispetto alla produzione da ciclo tradizionale.

Le nostre esperienze indicano chiaramente che sono state superate le barriere tecnologiche per l'applicazione industriale della tecnologia nella produzione di nastri a caldo di acciai inox austenitici.

Lo sviluppo industriale previsto a breve presso la Krupp Thyssen Nirosta di Krefeld, tramite l'esercizio dell'impianto pre-industriale, consentirà l'ottimizzazione, oltre che delle pratiche di processo, anche della componentistica e dei materiali di consumo, contribuendo in tal maniera a consolidare l'economia del ciclo di produzione.

Parimenti è stata avviata già da alcuni anni la sperimentazione volta alla messa a punto dei componenti tecnologici e di processo per la produzione di nastri di acciai al Carbonio. Tale attività, che viene condotta sull'impianto pilota di Terni, ha già fornito risultati molto incoraggianti, anche se non definitivi. Sono stati prodotti nastri di acciai a basso Carbonio, calmati al Silicio, idonei alla ri-laminazione ed all'impiego nel settore dell'edilizia e delle costruzioni.

Non sono state invece ancora del tutto individuate e/o sperimentate a sufficienza le condizioni di processo idonee alla produzione di acciai al Carbonio di qualità più impegnativa. Inoltre l'obiettivo della produzione diretta di nastri a caldo di spessore ultra-sottile <1 mm per la sostituzione dei prodotti laminati a freddo appare ad oggi ancora non raggiungibile a breve.

Il futuro nella diffusione della tecnologia di strip casting appare comunque di sicuro successo, in quanto essa abbattendo drasticamente i tempi di produzione e gli investimenti, riducendo i costi operativi ed incrementando notevolmente il grado di flessibilità dell'impianto produttivo, si pone come una soluzione assai competitiva sia per la realizzazione di mini-mills dedicati a specifici settori di prodotto/mercato, sia per l'integrazione con impianti produttivi già esistenti.

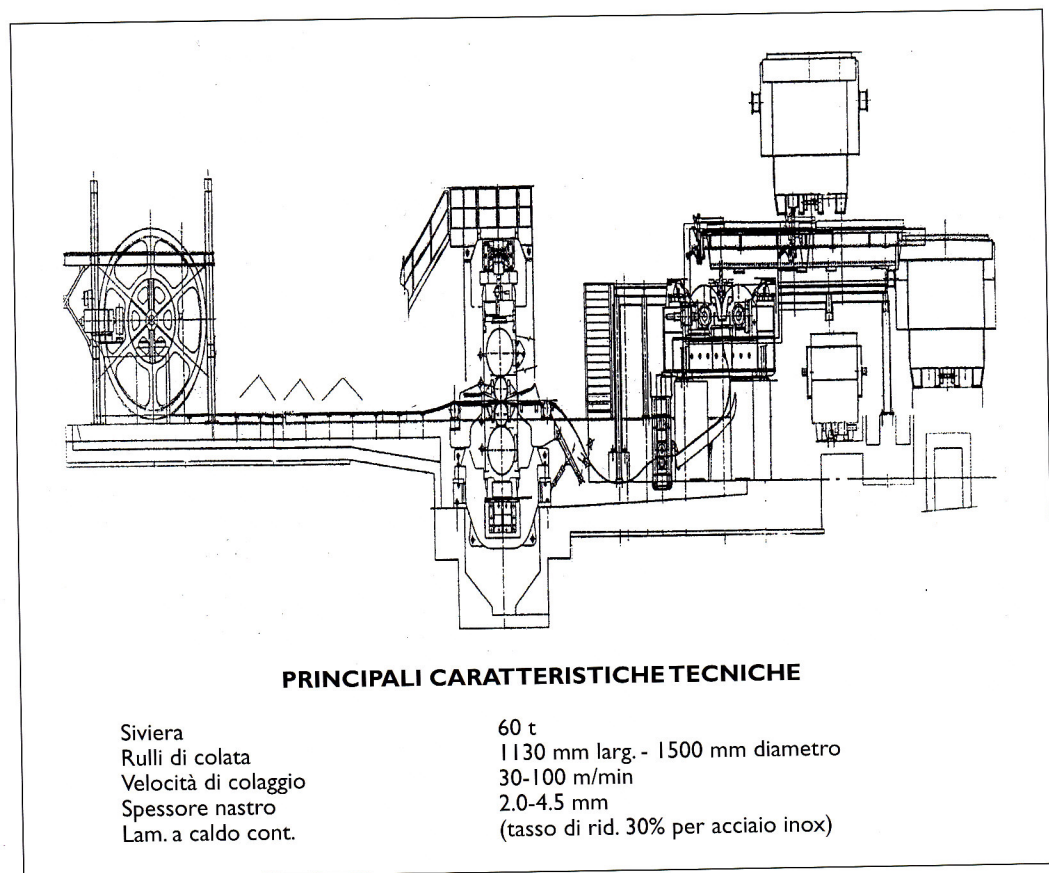


Fig. 8 - Progetto EUROSTRIP: layout dell'impianto pilota di strip casting di Terni.

Fig. 8 - EUROSTRIP Project: layout of the strip casting pilot plant in Terni.

RINGRAZIAMENTI

L'Autore esprime i più vivi ringraziamenti ai Colleghi del CSM: Antonio Mascanzoni, Manlio Mirabile, Antonio Spaccarotella, Eugenio Repetto per gli utili suggerimenti nella preparazione di questo lavoro

BIBLIOGRAFIA

- 1) R. BRUNO, Mini-mills vs. integrated mills, Congresso Annuale ILAFA-40, Buenos Aires 12-15 Settembre 1999
- 2) JOONG KIL PARK et al., Analysis of Thermal and Mechanical Behaviour of Copper Mould During Thin Slab Casting, 2000 Steelmaking Conference Proceedings, Pittsburgh, March 2000, pp 9-21
- 3) F.P. PLESCHIUTSCHNIGG et al., CSP Technology Production and Its Hot Strip Quality, Int. Symposium on Steel Industry in China, ISIDM '97, pp 1-13
- 4) A. CHATTERJEE, S. CHANDRA, Thick, Thin or Ultrathin-That is the Question in Slab Casting, Steel World, Vol. 3, N.2, 1999, pp 45-60
- 5) R. WÖDLINGER et al., The Steel World after the Asian Crisis, MTP International 6/1998
- 6) H. MUELLER, What's Ahead for Metallics ?, Steel Times International, Maggio 2000.
- 7) A.F. EBERLE et al., VAI Technologies for Scrap Substitutes, Steel World, vol. 1 nr. 2
- 8) H. MUELLER, Mills of the New Millenium, Report on Gorham/Intertech's "New Millenium" Steel Conference, Atlanta, Novembre 1999
- 9) F.E. FONNER, Fully Integrated Mini-mill with an Annual Capacity of 2.5 Million Tons, AISE Steel Technology, Marzo 2000
- 10) W. PIRKLBAUER, R. SIMM, Corex Based Mini-mills for High Quality Steel, Steel Times International, Gennaio 1999
- 11) N.L. SAMWAYS, Developments in the North American Iron and Steel Industry, 1999, AISE Steel Technology, Febbraio 2000
- 12) R. DEGEL, O. METELMANN, Redsmelt: an Environmentally Friendly Ironmaking Process, Steel Times International, Marzo 2000
- 13) R. REUFER, G. REUTER, Compact Blast Furnace - a Solution for Modern Ironmaking. MTP International 5/1999
- 14) EAF Study on Order, Stahl und Eisen. 120 (2000), nr. 2, pag. 20
- 15) G.J. McMANUS, The New Home of Electric Steelmaking, AISE Steel Technology, Febbraio 2000
- 16) J.A.T. JONES, Electric Furnace Steelmaking in the 21st Century: a Technology Overview, EAF Seminar, Pittsburgh, 16 Novembre 1999
- 17) E. REPETTO, D. CAPODILUPO, F. BALDIERI, Brevetto RM2000A000444 - 4 Agosto 2000: Procedimento per la produzione di acciai di qualità e speciali a basso costo di trasformazione e ridotto impatto ambientale e reattore idoneo all'esecuzione di tale procedimento.
- 18) B. ROLLINGER, Tecnologia Siderurgica all'Inizio del 2000. Evoluzione o Rivoluzione, La Metallurgia Italiana 10/1999
- 19) European Direct Steel Feasibility Study, ECSC Agreement n° 7215-AA/401, Agosto 1995
- 20) F. BALDIERI, E. REPETTO, Il Forno Elettrico: le Opzioni Tecniche e la Salvaguardia dell'Ambiente, La Metallurgia Italiana, Luglio/Agosto 2000

A B S T R A C T

**LO SVILUPPO DEI CICLI DI PRODUZIONE COMPATTI E CONTINUI QUALE FATTORE DI SUCCESSO NELL'INDUSTRIA DELL'ACCIAIO**

Direct iron ore reduction, hot metal reduction and melting, continuous steelmaking, near-net-shape casting, direct rolling of as-cast products and coil-coating are the technologic innovations that, by compacting the steelmaking process, can provide the benefits of lower investment and production costs, energy saving and higher quality products for specialised uses beside meeting the ever stricter rules against environmental pollution besides.

In this respect, the development of near-net-shape casting has proved decisive: on the one side, thin-slab casting has determined the spreading of direct hot rolling and a dramatic development of mini mills in the USA. On the other side, strip casting plants will give way to direct cold rolling of as-cast products.

Fully continuous processes from raw material treatment to finishing and coating for a large range of products are expected to come into stream in the medium run, that is as soon as the technical and economic aspects of strip casting have been defined and direct steelmaking - presently under study - has been developed industrially. This breakthrough will provide the most innovative steelworks and plant industries with additional and factual chances of success.

In this framework, the most important researches on process

and product metallurgy that are in progress in Japan and Europe are offering new stimulating ideas to develop novel steel families of remarkably higher performance.

Electric mini mills equipped with innovative plants for near-net shape flat products have proved successful especially in the USA and the emerging countries because they assure absolute benefits thanks to lower investment costs and simplification of the steelmaking cycle.

Steel cleanliness has been improved using pre-reduced low-impurity materials and applying secondary steelmaking techniques.

Having enlarged the range of steel products, the electric steelmaking route has now become competitive with the typical blast-furnace/BOF route of large steelworks.

At present, while green field steelworks are almost fully applying the new production technologies, the large steelworks, which are coping with plant upgrading and enhancement, are looking for new solutions combining the technological benefits of electric steelmaking with the metallurgical advantages of the blast-furnace/BOF route.

Strongly innovative techniques such as strip casting have achieved the industrial development stage for stainless steels and are searching for new applications also as far as mass productions are concerned (e.g. carbon steels).

This report deals with the latest steel technologic innovations and the ever wider success of compact steelmaking systems.