

Tesi di Diploma Steel Master

"Zero Wastes" in siderurgia: un progetto solo per l'ecologia?

Ing. D. Capodilupo

Correlatore: E. Gibellieri

Comitato Scientifico:

A. Ciglia (Dalmine)
E. Gibellieri (CSM - CECA)
A. Picchieri (Univ. di Torino)
R. Ranieri (Univ. di Manchester)
E. Repetto (CSM Terni)

Terni - 11/11/99

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Ing. D. Capodilupo

Premessa

Il rispetto e la protezione dell'ambiente è una delle nuove frontiere della tecnologia e delle scienze.

I primi studi sistematici su tale settore sono relativamente recenti anche se il rapporto tra ambiente ed attività umane ha radici molto più antiche.

La sensibilizzazione di massa sul tema dell'ambiente può essere datata, almeno in Italia intorno alla fine degli anni 60, quando con la contestazione giovanile entrò a far parte del vocabolario italiano di uso comune il termine "Ecologia".

Nel 1969, infatti, uno dei temi proposti agli esami della maturità scientifica riguardava proprio il rapporto tra attività umane ed ambiente, anche se, occorre riconoscere, che in quegli anni, era forse più sentito il tema della contestazione in quanto tale piuttosto che la capacità di riconoscere il rapporto tra attività produttive ed inquinamento ambientale.

In quegli anni nacquero i primi movimenti organizzati di ispirazione ecologica come ad esempio il WWF (Fondo mondiale per la natura) fondato a Zurigo nel 1961, l'organizzazione Amici della Terra (1969 negli USA), Greenpeace fondata negli Stati Uniti nel 1974. Negli anni successivi, sotto la spinta dell'opinione pubblica, sempre più sensibile ai problemi ambientali ed allarmata dalle conseguenze delle attività umane sulla natura, si è fatta più pressante la necessità di rivedere le politiche produttive in relazione all'impatto che esse provocano sull'ambiente.

In questa tesi ci si propone di mettere in luce alcune delle possibili strade da perseguire, nella fabbricazione dell'acciaio, per ridurre l'effetto sull'ambiente in relazione alla necessità di gestire in modo intelligente la disponibilità di risorse, mai illimitate, sia esse economiche, logistiche od umane.

Lo scopo è quello di verificare la possibilità di generare economie nella gestione degli scarti di produzione, in particolare solidi, attraverso il loro reimpiego anche in campi non siderurgici con l'ottica di conseguire l'obiettivo denominato "Zero Wastes".

Il perseguimento di tale obiettivo prevede quindi di trovare le vie per un riciclaggio degli scarti in modo da ottenere il massimo rendimento dall'uso delle materie prime e delle energie che spesso vengono inviate in discarica prima ancora di aver esaurito la loro capacità di utilizzazione.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Questa attenzione del mondo siderurgico verso i problemi di tipo ambientale ha risvolti di tipo economico ma soprattutto politico e di immagine in quanto: *una siderurgia che metta al servizio dell'ambiente sempre più risorse, intellettuali ed economiche, per la soluzione di problematiche, create da essa stessa o da altri, svolge un servizio per la collettività e si assicura un posto di rilievo in campo scientifico e tecnologico.*

Ciò consentirà di creare le basi per la sua stessa sopravvivenza in un mondo sempre meno disposto a prendersi carico dei danni ecologici generati da attività umane ad elevato consumo di risorse ed ad elevato impatto ambientale.

1 Fabbricazione acciaio ed impatto ambientale

1.1 Considerazioni generali

La fabbricazione dell'acciaio è una delle attività umane di più antica memoria, la storia stessa dell'uomo è legata imprescindibilmente con la produzione di acciaio; infatti fin dai tempi più antichi il ferro e le sue leghe hanno costituito la base del progresso scientifico e tecnologico.

La fabbricazione dell'acciaio, tuttavia, è anche una delle attività umane a più elevato indice di impatto ambientale, se si considera che, durante la fabbricazione, oltre a generare rifiuti solidi, liquidi o gassosi, si ha anche, quando si opera con forni elettrici ad arco, un elevato consumo di energia elettrica, emissione di elevato livello di rumore, disturbo delle reti elettriche e inquinamento elettromagnetico.

Fermo restando che ognuna di queste problematiche va affrontata specificamente, e genera un impatto ambientale non trascurabile, occorre rilevare che l'aspetto più appariscente del fenomeno inquinante, nella produzione di acciaio, è legato alla generazione di rifiuti solidi o che ad essi possono essere ricondotti (Es. polveri e scorie).

La possibilità di ridurre tale fenomeno richiede costi ed investimenti sicuramente elevati, tuttavia, se i reflui solidi sono opportunamente gestiti, il costo del loro smaltimento può ridursi in maniera significativa soprattutto se il problema viene affrontato in termini di economia globale.

Infatti, costituendo sinergia con altre attività sia esse industriali che sociali, il rifiuto solido può divenire esso stesso materia prima o fonte di energia.

Un esempio immediato è costituito dal riciclaggio dei rottami ferrosi stessi che, pur essendo scarto o di produzione o di obsolescenza e quindi, in prima istanza, da destinare all'accumulo in discariche, costituisce invece materia prima essenziale nella produzione di acciaio da forno elettrico.

Il concetto di base di questo lavoro è quindi quello di valorizzare i rifiuti solidi generati in acciaieria attraverso un loro "UP-GRADE" che sarà virtuale, qualora il rifiuto trovi utilizzo nella stessa forma con cui viene prodotto, oppure reale quando il prodotto diventa utile, per applicazioni non necessariamente siderurgiche, dopo opportuni trattamenti.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Un ulteriore "UP-GRADE" che si cercherà di esaminare è costituito dal possibile impiego, nel settore siderurgico, di materie prime od energie che siano sottoprodotti non riutilizzabili nei settori produttivi che li hanno generati ("Up Sizing"). Con questa filosofia di base l'impatto ambientale risulterà comunque ridotto anche quando non sia visibile direttamente dall'utilizzatore.

1.2 Il concetto di ecologia come "sviluppo sostenibile"

Uno dei concetti basilari per un corretto inquadramento delle molteplici relazioni tra uomo ed ambiente è il cosiddetto "sviluppo sostenibile".

Di sviluppo sostenibile si inizia a parlare negli anni 70. Il concetto successivamente ha subito evoluzioni e raffinamenti collegandosi ad altri concetti chiave come la "Carrying capacity" degli ecosistemi.

In breve esso può esprimersi come: *«il complesso di azioni che migliorano la qualità della nostra vita, rimanendo nei limiti di carico degli ecosistemi che ci sostengono senza compromettere le possibilità delle future generazioni di soddisfare i propri bisogni»*.

In definitiva la fruizione dei beni ambientali non è più da vedere come una possibilità illimitata a costo zero.

La letteratura è ormai vastissima di definizioni, di temi e ricerche che cercano di dare attuazione concreta a questo concetto.

Le stesse politiche dei governi vanno sempre più orientandosi verso una restrizione della fruizione di queste ricchezze nell'ambito della capacità rigenerativa dei sistemi ecologici spinte dalle raccomandazioni di organizzazioni e conferenze internazionali¹²³⁴⁵

Lo stesso trattato sull'Unione europea, firmato a Maastricht il 7/2/1992 si pone come obiettivo prioritario la promozione e la crescita sostenibile e rispettosa dell'ambiente (art. 2). Specifica gli obiettivi ed i principi guida di detta politica, nonché i fattori che devono essere presi in considerazione nel predisporla. Inserisce inoltre, tra le attività dell'Unione, anche una politica nel settore dell'ambiente (art. 3k).

A tali concetti è stato dato seguito nel 1993 con il *"Quinto programma d'azione"* della Comunità Europea *"Per uno sviluppo durevole e sostenibile"*. Programma politico e d'azione della Comunità europea a favore dell'ambiente e di uno sviluppo sostenibile (GUCE C 138, 17/5/93).

Alcune autorità locali italiane che hanno aderito alla Campagna europea Città Sostenibili (marzo 1996) sono le seguenti: Roma, Palermo, Genova, Ravenna, Rimini, Trieste, Messina, Firenze, Treviso, Cattolica, Cerignola, Sesto San Giovanni, Rosignano Marittimo, Provincia di Mantova, **Provincia di Terni**. Sono in arrivo: Provincia di Modena, Carpi, Modena, Bologna.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

La domanda da porsi, a questo punto è la seguente:

"quanto possono chiedere i sistemi produttivi ai sistemi ecologici del pianeta senza determinarne il collasso?"

Per rispondere a questa domanda, non semplice, si è cercato di creare degli strumenti e degli indicatori che siano capaci di misurare la capacità rigenerativa dei sistemi ecologici;

in grado, cioè di misurare le diverse velocità di inquinamento e di rigenerazione del sistema all'interno di un tendenza globale verso uno stato entropico dove la capacità rigenerativa tende sempre a diminuire.

E' in questo momento pendente presso il Senato della Repubblica Italiana un DDL (Relazione 3116-A) per una **"Legge quadro in materia di contabilità ambientale dello Stato, delle regioni e degli enti locali"** la cui finalità è l'integrazione dei documenti e degli atti di programmazione economico-finanziaria e di bilancio dello Stato, delle regioni, delle province e dei comuni, con l'indicazione delle informazioni e degli obiettivi riguardanti la sostenibilità ambientale dello sviluppo allo scopo di definire un adeguato supporto conoscitivo agli organi della decisione politica.

In tale legge sono indicati i criteri di valutazione di sostenibilità ambientale.

Uno dei parametri più recenti con cui si cerca di misurare la sostenibilità, che qui si cerca di approfondire è la cosiddetta **"Impronta Ecologica"** la cui definizione, ricavata da una pubblicazione del WWF⁶ è la seguente *«...una misura della superficie di sistemi ecologici produttivi (foreste, terre agricole, pascoli, acque) necessaria per mantenere a lungo termine le attività economiche e sociali di una particolare comunità, di un paese o dell'intera popolazione umana, date le esistenti capacità tecnologiche e l'organizzazione della produzione. Potremmo affermare che l'Impronta Ecologica misura le capacità di "capitale naturale" di un'economia»*.

In pratica qualunque cosa sia prodotta, con qualsiasi tecnologia, ha bisogno di un flusso di materia ed energia che deve essere prodotto da un sistema ecologico; ha inoltre anche bisogno di sistemi ecologici per riassorbire gli scarti generati durante il ciclo di produzione, di uso ed al termine della vita dei prodotti; altrimenti saranno occupati spazi con infrastrutture ed impianti riducendo, di fatto, la superficie degli ecosistemi produttivi.

1.2.1 Panoramica dell'impronta ecologica⁶

Per calcolare "l'impronta ecologica" di un individuo, una comunità, un'azienda produttrice, una nazione, si parte dalle risorse consumate dalle attività di quest'entità.

Conoscendo la produttività media dei sistemi ecologici nella rigenerazione di risorse, si può valutare quale superficie sia necessaria per soddisfare i relativi bisogni.

Ad esempio, per calcolare la terra necessaria a soddisfare i bisogni energetici si valuta la superficie di foreste necessaria per riassorbire l'anidride carbonica emessa bruciando carbone, petrolio e gas in modo da evitare il riscaldamento dell'ambiente.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

La somma di tutte le superfici produttive necessarie per ciascun tipo di sistema ecologico forma l'impronta ambientale.

A livello mondiale dei 150 milioni di km² di terre emerse soltanto 89 milioni (60%) costituiscono ecosistemi produttivi, il resto è coperto da ghiacci, deserti, aree semi aride e praterie con una produttività ecologica del tutto trascurabile. Altri 2 milioni di km² sono aree coperte da città ed infrastrutture sottratte in gran parte alla superficie produttiva. Circa 15 milioni di km² di aree, rimaste pressoché intatte, sono da considerare strategiche per la stessa sopravvivenza umana. ***Rimangono così 74 milioni di km² utilizzabili come sistemi ecologici per la totalità delle attività umane.*** Di fatto, per i 5.8 miliardi di persone che abitavano il mondo, nel 1996, sono disponibili 1.28 ettari pro capite di ecosistemi produttivi che devono fornire le risorse ed assorbire tutti i rifiuti.

La valutazione delle necessità di ecosistemi per i consumi mondiali porta a valutare un fabbisogno di 98 milioni di km² (34 milioni di foreste per l'anidride carbonica, 34 milioni per i pascoli, 15 milioni per l'agricoltura e circa 15 milioni per il consumo di legno). Ciò equivale a 1.84 ettari pro capite.

Questo vuol dire che l'umanità, già oggi, consuma risorse in quantità superiore alla capacità di carico del pianeta.

In altri termini si può affermare che le attività per sostenere l'attuale sviluppo mondiale non si limitano ad usare quello che i sistemi ecologici (il capitale naturale) può produrre in modo sostenibile (interessi sul capitale) ma consumano il capitale stesso. Ossia il consumo di oggi è sostenuto al costo di una minore produttività ecologica domani.

Quando poi sono valutati i consumi per nazioni (Vedi Tabella I) si nota come i paesi più sviluppati consumino molto di più della loro capacità rigenerativa.

<i>Paese</i>	<i>Impronta ecologica pro capite (*)</i>	<i>Disponibilità di ecosistemi produttivi (*)</i>
<i>Stati Uniti</i>	<i>6.20</i>	<i>2.81</i>
<i>Canada</i>	<i>5.00</i>	<i>-</i>
<i>Olanda</i>	<i>3.32</i>	<i>0.15</i>
<i>Italia</i>	<i>2.21</i>	<i>0.44</i>
<i>India</i>	<i>0.40</i>	<i>-</i>
<i>Media Mondiale</i>	<i>1.84</i>	<i>1.28</i>

() Ecosistemi terrestri*

Tabella I - Panorama dell'impronta ecologica e della disponibilità di ecosistemi produttivi⁷

Ad esempio gli Stati Uniti consumano il quintuplo della disponibilità media mondiale e vi sono paesi, come l'Olanda, che consumano oltre 20 volte la capacità nazionale di rigenerazione.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

In altri termini questi paesi più progrediti importano capacità di rigenerazione dagli altri paesi meno progrediti.

In base alle considerazioni sopra espresse, risulta doveroso, da parte di tutti ed in particolare dei paesi più progrediti, nell'interesse stesso dell'intera comunità, mettere in atto tutti gli interventi per ridurre i consumi ed utilizzare in modo completo la capacità di impiego dei materiali attraverso il riciclaggio di quelli che oggi vengono considerati scarti.

Nell'ambito siderurgico, ad esempio, è doveroso mettere in atto interventi per ridurre il consumo energetico (carbone ed energia elettrica) o di materie prime utilizzando, quando possibile i propri scarti* o scarti di altre lavorazioni.

In merito agli investimenti di natura ecologica le moderne siderurgie destinano circa il 15% dei costi alla soluzione dei problemi ecologici.

Un progetto, quindi, che attraverso un intelligente management dei rifiuti, faccia tendere a zero lo scarico verso l'esterno o che ricicli sottoprodotti di altre lavorazioni (sia interne che esterne) non può che seguire tale principio.

In tale contesto, anche il reimpiego del calore disperso o lo sfruttamento completo dell'energia segue lo stesso principio.

* Ad esempio le scorie, quando inerti, possono sostituire i materiali da cava o essere utilizzate per produrre cementi.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

2 Dimensione del problema ambientale in siderurgia

2.1 Produzione dell'acciaio

L'acciaio prodotto nel mondo, nel 1998, è stato di circa 774.4 milioni⁸ di tonnellate. Di questo, oltre il 60% (460.000 kt/a), è stato prodotto partendo da minerale ed il 40% da cicli di produzione che fanno uso principalmente di rottame (34 % da forno elettrico - 263.000 kt/a - Figura 1).

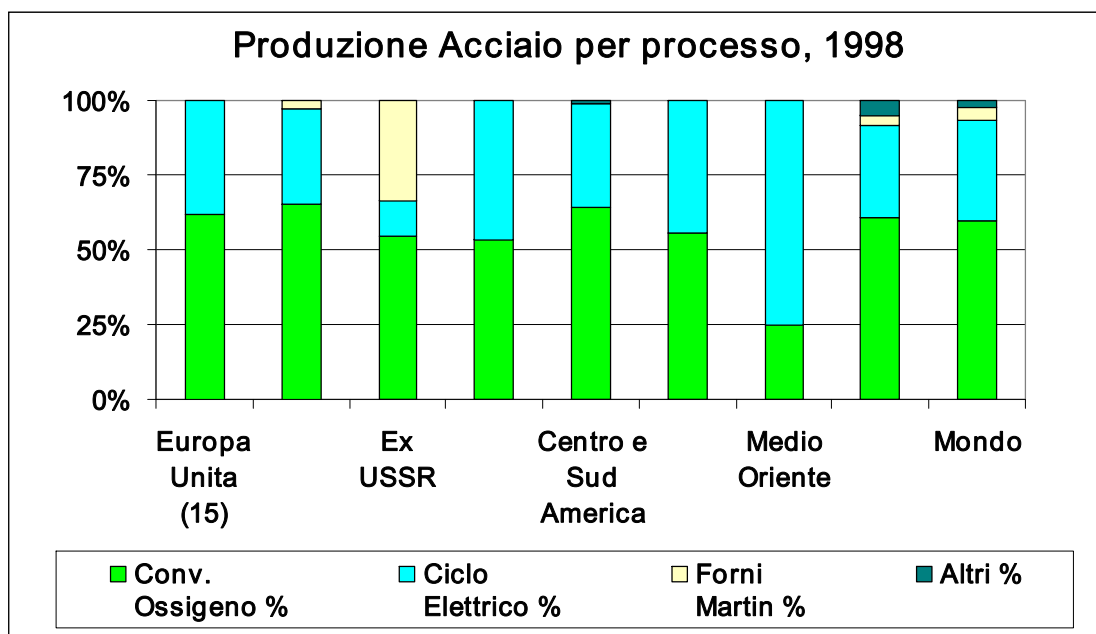


Figura 1 - Panoramica mondiale dell'incidenza dei processi di fabbricazione acciaio⁸

La **fabbricazione dell'acciaio**, infatti, è generalmente divisa in due tipi principali di cicli di produzione:

- **Ciclo integrale o da minerale**
- **Ciclo elettrico o da rottame**

Uno schema semplificato dei due cicli con il flusso di materia, energia dei rifiuti ferrosi siderurgici⁹ è riportato in Figura 2.

A questi due cicli si aggiungono altri tipi di produzione che impiegano rottame ma che sono molto meno importanti (circa il 6%).

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
 "Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

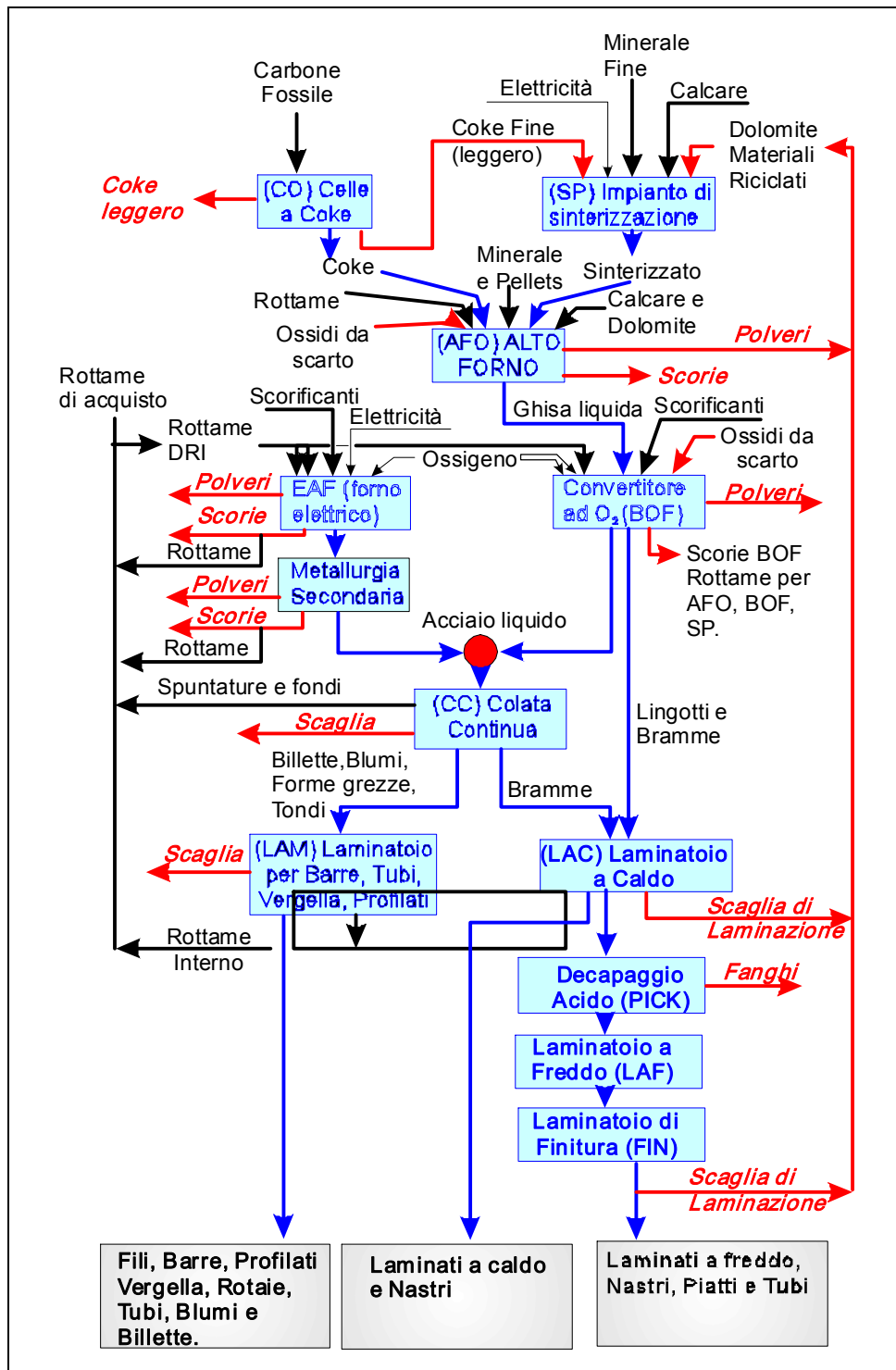


Figura 2 - Schema generale della produzione di acciaio⁹

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Come mostrato in figura 2, i componenti impiantistici principali dell'area "primaria" di un ciclo integrale di fabbricazione dell'acciaio sono i seguenti:

- ◆ Batterie di produzione del Coke (indicate nella figura 2 con la sigla CO)
- ◆ Impianto di sinterizzazione (Fig. 2 - SP)
- ◆ Alto Forno (Fig. 2 - AFO) e
- ◆ Convertitore ad O₂ (Fig. 2 - BOF)

L'area "primaria" di un ciclo elettrico è molto più semplificata essendo formata da:

- ◆ Parco rottami (non indicato esplicitamente nella figura 2)
- ◆ Forno elettrico (Fig. 2 - EAF) e
- ◆ Impianti di metallurgia secondaria*.

A valle di quest'area "primaria", con le metodiche di fabbricazione moderne, i due cicli hanno componenti impiantistiche analoghe in quanto dettate principalmente dal tipo di prodotto (piano, lungo o formato) da realizzare.

Nella figura 2 sono indicate componenti diverse per il ciclo da forno elettrico e per il ciclo integrale. Ciò è dovuto al fatto che, storicamente, il ciclo elettrico era impiegato nella fabbricazione di prodotti lunghi, i cui volumi erano molto più bassi rispetto a quelli dei prodotti piani per i quali veniva comunemente utilizzato il ciclo integrale. Quest'ultima scelta era chiaramente motivata sia dalla qualità superiore richiesta per i prodotti piani, (il prodotto da ciclo primario non è inquinato da elementi di lega presenti nel rottame), sia dalla necessità di recuperare in tempi ragionevoli gli ingenti finanziamenti necessari per la costruzione di un impianto a ciclo integrale. La differenza tra questi due cicli di produzione è fondamentale, oltre che per la metodologia di processo, anche per l'impatto ambientale dovuto ai reflui generati ed al tipo di inquinamento provocato nelle aree circostanti.

2.2 Il riciclaggio del rottame

Una delle prime attività che consentono di ridurre in maniera molto significativa l'impatto ambientale è costituito dalla possibilità dell'industria siderurgica di riciclare una frazione molto elevata del proprio prodotto, sia come provenienza dagli scarti di produzione, sia come reimpiego del materiale giunto a fine vita.

Ciò è estremamente importante in ottica ecologica poiché, secondo quanto affermato da John Adam, presidente della British Metal Federation, in una lettera a Michael Meacher, ministro inglese dell'ambiente¹⁰, la produzione di acciaio attraverso l'impiego di rottame consente di risparmiare, rispetto al minerale vergine

* La metallurgia secondaria è stata indicata esplicitamente nel ciclo elettrico in quanto tale parte ha assunto negli ultimi anni una importanza determinante per rendere competitivo il ciclo elettrico in termini di produttività e qualità degli acciai prodotti rispetto al ciclo integrale.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

(prodotto da minerale in un ciclo integrale), l'86% di inquinamento dell'aria, il 40% di impiego ed il 76% di inquinamento dell'acqua, produce inoltre una minor quantità di materiale da discarica, consente di eliminare veicoli per il trasporto giunti a fine vita e crea, con la raccolta e frantumazione del rottame, un gran numero di posti di lavoro.

Nel panorama mondiale (figura 3) il riciclaggio di rottame (consumo apparente) del 1997 è stato in totale di quasi 356.000 t che è pari a circa il 46% dell'acciaio prodotto.

In particolare attraverso il ciclo elettrico, viene riciclato circa il 65 % (oltre 230.000 t/a nel 1997) del rottame raccolto.

In Europa, nel 1997 il riciclaggio di rottame è stato pari a circa il 54 % della quantità di acciaio prodotta. L'obiettivo, per il 2005, è di arrivare ad un riciclaggio del 60% attraverso una migliore gestione e potenziamento dei sistemi di raccolta e di selezione.

In uno studio analitico, effettuato dall'AISI¹¹, è riportata la tipologia dei prodotti che vengono generati o raccolti e riciclati negli Stati Uniti ed il volume globale di ferro metallico in essi contenuti.

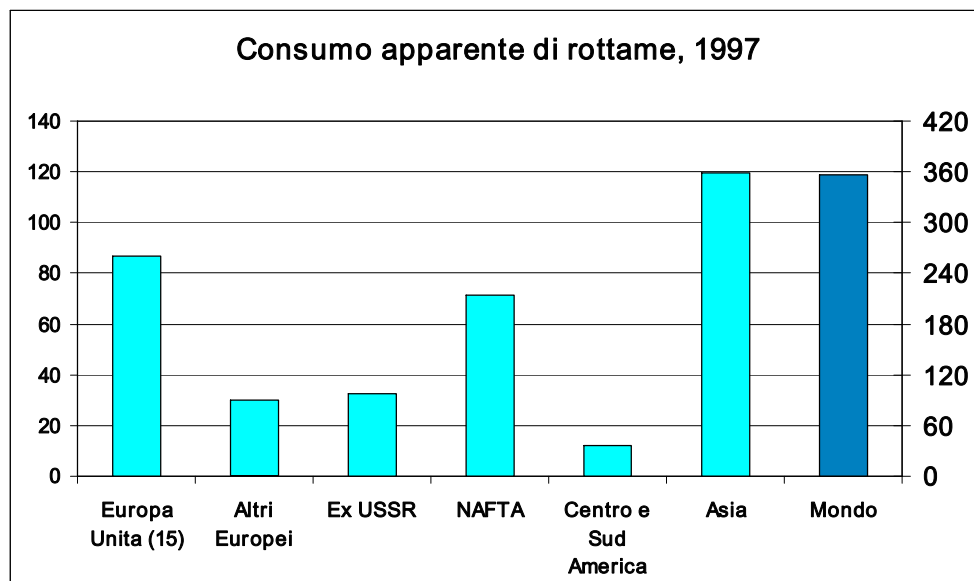


Figura 3 - Panoramica del consumo apparente mondiale di rottame¹² nel 1997

Tale schema può essere utilizzato, in via del tutto generale, per descrivere il panorama dei rottami disponibili, in vista di un loro utilizzo ottimizzato.

In figura 4 è mostrata, sotto forma di diagramma di flusso, una rielaborazione di queste informazioni.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

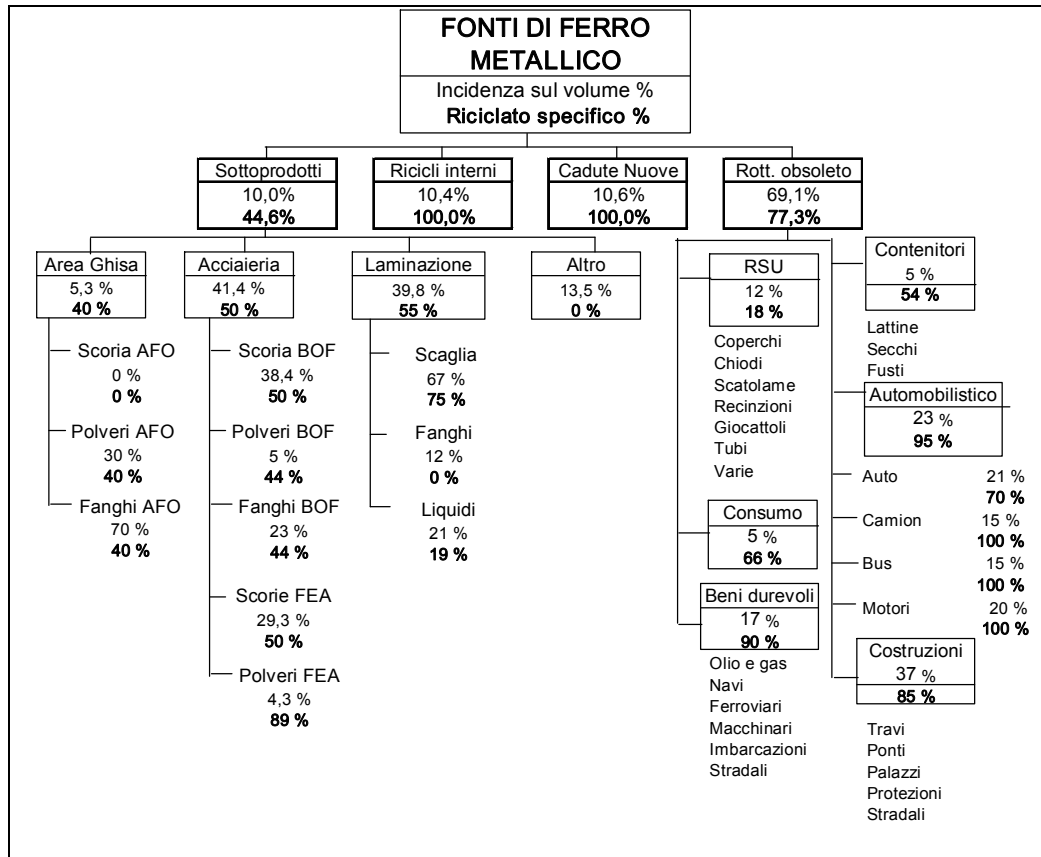


Figura 4 - Diagramma di flusso dei prodotti ferrieri e loro attuale riciclaggio

Come si vede la maggior parte del rottame disponibile, per il riutilizzo in acciaieria, proviene dalla raccolta di prodotti giunti a fine vita (Rottami Obsoleti).

Questi materiali, spesso, contengono tutta una serie di elementi inquinanti del prodotto che possono limitarne, di fatto, la riutilizzazione.

Ne segue che per poterli utilizzare in maniera sempre più massiccia occorre gestirne la raccolta in maniera intelligente separando quanto più possibile i componenti inquinanti.

Ad esempio, nella demolizione automobilistica, la separazione dei motorini e degli impianti elettrici dalle carrozzerie e dai motori, riduce l'inquinamento da rame nell'acciaio e quindi la necessità di diluizione con materie prime provenienti da ciclo primario.

Un'altra opzione consiste nel riutilizzare rottami inquinati in categorie di acciai particolari, dove l'inquinante stesso o è un elemento di lega oppure non incide in maniera determinante sulle caratteristiche tipiche desiderate.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Questo tipo di approccio consente di generare economie molto elevate in quanto rottami ad alto contenuto di oligo-elementi hanno spesso costi molto più bassi rispetto ai rottami selezionati.

Un'altra tipologia di rottame disponibile in quantità però più limitata è costituita dalle cadute di lavorazione dell'acciaio sia interne che esterne (ricicli interni e cadute nuove). Queste presentando pochi problemi qualitativi, e sono infatti quasi sempre riciclate nella stessa acciaieria che li genera.

Una particolare forma di riciclaggio che può risultare invece molto più complessa e quindi costosa è costituita dal recupero del metallo (essenzialmente Fe) contenuto negli scarti del ciclo di fabbricazione. Nella Figura 5 è mostrato uno schema dei contenuti di Fe metallico nei sottoprodotti di acciaieria e le principali difficoltà per il suo recupero.

Area Ghisa	Scoria AFO 234 kg/t _(acciaio grezzo) Fe < 5 % Ostacoli :	Polveri AFO 7,5 kg/t _(acciaio grezzo) 10 % < Fe < 35 % 30 % < C < 75 % Riciclate in sinterizzazione Ostacoli : Pezzatura fine	Fanghi AFO 13 kg/t _(acciaio grezzo) 15 % < Fe < 48 % 20 % < C < 65 % Ostacoli : Pezzatura fine, umidità e chimica
	Scoria BOF 110 kg/t _(acciaio grezzo) 20 % < Fe < 25 % 50 % Fe recuperato Ostacoli : Chimica	Polveri BOF 5 kg/t _(acciaio grezzo) 60 % < Fe < 67 % Ostacoli : Pezzatura fine, chimica	Fanghi BOF 24 kg/t _(acciaio grezzo) 50 % < Fe < 63 % 20 % < C < 65 % Ostacoli : Pezzatura fine, umidità, contenuto di Zn e chimica
	Scoria FEA 105 kg/t _(acciaio grezzo) 20 % < Fe < 25 % 50 % Fe recuperato Ostacoli : Chimica	Polveri FEA 15 kg/t _(acciaio grezzo) 20 % < Fe < 40 % Riciclo per recupero Zn Ostacoli : Costo per il recupero di Zn	
Laminazione	Scaglia laminazione 37 kg/t _(acciaio grezzo) 60 % < Fe < 75 % Riciclo in sinterizzazione e AFO o vendita Ostacoli :	Fanghi LAM 10 kg/t _(acciaio grezzo) 30 % < Fe < 75 % Ostacoli : Pezzatura fine, umidità, contenuto oil e chimica	Liquidi di decapaggio 6,5 m ³ /t 0,180 kg/m ³ di Fe ₂ O ₃ Per lo più rigenerato, neutralizzato, inviato in discarica o venduto Ostacoli : Pezzatura fine, chimica

Figura 5 - Sottoprodotti della fabbricazione acciaio contenenti Fe e relativo riciclaggio

Tutti questi prodotti sono caratterizzati da contenuti variabili di metallo e non tutto è sotto forma recuperabile. Un loro "up-grading" consentirebbe un più massiccio recupero e quindi di avvicinare l'obiettivo "Zero Waste".

E' compito della ricerca, in questo caso, trovare applicazioni e metodi di trattamento che siano in grado di rendere economicamente utili questi sottoprodotti in modo da

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

evitare l'appesantimento delle discariche e tendere quindi all'obiettivo "Zero Wastes".

In un ottica più estesa del concetto di "Zero wastes", accanto al riciclaggio di queste materie prime "autoprodotte", connesse quindi al recupero dei metalli in esse contenuti, non è da trascurare il possibile impiego di scarti di industrie non siderurgiche, riutilizzati solo parzialmente o per nulla dall'industria che li ha generati.

A titolo di esempio può divenire utile, per il recupero di cromo dalla scoria, durante la fabbricazione degli acciai inossidabili, utilizzare sfridi della produzione o della manipolazione del Ferrosilicio (come le polveri raccolte dagli impianti di abbattimento dei nastri trasportatori della lega stessa) che, non essendo più utilizzabili come ferrolega, possono invece trovare utile applicazione come riducente esotermico della scoria al forno elettrico. In tal modo si otterrebbe il duplice scopo di produrre del cromo utile e di diminuire l'impegno della discarica.

Un altro esempio dell'applicazione più estesa del concetto "zero wastes" è costituito dalla possibile riutilizzazione di rottami di vetro (essenzialmente silicato di sodio) che, essendo solo parzialmente riutilizzabili dall'industria vetraria, possono invece essere impiegati utilmente per ridurre l'emissione di polveri dovuta alla manipolazione delle scorie siderurgiche.

In questo caso, con la vetrificazione delle scorie, si riduce l'impatto ambientale legato alla volatilità delle polveri e la necessità di impiegare altri vetrificanti da miniera. In definitiva l'impegno globale di discarica.

In conclusione, la possibilità di estendere e globalizzare il concetto di "Zero wastes", passa:

- attraverso l'esame critico dei processi di lavorazione o, più in generale, di tutte le attività umane, e,
- attraverso il reimpiego più utile dei reflui prodotti sulla base delle loro caratteristiche.

Per ciò che concerne il campo siderurgico, nei prossimi paragrafi viene effettuata una rassegna dei principali processi e vengono evidenziati gli aspetti più critici delle emissioni connessi con la necessità della loro riutilizzazione o neutralizzazione.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

2.3 La produzione di reflui nella fabbricazione dell'acciaio

L'area "primaria" della produzione di acciaio, sia di un ciclo integrale che di un ciclo elettrico è costituita, come detto, da una serie di impianti le cui problematiche ecologiche particolari, richiedono interventi specifici adeguati.

L'illustrazione di tutti i possibili interventi per ridurre l'impatto ambientale dei singoli impianti va al di là degli obiettivi che ci si è posti in questa tesi. Tuttavia per meglio comprendere la dimensione del problema, si cercherà, nei successivi paragrafi, di esaminare gli aspetti qualitativamente più critici della produzione nei due cicli principali con particolare riferimento alla generazione di sostanze inquinanti e laddove possibile si cercherà di dare una valutazione quantitativa.

2.3.1 Siderurgia a ciclo integrale

2.3.1.1 Batterie di produzione del Coke

La produzione di coke metallurgico è una delle componenti essenziali della produzione di acciaio da ciclo integrale in quanto fornisce il carbone ed il calore necessario alla riduzione degli ossidi di ferro del minerale, impiegati nell'altoforno, per produrre la ghisa.



Figura 6 - Estrazione del coke da una cella di produzione

a secco che a umido.

Tutto il processo di purificazione del gas richiede una lunga serie di operazioni (figura 7).

Il coke viene prodotto da uno speciale carbone minerale (coking) in grosse batterie di forni costituiti da camere multiple, verticali, separate da settori riscaldanti (Figura 6). Nella figura 7 è riportato uno schema della produzione del coke metallurgico e degli effluenti del processo.

Il materiale viene introdotto dall'alto e riscaldato ad alta temperatura, in assenza di aria, per prevenire l'ossidazione e per eliminare i composti volatili. Al termine del processo il coke viene spinto fuori dai forni e raffreddato sia

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Per prima cosa il gas grezzo è spruzzato con liquidi debolmente ammoniacali che fanno condensare il catrame e l'ammoniaca, quindi il gas rimanente è raffreddato in un condensatore e compresso in un sistema di abbattimento.

A questo stadio il gas può contenere ancora il 75% dell'ammoniaca ed il 95 % degli oli leggeri originali; viene pertanto fatto passare in un saturatore, dove l'ammoniaca viene fatta reagire con acido solforico per formare solfato di ammonio che viene cristallizzato e rimosso; il gas viene quindi ulteriormente raffreddato per condensare il naftalene.

Gli oli leggeri sono invece estratti dal gas in una torre di assorbimento e quindi raffinati o usati come combustibile negli stessi forni a coke.

Processo di produzione del Coke Metallurgico

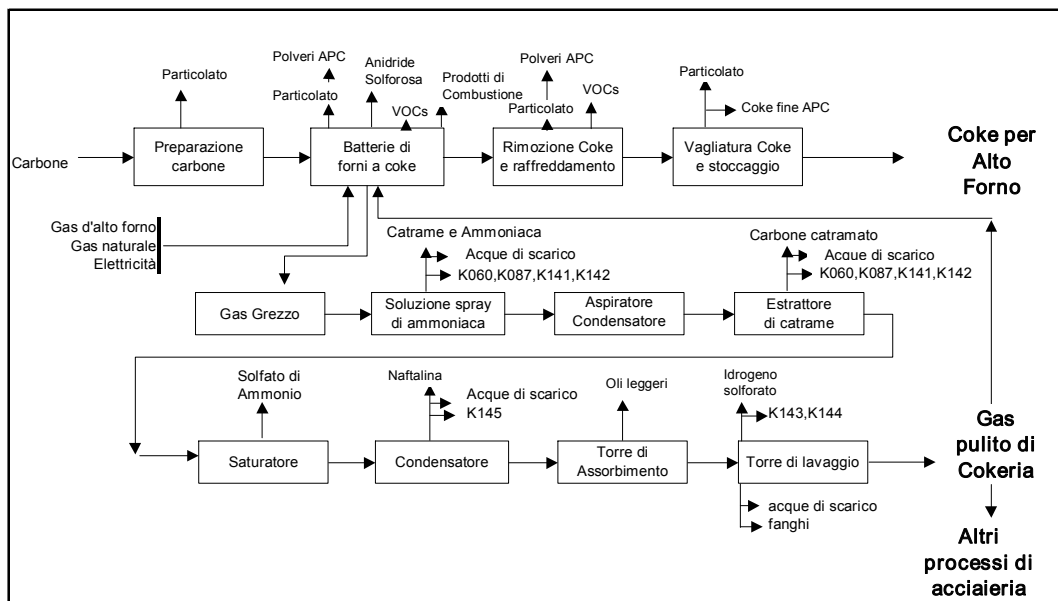


Figura 7 - Schema della produzione del coke metallurgico e dei relativi effluenti¹³

L'ultimo passaggio è la rimozione dello zolfo sotto forma di idrogeno solforato che viene effettuata in torri di lavaggio.

Il gas, così ripulito, chiamato "gas di cokeria", viene usato o venduto come combustibile.

Per 1 tonnellata di carbone utilizzato vengono prodotti 300 Nm³ di gas con un potere calorifico di 5.24 kWh/m³.

Circa il 40% del gas viene reimpiegato in cokeria riducendo di fatto il costo energetico e le emissioni.

La produzione di particolato solido sotto forma di polvere durante il processo si ha quasi esclusivamente durante la carica, ma è del tutto trascurabile (0.5 kg/t di coke)

**Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?**

rispetto a quello contenuto nei gas e nei liquidi durante la "cokefazione", lo scarico e lo spegnimento.

Come si vede dalla figura 7 le emissioni durante queste fasi della produzione sono notevoli. Si calcola che per 1 tonnellata di coke prodotto vengono emessi circa 400 litri di acque di scarico e circa 100 litri di liquido ammoniacale proveniente dall'umidità contenuta nel carbone.

Le acque di scarico contengono significativi livelli di oli, grassi, composti ammoniacali, cianuri, fenoli, tyocianuri, benzene, toluene, xilene, altri composti aromatici volatili. e composti aromatici policiclici.

Contengono inoltre tracce di metalli pesanti come: arsenico, antimonio e selenio. La quantità di questi inquinanti dipendono naturalmente dal tipo di carbone usato e dall'efficienza del processo di produzione.

I principali sottoprodotti del processo di cokefazione sono ricavati dal gas grezzo che contiene: vapore, catrame, oli leggeri, particolato solido di polveri di carbone, idrocarburi pesanti e composti organici complessi.

I materiali condensabili come: catrame, oli leggeri, ammoniaca, e naftalene vengono raccolti e processati sia come gas sia per i contenuti di carbonio. Il gas viene poi purificato ulteriormente rimuovendo lo zolfo.

Il riciclaggio di questi effluenti ha quindi risvolti sia indirizzati all'ottenimento dello "Zero Wastes" sia al conseguimento di un beneficio economico.

Nella figura 7 sono state anche indicate tutta una serie di emissioni pericolose classificate con la sigla del Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) americano, dove ad esempio la sigla:

- K 141 sta ad indicare i residui di carbone generati, nel recupero di catrame, quando i gas, non condensati entrano nel refrigeratore primario e si accumulano nelle acque
- K 142 indica un carbone incombusto che se non riciclato nelle celle a coke viene inviato in discarica sotto forma di fanghi.
- K 143 indica le resine prodotte nella raccolta degli oli leggeri, vengono recuperati e usati come combustibili o nelle celle a coke o nell'alto forno.
- K 144 indica le morchie della raccolta degli oli leggeri, vengono addensati e recuperati per essere o riciclati nelle celle a coke o inviati in discarica.

Gli effetti sull'uomo delle emissioni dovute ai sottoprodotti di cokeria, sono veramente pericolose.

Ad esempio l'immissione nell'aria e nelle acque di benzo-a-pirene, può produrre effetti deformanti sui neonati e morti prenatali¹⁴.

In casi di questo tipo, è pressoché inevitabile intraprendere iniziative volte all'ottenimento di uno "zero wastes" che abbia caratteristiche sicuramente sociali e non necessariamente economiche. D'altro canto la legislazione e le normative su questo campo si fanno sempre più stringenti e precise.

In Italia, ad esempio, il DM del 5/2/1998 (noto come "*Decreto Ronchi*"), individua, nell'Allegato 1 - Sub 1, ai commi 13.12 e 13.13, i prodotti e fissa i limiti che devono

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

essere osservati perché i sottoprodotti di questa produzione siano considerati non pericolosi.

Questo decreto fa seguito al: "PIANO NAZIONALE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE IN ATTUAZIONE DELL'AGENDA XXI", approvato dal CIPE nella seduta del 28/12/93 e pubblicato su GU n. 47, del 26/2/94.

In particolare, per ciò che concerne le emissioni di gas, il decreto Ronchi è stato seguito dalla delibera CIPE del 19/11/98 che riguardava *le "linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra"*.

L'industria siderurgica, mossa da queste normative, sempre più stringenti, si accinge quindi a mettere in atto, interventi finalizzati a ridurre ad esempio l'emissione di:

- Benzene e VOCs: attraverso nuovi sistemi di lavaggio dei gas e sistemi di combustione dei VOCs.
- Particolato: attraverso nuovi aspiratori più efficienti, nuovi sistemi di chiusura e nuove tecniche di riparazione che consentano di ridurre la dimensione delle aperture dei forni, oltre a nuovi refrattari che si usurano meno facilmente.
- Ossidi di zolfo: mediante trattamenti con filtri chimici nuovi o migliorati
- Inquinanti nelle acque: con digestori biologici.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
 "Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

2.3.1.2 Impianti di sinterizzazione (Fig. 2 - SP)

Gli impianti di sinterizzazione consentono di riciclare materiali fini altrimenti non utilizzabili all'alto forno contribuendo, di fatto, allo "Zero Waste".

Naturalmente anche gli impianti di sinterizzazione pur avendo "vocazione al riciclaggio" hanno effluenti ed emissioni che occorre controllare perché il loro contributo non sia negativo.

Nella figura 8 è riportato lo schema produttivo con le emissioni di questo tipo di impianti e nella figura 9 un impianto di sinterizzazione in marcia.

La composizione dei materiali di carica da sinterizzare è fortemente influenzata dal processo, un'analisi tipica dei componenti contiene: Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e MgO .

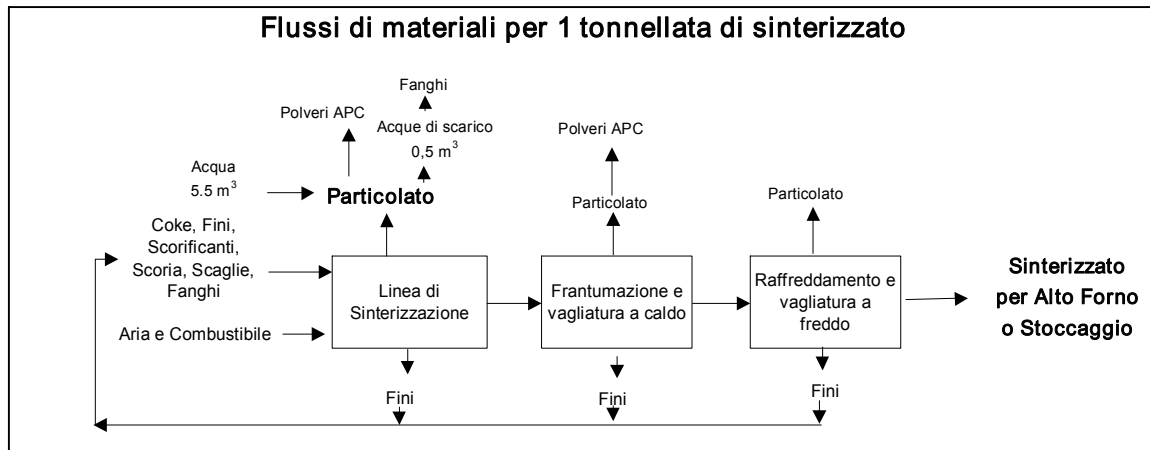


Figura 8 - Schema del processo di sinterizzazione e dei residui di produzione

Nell'impianto di sinterizzazione sono trattati, (vedi Fig. 2) oltre ai minerali fini che ne costituiscono la base produttiva,

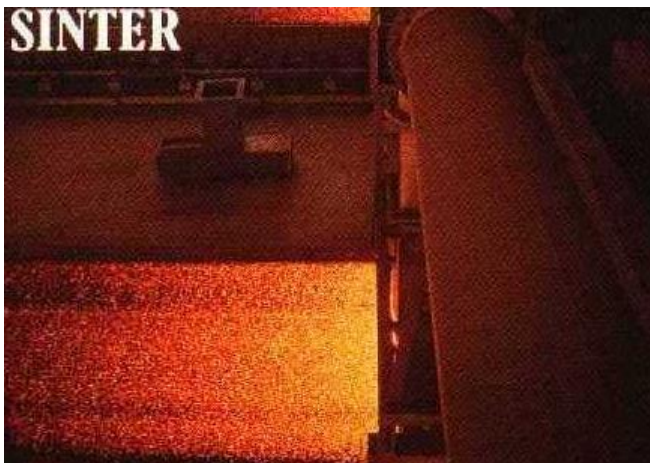


Figura 9 - Produzione del minerale sinterizzato.

anche polveri di ossidi provenienti dall'altoforno, coke fine dalla cokeria, scaglie di laminazione, polveri raccolte dai filtri dei convogliatori di materie prime e dal convertitore.

E' evidente che anche tali parchi sono soggetti all'emissione di polveri per cui è necessario ridurre la volatilità dei materiali.

Come si può vedere dallo schema la principale produzione di scarichi solidi del processo è costituita da polveri fini che vengono quasi tutte

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

riciclate nell'impianto stesso, tant'è che (negli impianti più evoluti) l'emissione nell'atmosfera di polveri è dell'ordine di 0.3 kg/t costituito da ceneri di carbone e residui di minerale.

Il sottoprodotto principale della sinterizzazione è costituita da ossido di carbonio, si calcola che in questo caso il prodotto sia dell'ordine di 22.5 kg/t¹⁴ di materiale sinterizzato con un contenuto energetico quindi di oltre 100 kWh utili per t.

E' chiaro che in questo caso il recupero del gas ha risvolti economici non trascurabili.

In relazione agli effluenti del processo occorre rilevare che si stanno mettendo in atto interventi per ridurre l'emissione di ossido di carbonio (nel 1995 si sono raggiunti livelli di circa 90 g/t rispetto ai 200 g/t del 1992)¹³ e soprattutto il livello delle diossine¹⁴.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

2.3.1.3 Alto Forno (Fig. 2 - AFO)

L'alto forno è l'impianto dedicato a trasformare in ghisa il minerale di ferro. In breve esso è costituito da un tino molto alto (da qui il nome) dove viene immesso, dalla "bocca" superiore il minerale di ferro assieme al coke che fornisce sia l'energia che il riducente.



La ghisa e la scoria ("loppa") vengono spillate

Figura 10 - Schema di un alto forno per la produzione di ghisa.

separatamente dal basso attraverso i relativi fori e trasportati con dei canali ("rigole") rispettivamente nei carri siluro e nelle paiole.

Durante le fasi di colaggio si generano polveri sia per il contatto con l'aria della ghisa e della loppa sia per l'apertura (trapanatura o lancia termica) e la chiusura dei canali di colaggio. Queste polveri contengono essenzialmente FeO_x , MgO e polvere di grafite.

Nella figura 11 è riportata la vista di un alto forno.

Negli altiforni il particolato viene raccolto solo parzialmente con cappe di aspirazione a secco poste sulle rigole.

Sistemi specifici di aspirazione non sono mai applicati.

Nell'altoforno il coke (figura 10) viene ossidato insufflando aria calda mediante tubiere poste nella parte bassa del tino al di sopra del crogiolo che raccoglie la ghisa e la scoria prodotta. L'ossidazione del coke produce CO che attraversando il letto di carica riduce e riscalda il minerale.

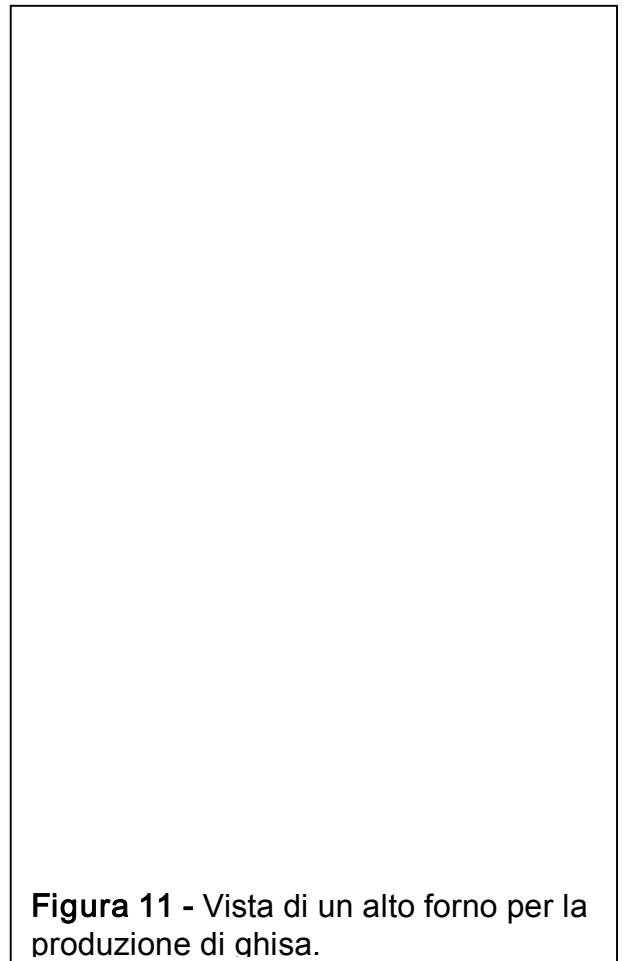


Figura 11 - Vista di un alto forno per la produzione di ghisa.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Altre polveri sono ancora raccolte dalla bocca e dal filtraggio del gas di altoforno anche se in quest'ultimo caso la maggior parte di esse sono sotto forma di fanghi.

Flussi di materiali per 1 tonnellata di ghisa

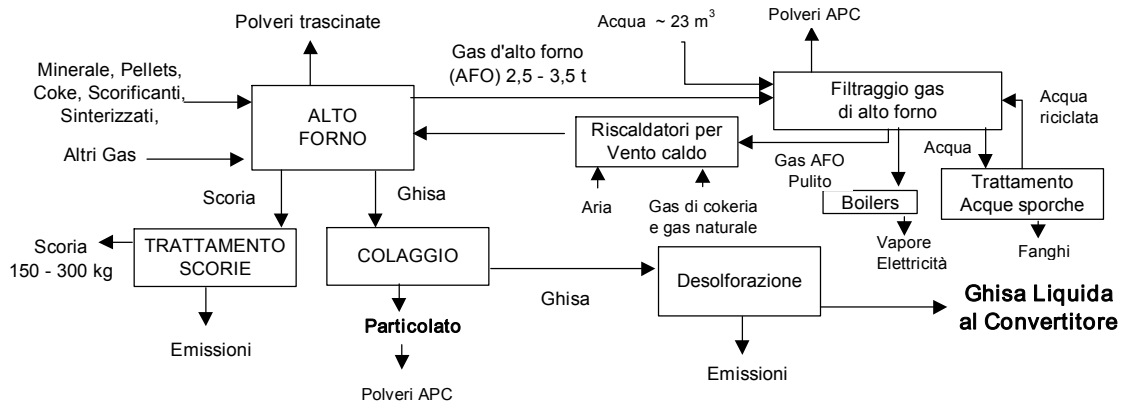
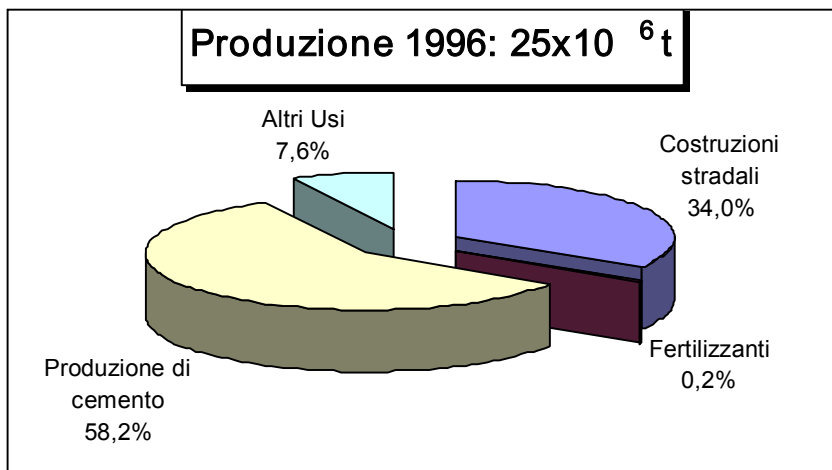


Figura 12 - Schema delle emissioni di un processo di produzione ghisa da altoforno

Nella figura 12 è riportato lo schema a blocchi del processo con le tipologie di emissioni. per una tonnellata di ghisa la somma delle polveri e dei fanghi generate è dell'ordine dei 20 ÷ 25 kg. Essi sono costituiti essenzialmente da ossidi di Fe, Ca, Si, Mg, Mn, Al.

Oggi questi materiali vengono riciclati negli impianti di sinterizzazione, o bricchettati e reimmessi nell'altoforno.



La produzione più massiccia di reflui solidi di un altoforno è tuttavia costituita dalla loppa che ammonta al 15 ÷ 35 % in peso della ghisa prodotta. Nella figura 13 si ha un panorama dell'impiego della loppa nella Comunità Europea nel 1996.

Figura 13 - Panorama del riciclaggio della loppa d'alto forno nella Comunità Europea¹⁴.

Naturalmente anche l'impiego delle materie prime può essere

fonte di inquinamento soprattutto durante la manipolazione che viene fatta all'aperto in parchi dedicati (figura 14).

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Questo materiale è oggi generalmente riciclato per costituire inerte da manto e da sottofondi stradale¹⁵ o come materia prima per l'industria cementizia. I primi studi finanziati dalla comunità europea sono datati anni '80^{16,17}



Figura 14 - Vista dei parchi di materie prime per la produzione di minerale sinterizzato.

Questo tipo di inquinamento è costituito essenzialmente da polveri e si manifesta per opera del vento soprattutto nei periodi di siccità. Un ingrandimento di queste polveri è mostrato nella figura 15.

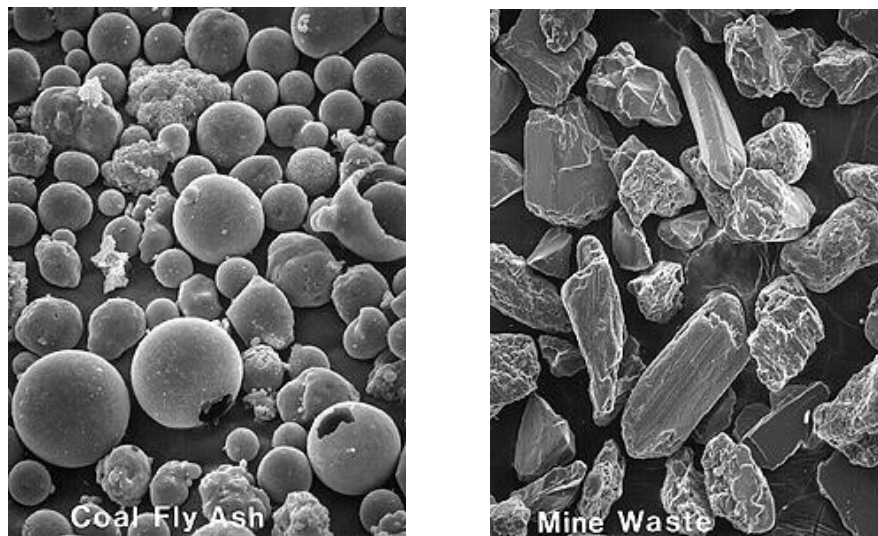
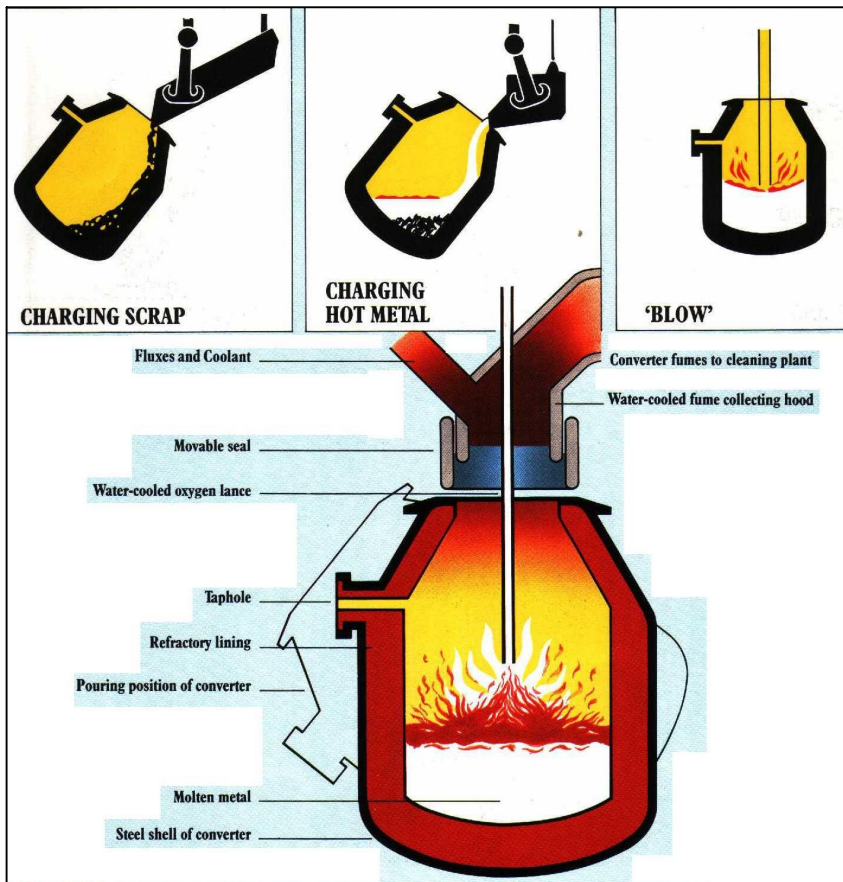


Figura 15 - Ingrandimento di fini di carbone e di minerale

Il provvedimento che viene preso in questi casi consiste nell'irrorare i parchi con delle sostanze oleose filmogene che impediscono la volatilizzazione. Ovviamente, in questo caso, il contributo al conseguimento dell'obiettivo "Zero Wastes" è del tutto marginale ma queste azioni servono, in ogni caso, a ridurre l'impatto ambientale.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
 "Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

2.3.1.4 Convertitore ad O₂ (Fig. 2 - BOF)



Il convertitore da ossigeno permette di produrre acciaio da ghisa proveniente generalmente dall'altoforno. Il processo descritto sinteticamente nella figura 16 consiste essenzialmente nella decarburazione della ghisa mediante l'insufflazione di ossigeno iniettato a velocità spesso supersonica attraverso una lancia inserita dall'alto nella "Bocca" del convertitore. Nella figura 17 è riportata la sequenza fotografica delle fasi di caricamento di rottame e ghisa e della marcia di in un convertitore ad ossigeno LD.

Figura 16 - Schema di funzionamento del processo di conversione ghisa nel reattore LD.

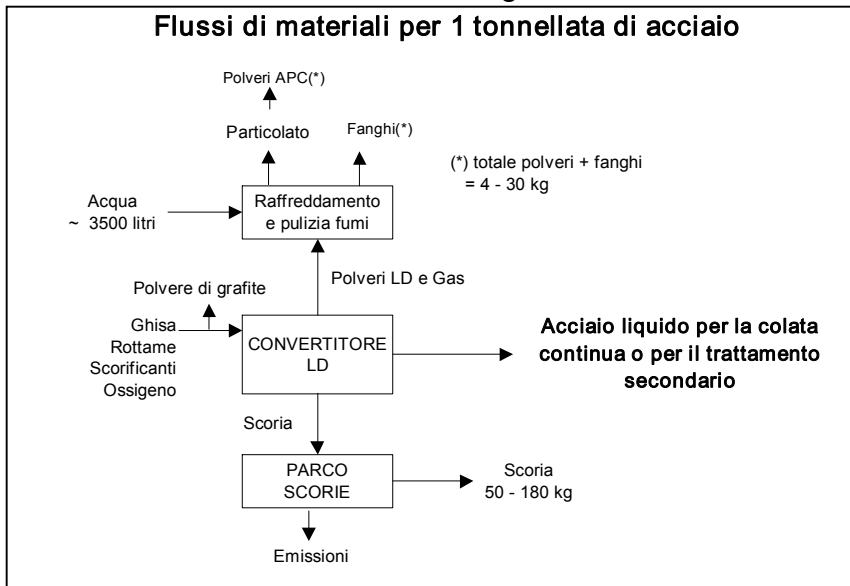


Figura 17 - Sequenze di caricamento rottame e ghisa e marcia di in un convertitore LD

**Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?**

L'ossidazione di C a CO produce un eccesso di calore che viene impiegato per fondere il rottame introdotto nel convertitore prima di immettere la ghisa. Nel convertitore è aggiunta anche la calce per svolgere le funzioni metallurgiche previste: dalla defosforazione alla desolfurazione. La calce insieme ai metalli ossidati forma la scoria.

Nella figura 18 è riportato invece uno schema a blocchi dei principali flussi di materiali di un convertitore ad ossigeno inserito in una acciaieria a ciclo integrale.



Come si può vedere anche in questo caso, come per l'altoforno, è proprio la scoria il sottoprodotto più massiccio, anche se vi è il flusso di acque, per i raffreddamenti e la pulizia dei fumi, non trascurabile.

Gli ossidi che costituiscono la scoria sono principalmente FeO, CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO ed altri in funzione soprattutto del tipo di ghisa e di rottame impiegato.

Figura 18 - Schema di flusso della produzione di acciaio al convertitore LD.

Queste scorie, che nel passato trovavano sistemazione in discarica, sono oggi anch'esse riciclate per sottofondi stradali^{18,19,20} e come materia prima per cementifici; in altri casi hanno trovato impiego per la produzione di fertilizzanti^{21,22} e per la neutralizzazione delle

piogge acide nei terreni²². Il panorama dell'utilizzazione delle scorie di conversione BOF in Europa è riportato nella figura 19.

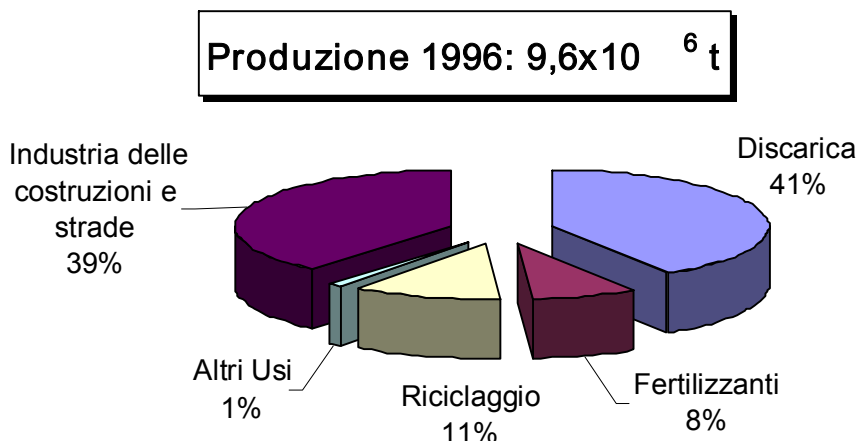


Figura 19 - Panorama del riciclaggio della scoria BOF nella Comunità Europea¹⁴.

Anche in questo caso la Comunità Europea ha finanziato progetti

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

che hanno portato nel 1996 ad una riutilizzazione di scorie da convertitore LD superiore al 50 % dei 9,6 milioni di tonnellate prodotte.

Per ciò che concerne le emissioni il sottoprodotto più impegnativo è costituito dalle polveri; queste che sono dell'ordine dei $10 \div 100 \mu\text{m}$ si generano durante tutte e cinque le fasi di fabbricazione: carica, fusione, affinazione, spillaggio e movimentazione della scoria e vengono raccolte sotto forma di povere o fanghi. Anche se la produzione si aggira intorno a circa $25 \text{ kg/t}_{\text{acciaio}}$, nel conto globale della produzione di acciaio le quantità diventano estremamente significative, giungendo a quasi 7 milioni di tonnellate per anno.

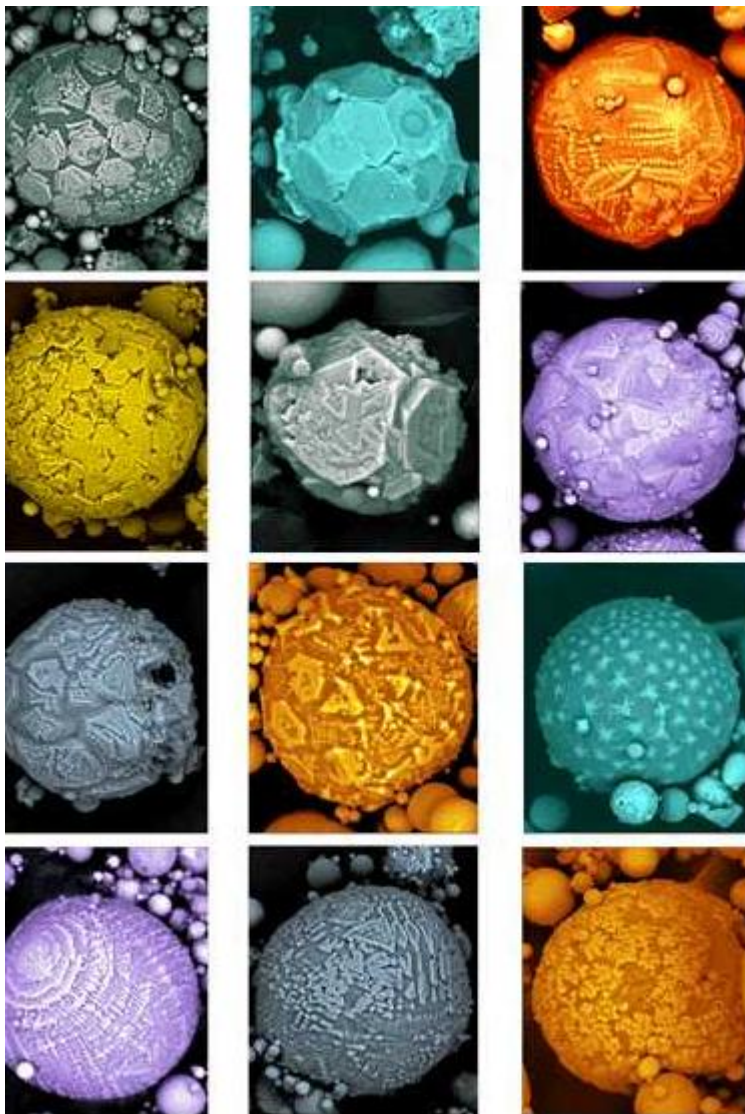


Figura 20 - Morfologia delle ceneri di ossido di ferro disperse nell'atmosfera

Le polveri BOF contengono principalmente ossido di ferro^(*) ma in esse sono presenti in quantità significative anche ossidi di metalli pesanti. Una immagine della forma degli ossidi di ferro presenti nelle polveri è mostrata nella figura 20.

Il trattamento di queste polveri presenta non pochi problemi per l'elevato contenuto di Zn e Pb proveniente dai rottami impiegati.

Fino ad oggi la destinazione finale di queste polveri consiste in un invio in discarica previo trattamento di inertizzazione (es. cementazione e in qualche caso vetrificazione), il più delle volte tuttavia le polveri vengono solo insaccate.

La strada di un riciclaggio

^(*) Nel caricamento della ghisa, la polvere è costituita quasi esclusivamente di ossido di ferro e grafite.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

negli impianti di sinterizzazione raramente viene utilizzata in quanto la ricarica del sinterizzato in altoforno, per la presenza di contenuti elevati di Zn che tende a condensare sulle pareti, può portare sia ad una solubilizzazione dei refrattari (ad opera dei ferriti di Zinco), sia ad un'occlusione delle tubiere per il fatto che lo zinco metallico che si genera tende a colare lungo la parete stessa.

In conseguenza di ciò un reimpiego di queste polveri negli altiforni ha un'efficacia solo nel breve termine in quanto ripetuti cicli di immissione comportano un continuo arricchimento in ferriti di Zinco e produzione di Zinco metallico e quindi una sempre maggiore usura dei refrattari ed una maggior tendenza dell'occlusione delle tubiere. Oggi sono in fase di studio processi di trattamento che permettono di recuperare anche dalle polveri di convertitore, analogamente alle polveri da forno elettrico (di cui si parlerà successivamente) lo Zinco delle polveri, sia sotto forma di ossido (processi piro-metallurgici), sia sotto forma metallica (processi idrometallurgici).

Il bilancio dell'impatto ambientale e del costo di questi trattamenti, può non essere positivo se limitato al solo recupero di ferro contenuto nelle polveri (Figura 5), tuttavia, se si estende il bilancio anche all'impatto della produzione di Zn da minerale^(**), il trattamento tende a divenire favorevole.

In questo caso l'obiettivo "Zero wastes" può divenire economicamente perseguibile se incentivato dal mercato dello zinco o attraverso meccanismi di compensazione sociale.

2.3.1.5 Forno elettrico (Fig. 2 - FEA)

Il forno elettrico ad arco costituisce la macchina di fusione della seconda filiera principale di produzione dell'acciaio.

La produzione viene effettuata rifondendo con arco elettrico il rottame proveniente da varie fonti come illustrato nel paragrafo 2.2.

Come già detto, anche il forno elettrico può essere considerata una macchina che persegue l'obiettivo "Zero Wastes" attraverso il riciclaggio del rottame che altrimenti intaserebbe le discariche, vista la gran quantità generata.

Il processo di fabbricazione parte dal caricamento, mediante cestoni, del rottame nel tino del forno.

Con la chiusura della volta, inizia la fusione del rottame con l'arco elettrico che scocca tra gli elettrodi di grafite ed il rottame. Questo essendo elettricamente conduttore consente di richiudere il circuito elettrico.

Per stabilire il contatto elettrico con il rottame, gli elettrodi di grafite, sono inseriti attraverso i fori della volta mediante bracci conduttori.

Vi sono essenzialmente due tipi di forno elettrico ad arco:

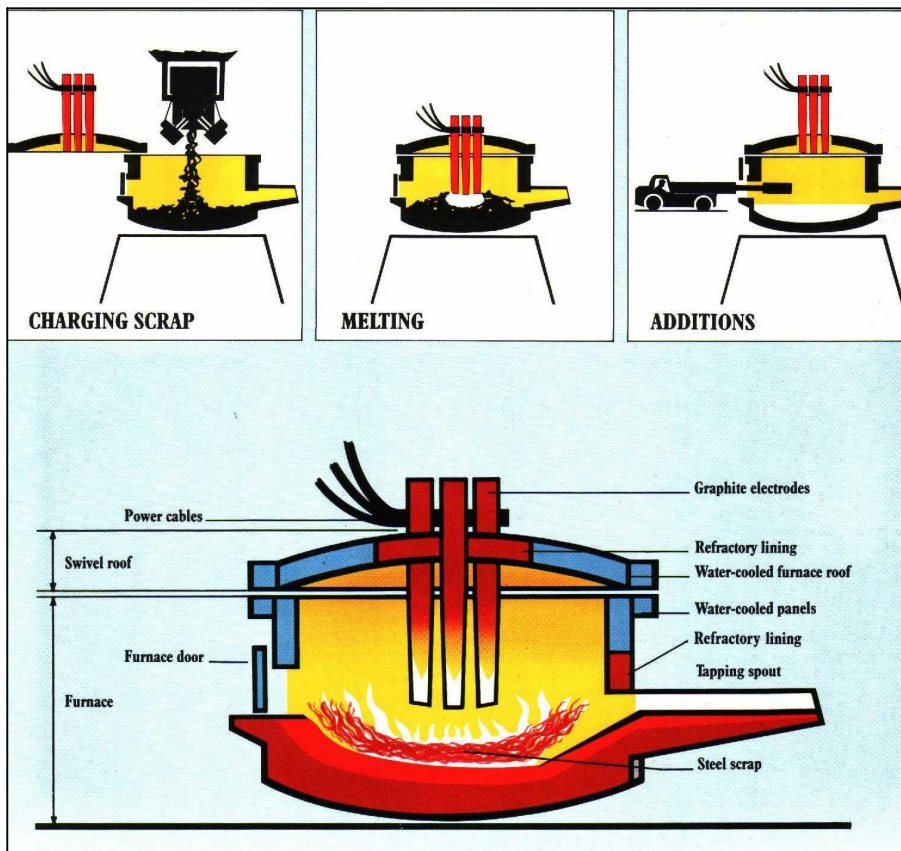
- forni elettrici in corrente alternata trifase e
- forni in corrente continua.

^(**) Il quantitativo globale di zinco contenuto nelle polveri BOF ammonta a circa 1 milione di tonnellate, e dovrebbe essere prodotto da oltre 5 milioni di tonnellate di blende minerali, con tutta una serie di trattamenti di arricchimento in miniera il cui impatto ambientale va tenuto in conto.

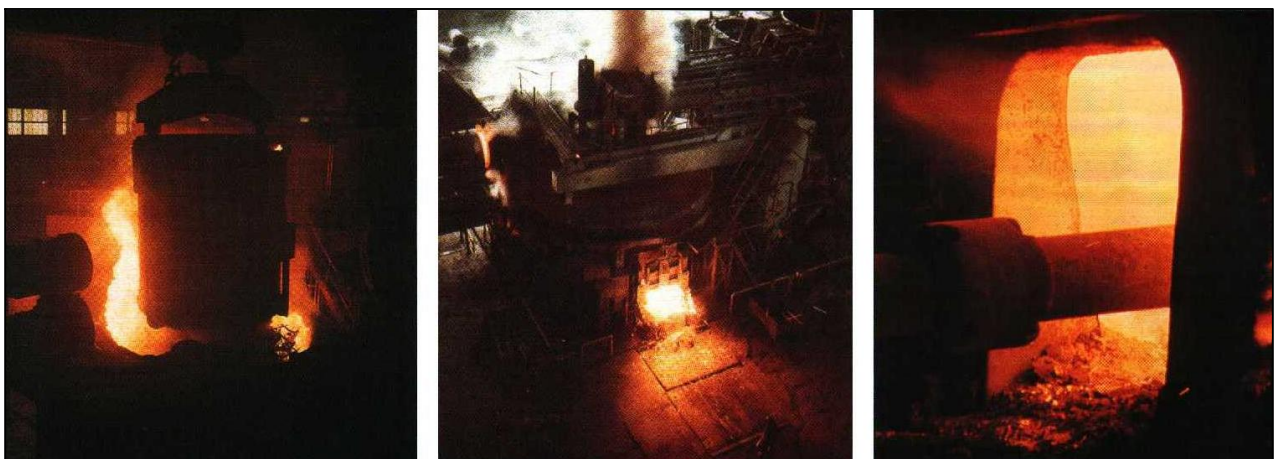
Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Nei forni del primo tipo il circuito elettrico si richiude sul trasformatore attraverso gli elettrodi stessi. Nel secondo tipo è frequente che il circuito elettrico si richiuda sul trasformatore attraverso il fondo refrattario mediante l'inserimento di appositi elementi conduttori.

Lo schema di un forno elettrico con le fasi di caricamento delle ceste di rottame della fusione del rottame e del caricamento delle aggiunte sono riportate nelle figure 21 e 22.



Anche nel forno elettrico è prodotta la scoria .



Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?



La quantità globale di rifiuti prodotti ogni anno dall'intera industria dell'acciaio

supera ormai i 30 milioni di tonnellate.

Questi rifiuti sono costituiti da: furnace dusts, pickle liquor, mill scale, slags and sludge.

Di questi circa 10 ÷ 12 milioni di tonnellate vengono inviate in discarica (con un costo che si aggira tra i 250 ed i 500 \$/t).

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Nel prossimo futuro si prevede che la produzione di acciaio, nonostante la crisi asiatica, tenderà comunque a crescere fino a raggiungere nel 2010 le 980 milioni di tonnellate.

In questo ambito la produzione da ciclo elettrico dovrebbe superare il 40 % portandosi a circa 400 Mt/y.

Parallelamente, la produzione di acciaio inossidabile, seguendo questa tendenza con ritmi anche superiori, potrebbe generare quasi 2 milioni di t/anno di wastes.

Diventa quindi estremamente importante per la siderurgia inossidabile moderna poter ridurre l'impatto ambientale legato a tale situazione attraverso la minimizzazione delle emissioni e soprattutto attraverso il trattamento e riciclaggio di detti sottoprodotti.

Si può stimare, coinvolgendo nella stima anche le scorie, che la produzione di una tonnellata di acciaio inossidabile comporti la generazione di circa 270 kg di rifiuti di cui circa 230 kg sono scorie. Il resto è costituito essenzialmente da EAF dust e secondary steelmaking sludges

La caratteristica principale di tutti questi sottoprodotti è l'elevato contenuto di metalli di pregio come Cr, Ni, Mo, che possono essere recuperati sia massimizzando on-line le rese durante la fase di produzione, sia trattando opportunamente off-line i sotto prodotti.

Le due vie indicate sono complementari e non alternative. Infatti è molto più efficace recuperare le perdite di cromo nella scoria ad alta temperatura durante le fasi di produzione piuttosto che recuperarlo successivamente.

Il trattamento off-line è invece indispensabile per recuperare i materiali di pregio da polveri di acciaieria ed in generale dal primo gruppo di by product indicati nella figura.

In merito a quest'ultimo aspetto occorre rilevare che la maggior parte dei trattamenti noti ed applicati industrialmente sono finalizzati al recupero dello zinco e del piombo presenti in larga misura nelle polveri del forno elettrico e nei fanghi dei convertitori.

Per quanto riguarda i wastes della produzione di acciaio inox, questa finalizzazione, anche se non marginale, è tuttavia di minor importanza rispetto al recupero di Cr, Ni, Mo, etc.

La letteratura è ormai molto folta di informazioni su trattamenti più o meno efficaci, idro/piro metallurgici che si sono affiancati, per il recupero dello Zinco, al tradizionale trattamento "Waelz", effettuato in un forno rotativo con processo piro-metallurgico.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Per quanto riguarda il trattamento dei waste provenienti dal ciclo inox, considerata la necessità di operare la riduzione della Cromite presente allo stato liquido, quindi con recupero di Cr e Ni in lega con il ferro, gli unici trattamenti applicati industrialmente sono quelli piro-metallurgici ad arcoplasma come ad esempio lo Scan Dust ed il Plasminox utilizzato dall'ILSERV presso Acciai Speciali Terni.

I processi pirometallurgici ad arcoplasma, anche se costosi, sembrano quindi i più adatti, nell'ottica del raggiungimento dello "Zero Waste" per una acciaieria che produce acciaio inox.

Gli sviluppi futuri di questa tecnologia passano attraverso una ulteriore valorizzazione dei suoi by-prodotti ed in particolare dell'ossido di zinco ad altissima concentrazione (> 70 %) che si genera nel corso del processo di produzione della ferrolega di Cr e Ni. Si può infatti prevedere di aggiungere a valle del forno ad arcoplasma un trattamento di elettrolisi per il recupero di Zinco metallico ad elevata purezza (SHG).

Come ulteriore passo per ridurre i costi di trasformazione di questi trattamenti sarà necessario inoltre sostituire quanto più possibile l'energia elettrica attualmente impiegata (c.a. 1800 kWh/t) con tecnologie che utilizzano processi di tipo smelting reduction, che si aggiungono al processo STAR che la Kawasaki ha installato presso lo stabilimento di Chiba e che si svolge in un forno a tino con impiego di coke.

Nella figura è stato schematizzato a titolo esemplificativo come un'acciaieria elettrica per la produzione di acciaio inox può affrontare il problema di conseguire l'obiettivo "Zero Waste" in questo campo.

In particolare è stato indicato il flusso di produzione primario ed il flusso secondario di trattamento ed utilizzazione dei by-products contenenti metallo.

In particolare, accanto al trattamento ad arcoplasma delle polveri FEA, dei fanghi AOD e delle scaglie, che è già operativo industrialmente, stati indicati (circondati da una cornice grigia) alcuni dei processi in fase di sviluppo che prevedono:

- la possibilità di impiegare nel forno ad arcoplasma i fanghi del decapaggio, preventivamente trasformati in ossidi con una clinkerizzazione, oppure in idrossidi, dopo neutralizzazione chimica, ed eliminazione dell'acqua di cristallizzazione.
- il trattamento di completa inertizzazione e consolidamento delle scorie per ottenere prodotti adatti ad usi civili. In merito a questo processo sono stati condotti in sede di comunità europea degli studi, con test industriali, che hanno portato alla messa a punto di tecniche che consentono di fissare la cromite residua delle scorie in forme mineralogiche (spinelli) sicuramente stabili anche nel lungo periodo. Ciò permetterà di utilizzare anche le scorie inox per sottofondi stradali o come materia prima per cementi e calcestruzzi.
- la ridurre del consumo di energia elettrica con tecnologie di sostituzione energetica (post-combustione), attraverso l'impiego di tecniche di

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

preriscaldamento delle materie prime, ed eventualmente con tecniche di cogenerazione elettrica.

- la possibilità di produrre zinco metallico ad elevata purezza, per via elettrolitica, dall'ossido di Zn prodotto con il trattamento ad arcoplasma.

Steel Master 1999 - III edizione 13-17 Settembre, 11-14 ottobre 1999
"Zero Wastes" in siderurgia elettrica: un progetto solo per l'ecologia?

Rif. Bibliografico.

¹ 1972 "Conferenza di Stoccolma" o Conferenza dell'ONU sull'Ambiente Umano (Dichiarazione recante 26 principi su diritti e responsabilità dell'uomo in relazione all'ambiente globale).

² WCED o World Commission on Environment and Development, commissione stabilita dalla Assemblea Generale delle Nazioni Unite nel 1983

³ 1987 - " (Il nostro futuro comune) o "Rapporto Brundtland"

⁴ 1992 UNCED - Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo o "Earth Summit" svoltosi a Rio de Janeiro dal 3 al 14/6/92

⁵ 1990 Dichiarazione del Consiglio europeo fatta a Dublino: "promuovere uno sviluppo sostenibile nel rispetto delle ricchezze naturali comuni".

⁶ WWF 2000- "Italia 2000"

Iniziative per un paese sostenibile (indirizzo INTERNET <http://wwf.wwf.it/duemila/it2000.htm>)

⁷ WWF 2000- "Italia 2000"

Iniziative per un paese sostenibile (indirizzo INTERNET <http://wwf.wwf.it/duemila/it2000.htm>)

⁸ Fonte IISI

⁹ Rielaborazione da U:S: Council on Wage and Price Stability, Report to the President on Price and Costs in the United States Steel Industry , 1977 (COWPS, Ottobre 1977)

¹⁰ Recycling world magazine 27/08/1999 - (indirizzo INTERNET <http://tecweb.com/wlibrary/ferrous99.htm>)

¹¹ American Iron and Steel Institute - Steel Works - Steel Industry Technology Roadmap 1988 - (indirizzo INTERNET: <http://www.steel.org/mt/roadmap/overview.htm>)

¹² Fonte IISI

¹³ American Iron and Steel Institute - Steel Works - Steel Industry Technology Roadmap 1988 - (indirizzo INTERNET: <http://www.steel.org/mt/roadmap/overview.htm>)

¹⁴ Workshop proceeding of "Steel research and development on environmental issues" - Bilbao 10/11 Febbraio 1999

¹⁵ Information Day on utilisation of blast furnace and steelmaking slag. Proceedings. Commission of the European Communities, Eds. EUR 11746 DE, EN, FR. Liège 27th January 1988

¹⁶ Bonnot, J et al. "Utilisation du laitier granulé en construction routière". Rapport final LCPC. Commission des communautés Européenne, Eds EUR 6553 FR. 1980

¹⁷ Krass, K., Rein, H.: "Untersuchungen über Möglichkeiten zur Vermeidung von Rißbildungen bei der Verwendung von Gemischen aus kristallinen und glasigen Hochofenschlacken als Tragschichtmaterial". Abschlussbericht FEhS. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Eds. EUR 6869 DE. 1980

¹⁸ Piret, J., Lesgardeur, A., Delmarcelle, A.: "Utilisation de la scorie LD en construction routière", Rapport final CRM. Commission des communautés Européenne, Eds EUR 7631 FR. 1982

¹⁹ Kollar, J., Gunkel, P.: "Untersuchungen an LD schlacken, insbesondere im Hinblick auf die Verwertung im Straßenbau". Abschlussbericht FEhS. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Eds. EUR 8311 DE. 1983

²⁰ Thomas, G.H.: "Investigation on LD slag with particular reference to its use for road construction", Final Report British Steel Corporation. Commission of the European Communities, Eds EUR 8622 EN. 1983

²¹ Piret, J.: "Valorisation de la scorie LD en sylviculture", Project de rapport final CRM. Commission des communautés Européenne, Eds Recherche Technique Acier EUR 15802 FR. 1993

²² Formoso, A., López, F., Medina, F., Balcázar, N.: "Utilización agrícola de la escoria LD " Informe final CENIM. Comisión Europea, Eds. EUR 15591 ES. 1996