

Linee guida recanti i criteri per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili  
ex art. 3, comma 2 del decreto legislativo 372/99

Linee guida relative ad impianti esistenti per le attività rientranti nelle categorie IPPC:

1.3 Cokerie

2.2 *Impianti di produzione di ghisa o acciaio (fusione primaria o secondaria), compresa la relativa colata continua di capacita' superiore a 2,5 tonnellate all'ora*

2.3 *Impianti destinati alla trasformazione di metalli ferrosi mediante:*

a) *laminazione a caldo con una capacita' superiore a 20 tonnellate di acciaio grezzo all'ora;*

b) *forgiatura con magli la cui energia di impatto supera 50 kJ per maglio e allorché la potenza calorifica è superiore a 20 MW;*

c) *applicazione di strati protettivi di metallo fuso con una capacita' di trattamento superiore a 2 tonnellate di acciaio grezzo all'ora*

2.4. *Fonderie di metalli ferrosi con una capacita' di produzione superiore a 20 tonnellate al giorno.*

# **PRODUZIONE E TRASFORMAZIONE DEI METALLI FERROSI**

## **LINEE GUIDA PER LE BAT**

- 1. Identificazione della normativa ambientale di settore**
  - 1.1 Quadro generale**
- 2. Ricognizione della situazione del settore**
  - 2.1 Panorama generale**
  - 2.2 La siderurgia italiana**
  - 2.3 Impatto ambientale del settore**
  - 2.4 L'industria italiana di zincatura generale a caldo**
  - 2.5 L'industria italiana di fonderia**
- 3. Descrizione dei processi di produzione, dei sottoprocessi e degli impianti per i quali sono analizzate le migliori tecniche disponibili**
  - 3.1 Generalità**
  - 3.2 Produzione di ghisa e acciaio al ciclo integrato (cokeria, agglomerato, altoforno, acciaieria)**
  - 3.3 Descrizione del processo di produzione acciaio al ciclo del forno elettrico**
  - 3.4 La laminazione a caldo**
  - 3.5 La zincatura a caldo**
  - 3.6 La fonderia**
- 4. Descrizione delle analisi elaborate in ambito comunitario per la individuazione delle BAT:**
  - A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni e rifiuti)**
  - B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**
    - 4.1 Concetto generale di « migliori tecniche disponibili »**
    - 4.2 Il ciclo integrato**
      - 4.2.1. Cokeria**
      - 4.2.2. Impianti di produzione agglomerato di minerali di ferro**
      - 4.2.3. Altoforno**
      - 4.2.4. Acciaieria ad ossigeno e Colata Continua**
      - 4.2.5. Stoccaggio e manipolazione di materie prime, semilavorati e ausiliari**
    - 4.3 Produzione d'acciaio al forno elettrico**
    - 4.4 La laminazione a caldo**
    - 4.5 La zincatura a caldo**
      - 4.5.1. Processo discontinuo**
      - 4.5.2. Processi di rivestimento continui**
    - 4.6 La fonderia**

## **5. Migliori tecniche per la prevenzione integrata dell'inquinamento in Italia**

### **5.1 Generalità**

### **5.2 Il ciclo integrato**

#### **5.2.1. Cokeria**

#### **5.2.2. Agglomerato**

#### **5.2.3. Altoforno**

#### **5.2.4. Acciaieria ad ossigeno e colate continue**

#### **5.2.5. Stoccaggio e manipolazione materie prime, prodotti intermedi e ausiliari**

### **5.3 Acciaieria elettrica**

### **5.4 La laminazione a caldo**

### **5.5 La zincatura a caldo**

#### **5.5.1. Processo discontinuo**

#### **5.5.2. Zincatura a caldo continua**

### **5.6 La fonderia**

## **6. Approfondimenti**

### **6.1 Considerazioni sul rumore**

### **6.2 Rifiuti solidi e sottoprodotti**

### **6.3 Monitoraggi**

#### **6.3.1. Siderurgia**

#### **6.3.2. Fonderia**

# 1. Identificazione della normativa ambientale rilevante di settore

## 1.1 Quadro generale

Di seguito sono riportati i riferimenti normativi che interessano il settore della produzione e trasformazione dei metalli ferrosi nei riguardi degli aspetti ambientali.

La tabella riporta sia la normativa che si riferisce direttamente agli impianti industriali, che quella che si riferisce a tematiche più generali, come la qualità dell'aria, i cambiamenti climatici, ecc.

In considerazione della vastità dell'argomento, sono state prese in considerazione soltanto le disposizioni europee e nazionali; alcune norme europee non ancora recepite sono state messe in evidenza (\*). Sempre per motivi di sintesi, la corrispondenza fra gli articoli della normativa e gli specifici impianti per la produzione e trasformazione dei metalli ferrosi sono stati elencati a parte e riportati in allegato (1).

<i><b>Inquinamento atmosferico e contenimento delle emissioni inquinanti</b></i>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b>Oggetto</b>
<b>D.P.R. 24 maggio 1988 n. 203</b>	Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360, e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183 (G.U. n. 140 del 16 giugno 1988, S.O.).
<b>D.P.C.M. 21 luglio 1989 (attuazione e interpretazione del Dpr 203/1988)<sup>(1)</sup></b>	Atto di indirizzo e coordinamento alle Regioni, ai sensi dell'articolo 9 della legge 8 luglio 1986, n. 349, per l'attuazione e l'interpretazione del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, recante norme in materia di qualità dell'aria relativamente a specifici agenti inquinanti e di inquinamento prodotto da impianti industriali (G. U. n. 171 del 24 luglio 1989)
<b>D.M. 12 luglio 1990<sup>(1)</sup></b>	Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione (G.U. n. 176 del 30 luglio 1990, S.O.).
<b>D.P.R. 25 luglio 1991<sup>(1)</sup></b>	Modifiche all'atto di indirizzo e coordinamento in materia di emissioni poco significative e di attività a ridotto inquinamento atmosferico, emanato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 21 luglio 1989 (G.U. n. 175 del 27 luglio 1991)
<b>L. 15 gennaio 1994, n. 65</b>	Ratifica ed esecuzione della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, con allegati, fatta a New York il 9 maggio 1992 (G.U. n. 23 del 29 gennaio 1994, S.O.)
<b>D.M. (Ambiente) 15 aprile 1994</b>	Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, ai sensi degli articoli 3 e 4 del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, e dell'art. 9 del decreto ministeriale 20 maggio 1991 (G.U. n. 107 del 10 maggio 1994)
<b>D.M. (Ambiente) 7 febbraio 1995</b>	Modalità e contenuti delle domande di concessione e/o di autorizzazione all'installazione di impianti di lavorazione o di deposito di oli minerali (G.U. n. 56 dell'8 marzo 1995)
<b>D.P.C.M. 14 novembre 1995</b>	Recepimento della direttiva 93/12/CEE relativa al tenore dello zolfo di taluni combustibili liquidi (G.U. n. 279 del 29 novembre 1995)
<b>D.M 21 dicembre 1995</b>	Disciplina dei metodi di controllo delle emissioni in atmosfera dagli impianti industriali (G.U. n. 5 dell'8 gennaio 1996)

<b>D. Lgs. 4 agosto 1999, n.351</b>	Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria (G.U. n. 241 del 13-10-1999)
<b>D.M. (Ambiente) 25 febbraio 2000, n. 124</b>	Regolamento recante i valori limite di emissione e le norme tecniche riguardanti le caratteristiche e le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti pericolosi, in attuazione della direttiva 94/67/CE del Consiglio del 16 dicembre 1994, e ai sensi dell'articolo 3, comma 2, del d.p.r. 24 maggio 1998 n. 203 e dell'art. 18, comma 2, lettera a), del d.lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (G.U. n. 114 del 18 maggio 2000).
<b>D. M. 25 agosto 2000</b>	Aggiornamento dei metodi di campionamento, analisi e valutazione degli inquinanti, ai sensi del D.P.R. 24 maggio 1988, n. 203. (G.U. n. 223 del 23 settembre 2000, S.O.)
<b>Decisione del consiglio del 4 aprile 2001<sup>(1)</sup></b>	Approvazione, a nome della Comunità europea, del protocollo della convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza relativo ai metalli pesanti (2001/379/CE) (GUCE n. L 134/41 del 17/15/2001)
<b>D.M. (Ambiente) 4 giugno 2001</b>	Programmi di rilievo nazionale per la riduzione delle emissioni di gas serra, in attuazione dell'art. 3 del decreto ministeriale 20 luglio 2000, n. 337 (G.U. n. 205 del 4 settembre 2001)
<b>D.P.C.M. 7 settembre 2001, n. 395</b>	Recepimento della direttiva 99/ 32/ CE relativa alla riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi (G.U. n. 255 del 2 novembre 2001)
<b>D.P.R. 26 ottobre 2001, n. 416<sup>(1)</sup></b>	Regolamento recante norme per l'applicazione della tassa sulle emissioni di anidride solforosa e di ossidi di azoto, ai sensi dell'articolo 17, comma 29, della legge n. 449 del 1997 (G.U. n. 277 del 28 novembre 2001)
<b>Proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 10 dicembre 2001<sup>(*) (1)</sup></b>	Istituisce una disciplina per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio (Documento 501PC0581, fornito in data 10/12/2001)
<b>DPCM 8 marzo 2002</b>	Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione (G.U. n. 60, 12 marzo 2002, Serie Generale)
<b>D.M. 2 aprile 2002, n. 60</b>	Recepimento della direttiva 1999/ 30/ CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/ 69/ CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio (S.O. 77/ L alla G.U. n. 87 del 13 aprile 2002)
<b>L. 1 giugno 2002, n. 120</b>	Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione – Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997 (S.O. 129/ L alla G.U. n. 142 del 19 giugno 2002)
<b>Posizione comune (CE) n. 28/2003, del 18 marzo 2003</b>	Posizione comune definita dal Consiglio, deliberando in conformità della procedura di cui all'articolo 251 del trattato che istituisce la Comunità europea, in vista dell'adozione di una direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio (Testo rilevante ai fini del SEE) (G. U. n. C 125 E del 27/05/2003)

<i>Inquinamento delle acque e consumo idrico</i>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b>Oggetto</b>
<b>D. Lgs. del 12 luglio 1993, n. 275</b>	Riordino in materia di concessione di acque pubbliche (G. U. 5 agosto 1993, n. 182 )
<b>Legge 5 gennaio 1994, n. 36</b>	Disposizioni in materia di risorse idriche (G. U. 19 gennaio 1994, n. 24)
<b>D.P.R. 18 febbraio 1999, n. 238</b>	Regolamento recante norme per l'attuazione di talune disposizioni della L. 5 gennaio 1994, n. 36, in materia di risorse idriche (G.U. n. 173 del 26 luglio 1999).

<b>D. Lgs. 11 maggio 1999, n. 152</b>	Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (G.U. n. 124 del 29 maggio 1999, S.O.). <i>(Il testo aggiornato, a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto 18 agosto 2000, n. 258 è pubblicato nel S.O. 172/ L alla G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000)</i>
<b>D. Lgs. del 18 agosto 2000, n. 258</b>	Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128. (Pubblicato sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 218 del 18 settembre 2000)
<b>D. M. (Finanze) del 24 novembre 2000</b>	Aggiornamento dei canoni annui per l'utenza di acqua pubblica di cui all'art. 18, commi 1 e 2, della legge 5 gennaio 1994, n. 36. (G.U. del 28 dicembre 2000 n. 301)
<b>Decreto 6 novembre 2003, n.367</b>	Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152. (GU n. 5 del 8-1-2004)

<i>V.I.A. e gestione integrata dell'inquinamento (IPPC)</i>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b>Oggetto</b>
<i>Direttiva 337/85/CEE<sup>(1)</sup></i>	Direttiva del Consiglio concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati. Recepita parzialmente con D.P.C.M. del 10 agosto 1988 n. 377; il recepimento si completa con legge del 22 febbraio 1994, n. 146 (art. 40) e con D.P.R. del 12 aprile 1996 (G.U.C.E. n. L 175 del 5 luglio 1985)
<b>LEGGE 8 luglio 1986, n. 349<sup>(1)</sup></b>	Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale (G.U. n. 162, 15 luglio 1986, S. O.)
<b>D.P.C.M. del 10 agosto 1988 n. 377</b>	Regolamentazione delle pronunce di compatibilità ambientale di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, recante istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale (G.U. n. 204 del 31 agosto 1988).
<b>D.P.C.M. 27 dicembre 1988<sup>(1)</sup></b>	Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 1988, n. 377 (G.U. n. 4 del 5 gennaio 1989).
<b>D.M. (Sanità) 5 settembre 1994<sup>(1)</sup></b>	Elenco delle industrie insalubri di cui all'art. 216 del testo unico delle leggi sanitarie (G.U. n. 220 del 20 settembre 1994, S.O.)
<b>D.P.R. del 12 aprile 1996<sup>(1)</sup></b>	Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale (G.U. n. 210 del 7 settembre 1996)
<b><u>Dir. 96/61/CE (IPPC) <sup>(1)</sup></u></b>	Direttiva 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento. Recepita parzialmente con D.P.C.M. del 4 agosto 1999 n. 372. (GUCE n. L 257 del 10/10/1996)
<b>Direttiva 97/11/CE del 3 marzo 1997<sup>(*)</sup> <sup>(1)</sup></b>	Modifiche della direttiva 85/337/CEE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati (G.U.C.E. n. L 73 del 14 marzo 1997)
<b>D.P.R. 11 febbraio 1998</b>	Disposizioni integrative al D.P.C.M. 10 agosto 1988, n. 377, in materia di disciplina delle pronunce di compatibilità ambientale, di cui alla L. 8 luglio 1986, n. 349, art. 6 (G.U. n. 72 del 27 marzo 1998)
<b>D. lgs 4 agosto 1999, n. 372<sup>(1)</sup></b>	Attuazione della direttiva 96/ 61/ CE relativa alla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento – IPPC (G.U. n. 252 del 26 ottobre 1999)
<b>D.P.R. 2 settembre 1999, n. 348</b>	Regolamento recante norme tecniche concernenti gli studi di impatto ambientale per talune categorie di opere (G.U. n. 240 del 12 ottobre 1999)
<b>D.P.C.M. 3 settembre 1999</b>	Atto di indirizzo e coordinamento che modifica ed integra il precedente atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione dell'impatto ambientale (G.U. n. 302 del 27 dicembre 1999)

<b>Decisione 2000/ 479/ CE del 17 luglio 2000 della Commissione<sup>(1)</sup></b>	Attuazione del Registro europeo delle emissioni inquinanti (EPER) ai sensi dell'art. 15 della direttiva 96/ 61/ CE del Consiglio sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC) (G.U.C.E. L 192 del 28 luglio 2000)
<b>D.M. (ambiente) 23 novembre 2001</b>	Dati, formato e modalità della comunicazione di cui all'art. 10, comma 1, del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 372 (realizzazione dell'Inventario Nazionale delle Emissioni e loro Sorgenti (INES) (S.O. 29 alla G.U. n. 37 del 13 febbraio 2002)
<b>D.M. (ambiente) 26 aprile 2002<sup>(1)</sup></b>	Modifiche al decreto ministeriale 23 novembre 2001 in materia di dati, formato e modalità della comunicazione di cui all'art.10 del decreto legislativo n. 372 del 1999 (G.U. n. 126 del 31 maggio 2002)
<b>Legge n. 39 del 1 marzo 2002</b>	Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità Europea (S. O. n. 54 alla Gazzetta Ufficiale n. 72 del 26 marzo 2002)
<b>DECRETO 19 novembre 2002</b>	Istituzione della commissione di cui all'art. 3, comma 2, ultimo periodo, del decreto legislativo n. 372/1999. (GU n. 302 del 27 dicembre 2002)
<b>D.M. (ambiente) 23 novembre 2001</b>	Dati, formato e modalità della comunicazione di cui all'art. 10, comma 1, del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 372 (S. O. n.29 alla G. U. n. 37 del 13 febbraio 2002)

<b><i>Inquinamento acustico e controllo delle emissioni sonore da impianti a ciclo continuo</i></b>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b><i>Oggetto</i></b>
<b>D.P.C.M. 1° marzo 1991</b>	Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno (G.U. n. 57 dell'8 marzo 1991).
<b>L. 26 ottobre 1995, n. 447</b>	Legge quadro sull'inquinamento acustico (G.U. n. 254 del 30 ottobre 1995, S.O.).
<b>D.M. (Ambiente) 11 dicembre 1996</b>	Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo (G.U. n. 52 del 4 marzo 1997)
<b>D.P.C.M. 14 novembre 1997</b>	Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore (G.U. n. 280 del 1° dicembre 1997)
<b>D.M (Ambiente) 16 Marzo 1998</b>	Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U. n. 76 del 1° aprile 1998)
<b>Direttiva 2002/49/CE(*)</b>	Relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U.C.E. L 189 del 18 luglio 2002)

<b><i>Emissioni e recupero di rifiuti</i></b>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b><i>Oggetto</i></b>
<b>D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915</b>	Attuazione delle direttive 75/442 relative a rifiuti, n. 86/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi (G.U. n. 343 del 15 dicembre 1982)
<b>Delibera comitato interministeriale 27 giugno 1984</b>	Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del D.P.R. 10 settembre 1982, n. 985, concernente lo smaltimento dei rifiuti (G.U. n. 253 del 13 settembre 1984, S.O.)
<b>D.I. 9 settembre 1988, n. 397, convertito, con modificazioni, dalla L. 9 novembre 1988, n. 475</b>	Disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti industriali (G.U. n. 213 del 10 settembre 1988; G.U. n. 264 del 10 novembre 1988)
<b>D.M. (Ambiente) 26 aprile 1989</b>	Istituzione del catasto nazionale dei rifiuti speciali (G.U. n. 135 del 12 giugno 1989)
<b>D.M. (Ambiente) 29 maggio 1991</b>	Indirizzi generali per la regolamentazione della raccolta differenziata dei rifiuti solidi (G.U. n. 136 del 12 giugno 1991)
<b>Direttiva 91/156/CEE del 18 marzo 1991</b>	Modifica la direttiva 75/ 442/ CEE relativa ai rifiuti (G.U.C.E. L 78 del 26 marzo 1991). <b><u>Recepita con D. lgs. 5 febbraio 1997, n. 22</u></b>
<b>Direttiva 91/689/CEE del 12 dicembre 1991</b>	Rifiuti pericolosi (G.U.C.E. n. L 377 del 31/12/1991) <i>Recepita con D. lgs. 5 febbraio 1997, n. 22</i>
<b>Reg. CEE 1 febbraio 1993, n. 259</b>	Regolamento del Consiglio relativo alla sorveglianza e al controllo delle spedizioni di rifiuti all'interno della Comunità Europea nonché in entrata e in uscita dal suo territorio (G.U. C.E. n. L 30 del 6 febbraio 1993)

<b>L. 25 gennaio 1994, n. 70</b>	Norme per la semplificazione degli adempimenti in materia ambientale, sanitaria e di sicurezza pubblica, nonché per l'attuazione del sistema di ecogestione e di audit ambientale (G.U.n. 24 del 31 gennaio 1994)
<b>D.P.R 8 agosto 1994</b>	Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni ed alle province autonome di Trento e di Bolzano per l'adozione di piani di protezione, di decontaminazione, di smaltimento e di bonifica dell'ambiente, ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto (GU 26-10-1994, n. 251)
<b>Direttiva 94/62/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 20 dicembre 1994</b>	Imballaggi e i rifiuti di imballaggio (G.U.C.E. n. L 365 del 31 dicembre 1994) <b><u>Recepita con D. lgs. 5 febbraio 1997, n. 22</u></b>
<b>D. lgs. 17 marzo 1995, n. 230</b>	Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti (G.U. 13 giugno 1995 n.136 S.O.)
<b>D.M. (Ambiente) 18 luglio 1996</b>	Ammontare dell'imposta unitaria dovuta per i rifiuti dei settori minerario, estrattivo, edilizio, lapideo e metallurgico smaltiti in discarica (G.U. n. 250 del 24 ottobre 1996)
<b>D. lgs. 5 febbraio 1997, n. 22<sup>(1)</sup></b>	Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio (G.U. n. 38 del 15 febbraio 1997, S.O.).
<b>D.M. (Ambiente-Industria) 29 ottobre 1997</b>	Approvazione dello statuto del Consorzio nazionale imballaggi (CONAI) (non pubblicato sulla G.U.)
<b>D.M. (Ambiente) 5 febbraio 1998<sup>(1)</sup></b>	Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del d.lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (G.U. n. 88 del 16 aprile 1998, S.O.)
<b>D.M. (Ambiente) 11 marzo 1998, n. 141</b>	Regolamento recante norme per lo smaltimento in discarica dei rifiuti e per la catalogazione dei rifiuti pericolosi smaltiti in discarica (G.U. n. 108 del 12 maggio 1998)
<b>D.M. (Ambiente) 1° aprile 1998, n. 145</b>	Regolamento recante la definizione del modello e dei contenuti del formulario di accompagnamento dei rifiuti ai sensi degli articoli 15, 18 comma 2, lettera e), e comma 4, del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (G.U. n. 109 del 13 maggio 1998)
<b>D.M. (Ambiente) 1° aprile 1998, n. 148</b>	Regolamento recante approvazione del modello dei registri di carico e scarico dei rifiuti ai sensi degli articoli 12, 18, comma 2, lettera m), e 18, comma 4, del d.lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (G.U. n. 110 del 14 maggio 1998)
<b>D.M. (Ambiente) 4 agosto 1998, n. 372</b>	Regolamento recante norme sulla riorganizzazione del catasto dei rifiuti (G.U. n. 252 del 28 ottobre 1998, s.o.)
<b>L. 9 dicembre 1998, n. 426</b>	Nuovi interventi in campo ambientale (G.U. n. 291 del 14 dicembre 1998, S.O.)
<b>Direttiva 99/31/CE del 26 aprile 1999<sup>(*)</sup></b>	Discariche di rifiuti (G.U.C.E. n. L 182 del 16 luglio 1999)
<b>D. Lgs. 22 maggio 1999, n.209</b>	Attuazione della direttiva 96/59/CE relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili (G.U. n. 151 del 30 giugno 1999)
<b>D. L. del 30 dicembre 1999, n. 5000, convertito con modificazioni dalla L. del 25 febbraio 2000, n. 33</b>	Disposizioni urgenti concernenti la proroga dei termini per lo smaltimento in discarica di rifiuti e per le comunicazioni relative ai PCB, nonché l'immediata utilizzazione di risorse finanziarie necessarie per l'attivazione del protocollo di Kyoto (G.U. n. 305 del 30 dicembre 1999; G.U. n. 48 del 28 febbraio 2000)
<b>D.M. (Ambiente) 18 aprile 2000, n. 309</b>	Regolamento di organizzazione e funzionamento dell'Osservatorio nazionale sui rifiuti, di cui all'articolo 26, comma 4, del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 (G.U. n. 254 del 30 ottobre 2000)
<b>Decisione CE 3 maggio 2000, n. 532<sup>(1)</sup></b>	Decisione della Commissione che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'articolo 1, lettera a), della direttiva 75/442/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti e la decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'articolo 1, paragrafo 4, della direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi (G.U.C.E. n. L 226 del 6 settembre 2000)
<b>D.M. (Ambiente) 11 ottobre 2001</b>	Condizioni per l'utilizzo dei trasformatori contenenti PCB in attesa della decontaminazione o dello smaltimento (G.U. n. 255 del 2 novembre 2001)
<b>Comunicazione della Commissione, del 24 ottobre 2001, al Consiglio, al Parlamento europeo ed al Comitato economico e sociale.</b>	Strategia comunitaria su diossine, furani e policlorobifenili [COM(2001) 593 def. – non pubblicato nella Gazzetta ufficiale].

<b>Direttiva 9 aprile 2002 del Ministro dell'Ambiente</b>	Indicazioni per la corretta e piena applicazione del Regolamento Comunitario n. 2557/2001 sulle spedizioni di rifiuti ed in relazione al nuovo elenco dei rifiuti (S.O. 102 alla G.U. n. 108 del 10 maggio 2002)
<b>Decreto ministeriale 12 giugno 2002, n. 161</b>	Regolamento attuativo degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, relativo all'individuazione dei rifiuti pericolosi che è possibile ammettere alle procedure semplificate (G.U. n. 177 del 30 luglio 2002)
<b>DISEGNO DI LEGGE n. 1753</b> approvato il 14 maggio 2003 dal Senato e trasmesso alla Camera dei Deputati per la definitiva approvazione*	Delega al Governo per il riordino, il coordinamento e l'integrazione della legislazione in materia ambientale e misure di diretta applicazione.
<b>D. Lgs. Del 13 gennaio 2003, n. 36</b>	Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti (G.U. n. 59 del 12 marzo 2003)

<b>Energia e uso di combustibili</b>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b>Oggetto</b>
<b>Legge 9 gennaio 1991, n.10</b>	Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia (G.U. 16 gennaio 1991, n.13)
<b>D.lgs. 27 gennaio 1992, n. 95</b>	Attuazione delle direttive 75/439/CEE e 7/101/CEE relative alla eliminazione degli oli usati (G.U. n. 38 del 15 febbraio 1992, S.O.).
<b>Circolare del Ministero dell'industria 2 marzo 1992, n.219/F</b>	Art. 19 della legge n.10/1991. Obbligo di nomina e comunicazione annuale del responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia. (G.U. 9 marzo 1992, n.57)
<b>D.M. (Ambiente) 17 febbraio 1993</b>	Modalità e termini di accertamento, riscossione e versamento del contributo dovuto alle imprese partecipanti al Consorzio obbligatorio degli oli usati (G.U. n. 64 del 18 marzo 1993)
<b>D.M. (Industria) 16 maggio 1996, n. 392</b>	Regolamento recante norme tecniche relative alla eliminazione degli oli usati (G.U. n. 173 del 25 luglio 1996)
<b>D.P.C.M. 7 settembre 2001, n. 395</b>	Recepimento della direttiva 99/ 32/ CE relativa alla riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi (G.U. n. 255 del 2 novembre 2001)
<b>D.l. 28 dicembre 2001, n. 452, convertito, con modificazioni, dalla L. 27 febbraio 2002, n. 16</b>	Disposizioni urgenti in tema di accise, di gasolio per autotrazione, di smaltimento di oli usati, di giochi e scommesse, nonché sui rimborsi IVA, sulla pubblicità effettuata con veicoli, sulle contabilità speciali, sui generi di monopolio, sul trasferimento di beni demaniali, sulla giustizia tributaria, sul funzionamento del servizio nazionale della riscossione dei tributi e su contributi ad enti ed associazioni (G.U. n. 301 del 29 dicembre 2001; G.U. n. 49 del 27 febbraio 2002)
<b>L. 27 febbraio 2002, n. 16</b>	Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 28 dicembre 2001 n. 452 recante disposizioni urgenti in tema di accise, di gasolio per autotrazione, di smaltimento di oli usati, di giochi e scommesse, nonché sui rimborsi IVA (CDR) (G.U. n. 63 del 15 marzo 2002)
<b>D.P.C.M. 8 marzo 2002</b>	Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione (G.U. n. 154 del 3 luglio 2002)
<b>L. 6 maggio 2002 n. 82</b>	Conversione in legge del d.l. 7 marzo 2002, n. 22 recante "Disposizioni urgenti per l'individuazione della disciplina relativa all'utilizzazione del coke da petrolio (pet-coke) negli impianti di combustione" (G.U. n. 105 del 7 maggio 2002)

<b>Danno ambientale e rischi di incidenti rilevanti</b>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b>Oggetto</b>
<b>D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175</b>	Attuazione della direttiva CEE n. 82/501, relativa ai rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali ai sensi della legge 16 aprile 1987, n. 183 (G.U. n. 127 del 1°giugno 1988).
<b>D.P.C.M. 31 marzo 1989</b>	Applicazione dell'art.12 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali (G.U. n. 93 del 21 aprile 1989, S.O.).
<b>Direttiva 96/82/CE del Consiglio del 9 dicembre 1996</b>	Controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (G.U.C.E. n. L 010 del 14/01/1997) (Attuata con D. Lgs. del 17 agosto 1999, n. 334)

<i>Legge 15 Marzo 1997, n. 59</i>	Delega al governo per il conferimento di funzioni e compiti alle regioni ed enti locali, per la riforma della pubblica amministrazione e per la semplificazione amministrativa (G. U. n. 63 del 17 marzo 1997)
<b>D.M. (Ambiente) 5 novembre 1997</b>	Criteri e metodi per l'effettuazione delle ispezioni agli stabilimenti di cui al decreto del Presidente della Repubblica del 17 maggio 1988, n. 175 e successive modificazioni (G.U. n. 27 del 3 febbraio 1998)
<b>D.P.R. 12 gennaio 1998, n. 37</b>	Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell'art. 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59 (G.U. n° 57 del 10/03/1998)
<b>D.M. (Interno) 30 aprile 1998</b>	Modificazioni al decreto ministeriale 2 agosto 1984 recante: "Norme e specificazioni per la formulazione del rapporto di sicurezza ai fini della prevenzione incendi nelle attività a rischio di incidenti rilevanti di cui al decreto ministeriale 16 novembre 1983" (G.U. n. 114 del 19 maggio 1998)
<b>D.lgs. 17 agosto 1999, n. 334<sup>(1)</sup></b>	Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (G.U. n. 228 del 28 settembre 1999, S.O.)
<b>D. lgs. 26 maggio 2000, n.241</b>	Attuazione della direttiva EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti da radiazioni ionizzanti (G.U. 31 agosto 2000, n.203)
<b>D.M. (Ambiente) 9 agosto 2000</b>	Linee guida per l'attuazione del sistema di gestione della sicurezza (G.U. n. 195 del 22 agosto 2000)
<b>D.M. (Ambiente) 9 agosto 2000</b>	Individuazione delle modificazioni di impianti e di depositi, di processi industriali, della natura o dei quantitativi di sostanze pericolose che potrebbero costituire aggravio del preesistente livello di rischio (G.U. n. 196 del 23 agosto 2000)
<b>D.M. (Interno) 19 marzo 2001</b>	Procedure di prevenzione incendi relative ad attività a rischio di incidente rilevante (G.U. n. 80 del 5 aprile 2001)
<b>Decreto Ministeriale n.151, 9 maggio 2001</b>	Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante). (G.U. n.138 del 16/6/2001)
<b>D.M. (Ambiente) 16 maggio 2001, n. 293</b>	Regolamento di attuazione della direttiva 96/82/CE, relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (G.U. n. 165 del 18 luglio 2001)
<b>L. 20 febbraio 2002, n. 30</b>	Ratifica ed esecuzione della Convenzione sugli effetti transfrontalieri derivanti da incidenti industriali, con annessi, fatta a Helsinki il 17 marzo 1992 (G.U. n. 62 del 14 marzo 2002, S.O.)

<b><u>Sostanze pericolose</u></b>	
<b>Riferimento normativo</b>	<b><u>Oggetto</u></b>
<b>R.D. 18 giugno 1931, n. 773</b>	Testo unico delle leggi di pubblica sicurezza (G.U. n. 146 del 26 giugno 1931, S.O.).
<b>D.M. (Sanità) del 23 febbraio 1988 n. 84</b>	Etichettatura speciale da applicare su sostanze e preparati pericolosi (G.U. 21 marzo 1988, n. 67)
<b>Reg. CEE 23 marzo 1993, n. 793</b>	Valutazione e controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti (G.U. n. 41 del 27 maggio 1993)
<b>Reg. CEE 28 giugno 1994, n. 1488</b>	Principi per la valutazione dei rischi per l'uomo e per l'ambiente delle sostanze esistenti, a norma del regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio (G.U. n. 62 del 18 agosto 1994)
<b>D.lgs. 3 febbraio 1997, n. 52</b>	Attuazione della direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose (G.U. n. 58 dell'11 marzo 1997, S.O.)
<b>D.M. (Sanità) 4 aprile 1997</b>	Attuazione dell'art. 25, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, relativamente alla scheda informativa in materia di sicurezza (G.U. n. 60 del 13 marzo 1997)
<b>D.M. (Sanità) 28 aprile 1997</b>	Attuazione dell'art. 37, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose (G.U. n. 192 del 19 agosto 1997, S.O.)
<b>D.lgs. 16 luglio 1998, n. 285</b>	Attuazione di direttive comunitarie in materia di classificazione, imballaggio ed etichettatura dei preparati pericolosi, a norma dell'articolo 38, della legge 24 aprile 1998, n. 128 (G.U. n. 191 del 18 agosto 1998)

<b>D.M. (Sanità) 12 agosto 1998</b>	Recepimento delle direttive 94/60/CE, 96/55/CE, 97/10/CE, 97/16/CE, 97/56/CE e 97/64/CE recanti modifiche alla direttiva 76/769/CEE del Consiglio del 27 luglio 1976 concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi (G.U. n. 13 del 18 gennaio 1999, S.O.)
<b>D.lgs. 22 maggio 1999, n. 174</b>	Disciplina sanzionatoria per le violazioni delle disposizioni del regolamento (CEE) n. 793/93 relativo alla valutazione e al controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti (G.U. n. 139 del 16 giugno 1999)
<b>Direttiva 45/99/CE del Parlamento Europeo e del consiglio del 31 maggio 1999(*)</b>	Riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati Membri relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura dei preparati pericolosi (G.U.C.E. L 200 del 30 luglio 1999)
<b>D.M. Sanità 26 gennaio 2001</b>	Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 2000/ 32/ CE (S.O. 187 alla G.U. 164 del 17 luglio 2001)
<b>D.M (Sanità) dell'11 aprile 2001</b>	Recepimento della direttiva 2000/33/CE recante ventisettesimo adeguamento al progresso tecnico della direttiva 67/548/CEE, in materia di classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose (Suppl. Ordinario n.203 alla G. U. n. 172 del 26 luglio 2001)
<b>Direttiva 2001/58/CE della Commissione del 27 luglio 2001</b>	Modifica per la seconda volta la direttiva 91/155/CEE che definisce e fissa le modalità del sistema di informazione specifica concernente i preparati pericolosi ai sensi dell'art. 14 della direttiva 1999/ 45/ CE del Parlamento europeo e del Consiglio nonché quelle relative alle sostanze pericolose conformemente all'art. 27 della direttiva 67/548/ CEE del Consiglio (schede dati di sicurezza). (G.U.C.E. L 212 del 7 agosto 2001) <i>(Recepita con D. M. (Sanità) del 7 settembre 2002)</i>
<b>Direttiva 2001/59/CE della Commissione del 6 agosto 2001(*)</b>	Ventottesimo adeguamento al progresso tecnico della direttiva 67/ 548/ CEE del Consiglio concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose (G.U.C.E. L 225 del 21 agosto 2001)
<b>Direttiva 2001/60/CE della Commissione del 7 agosto 2001(*)</b>	Adeguamento al progresso tecnico della direttiva 1999/ 45/ CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura dei preparati pericolosi (G.U.C.E. L 226 del 22 agosto 2001)
<b>D. M. (Sanità) del 7 settembre 2002</b>	Recepimento della direttiva 2001/58/CE della Commissione, del 27 luglio 2001, che modifica per la seconda volta la direttiva 91/155/CEE che definisce e fissa le modalità del sistema di informazione specifica concernente i preparati pericolosi ai sensi dell'art. 14 della direttiva 1999/45/CE del Parlamento europeo e del Consiglio nonché quelle relative alle sostanze pericolose conformemente all'articolo 27 della direttiva 67/548/CEE del Consiglio (GU n. 252 del 26-10-2002)
<b>Decreto Legislativo del Governo n. 277 del 15 agosto 1991</b>	Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/447/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 legge 30/7/1990, n. 212. (Gazz. Uff. Suppl. Ordin. n. 200 del 27/08/1991)
<b>Legge ordinaria del Parlamento n. 257 del 27 marzo 1992</b>	Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (Gazz. Uff. Suppl. Ordin. n. 87 del 13/04/1992)
<b>D. M. (Sanità) del 06 settembre 1994</b>	Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (G. U. Suppl. Ordin. n. 220 del 20/09/1994)
<b>D. M. (Sanità) del 14 maggio 1996</b>	Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante: "Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto". (G. U. Suppl. Ordin. n. 251 del 25/10/1996)
<b>Proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 luglio 2001(*)</b>	Modifica della Direttiva del Consiglio 83/477/CEE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi connessi con un'esposizione all'amianto durante il lavoro (2001/C 304 E/07)
<b>D. M. (Sanità) del 25 luglio 2001</b>	Rettifica al decreto 20 agosto 1999, concernente "Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto". (G. U. n. 261 del 9/11/2001)

<b>Decreto del presidente del consiglio dei ministri del 10 dicembre 2002, n. 308</b>	Regolamento per la determinazione del modello e delle modalità di tenuta del registro dei casi di mesotelioma asbesto correlati ai sensi dell'articolo 36, comma 3, del decreto legislativo n. 277 del 1991. (G. U. n. 31 del 7/2/2003)
<b>D. M. (Ambiente) del 18 marzo 2003, n. 101</b>	Regolamento per la realizzazione di una mappatura delle zone del territorio nazionale interessate dalla presenza di amianto, ai sensi dell'articolo 20 della legge 23 marzo 2001, n. 93. (G. U. n. 106 del 9/5/2003)
<i>D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915</i>	Attuazione delle direttive 75/442 relative a rifiuti, n. 86/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi (G.U. n. 343 del 15 dicembre 1982)
<b>D. P. R. del 24 maggio 1988, n. 216</b>	Attuazione recante la sesta modifica (PCB/PCT) della direttiva CEE n. 85/467 concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183 (G. U. 20 giugno 1988, n. 49)
<b>D. M. (Ambiente) dell'11 febbraio 1989</b>	Modalità per l'attuazione del censimento dei dati e per la presentazione delle denunce delle apparecchiature contenenti fluidi isolanti a base di PCB (G.U. 28 febbraio 1989, n. 49).
<b>D. M. (Ambiente) del 17 gennaio 1992</b>	Modalità di etichettatura degli apparecchi e impianti contenenti policlorobifenili (PCB) e policlorotrifenili (PCT) (G.U. 6 febbraio 1992, n. 30).
<b>D. M. (sanità) del 29 luglio 1994</b>	Attuazione delle direttive CEE numeri 89/677, 91/173, 91/338 e 91/339 recanti, rispettivamente, l'ottava, la nona, la decima e l'undicesima modifica della direttiva CEE n. 76/769 per il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell'art. 27 della legge 22 febbraio 1994, n. 146 (G.G.U.U. 13 settembre 1994, n. 214 e 10 dicembre 1994, n. 288, suppl. ord.).
<b>D. Lgs. 22 maggio 1999, n.209</b>	Attuazione della direttiva 96/59/CE relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili (G.U. n. 151 del 30 giugno 1999)
<b>D. L. del 30 dicembre 1999, n. 5000, convertito con modificazioni dalla L. del 25 febbraio 2000, n. 33</b>	Disposizioni urgenti concernenti la proroga dei termini per lo smaltimento in discarica di rifiuti e per le comunicazioni relative ai PCB, nonché l'immediata utilizzazione di risorse finanziarie necessarie per l'attivazione del protocollo di Kyoto (G.U. n. 305 del 30 dicembre 1999; G.U. n. 48 del 28 febbraio 2000)
<b>D.M. (Ambiente) 11 ottobre 2001</b>	Condizioni per l'utilizzo dei trasformatori contenenti PCB in attesa della decontaminazione o dello smaltimento (G.U. n. 255 del 2 novembre 2001)
<b>Comunicazione della Commissione, del 24 ottobre 2001, al Consiglio, al Parlamento europeo ed al Comitato economico e sociale.</b>	Strategia comunitaria su diossine, furani e policlorobifenili [COM(2001) 593 def. - non pubblicato nella Gazzetta ufficiale].

I riferimenti normativi evidenziati con (\*) sono quelli non ancora vigenti in Italia (Disegni di legge, Proposte di direttive e Direttive non ancora recepite)

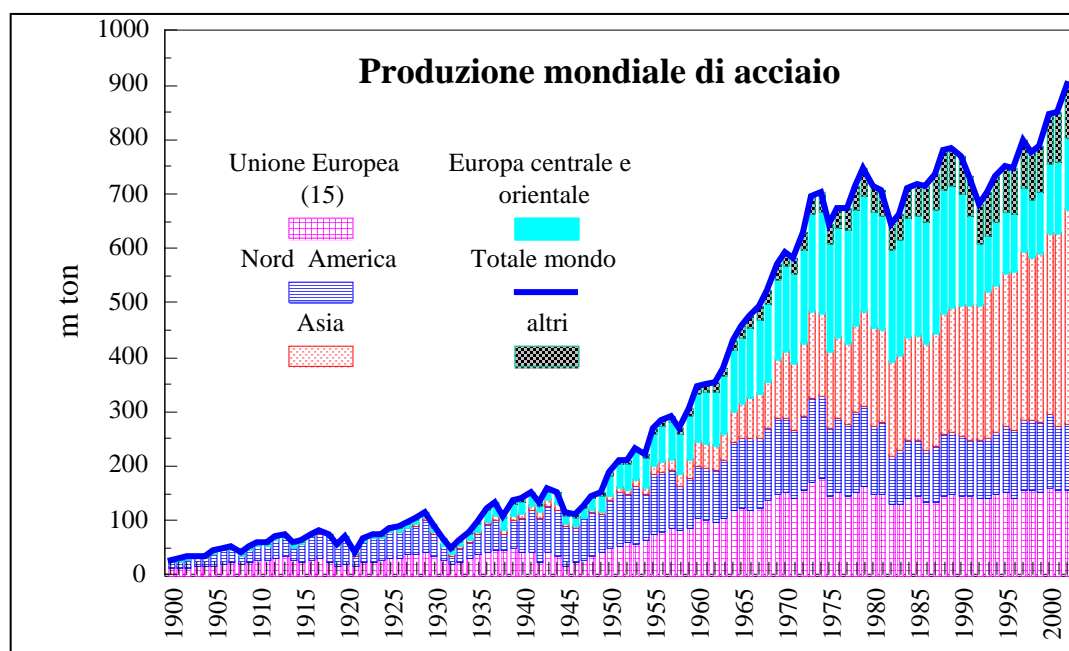
<sup>(1)</sup>: i riferimenti normativi con la nota hanno indicazioni specifiche agli impianti per la produzione e la trasformazione dei metalli ferrosi, e sono riportato nell'allegato B.1

## 2. Ricognizione della situazione del settore

### 2.1 Panorama generale

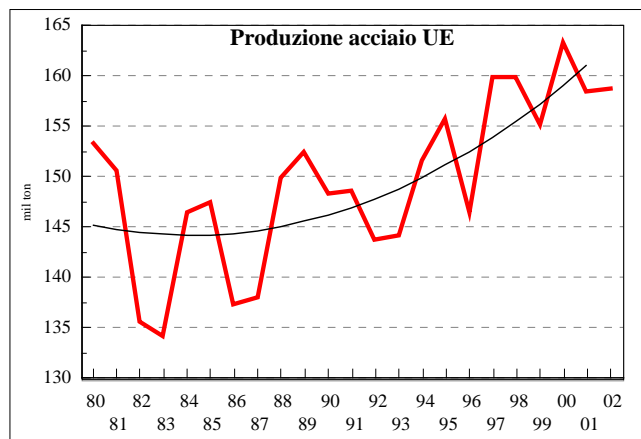
Negli ultimi cinquant'anni l'industria siderurgica ha sempre accresciuto il suo ruolo di fornitore essenziale di uno dei più diffusi materiali di base al mondo, largamente impiegato dall'industria ed in ogni settore della vita quotidiana. I consumi di prodotti siderurgici, necessari per lo sviluppo economico, sempre sostenuti ed in forte crescita, hanno richiesto sia un'adeguata crescita quantitativa della produzione di acciaio sia la creazione di nuovi prodotti di alta qualità.

Anche i paesi meno sviluppati hanno provveduto a dotarsi di capacità di produzione tali da sostenere il processo di industrializzazione; i paesi più sviluppati non hanno però rinunciato alle loro produzioni, ma le hanno potenziate con la creazione di nuovi e più efficienti prodotti ad elevato contenuto tecnologico, a dimostrazione di come sia considerato fondamentale il ruolo dell'acciaio nello sviluppo economico.



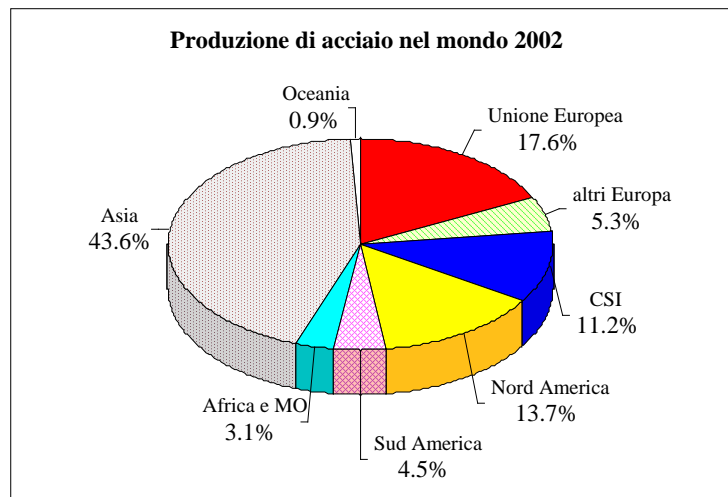
La crescita della produzione mondiale di acciaio, nel corso del secolo scorso, è stata particolarmente intensa nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale fino agli anni settanta, con andamenti diversificati a seconda delle aree geografiche. Più recentemente la produzione mondiale di acciaio è passata da 770 m.t. (1990) a 848 m.t. nel 2000 e a 902 m.t. nel 2002.

La crescita più rapida si è verificata in Asia dove la produzione di acciaio è passata da 238 m.t. del 1990 a 332 m.t. nel 2000 e 393 nel 2002. I paesi dell'Unione europea hanno continuato sulla via dello sviluppo portando la produzione di acciaio a 159 m.t. nel 2002 confermandosi come area di produzione efficiente e qualificata e rafforzando così il ruolo fondamentale dell'acciaio nelle loro economie.

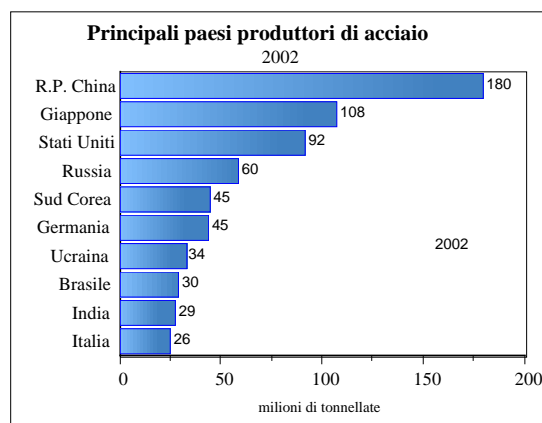


Negli USA la produzione è passata da 90 m.t. di inizio decennio a 102 m.t. nel 2000 per scendere poi a 92 m.t nel 2002.

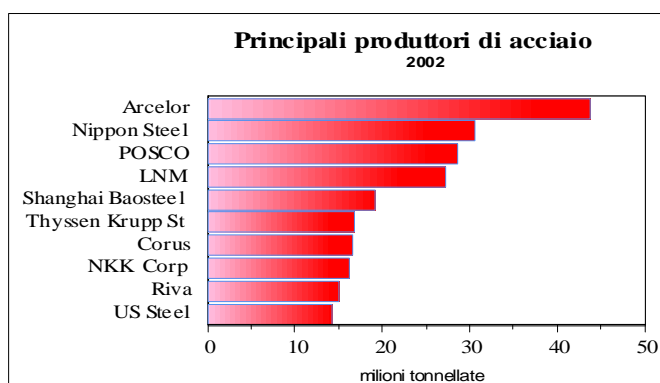
L'Asia produce attualmente la maggior quota mondiale di acciaio seguita dall'Unione Europea e dal Nord America. Paesi in rapido sviluppo, come Sud Corea e Taiwan, ma anche India, hanno quasi raddoppiato la produzione di acciaio negli ultimi dieci anni.



La Cina è il maggior produttore mondiale di acciaio dal 1996, quando ha superato il Giappone, e, dal 1990 al 2000 ha raddoppiato la produzione portandola a 127 m.t. e successivamente a 182 nel 2002.



Il gruppo italiano Riva, con impianti, oltre che in Italia, nei principali paesi europei, occupa il nono posto nella classifica mondiale dei produttori.



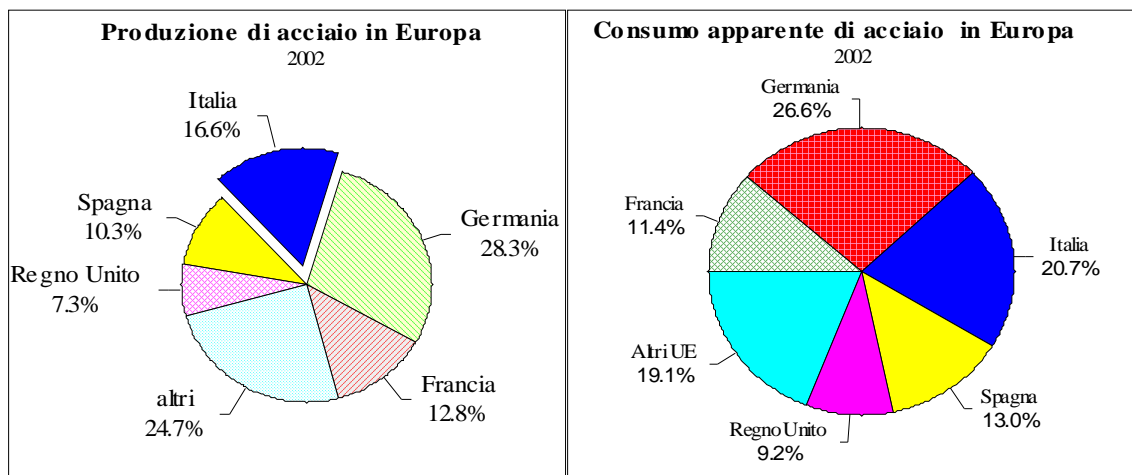
Circa il 40% dell'acciaio prodotto nel mondo è oggetto di scambio internazionale, (25% vent'anni addietro). L'apertura dei mercati impone continui sforzi di razionalizzazione con elevati benefici per l'intero sistema industriale, sia in termini di riduzione di costi sia di prestazioni qualitative dei prodotti.

## 2.2 La siderurgia italiana

La produzione di acciaio in Italia si è sviluppata nel dopoguerra partendo da livelli pressoché trascurabili: dalle 308.000 t. prodotte all'inizio del secolo, si è passati a 2,3 m.t. prima dell'inizio della seconda guerra fino ad un massimo di 27,8 m.t. nel 1995 (26,3 nel 2002).



La forte crescita della produzione italiana, principalmente nell'immediato dopoguerra, essenzialmente finalizzata al soddisfacimento dei bisogni interni, ha portato l'Italia al posto di secondo produttore europeo, dopo la Germania, con il 16,6% della produzione di acciaio europea.



L'Italia, con un consumo apparente di circa 32 m.t. di acciaio, è anche il secondo paese consumatore di acciaio dopo la Germania e, superando di oltre 14 m.t. il consumo di un paese industrializzato come la Francia, e mostra un trend ancora in crescita.

L'alto livello dei consumi italiani, che dipende dall'alta intensità di consumo di acciaio tipico dell'industria manifatturiera e delle costruzioni, ha fatto sì che l'Italia, benché sia il secondo produttore europeo, nello stesso tempo è un importatore netto di acciaio, rendendo così il mercato particolarmente sensibile alle vicende del commercio mondiale.

L'industria siderurgica italiana, prima dello Stato per il 40%, è completamente privata dal 1995 e, in conformità alle disposizioni comunitarie, non gode di alcuna forma di assistenza economico finanziaria da parte dello Stato, contrariamente a quanto avviene in altri paesi, come gli USA, dove malgrado la proprietà privata delle aziende, esistono svariate forme di aiuti che non sarebbero tollerate nei paesi UE.

In seguito a profonde riorganizzazioni, la produzione di acciaio si è concentrata in un numero minore di siti produttivi, attualmente 41, con le localizzazioni visivamente esemplificate nel grafico.

Per quanto riguarda la laminazione a caldo, processo di trasformazione ricadente nell'ambito della normativa, le localizzazioni nazionali sono 67, delle quali 25 integrate in altrettante acciaierie.

La regione con il numero maggiore di siti è la Lombardia (28) seguita dal Veneto (11), dal Friuli (9), Piemonte (6), Toscana, Umbria, Puglia e Sicilia (2), Val d'Aosta, Trentino, Liguria, Lazio e Basilicata (1).

La siderurgia italiana nel 2002 occupato circa 37mila addetti nella produzioni primarie ed oltre 50mila includendo le seconde lavorazioni (tubi ecc).

## Siti di produzione



### Altoforni



### Convertitori all'ossigeno

Genova, Piombino,  
Taranto, Trieste



### Forni elettrici

Aosta, Bergamo, Bolzano,  
Brescia, Catania, Cremona,  
Cuneo, Modena, Novara,  
Padova, Potenza, Torino,  
Terni, Trento, Udine,  
Varese, Verona, Vicenza.

### 2.3 Impatto ambientale del settore

Gli aspetti ambientali più importanti per gli impianti di produzione e di prima lavorazione dell'acciaio riguardano principalmente le emissioni in atmosfera, il trattamento delle acque e la produzione di rifiuti solidi; oggi si hanno tecnologie ed informazioni adeguate per essere in condizione di effettuarne, rispettivamente, il controllo e la gestione.

Più limitate sono le conoscenze riguardo ai disturbi da rumore e da vibrazioni ed ai relativi metodi per minimizzarli; lo stesso dicasi per l'inquinamento del suolo e gli effetti sulla salute e sulla sicurezza; inoltre vi sono poche informazioni sui metodi di campionamento e di analisi, nonché le condizioni di riferimento usate a base dei dati riportati.

In un'acciaieria a ciclo integrale, gli impianti che maggiormente contribuiscono all'emissione di sostanze inquinanti nell'atmosfera sono l'impianto di agglomerazione e le cokerie, seguiti dall'altoforno e dal convertitore LD; fra gli inquinanti sono presenti: polveri, gas come SO<sub>2</sub> ed NO<sub>x</sub>, composti organici come IPA, ecc. e metalli pesanti. Il contributo dell'industria siderurgica al totale delle emissioni in aria nei paesi della Comunità Europea è significativo soprattutto per questi ultimi, arrivando al 35% per lo zinco ed al 55% per il cromo.

Nei processi di trasformazione l'inquinante principale, fra le emissioni in atmosfera, è costituito dalle polveri, che insieme a sostanze organiche possono derivare dalle lavorazioni di laminazione; la combustione dei forni di riscaldamento è responsabile dei gas inquinanti come SO<sub>2</sub> ed NO<sub>x</sub>.

Le acque sono presenti come mezzo di lavaggio e di raffreddamento e come soluzione oleosa per la lubrificazione; il trattamento delle acque di processo determina una produzione di fanghi.

Pertanto, sia il controllo dell'inquinamento atmosferico, con la separazione delle polveri abbattute, sia il trattamento delle acque, confluiscono nelle tematiche dei residui solidi. L'industria siderurgica, essendo infatti tra quelle a maggior consumo di materie prime ed energia, è anche produttrice di una notevole quantità di residui; con buona approssimazione si può dire che nel bilancio di massa più della metà delle materie in ingresso fuoriescono come gas, residui solidi e sottoprodotti, che per la maggior parte vengono riciclati e/o venduti.

La **tabella seguente** presenta uno schema semplificato del bilancio di massa per l'acciaio prodotto nella UE nel 1995; in essa sono presenti solo le materie più importanti (escludendo l'acqua ed il gas), e non sono prese in considerazione le possibilità di riciclare o minimizzare le materie prime.

	Ingresso (Mt)	Uscita
Minerale di ferro (Agglomerato, pellets, BF)	148,0	Acciaio 155,8
Rottame (acciaieria BOF ed EAF )	79,3	
Carbone (cokerie, BF ed EAF)	62,0	
Calce	7,0	Emissioni Rifiuti Solidi e Residui 160,7
Calcare	13,0	
Combustibile (olio e gasolio)	4,0	
Additivi	3,2	
<b>Totale</b>	<b>316,5</b>	

Bilancio di materia per la produzione siderurgica (1995)

Dalla tabella si può rilevare come oltre il 50% del materiale in ingresso nel ciclo di produzione fuoriesca sottoforma di gas, sottoprodotti e residui, che per la maggior parte sono riciclati e/o venduti; la quota rimanente va a costituire le emissioni ed i rifiuti solidi.

L'obiettivo di ottimizzare il flusso di materia e di migliorare il bilancio di massa è stato perseguito con lo sviluppo di tecniche e tecnologie avanzate in grado di realizzare una gestione dei rifiuti caratterizzata dalla valorizzazione dei residui e dal recupero dei sottoprodotti; pertanto, l'interconnessione tra le singole unità di produzione (agglomerato, cokerie, altoforno, acciaierie, laminazione) non si realizza soltanto in termini di flusso di produzione, ma anche in termini di flussi interni di residui ( scaglie di laminazione, polveri da impianti di filtrazione, fanghi da trattamento ad umido dei gas d'altoforno e d'acciaieria, ecc.), di gestione dell'acqua (trattamenti in comune dei vari flussi d'acqua, uso in cascata di acque di raffreddamento, ecc) e dell'uso dell'energia (gas di cokeria, d'altoforno e d'acciaieria, vapore, ecc); tutte queste interdipendenze hanno permesso di minimizzare le emissioni (gas, liquido, solido), di ottimizzare la produttività e ridurre i costi.

## **2.4     L'industria italiana di Zincatura Generale a Caldo (impianti discontinui)**

### **Informazioni generali**

La zincatura a caldo è un processo in cui lotti di materiali in acciaio e ferro, articoli o manufatti già assemblati, vengono trattati durante uno o due turni giornalieri (ci sono casi in cui in determinati periodi o in situazioni di particolare necessità può esservi l'utilizzo di un 3° turno notturno).

La zincatura generale a caldo è un processo discontinuo. Le aziende che operano il processo si chiamano zincature o zincherie.

La zincatura di tubi, lamiere e filo da impianti automatici o semi-automatici, con produzioni continue, non viene considerata zincatura generale.

Mediante la zincatura a caldo si ottiene la formazione di uno strato superficiale di zinco che protegge dalla corrosione i manufatti in acciaio e ferro. Questo rivestimento viene ottenuto nelle zincherie attraverso l'immersione dell'acciaio nello zinco fuso, in lega con altri metalli in quantità molto piccole, previo un trattamento di preparazione superficiale descritto nel seguito.

Settori che beneficiano della protezione della corrosione dell'acciaio strutturale e non-strutturale sono: l'industria delle costruzioni private e pubbliche, l'arredo urbano, le installazioni agricole ed industriali, l'industria dell'energia, l'impiantistica sportiva e dei servizi in genere, le attrezzature stradali, guardrail e recinzioni, i trasporti, ma anche equipaggiamenti ed attrezzi, minuterie, bulloni, viti e chiodi.

Le dimensioni, la quantità e la natura dei prodotti di acciaio in ingresso possono, dunque, differire sensibilmente. Per l'estrema versatilità di questo sistema di protezione, vi è una notevole diversificazione delle tipologie di articoli e manufatti. Le peculiarità del processo rendono possibile solo una limitata automatizzazione.

Per sua caratteristica, la zincatura a caldo può essere vista come una "industria di servizio" dal momento che completa, mediante un trattamento superficiale, il ciclo di produzione di manufatti realizzati in altre realtà produttive. In questo settore è, quindi, prevalente l'attività di zincatura conto terzi, nella quale una gran varietà di materiali in ingresso viene lavorata per una clientela diversificata. La conseguente forte incidenza del trasporto degli articoli e dei manufatti, da e verso le zincherie, fa in modo che gli impianti di zincatura siano localizzati in zone strategiche, con un numero di impianti relativamente alto per essere adatti ad offrire un servizio per mercati di estensione regionale. Solo in rari casi ed il più delle volte in presenza di esigenze specifiche (per esempio dimensioni particolari dei manufatti da trattare) può essere necessario il trasporto dei manufatti da zincare per lunghe distanze.

### **Aspetti economici**

In Italia le Aziende di Zincatura Generale sono PMI, in ogni caso al di sotto dei 150 dipendenti. Solo in pochi casi lo stesso soggetto possiede più impianti, anche se negli ultimi anni si sta assistendo a processi di concentrazione. In tempi recenti il costo degli investimenti per nuovi impianti è cresciuto, come conseguenza di una maggiore esigenza di capitali per l'applicazione di tecnologie più efficaci e per il miglioramento delle performance ambientali. Una significativa parte dei recenti investimenti è stata destinata allo sviluppo di misure di controllo delle emissioni in ambiente e all'applicazione di leghe per la zincatura, ottenute

attraverso l'uso di metalli in alligazione (aggiunti comunque in quantità minime) per migliorare la qualità del prodotto.

L'Italia è il maggiore produttore europeo con una produzione stimata di ca 1.540.000 tonnellate nel 2002. Il consumo dello zinco nell'industria della zincatura discontinua a caldo in Italia nello stesso anno 2002 è stato di ca 92.000 tonnellate. Il fatturato stimato dell'intero settore è di ca € 330.000.000.

Il prezzo della zincatura può fluttuare significativamente in dipendenza dalle variazioni del costo delle materie prime, in particolare dello zinco, il cui acquisto è il principale costo sostenuto. Recentemente il sorgere di nuovi impianti, in special modo nel Sud del Paese con finanziamento pubblico, ha determinato una sproporzione dell'offerta rispetto alla domanda. In queste circostanze, la sovra-capacità determina grosse variazioni dei prezzi e, quindi, del risultato economico delle zincherie.

### Aspetti ambientali

Il processo di zincatura a caldo dà luogo a rifiuti e sottoprodotti contenenti zinco, come le schiumature di zinco e le matte.

Le schiumature in genere sono riciclate come materie prime nell'industria dello zinco secondario per il recupero dello zinco riutilizzabile, mentre le matte sono usate come materia prima secondaria nell'industria di produzione dell'ossido di zinco.

Le soluzioni acquose esauste, derivanti dal processo e contenenti zinco, quando possibile, vengono trattate sul posto per il riciclo nel processo. Il residuo ottenuto viene inviato allo smaltimento. In alternativa esse possono essere conferite ad aziende specializzate per essere sottoposte a trattamenti di recupero o di smaltimento esterni

Ha rilevanza ambientale il controllo dei liquidi reflui, la captazione e l'abbattimento dei fumi dalla vasca di zincatura.

Nei paragrafi che seguono saranno indicate le caratteristiche del processo, con l'individuazione delle migliori tecniche disponibili per la prevenzione ed il controllo dell'inquinamento.

## 2.5 L'industria italiana di Fonderia

### La struttura produttiva

L'industria italiana di Fonderia di metalli ferrosi è costituita da 281 imprese (237 Fonderie di ghisa, 17 di precisione, 27 di acciaio), occupa 20.630 addetti, realizza una produzione di 1.462.266 tonnellate (dato del 2002), a fronte di una capacità del sistema stimata in 1.870.250 tonnellate.

Il fatturato globale è valutato in circa 3.8 miliardi di euro.

**La fonderia di metalli ferrosi** è stata oggetto, nel corso degli ultimi venti anni, di un processo di ristrutturazione che ha determinato una consistente riduzione della base produttiva.

In particolare tra il 1980 e il 2002 il numero complessivo delle imprese è passato da 694 agli attuali 281 con un tasso di riduzione pari al 59% (-413 unità).

I dati degli ultimi anni indicano una nuova accelerazione della crisi congiunturale del settore che ha accentuato la situazione di sofferenza di una parte consistente del sistema produttivo.

Le principali difficoltà hanno riguardato, fino ad oggi, imprese specializzate in produzioni non più richieste dal mercato o realizzate più convenientemente in altri Paesi (lingottiere, getti per valvole, contrappesi, ecc.), imprese obsolete o localizzate all'interno di aree urbane, che gli imprenditori non hanno avuto le risorse necessarie per ricollocarle in aree industriali adeguate. A questi problemi si aggiunge la perdita di competitività nei confronti dei concorrenti esteri, determinata anche dal gap dimensionale nei confronti degli altri concorrenti europei.

La dimensione media delle Fonderie di metalli ferrosi, pur essendo passata dai 58 addetti del 1990 ai 74 del 2002, permane ben al di sotto dei valori di Francia (152 addetti), Germania (155) e Gran Bretagna (88).

### La produzione

Con riferimento agli ultimi dati di produzione disponibili (anno 2002), l'Italia produce 1.386.345 tonnellate di getti di ghisa, 74.521 tonnellate di getti di acciaio, 1.400 tonnellate di getti microfusi realizzati con la tecnologia della cera persa.



Il confronto con gli altri Paesi europei conferma che nonostante un recupero registrato nel corso degli ultimi 20 anni, la produzione media delle imprese italiane di metalli ferrosi rimane inferiore rispetto ai principali concorrenti esteri: l'Italia (quasi 5.000 tonnellate per impresa) è fortemente distaccata da Francia e Germania (oltre 13.000 tonnellate per impresa), mentre presenta una maggiore vicinanza a quella di Gran Bretagna e Spagna (circa 4.500 tonnellate per impresa).

I dati di produzione per addetto evidenziano come Francia e Germania si differenzino sostanzialmente dal resto dei Paesi europei con valori dell'ordine di 80 tonnellate/anno, e come l'Italia mantenga anche in questo caso una posizione intermedia, migliore di Spagna e Gran Bretagna.

## **Evoluzione del mercato**

L'evoluzione di mercato di questi ultimi anni ha evidenziato modifiche rilevanti nei consumi dei settori utilizzatori.

La produzione di getti di ghisa per l'industria dei mezzi di trasporto è stata condizionata dalla crisi dell'auto, oltre che dalle preferenze per le leghe non ferrose. In termini quantitativi la produzione di getti destinati a tale settore ha perso circa il 23% rispetto alla punta massima raggiunta nell'anno 1997 e nel 2002 ha rappresentato il 32% della produzione totale di getti di ghisa.

Al contrario, le forniture all'industria meccanica hanno raggiunto un nuovo record proprio nel 2002 con 586.290 tonnellate. L'industria meccanica rappresenta così il primo committente delle Fonderie di ghisa italiane ed assorbe il 42% della produzione complessiva.

L'inserimento di una nuova impresa nella produzione di tubi per acquedotto ha determinato la ripresa dei getti destinati a queste applicazioni che rientrano nel comparto dell'edilizia.

Merita infine una considerazione la ghisa sferoidale destinata all'industria meccanica e dei mezzi di trasporto che nel 2002 ha raggiunto un nuovo record (443.840 tonnellate) che ha consentito al comparto di ridurre nella produzione di questo tipo di lega il gap rispetto ai principali Paesi europei.

Nel comparto dei getti di acciaio la produzione degli ultimi anni evidenzia due fenomeni, peraltro attesi: il calo delle produzioni di getti per valvole ove le Fonderie italiane all'inizio degli anni novanta avevano indirizzato le specializzazioni; la crescita delle forniture all'industria della frantumazione con una forte presenza sui mercati esteri.

La flessione della domanda di getti per valvole è stata determinata, in parte, dalle industrie committenti italiane che avendo assunto caratteristiche multinazionali, hanno esteso l'approvvigionamento di getti per valvole nei mercati più convenienti, prescindendo da considerazioni in merito al livello qualitativo delle produzioni.

## **Gli scambi con l'estero**

In generale, il basso valore dei prodotti di fonderia e l'elevata incidenza dei costi di trasporto hanno spesso limitato a livello nazionale il mercato dei prodotti di Fonderia. Inoltre, la vicinanza e la facilità di contatti tra fornitore e committente è spesso considerata di vitale importanza per il migliore funzionamento della filiera produttiva.

Tuttavia, nel corso dell'ultimo decennio il mercato dei getti di Fonderia si è allargato considerevolmente, grazie alle nuove tecnologie informatiche, che hanno facilitato i contatti tra fornitore e committente superando le distanze.

Per i prodotti di Fonderia questa situazione ha consentito alle esportazioni di raddoppiare nell'arco degli ultimi dieci anni, raggiungendo circa il 18% della produzione totale, e alle importazioni di triplicare e di rappresentare il 26% della produzione complessiva.

Per quanto riguarda gli scambi con l'estero dei getti ferrosi, i dati ISTAT relativi al 2002, indicano una leggera flessione del volume delle esportazioni (-0.6%) attestandosi su un livello di 264.666 tonnellate e un contestuale cedimento del relativo valore (-11.4%) che ha raggiunto 1.041 milioni di euro.

Nel 2002 si è interrotto il trend decrescente delle importazioni, iniziato lo scorso anno, che al contrario hanno registrato un incremento del 2.9% in termini di volume, mentre il relativo valore ha subito una flessione pari all'1.3%. Nel 2002, l'Italia ha importato 379.990 tonnellate di getti ferrosi per un totale di 623 milioni di euro.

Il saldo commerciale (esportazioni – importazioni) in termini di valore registra una flessione e si posiziona su 418 milioni di euro contro i 544 milioni dello scorso anno, mentre è cresciuto il disavanzo commerciale in termini di volumi passando da -103.011 tonnellate del 2001 a -115.324 tonnellate del 2002.

I principali mercati di sbocco dei getti ferrosi italiani continuano ad essere i Paesi dell'Unione Europea (62% del totale esportato pari a 162.000 tonnellate di getti) - ove si trovano anche i maggiori fornitori dai quali provengono quasi il 47% del totale importato pari a 178.000 tonnellate di getti.

In particolare i principali clienti delle Fonderie italiane sono, Germania (16% delle esportazioni), Francia (14%), Spagna (11%), Belgio (5%) e Regno Unito (5%) che nel 2002 hanno assorbito complessivamente oltre il 50% delle esportazioni italiane pari a circa 137.000 tonnellate di getti.

Allo stesso tempo, questi Paesi rappresentano i maggiori fornitori e hanno coperto nel 2002 il 42% delle importazioni del mercato italiano, pari a circa 162.000 tonnellate di getti.

Come gli scorsi anni, il primo fornitore del mercato italiano è la Francia (82.557 tonnellate) pur con un consistente calo delle quantità importate rispetto al 2001 (-15%).

Al di fuori dell'Unione Europea, particolarmente significative sono le importazioni dalla Cina pari a 70.478 tonnellate che rappresentano il 19% delle importazioni complessive ed hanno sperimentato una crescita del 48% rispetto alle importazioni del 2001.

Anche le importazioni dalla Repubblica Ceca, 24.658 tonnellate (6% del totale), hanno registrato un incremento del 14%, così come quelle dalla Turchia, risultate di 23.873 tonnellate, cioè il 15% in più rispetto allo scorso anno.

La quota di importazioni dalla Slovenia pari a 12.389 tonnellate (il 3% del totale) è cresciuta del 2%, mentre sono diminuite del 10% le importazioni dalla Polonia che sono scese a 15.612 tonnellate. Infine il volume di getti importati dalla Romania conferma sostanzialmente il dato del 2001 con 16.389 tonnellate.

Produzione di getti ferrosi (tonnellate).				
Anni	GETTI DI:			TOTALE
	Ghisa	Acciaio	Microfusione	
1980	1.799.801	140.067		1.939.868
1989	1.598.225	100.144		1.698.369
1990	1.406.407	93.360		1.499.767
1991	1.331.038	89.762		1.420.800
1992	1.291.664	79.991		1.371.655
1993	1.258.076	75.572		1.333.648
1994	1.378.613	83.257	1.464	1.463.334
1995	1.521.902	91.226	1.615	1.614.743
1996	1.404.389	84.261	1.491	1.490.141
1997	1.440.945	80.239	1.523	1.522.707
1998	1.431.334	77.088	1.510	1.509.932
1999	1.417.035	76.776	1.496	1.495.307
2000	1.438.197	78.006	1.518	1.517.721
2001	1.355.896	77.441	1.394	1.434.731
2002	1.386.345	74.521	1.400	1.462.266

Fonderie presenti al 31 dicembre (Numero imprese)				
Anni	FONDERIA DI:			
	Ghisa	Acciaio	Microfusione	TOTALE
1980	601	76	17	694
1989	361	44	17	422
1990	353	42	17	412
1991	338	41	17	396
1992	323	40	17	380
1993	303	27	17	347
1994	293	26	17	336
1995	289	34	16	339
1996	276	32	17	325
1997	267	31	18	316
1998	262	30	18	310
1999	258	29	17	304
2000	252	28	17	297
2001	247	27	17	291
2002	237	27	17	281

Capacità produttiva della Fonderia di metalli ferrosi (Tonnellate).

Anni	FONDERIA DI:			
	Ghisa	Acciaio	Microfusione	TOTALE
1980	2.308.500	186.000		2.494.500
1989	1.835.000	110.000		1.945.000
1990	1.835.000	110.000		1.945.000
1991	1.830.000	110.000		1.940.000
1992	1.750.000	110.000		1.860.000
1993	1.640.000	95.000		1.735.000
1994	1.625.000	95.000	1.800	1.721.800
1995	1.630.000	95.000	1.800	1.726.800
1996	1.680.000	90.000	1.800	1.771.800
1997	1.750.000	85.000	1.900	1.836.900
1998	1.800.000	85.000	1.900	1.886.900
1999	1.850.000	85.000	1.900	1.936.900
2000	1.900.000	85.000	1.900	1.986.900
2001	1.815.000	85.000	1.750	1.901.750
2002	1.785.000	83.500	1.750	1.870.250

Fonte: Stime Assofond

Addetti diretti della Fonderia di metalli ferrosi.				
Anni	FONDERIA DI:			
	Ghisa	Acciaio	Microfusione	TOTALE
1980	31.807	6.875		38.682
1989	20.100	4.240		24.340
1990	19.700	4.150		23.850
1991	19.050	4.045		23.095
1992	18.400	3.850		22.250
1993	17.500	3.670		21.170
1994	17.950	3.670	800	22.420
1995	18.850	3.740	800	23.390
1996	18.100	3.550	800	22.450
1997	17.950	3.300	800	22.050
1998	18.150	3.100	800	22.050
1999	18.400	3.000	800	22.200
2000	18.360	2.940	800	22.100
2001	17.700	2.900	800	21.400
2002	17.000	2.830	800	20.630

### **3. Descrizione del processo di produzione, dei sottoprocessi e degli impianti per i quali sono analizzate le migliori tecniche disponibili**

#### **3.1 Generalità**

Nella siderurgia italiana, i procedimenti utilizzati per produrre acciaio sono essenzialmente due:

- ciclo integrato, dove l'acciaio viene ottenuto per riduzione dei minerali di ferro;
- ciclo al forno elettrico, dove l'acciaio viene ottenuto per fusione dei rottami ferrosi.

La produzione di acciaio in un ciclo integrato è realizzata attraverso una serie di processi correlati tra loro di cui i principali sono:

- la produzione del coke metallurgico,
- la produzione di agglomerato di minerali di ferro,
- la produzione di ghisa,
- la produzione di acciaio con relativa colata continua,

a cui possono seguire dei processi di trasformazione dell'acciaio, nonché la produzione di energia elettrica e/o vapore attraverso anche l'utilizzo di gas siderurgici (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria).

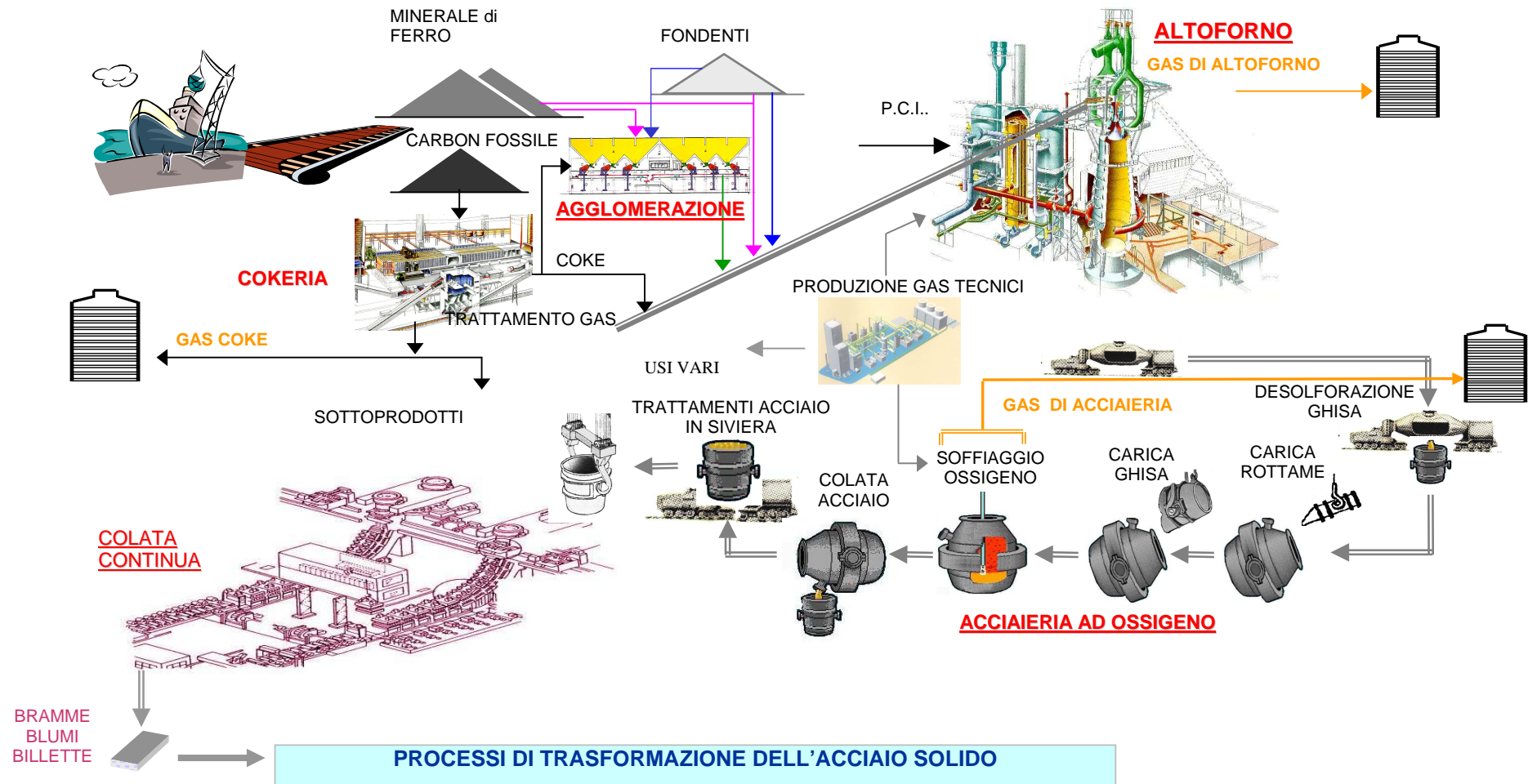
La produzione di acciaio al forno elettrico in sé per sé è meno articolata rispetto al ciclo integrato, in quanto la materia prima è costituita da rottame di ferro. La produzione è essenzialmente realizzata per fusione del rottame di ferro con relativo colaggio in continuo dell'acciaio, a cui possono seguire dei processi di trasformazione dell'acciaio.

Il settore della trasformazione è interessato da una complessa serie di lavorazioni intermedie e dà luogo ad una produzione molto articolata di semilavorati (lingotti, bramme, blumi, billette, ecc.) necessari a soddisfare la domanda dei prodotti finiti. La lavorazione principale, che rientra nella normativa IPPC, è la laminazione a caldo per la produzione di laminati piani, lunghi e tubi.

#### **3.2 Produzione di ghisa e acciaio al ciclo integrato (cokeria, agglomerato, altoforno, acciaieria)**

Nella figura seguente è riportato lo schema di flusso tipico di produzione acciaio al ciclo integrato.

# CICLO INTEGRATO DI PRODUZIONE ACCIAIO



Fra le **materie prime**, i minerali di ferro ed i carbon fossili, provengono da paesi terzi; trasferiti per mare, raggiungono lo stabilimento di produzione su grandi linee di trasporto a nastro; stoccati nello stabilimento in appositi parchi di polmonazione, vengono poi ripresi ed inviati ai processi produttivi. I fondenti, invece, essenzialmente costituiti da calcare e dolomite, provengono dalla estrazione in cave locali.

La **ghisa** viene prodotta dagli altoforni con una carica essenzialmente costituita da coke metallurgico, agglomerato, minerali di ferro in pezzatura e fondenti. Il coke metallurgico svolge le seguenti principali funzioni:

- sviluppa il gas riducente necessario alla trasformazione degli ossidi di ferro in ferro metallico;
- fornisce il carbonio necessario per la carburazione della ghisa e per la riduzione di alcuni elementi di lega;
- sostiene il peso del materiale caricato fino alla parte bassa dell'altoforno, essendo l'unico materiale che non fonde;
- fornisce il calore necessario alla fusione dei minerali.

Per la produzione di coke metallurgico vengono utilizzate delle miscele di carbone; queste vengono preparate in appositi impianti, con operazioni di vagliatura e dosatura, e vengono stoccate in sili situati nei pressi dei forni di distillazione (batterie); il caricamento dei forni è effettuato, per gravità, per mezzo delle macchine cariatrici (4.2.1-A2).

Nelle celle la miscela di carbon fossile distilla ad elevata temperatura (1000-1100°C) ed in assenza di aria, libera le materie volatili e dà origine al coke metallurgico con caratteristiche di porosità e di resistenza necessarie per la carica negli altoforni.

Ogni cella si presenta come una camera chiusa, con una serie di aperture per le varie operazioni; nella parte superiore si aprono le bocchette di carica, da dove viene introdotta la miscela del carbon fossile, e la bocchetta d'aspirazione (tubo di sviluppo) della miscela gassosa prodotta nella fase di distillazione; lateralmente, le aperture consentono le operazioni di sfornamento del coke metallurgico.

Il riscaldamento del carbon fossile avviene mediante la combustione di gas di cokeria (o gas di altoforno miscelato con gas di cokeria), nelle camere di combustione adiacenti, denominate "piedritti" (4.2.1-A3).

La miscela gassosa (gas di cokeria), che si sviluppa durante la distillazione del carbon fossile, viene raccolta e trattata all'impianto sottoprodotti, dove il gas combustibile recuperato è sottoposto ad un processo di depurazione prima di essere immesso nella rete di distribuzione alle varie utenze termiche di stabilimento. A fine distillazione la macchina sfornatrice si porta davanti alla cella da sfornare mentre dall'altra parte della batteria si posiziona la macchina guida-coke. Entrambe le macchine operatrici tolgono le porte dalla cella da sfornare e, mentre la macchina guida-coke posiziona le due paratie metalliche necessarie a convogliare il coke metallurgico nel carro sottostante, la macchina sfornatrice spinge, con un'asta dalla testa sagomata, il coke stesso. Terminata la fase di sfornamento la cella viene richiusa e caricata nuovamente per iniziare un nuovo ciclo di cokefazione.

Il coke metallurgico incandescente, raccolto nel carro di spegnimento, viene portato allo spegnimento, effettuato con forti getti di acqua sotto apposite torri; successivamente il coke spento viene inviato agli impianti di vagliatura per ottenere la pezzatura idonea alla carica in altoforno.

I minerali di ferro fini, per il loro impiego nel processo di produzione della ghisa in altoforno, vengono avviati a fasi di lavorazione intermedie, quali l'omogeneizzazione e la sinterizzazione, nelle quali si realizza l'ottimizzazione dell'analisi chimica e la preparazione di un prodotto "agglomerato" che ha le caratteristiche chimico-fisiche ottimali per l'impiego in altoforno.

Il processo di sinterizzazione dei minerali di ferro viene effettuato negli **impianti di agglomerazione**, secondo le tre fasi principali di lavorazione: preparazione della miscela, produzione dell'agglomerato, trattamento dell'agglomerato. Per la preparazione della miscela, le materie prime da agglomerare (omogeneizzato fine, coke fine, calcare, calce, minuti di ritorno altoforno e di ricircolo) vengono insilate in appositi sili di stoccaggio e da qui riprese ed inviate ai

mescolatori, dove vengono aggiunte opportune quantità di acqua e/o materiale umido di recupero per conseguire l'umidità desiderata della miscela.

La miscela umida in uscita dai tamburi mescolatori viene distribuita uniformemente sul nastro di agglomerazione, formato da una serie continua di carrelli a fondo grigliato. L'inizio del processo di sinterizzazione avviene con l'accensione superficiale della miscela al passaggio sotto il fornello di accensione.

Dopo l'innescio della combustione del coke contenuto nella miscela, il processo continua alimentato dall'aspirazione dell'aria attraverso i carrelli, dall'alto verso il basso, per completarsi alla fine della macchina di agglomerazione; i fumi di processo, prima di essere convogliati in atmosfera, vengono opportunamente depolverati.

L'agglomerato prodotto viene scaricato in un rompicolle costituito da un dispositivo rotante dotato di elementi stellari frantumatori, che provvedono alla frantumazione dei grossi blocchi. L'agglomerato caldo perviene in un raffreddatore rotante di tipo circolare in cui, a mezzo di insufflaggio di aria, viene raffreddato.

L'agglomerato, in uscita dal raffreddatore rotante, viene frantumato e vagliato a freddo per ottenere la pezzatura idonea alla carica in altoforno.

Gli **altoforni** hanno la funzione di trasformare in ghisa i ferriferi della carica in presenza di coke e fondenti. Dalla parte superiore vengono periodicamente introdotti a strati alterni: il minerale, già in pezzatura idonea, l'agglomerato, il coke ed i fondenti. Durante la lenta discesa della carica avvengono le reazioni di ossido riduzione degli ossidi di ferro ad opera del gas riducente che attraversa la carica dal basso verso l'alto. A livello tubiere viene insufflato il vento caldo costituito da aria preriscaldata nei cowpers, arricchita in ossigeno, il quale reagisce con il carbonio del coke per dare origine alla suddetta miscela gassosa che esplica la sua azione riducente sui minerali di ferro. Negli altoforni vengono anche iniettati a livello tubiere carbon fossile polverizzato, combustibili, oli usati, ecc...

La tecnica di iniezione di carbon fossile polverizzato rappresenta un'evoluzione dell'ultimo decennio, e consente di ridurre il fabbisogno di coke nel processo di fabbricazione della ghisa con evidenti vantaggi sotto il profilo energetico ed ambientale in quanto viene in parte by-passato il ciclo di produzione del coke metallurgico.

Dalla parte alta viene recuperato il gas di altoforno che, dopo opportuna depurazione, viene immesso nella rete di stabilimento per essere utilizzato come combustibile di recupero in varie utenze termiche

Nella parte bassa dell'altoforno, dove più alte sono le temperature, avviene la fusione della carica con la formazione di ghisa e della ganga dei minerali; questa, unitamente alle ceneri di coke ed ai fondenti, determina la scoria, nota come loppa di altoforno.

L'evacuazione dei prodotti della riduzione avviene attraverso un apposito foro di colata, situato nella parte bassa dell'altoforno, aperto mediante macchina perforatrice. I prodotti fusi vengono raccolti in una canale principale di colaggio (rigolone), rivestita in refrattario, ove ghisa e loppa stratificano per effetto dei differenti pesi specifici. Una barriera a sifone posta all'estremità del rigolone separa i due flussi e determina il loro convogliamento in due canali di colaggio differenti (rigola ghisa e rigola loppa). La ghisa, caricata in appositi carri ferroviari (carri siluro), viene trasferita nelle acciaierie per essere affinata ad acciaio, mentre la loppa viene granulata con acqua.

La trasformazione della ghisa in **acciaio** (processo di affinazione), avviene riducendo il contenuto di carbonio nella ghisa e con il trasferimento dei prodotti indesiderati nella scoria. Tale processo di affinazione avviene nei convertitori ad ossigeno.

La carica nei convertitori è costituita da una carica solida (rottami di ferro, ghisa granulata, ecc...) e da una carica liquida (ghisa fusa). Nel processo riveste un ruolo importante anche l'utilizzo di calce per la formazione della scoria, nella quale vengono inglobate una serie di impurezze dell'acciaio.

Il processo di affinazione avviene per insufflaggio di ossigeno nel convertitore; reagendo principalmente con il carbonio della ghisa, l'ossigeno produce una fase gassosa che può essere combusta o recuperata per essere riutilizzata come combustibile di recupero. A fine soffiaggio, l'acciaio viene spillato dai convertitori in appositi contenitori (siviere acciaio) e, successivamente, colato negli impianti di colata continua, dove si trasforma in bramme, blumi, billette (semiprodotti a sezione rettangolare di larghezza ed altezza variabili).

Negli ultimi anni grande importanza hanno assunto gli impianti di trattamento dell'acciaio, a valle dei convertitori, che permettono di ridurre sempre più le impurezze ancora presenti nel bagno e di conferire al prodotto, con l'aggiunta di idonee ferroleghe, particolari caratteristiche meccaniche.

L'acciaio solido così prodotto può essere avviato ai successivi processi di trasformazione quali la laminazione a caldo, la laminazione a freddo i rivestimenti, ecc....

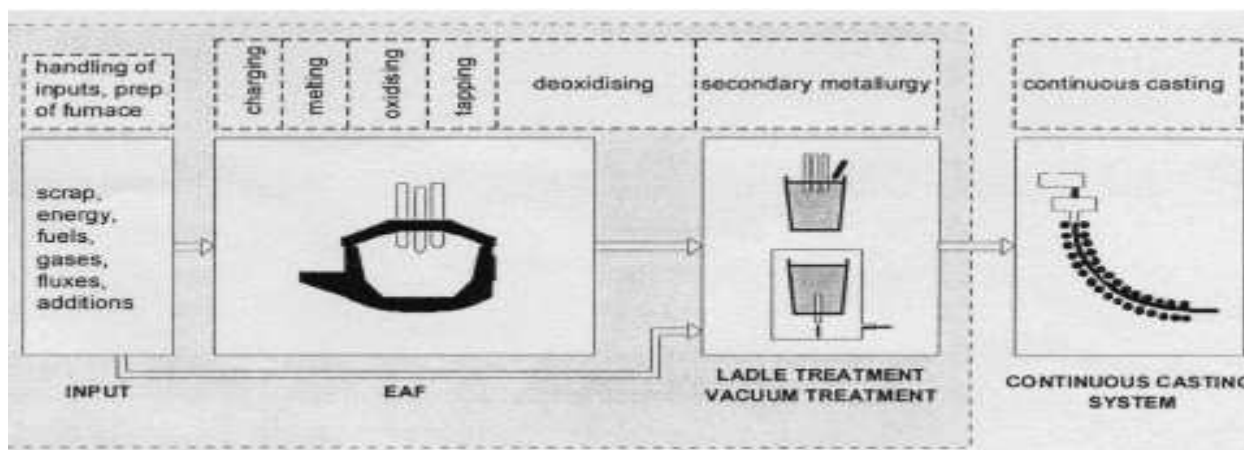
I gas siderurgici prodotti (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria), dopo recupero e depurazione, in parte vengono riutilizzati sempre nell'ambito dei suddetti processi produttivi ed in parte per la produzione di energia elettrica e/o vapore in centrali termoelettriche e/o a turbogas.

### 3.3 Descrizione del processo di produzione acciaio al ciclo del forno elettrico

Il processo di produzione secondaria da rottame d'acciaio al carbonio e legato, prevede il seguente flusso operativo:

1. Movimentazione, stoccaggio materie prime di carica.
2. Movimentazione stoccaggio materie prime ausiliarie, additivi.
3. Carica del forno fusorio (EAF) con o senza preriscaldamento.
4. Fusione in EAF dell'acciaio e affinazione.
5. Scorifica e spillaggio.
6. Trasporto attesa siviera.
7. Trattamenti di metallurgia secondaria.
8. Colata continua o in fossa dell'acciaio.
9. Riscaldamento siviera.
10. Movimentazione trattamento e stoccaggio scoria.

Il seguente schema a blocchi riassume queste operazioni principali del processo di produzione di acciaio al forno elettrico, di cui diamo di seguito una sintesi.



### 1. Movimentazione e stoccaggio materie prime di carica

L'attività si svolge nel reparto dell'acciaieria dove è stoccata la materia prima in ingresso destinata alla carica del forno e costituita principalmente da rottame ferroso di diversa provenienza, da ghisa in pani o in tornitura e da minerale preridotto (DRI-HBI).

La materia prima di carica viene stoccata in un'area denominata parco rottame, generalmente coperto, di dimensione e di struttura adeguate alla potenzialità, tipologia e strategia commerciale e produttiva dell'acciaieria.

La materia prima può provenire dai reparti interni o da altri stabilimenti che trattano prodotti siderurgici e che producono degli sfridi di lavorazione, destinati poi alla rifusione, o dall'esterno (mercato nazionale o estero) tramite camion e/o vagoni ferroviari. Quest'ultimo materiale subisce un controllo radiometrico in ottemperanza alle norme di legge.

Le operazioni di scarico avvengono per ribaltamento del cassone del camion, o per scarico del rottame attraverso macchine operatrici, normalmente carriponte, attrezzate con ragni idraulici o con elettromagneti.

### 2. Movimentazione e stoccaggio materie ausiliarie ed additivi

Per la produzione dell'acciaio oltre alle materie prime di carica sono utilizzate materie prime ausiliarie ed additivi che hanno scopi diversi nel processo metallurgico quali ad esempio:

- ♦ **carbone:** in carica serve per apportare energia termica durante la fusione mediante la sua ossidazione; in pezzatura fine ed insufflato nella scoria del forno serve per il rigonfiamento della stessa allo scopo di migliorare il rendimento elettrico e proteggere dall'arco elettrico il refrattario del forno; aggiunto in siviera serve a carburare l'acciaio.
- ♦ **Calce, dolomite ecc. :** sono additivi utilizzati come scorificanti e concorrono a produrre lo strato di scoria sopra il bagno di acciaio liquido.
- ♦ **Ferroleghe:** vengono utilizzate per correggere la composizione chimica dell'acciaio da produrre.

Dette materie prime sono normalmente fornite in polvere od in pezzatura.

Nel primo caso la movimentazione e lo stoccaggio avvengono generalmente con autobotti che pneumaticamente trasferiscono il prodotto nei silos di stoccaggio presidiati da impianti di aspirazione e depolverazione.

Nel secondo caso la movimentazione avviene con autotreni che scaricano o su apposite aree, dove pale meccaniche raccolgono il materiale in mucchio, poi in genere coperto, o in apposite tramogge di scarico dotate di nastri trasportatori che trasferiscono il materiale nei vari silos di stoccaggio.

In entrambe i casi il materiale può essere imballato in big-bags, trasportato con autotreni e stoccato in apposite aree generalmente coperte.

I fenomeni emissivi vengono contenuti con impianti di aspirazione e relativa filtrazione.

### 3. Carica del forno fusorio

Le materie prime di carica quali il rottame, l'eventuale ghisa e il preridotto, vengono usualmente trasferiti nelle ceste di carica (contenitori di acciaio con fondo apribile di dimensione proporzionata a quella del forno) secondo un mix riconducibile alla tipologia dell'acciaio da produrre.

In alcuni casi nella cesta si aggiungono altri prodotti quali il carbone in pezzatura e gli additivi scorificanti, quando non trasferiti direttamente dai silos al forno attraverso il 5° foro della volta o se fini insufflati mediante iniezione diretta con lancia all'interfaccia scoria acciaio liquido.

Le ceste, dal parco rottame alla zona di carica forno, sono movimentate con gru e con carrelli su gomma o su rotaia.

Nella produzione degli acciai ad alto contenuto di leghe gran parte della ferrolega è aggiunta in questa fase assieme al rottame.

La carica avviene dopo che al forno è stata tolta tensione, gli elettrodi sono stati sollevati e la volta è stata aperta. A questo punto è possibile effettuare l'introduzione in forno del contenuto della cesta attraverso l'apertura del fondo mobile tramite l'ausilio di un carroponte.

La suddetta operazione si ripete normalmente da due a quattro volte per ogni ciclo di colata con un peso delle cariche decrescente. Tali operazioni assorbono indicativamente da 1 a 3 minuti cadauna e l'intero ciclo di colata varia da 40 a 90 minuti a seconda della tipologia produttiva dell'acciaio.

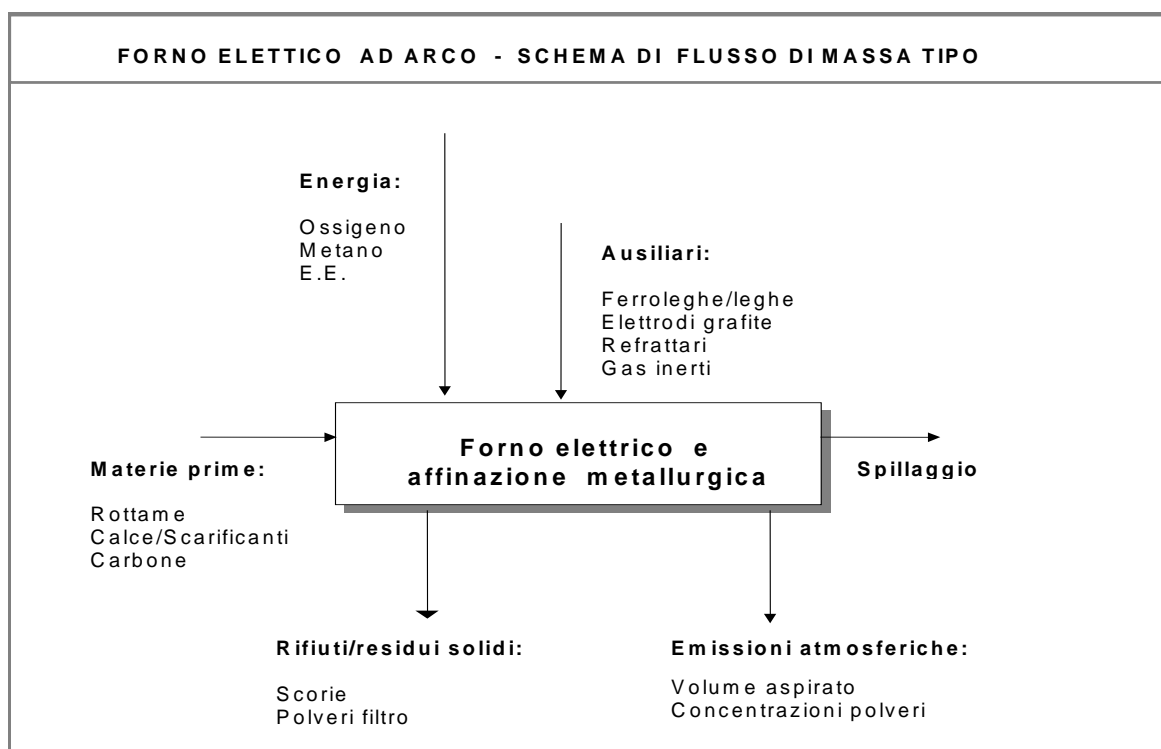
In alternativa al metodo di carica descritto esistono altre tecnologie di carica che vanno da quella in continuo di preridotto (non usata in Italia) a quella in continuo di rottame preriscaldato (Consteel) o di semicontinuo dello stesso sempre preriscaldato (Shaft Furnace e Danieli). Detto preriscaldamento avviene attraverso l'utilizzo del calore latente nei fumi che attraversano il rottame prima di essere inviati all'impianto di depurazione e consente un risparmio importante di energia elettrica, o mediante preriscaldamento del rottame in cesta con bruciatori a metano.

#### 4. Fusione in EAF dell'acciaio

Dopo la fase di carica del rottame si passa alla fase di fusione della carica metallica attraverso la somministrazione di energia termica con i seguenti sistemi :

- energia generata dall'arco elettrico degli elettrodi di grafite nel momento in cui chiudono il circuito sul rottame;
- energia generata da bruciatori alimentati da combustibili liquidi e oggi prevalentemente gassosi posizionati generalmente sulla parete del forno; dalla combustione del carbone di carica e del polverino di carbone con l'ossigeno iniettato nel bagno attraverso apposite lance e dalla ossidazione di alcuni elementi chimici presenti nel bagno stesso.

La figura seguente riporta uno schema di flusso di massa esemplificativo del processo siderurgico con forno elettrico ad arco.



L'operazione principale condotta nel forno fusorio è la fusione della carica metallica essendo, contrariamente al passato, la fase di affinazione dell'acciaio rinviata nel forno siviera e, per alcune tipologie di prodotti, ad altri trattamenti successivi (degasaggio sotto vuoto, ecc.)

Le capacità dei forni fusori presenti in Italia variano da 20 a 160 ton nominali di acciaio liquido spillato e i cicli fusori hanno durata media variabile da 40 minuti ad 1 ora e 30 minuti.

#### 5. Scorifica e spillaggio

La scoria, prodotta dalla metallurgia della fusione e che si trova sul metallo liquido, viene in parte tolta durante il riscaldamento e l'ossidazione del bagno, alla fine della fusione e prima dello spillaggio. Il forno viene inclinato verso la porta di scorifica e la scoria defluisce naturalmente, cadendo in genere in una paiola posta ad un livello inferiore rispetto al forno, oppure su un'area di raccolta posta sempre ad un livello inferiore rispetto al forno, da dove viene rimossa a fine colata o periodicamente con mezzi meccanici.

Una volta portato l'acciaio liquido contenuto nel forno alla temperatura e all'analisi chimica voluta, si passa alla fase di spillaggio, che avviene inclinando il forno dalla parte opposta alla porta di scorifica e versando l'acciaio liquido, attraverso un foro di colata (bussaggio), oggi in prevalenza presidiato da sistemi EBT o da cassetto, nella siviera sottostante sempre preriscaldata.

#### 6. Trasporto-Attesa siviera

Dopo lo spillaggio la siviera contenente l'acciaio liquido viene trasferita attraverso carri e/o gru al forno siviera (LF) per la fase di affinazione del metallo liquido. Se l'impianto è ancora occupato dalla siviera della colata precedente è possibile che la siviera nuova arrivata debba restare in attesa. In tale caso si provvede ad attivare l'insufflazione, attraverso il/i setti porosi posti sul fondo della siviera, del gas inerte al fine di mantenere omogeneizzato il bagno liquido. Per evitare la dispersione termica a volte sulla sommità della siviera viene posto un coperchio isolante.

#### 7. Metallurgia secondaria in forni (oimpianti) di affinazione

L'acciaio liquido ottenuto dal forno fusorio viene in genere affinato in successivi impianti al fine di conferire al prodotto le caratteristiche e la composizione desiderate.

Le operazioni di trattamento dell'acciaio liquido possono essere diverse quali il trattamento in forno siviera, così detto perché la siviera svolge la funzione del forno, il degasaggio sotto vuoto, il degasaggio con arco sottovuoto, la decarburazione con argon ed ossigeno, la decarburazione sottovuoto con ossigeno, ecc.

Nella presente trattazione si farà riferimento, se non diversamente specificato, al processo di trattamento in forno siviera, essendo il più diffuso. Lo stesso trattamento nel forno siviera varia in relazione alla tipologia di acciaio prodotto. Per la produzione di acciaio comune, il trattamento in forno siviera è di breve durata e finalizzato prevalentemente ad una messa a punto di carattere termico, non dovendosi rispettare particolari vincoli di composizione chimica dell'acciaio. Diversamente, la produzione di acciai speciali comporta una fase di affinazione in forno siviera che spesso risulta più lunga di quella fusoria e pertanto tali acciaierie sono attrezzate in genere con 2 forni di affinazione per ogni forno fusorio.

Al forno siviera vengono normalmente eseguite le seguenti operazioni:

- Aggiunta di carbonio e/o ferroleghie per raggiungere la composizione chimica dell'acciaio.
- Insufflaggio di azoto/argon per l'omogeneizzazione chimica e termica del bagno.

Nel forno siviera vengono utilizzati additivi quali ferroleghie e scorificanti.

Alla fine del ciclo, se la siviera non deve passare al degasaggio sotto vuoto, sulla scoria che ricopre il bagno liquido viene messa una polvere di copertura termicamente isolante.

La decarburazione degli acciai ad alto cromo avviene con argon e ossigeno in un convertitore nel quale l'acciaio viene anche desolfurato e portato in analisi; in questo caso il forno siviera svolge

essenzialmente la funzione di mantenimento della temperatura dell'acciaio prima dell'invio al colaggio.

Al termine dei trattamenti di metallurgia secondaria l'acciaio è pronto per essere colato in colata continua, per la produzione di billette, bramme, blumi, ecc. oppure in fossa, per la produzione di lingotti.

#### 8. Colata continua od in fossa dell'acciaio

##### **Colata continua**

L'acciaio liquido viene usualmente colato in continuo. La colata continua è un processo che consente il colaggio di una o più siviere di acciaio liquido in un flusso continuo di billette, blumi, bramme, ecc. L'acciaio viene spillato dalla siviera in una paniera, dalla quale è distribuito a flusso controllato in lingottiere di rame della dimensione appropriata raffreddate ad acqua.

Per prevenire l'incollaggio della "pelle" di acciaio solidificato, la lingottiera oscilla nel verso della colata con velocità superiore alla velocità di colata stessa, ed inoltre viene lubrificata con polveri od oli vegetali. Il flusso di acciaio solido viene estratto in continuo e ulteriormente raffreddato con spruzzi d'acqua diretti. Quando la solidificazione è completa, la barra di acciaio viene tagliata alla lunghezza richiesta usando sistemi automatici di taglio a ossigas o mediante sistemi meccanici (cesoie idrauliche) (nel taglio ossigas per l'acciaio inox è utilizzata l'iniezione di polvere di ferro).

##### **Colata in fossa**

Con la colata in fossa si producono dei lingotti di diverse forme (quadrata, rettangolare, poligonale, circolare) e pesi variabili da 200-300 kg a 400 ton..

Il riempimento delle lingottiere può avvenire per colaggio diretto, colaggio in sorgente o, più raramente, colata sotto pressione.

Il colaggio diretto prevede la colata dei lingotti singolarmente, uno dopo l'altro. Si può anche interporre una paniera tra la lingottiera e la siviera per una migliore gestione dei tempi e della velocità di colata e limitare l'impatto dell'acciaio liquido contro la lingottiera.

Il colaggio in sorgente consiste nel riempire contemporaneamente più lingotti attraverso una tubazione refrattaria verticale che termina ad imbuto, nella quale si immette l'acciaio liquido che passa poi in una raggiera di altri tubi refrattari orizzontali che alimentano ciascuno una lingottiera. L'acciaio sale nelle lingottiere per il principio dei vasi comunicanti. Si possono colare così contemporaneamente più lingotti.

#### 9. Riscaldamento siviere

L'operazione di riscaldamento siviere si distingue in due tipologie distinte:

- il primo riscaldamento siviere, che viene realizzato dopo il rifacimento del rivestimento refrattario, durante il quale avviene l'essiccazione e successivamente la "cottura" del materiale refrattario, secondo un profilo di crescita della temperatura programmato.
- I successivi riscaldamenti delle siviere consistono nel mantenimento del refrattario ad una temperatura idonea sia per evitare l'assorbimento dell'umidità che per il ricevimento del metallo liquido durante lo spillaggio.

#### 10. Movimentazione trattamento e stoccaggio scoria

L'operazione di svuotamento delle paiole provenienti dal forno e contenenti la scoria ancora allo stato liquido, pastoso o solido, oppure dei mezzi di raccolta e trasporto della stessa sfusa, ma allo stato solido, avviene per ribaltamento presso un'area definita parco scoria. In detta area, dopo il

raffreddamento naturale o aiutato con acqua, vengono effettuate le operazioni di frantumazione dei blocchi e la relativa deferriizzazione. Successivamente si provvede a destinare il prodotto così trattato al deposito interno o, dopo il carico su automezzi, all'utilizzo come rifiuto recuperabile o alla messa in discarica.

### 3.4 La laminazione a caldo

I processi di laminazione a caldo appartengono alla famiglia dei processi di deformazione plastica a caldo.

Lo scopo è di modificare in modo permanente la forma e le caratteristiche meccaniche del materiale in ingresso.

Il materiale in ingresso ai laminatoi a caldo varia in forma e dimensioni a seconda del prodotto finale che bisogna ottenere e può essere costituito da:

lingotti colati: hanno in genere sezione quadrata e sono utilizzati per la produzione, tramite laminazione a caldo, di bramme, blumi e billette, che costituiscono i prodotti semifiniti. Le bramme, i blumi e le billette costituiscono il materiale in ingresso di altri laminatoi a caldo, nei quali si ottengono i prodotti finali. Tuttavia l'introduzione della colata continua, che ha consentito di ottenere i prodotti semifiniti direttamente dall'acciaio liquido, ha reso questo processo obsoleto.

bramme: sono prodotti semifiniti di sezione rettangolare, ottenuti o dalla laminazione dei lingotti colati o dalla colata continua.

Le bramme sono utilizzate per la produzione di prodotti laminati a caldo piani;

blumi e billette: sono prodotti semifiniti di forma quadrata o rettangolare, ottenuti o dalla laminazione dei lingotti colati o dalla colata continua. I blumi, rispetto alle billette, hanno una sezione maggiore.

I blumi e le billette sono utilizzati per la produzione di prodotti laminati a caldo lunghi;

bramme sottili e profilati sbozzati (beam blanks): questi prodotti sono ottenuti dalla colata continua in forma vicina a quella finale, tramite una tecnica di colaggio (detta "Near Net Shape") che può essere applicabile solo ai nuovi stabilimenti.

Dalla laminazione a caldo si possono ottenere prodotti appartenenti alle seguenti famiglie:

- Prodotti piani: nastri, lamiere, piatti larghi.

I nastri laminati a caldo costituiscono un prodotto finito piatto laminato a caldo, con una sezione pressappoco rettangolare, la cui larghezza è notevolmente maggiore del suo spessore; i nastri laminati a caldo sono avvolti in coils.

Il nastro laminato a caldo, a seconda della sua larghezza effettiva, viene distinto in: nastro largo a caldo (larghezza maggiore od uguale a 600 mm) e nastro stretto a caldo (larghezza minore di 600 mm).

Dal taglio di nastri laminati a caldo si possono ottenere lamiere, dette "lamiera da nastro".

La lamiera a grosso spessore è un prodotto finito piatto con una sezione trasversale pressappoco rettangolare, la cui larghezza e lunghezza sono considerevolmente maggiori rispetto allo spessore. Si definiscono lamiere a grosso spessore le lamiere con spessore maggiore o uguale a 3 mm.

Il piatto largo costituisce un prodotto di larghezza compresa tra 150 e 1250 mm ed uno spessore superiore a 4 mm; viene fornito allo stato laminato, non avvolto in rotoli e per esso sono richiesti particolari requisiti per quanto riguarda la definizione degli spigoli. Il piatto

largo viene laminato su tutte e quattro le superfici oppure viene ottenuto mediante taglio di prodotti finiti piatti.

- Prodotti lunghi: profilati, barre, tondi (vergella)

I profilati comprendono travi e pezzi simili (ad es. materiali per armamento ferroviario, come le rotaie), la cui altezza minima è di 80 mm.

Le barre sono prodotti finiti la cui sezione trasversale può essere tonda, quadrata, rettangolare, esagonale, ottagonale e semitonda; il profilo può avere anche forme particolari (ad es. ad L, a T, a Z, ad I, etc.). Fanno parte delle barre di acciaio anche profilati e le travi con altezze < 80 mm.

La vergella è un prodotto laminato a caldo di sezione relativamente piccola, che viene bobinato in matasse.

Inoltre con un processo di laminazione a caldo possono essere ottenuti tubi senza saldatura.

Il materiale da processare viene normalmente riscaldato a temperature tra i 1000 ed i 1300 °C per essere poi deformato attraverso l'applicazione di una compressione mediante utensili; la gestione delle temperature di processo nelle varie fasi della lavorazione permette di ottenere prodotti con caratteristiche meccaniche diverse.

Gli utensili utilizzati per trasmettere le pressioni necessarie alla deformazione del materiale sono normalmente di forma cilindrica, rotanti intorno all'asse, e sono detti "cilindri di laminazione".

Questi sono di materiali diversi, con generatrice retta o con generatrice sagomata, a superficie liscia o lavorata in funzione dei processi e dei prodotti.

Al termine della fase di deformazione a caldo possono essere realizzate sui prodotti altre lavorazioni meccaniche o processi termici allo scopo di modificarne le dimensioni e le proprietà.

Il ciclo di produzione della laminazione a caldo generalmente comprende le seguenti fasi:

1. Condizionamento semilavorato
2. Riscaldamento del semilavorato
3. Discagliatura
4. Laminazione a caldo

### 3.5 La zincatura a caldo

#### A) Processo Discontinuo

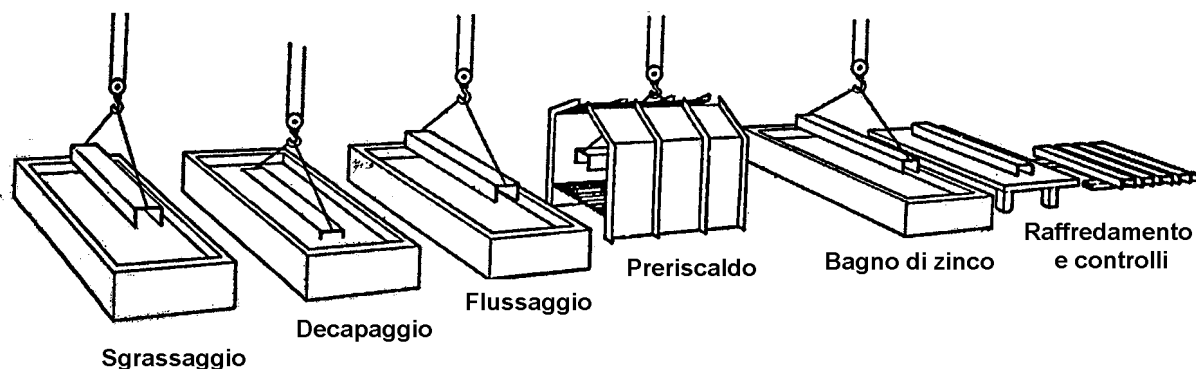
In generale, le procedure operative relative alla tecnologia della zincatura a caldo sono riconducibili a due fasi principali:

- la preparazione superficiale dei pezzi da trattare;
- l'immersione nello zinco fuso durante la quale avviene il processo metallurgico con la reazione intermetallica tra fase solida (acciaio) e fase liquida (zinco fuso).

Di seguito elenchiamo gli stadi attraverso i quali si snoda il processo:

1. preparazione;
2. sgrassaggio;
3. decapaggio;
4. lavaggio;
5. flussaggio;
6. essiccazione e preriscaldamento;
7. zincatura (rivestimento con metallo fuso);
8. finitura.

Discorso a parte merita lo strippaggio, che non è una fase di lavorazione, ma un trattamento mediante il quale gli strati di zincatura non conformi alla regola dell'arte vengono rimossi dal manufatto per consentirne il rientro nel ciclo produttivo. Lo strippaggio viene anche utilizzato per la pulizia degli attrezzi usati per la sospensione dei manufatti, che solitamente durante il processo vengono anch'essi rivestiti dallo zinco. Questa pratica ne consente il riutilizzo senza contaminare con lo zinco i bagni di decapaggio.



*Fig. 1 – Lo schema del processo di zincatura generale a caldo.*

Le fasi di sgrassaggio, decapaggio e flussaggio sono esclusivamente funzionali alla fase di zincatura vera e propria. Il trattamento di preparazione superficiale è, infatti, indispensabile per l'ottenimento dello strato di zincatura, dal momento che l'acciaio presenta in superficie contaminazioni dovute alla natura stessa della lega ferro-carbonio, quali strati di ossido, ruggine e calamina, e sostanze diverse, come oli ed emulsioni, eventualmente presenti perché prodotti da precedenti lavorazioni o semplicemente deposte durante le fasi di trasporto e stoccaggio precedenti all'arrivo in zincheria.

Gli impianti di zincatura prevedono una serie di vasche di pretrattamento collocate all'interno di una o più campate del capannone. Essi consistono essenzialmente in una serie di bagni di trattamento o

processo. L'acciaio viene trasportato lungo l'impianto da una vasca all'altra, subendo l'immersione nei bagni. La movimentazione avviene tramite gru a ponte o altri mezzi di trasporto aereo che traslano e ruotano i manufatti in sospensione.

Diversi fattori influenzano il consumo di risorse e le emissioni di inquinanti e scarichi dagli impianti di zincatura generale. Tra gli impianti possono esservi delle differenze apprezzabili a seconda:

- delle variazioni nella natura dei prodotti in acciaio immessi, come la misura, la forma e soprattutto la pulizia;
- del tipo di vasche utilizzate e del loro layout;
- delle apparecchiature per il riscaldamento;
- del flusso di processo e del grado di rigenerazione e riutilizzo dei materiali nel processo.

Gli impatti ambientali provocati dalla zincatura generale sono connessi alle emissioni in aria e alla produzione di rifiuti, in alcuni casi classificati come pericolosi. Le acque di scarico e le emissioni nelle acque sono considerate un problema secondario, in quanto oggi è possibile gestire un impianto di zincatura producendo scarichi minimi e comunque in assenza di liquidi di processo. In ogni caso il dilavamento dello zinco dai piazzali è tenuto sotto controllo.

Fonti di emissioni in aria sono: la sezione di pretrattamento, la superficie dello zinco fuso ed i sistemi di combustione per il riscaldamento della vasca di zinco o di altre vasche di trattamento.

Durante il trasferimento dei manufatti da un bagno di trattamento all'altro, i vari fluidi (acidi, flussanti, ecc.) possono gocciolare dai pezzi. Il liquido viene poi raccolto e convogliato in contenitori appositi e può essere riciclato oppure smaltito come rifiuto chimico.

Il consumo di energia globale per l'acciaio zincato è di 300 - 900 kWh/ton di prodotto, per la maggior parte utilizzata per il riscaldamento dello zinco fuso.

## **B) Processo Continuo**

La zincatura continua dei prodotti d'acciaio riguarda soprattutto i nastri laminati a freddo ed i fili trafilati.

Questo processo di rivestimento riguarda anche altri metalli (alluminio, piombo, zinco, stagno) con procedimenti che presentano sostanziali analogie (vedi 4.5.2).

### 3.6 La Fonderia

#### Generalità

Attraverso il processo di fonderia è possibile ottenere una serie di prodotti finiti, con caratteristiche fisiche metallurgiche e dimensionali ben definite, colando direttamente il metallo allo stato liquido in opportune forme.

L'industria di fonderia si suddivide a seconda del tipo di metallo prodotto, in fonderia di metalli ferrosi (ghisa e acciaio) e fonderia di metalli non ferrosi (alluminio, magnesio, rame, zinco, piombo, alte leghe non ferrose), fra le fonderie di metalli non ferrosi, vi sono inoltre, quelle che producono le cosiddette superleghe (leghe base Ni, Co)

FONDERIE	Metalli FERROSI	Ghisa grigia	
		Ghise duttili (GS, GM)	
		Acciai	Basso legati
			Alto legati
	SUPERLEGHE (leghe non ferrose alto fondenti)	Base Ni	
		Base Co	Con Fe
			Senza Fe
	Metalli NON FERROSI	Alluminio	
		Magnesio	
		Rame	
		Zinco	
		Piombo	
		Cadmio	

#### Il processo produttivo in fonderia

Il processo produttivo attuato nelle fonderie può essere ricondotto alle seguenti fasi:

1. Fusione e trattamento del metallo
2. Formatura e preparazione anime
3. Colata del metallo nella forma e raffreddamento
4. Distaffatura (o estrazione getti dalla forma)
5. Finitura del getto

All'interno della classificazione per tipo di lega prodotta, risulta rilevante il sistema di realizzazione della forma, ed il sistema di colata del metallo all'interno di essa.

Tradizionalmente le fonderie si suddividono in fonderie con forma a perdere (ciascuna forma è utilizzata una sola volta, e viene distrutta al momento dell'estrazione del getto) o con forme permanenti (la medesima forma viene utilizzata per produrre innumerevoli quantità di getti), la formatura con forme permanenti viene molto utilizzata nel campo dei metalli non ferrosi (in particolare per la produzione di getti di alluminio), associate a tecniche di colata a pressione (alta pressione o bassa pressione).

Nelle fonderie di metalli ferrosi, fatta eccezione per la realizzazione di getti centrifugati, la formatura viene realizzata in forme a perdere; in alcuni casi possono essere realizzati getti utilizzando sistemi di formatura misti (parte della forma a perdere e parte permanente).

Il tipo di lega da produrre ed il tipo di forma utilizzato, condizionano le caratteristiche degli impianti e la scelta dei processi utilizzati.

Le scelte tecnico – impiantistiche sono, inoltre condizionate dal tipo di mercato al quale la fonderia si rivolge, in particolare rispetto alle dimensioni dei getti da produrre e le relative serie.

Il processo produttivo di una fonderia può essere rappresentato dal seguente schema a blocchi:

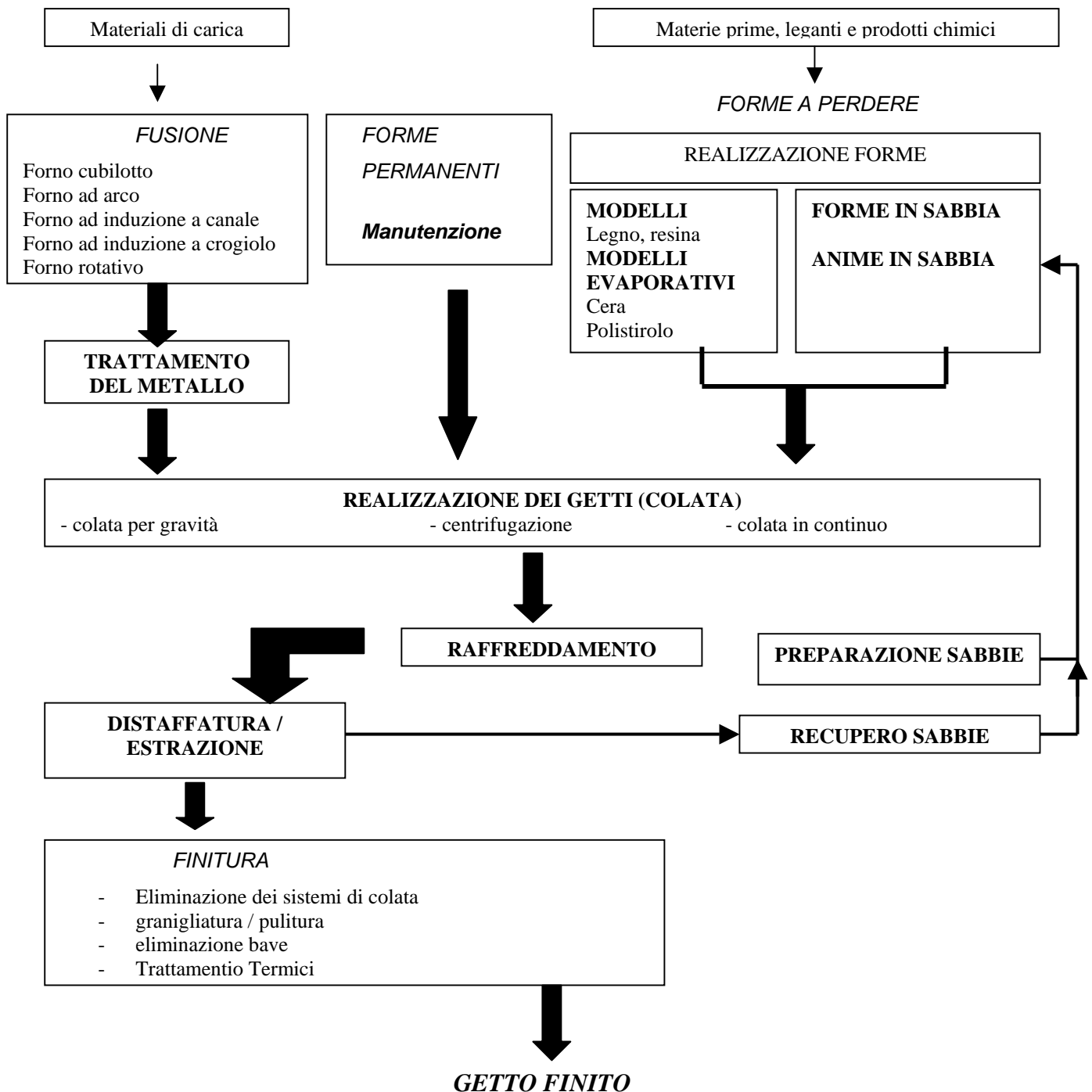


Fig 1. SCHEMA A BLOCCHI DEL PROCESSO PRODUTTIVO DI FONDERIA

## Fusione e trattamento del metallo

Di seguito sono riportati i principali tipi di forni utilizzati per la produzione di leghe ferrose e le loro applicazioni.

	Forno a cubilotto	Forno ad arco elettrico	Forno ad induzione a canale	Forno ad induzione a crogiolo	Forno rotativo
Ghisa	√	√	◆	√ ◆	√
Acciaio		√		√	
√ utilizzo per fusione ◆ utilizzo per il mantenimento del metallo fuso					

Nelle fonderie di ghisa il metallo deve avere, durante il processo, una composizione e una temperatura sempre ben determinata. La carica (costituita di solito da ghisa in pani per fonderia, rottami di ferro e/o acciaio, e con agenti alliganti come il Fe-Si) è solitamente fusa nei forni a cubilotto o in quelli elettrici. In questi ultimi tempi sta acquistando sempre più mercato il forno ad induzione, rispetto a quello a cubilotto.

Un altro tipo di forno che negli ultimi anni ha sostituito i forni cubilotti (in particolare quelli a vento freddo di medio piccole dimensioni), è il forno rotativo.

Trovano diffusione, sistemi cosiddetti “duplex” nei quali un forno di attesa, normalmente di tipo elettrico ad induzione, viene accoppiato ad un forno di fusione tipo cubilotto a rotativo.

Nelle fonderie di acciaio, il metallo è fuso nei forni ad induzione o in quelli ad arco elettrico. I forni ad arco elettrico hanno il vantaggio di poter usare anche scarti metallici di bassa qualità, poichè la fase di affinazione avviene all’interno del forno stesso.

Di norma, nella produzione degli acciai inossidabili dove il tenore di carbonio C deve essere minore dello 0.03%, questo tipo di forno non può essere utilizzato a causa del rilascio di carbonio da parte degli elettrodi di grafite, a meno di successivi trattamenti del metallo fuori forno.

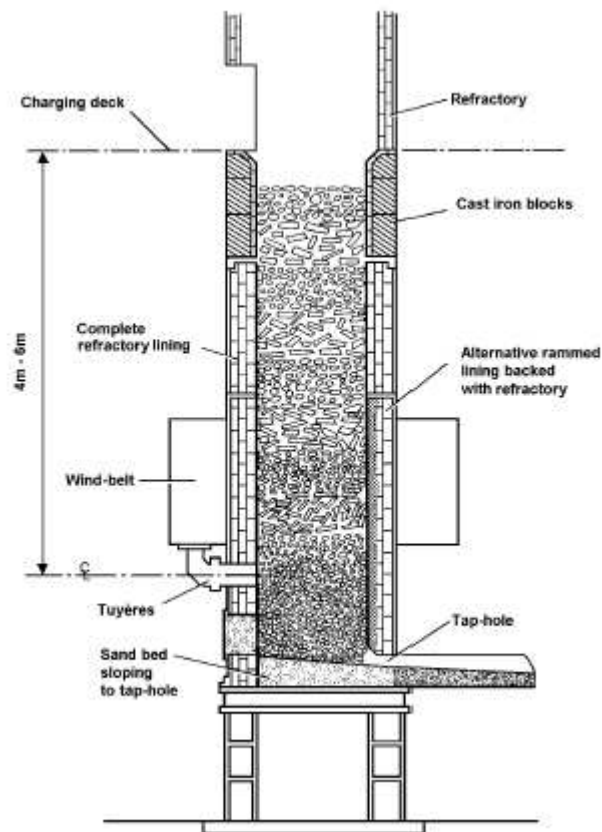
### I forni

#### □ Forni a cubilotto: forni a vento freddo

Il cubilotto è un forno a tino con rivestimento refrattario nel quale la carica metallica è riscaldata dalla combustione del coke, che avviene nella parte inferiore del forno (detta anche “cuore”). L’aria di combustione è iniettata nel “cuore” attraverso appositi ugelli dotati di una valvola di controllo che permette di regolare il flusso d’aria. Il forno è detto a vento freddo perchè l’aria di combustione è a temperatura e pressione ambiente.

Il funzionamento del forno è il seguente: una volta che la carica metallica ha raggiunto la zona di combustione, il metallo comincia a fondersi e a colare attraverso il coke, fino a raggiungere una zona sottostante la zona di combustione (crogiolo). Tutte le impurità sono intrappolate nella scoria (costituite principalmente da  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) grazie agli agenti fondenti.

La scoria, ha una densità minore del metallo fuso, e quindi vi galleggia sopra e può essere agevolmente separata. Una volta che il metallo liquido ha raggiunto un determinato livello, si apre il foro di colata e si riempie la siviera, oppure si trasferisce il metallo fuso in un forno di mantenimento.



Schema di un forno a Cubilotto

Il rivestimento refrattario del cubilotto a vento freddo dura soltanto per una campagna di fusione, a causa del calore che si sviluppa e dell'azione chimica della scoria; per tale motivo ove richiesta una produzione giornaliera continuativa, il reparto fusorio è dotato di una coppia di forni.

#### *Vantaggi*

- Costi di investimento contenuti (12500-15000 euro/t di capacità produttiva oraria)
- Flessibilità nei materiali di carica utilizzabili
- Efficienza termica accettabile

#### *Svantaggi*

- Rigidità del regime produttivo (cambio tipologia di lega)
- Elevato costo della carica dovuta alle maggiori percentuali di ghisa in pani richieste
- Elevati costi ambientali
- Necessità di impianti di depolverazione di dimensioni adeguate agli alti volumi di emissioni prodotte

#### □ Forni a cubilotto: forni a vento caldo

Costruttivamente, questo tipo di cubilotto è uguale a quello a vento freddo; l'unica differenza è che l'aria di combustione è riscaldata. In questo modo si ottengono i seguenti vantaggi:

- si riducono i consumi di coke
- si incrementa la temperatura del metallo
- si aumenta la velocità di fusione
- si può aumentare nella carica, la percentuale dei rottami di ferro rispetto alla ghisa, riducendo così i costi.

L'aria di combustione è riscaldata mediante calore recuperato dal forno stesso, oppure attraverso una fonte di calore esterna.

Gli investimenti per un forno ad aria calda sono molto maggiori rispetto a quelli necessari per uno ad aria fredda; per tale motivo, questo forno è economicamente conveniente solo quando si devono produrre più di 1000 t/mese di getti.

#### *Vantaggi*

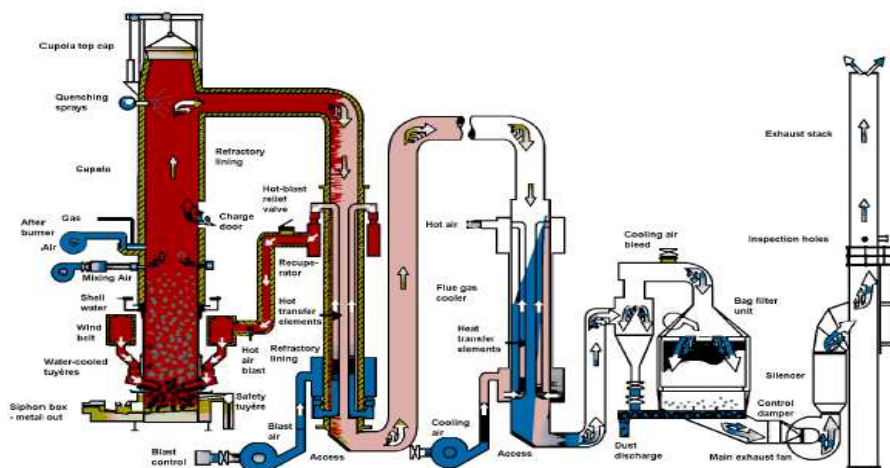
- consumi di coke contenuti
- alte temperature di spillata
- elevata produzione oraria
- minore assorbimento di S nel bagno
- minori costi della carica (maggiore utilizzo di materiali di recupero)

#### *Svantaggi*

- maggiori costi di investimento
- rigidità nel regime produttivo (difficoltà di cambio di lega)
- elevati costi ambientali
- Necessità di impianti di depolverazione di dimensioni adeguate agli alti volumi di emissioni prodotte

#### □ Forni a cubilotto: forni a cubilotto a lunga durata

Questi forni a cubilotto possono essere sia a vento freddo che caldo; la loro particolarità sta nel fatto di non avere un rivestimento refrattario all'interno, ma di avere le pareti del forno raffreddate ad acqua, fin sopra la zona del crogiolo di raccolta del metallo fuso. In questo modo il forno può funzionare in modo continuativo, anche per diversi mesi, poichè non c'è nessun materiale refrattario che si usura e che deve essere ripristinato. D'altra parte questo tipo di forno porta a perdite di calore di tenore elevato.



Rappresentazione schematica di un forno a cubilotto per lunga durata

#### □ Forni ad arco elettrico

Il forno ad arco elettrico è un forno nel quale il metallo è fuso attraverso il calore prodotto da un arco elettrico. Il metallo da fondere è posto nel tino ed è ricoperto da un coperchio, di materiale refrattario, attraverso il quale passano i tre elettrodi di grafite. Il metallo è fuso dal calore dell'arco elettrico che scocca tra i tre elettrodi di grafite e la carica che svolge la funzione di neutro. Una volta che il metallo è stato fuso, il forno viene svuotato ribaltandolo e versando il materiale attraverso un apposito "becco". Il rivestimento del forno può essere sia acido ( $\text{SiO}_2$ ) che basico ( $\text{MgO}$ ).

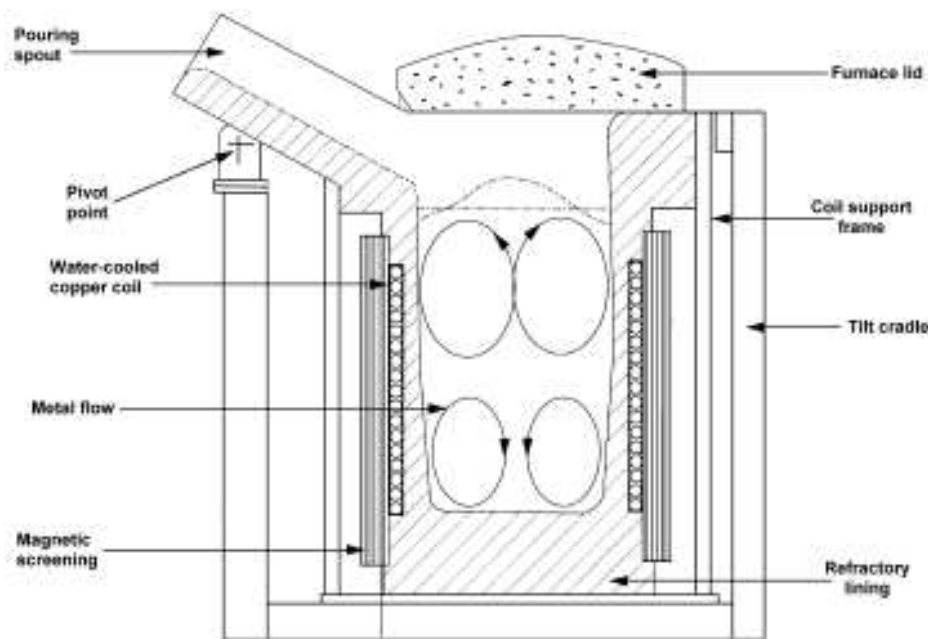
Il rivestimento acido è utilizzato per fondere gli scarti con basso contenuto di zolfo e fosforo; infatti questi due elementi potrebbero essere rimossi con l'aggiunta di calce e calcare, che però

rovinerebbero anche il rivestimento del forno. Con questo tipo di rivestimento, l'unica operazione di affinazione del bagno che può essere effettuata è la decarburazione. Questa avviene introducendo ossigeno nel metallo fuso che, reagendo con il carbonio, ne riduce il tenore, producendo CO.

Il rivestimento basico permette l'utilizzo di tutti i tipi di rottami di acciaio. Con questo tipo di rivestimento, oltre all'operazione di decarburazione, si può anche effettuare la desolfurazione e la defosforazione, introducendo nel metallo fuso calce e calcare.

#### □ Forno ad induzione senza nucleo

Questo tipo di forno è utilizzato per fondere metalli ferrosi e non. Il forno è rivestito internamente da materiale refrattario, che contiene al suo interno delle spire di rame raffreddate ad acqua, attraverso le quali passa la corrente. L'esterno del forno è racchiuso in una carcassa di acciaio.



*spaccato di un forno ad induzione*

La frequenza della corrente che nelle spire dell'induttore influenza la penetrazione della corrente stessa all'interno del materiale da fondere. Quindi la frequenza di funzionamento influenza anche la dimensione (capacità) del forno. Con frequenze di 50 Hz si hanno forni di una portata non inferiore ai 750 Kg; con frequenze di 10 KHz la capacità dei forni non va oltre i 5 Kg.

Questo tipo di forno è utilizzato, di norma, per fondere il metallo, ma non per mantenerlo alla temperatura desiderata. Per questo tipo di operazioni si utilizzano preferibilmente, forni ad induzione a canale.

#### *Vantaggi*

- Alta flessibilità nella produzione di varie tipologie di leghe
- Brevi tempi di fusione
- Basso impatto ambientale
- Basso manutenzione legata alla durata del rivestimento refrattario
- Buon controllo di processo con possibilità di computerizzazione, con conseguente controllo ottimale delle temperature
- Intensa agitazione del bagno con omogeneizzazione del metallo fuso
- Semplicità delle operazioni di caricamento, campionamenti di verifica, scorifica
- Possibilità di operare come forno di attesa, seppur con bassa efficienza

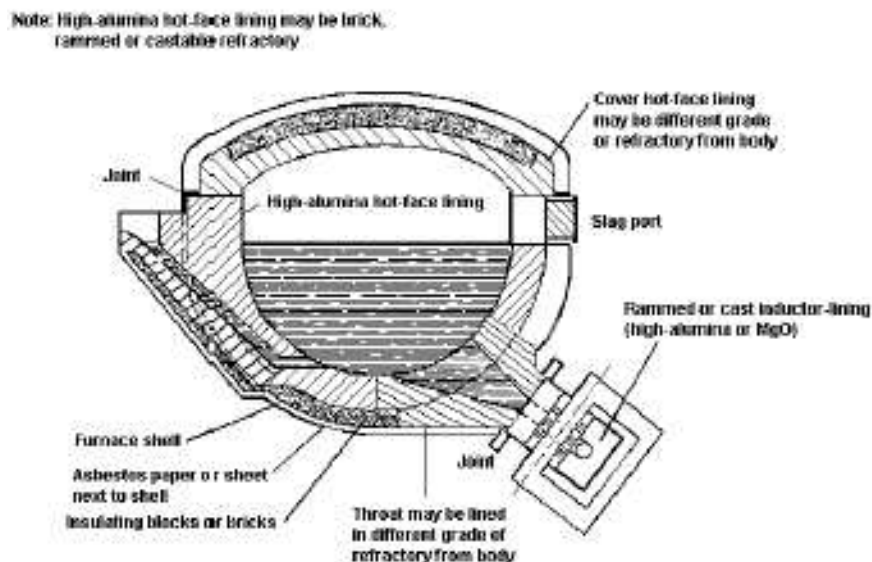
### *Svantaggi*

- Maggiori costi energetici rispetto a forni coi combustibili fossili
- Minore effetto di pulizia sul bagno dovuto al basso quantitativo di scorie e alla relativamente ridotta superficie di contatto fra metallo e scoria
- Alti costi di investimento
- Non adatti per alte produttività orarie

### □ Forni ad induzione a canale

Questo tipo di forno è costituito da un grosso “bacino”, isolato termicamente, equipaggiato con un coperchio amovibile, realizzato per permettere la carica del forno. Solitamente il forno ha anche un meccanismo idraulico che ne permette il basculamento per la spillata e la manutenzione.

Per funzionare, il forno richiede che sia sempre presente una quantità minima di metallo liquido al suo interno; per questo motivo la capacità del forno è sempre contrassegnata con due valori (ad es. 60/35 Kg), in cui il primo valore contrassegna la capacità totale, mentre il secondo la capacità utile: la differenza tra i due è la quantità minima di metallo che deve essere presente nel forno.



*spaccato di un forno ad induzione per il mantenimento*

Questo tipo di forno è utilizzato principalmente come forno di mantenimento del metallo fuso, in abbinamento con un forno fusorio (duplex)

### *Vantaggi*

- Elevata efficienza termica come forno di attesa e surriscaldamento
- Minimo effetto di ossidazione degli elementi di lega
- Ridotta manutenzione

### *Svantaggi*

- Presenza costante di una minima quantità di metallo fuso per garantirne il funzionamento
- Impossibilità di partenze a freddo

- Difficoltà di monitorare l'usura del canale
- Pericoli potenziali dovuti al perdite accidentali di acqua dalla bobina dell'induttore, difficili da poter prevenire

#### □ Forno rotativo

Questo forno consiste in un cilindro orizzontale, nel quale la carica metallica è fusa da un apposito bruciatore situato ad una estremità, mentre i gas di scarico fuoriescono dal forno dalla estremità opposta. Durante il funzionamento, il forno ruota lentamente intorno al suo asse, in modo da permettere una omogenea distribuzione del calore al suo interno. Una volta che il metallo è stato fuso, si apre il foro di spillaggio, e il contenuto è trasferito nelle siviere o nei forni di mantenimento.

Il forno rotatorio può essere utilizzato per fondere sia ghisa che alluminio. È un forno che presenta bassi costi di investimento e una facile manutenzione; per contro ha lo svantaggio di bruciare, durante il suo funzionamento, elementi come C, Si, Mn e S, che devono essere ripristinati con apposite aggiunte prima o dopo la fusione.

#### *Vantaggi*

- Veloci cambi di produzione di leghe
- Fusione senza contaminazione della lega
- Bassi costi di investimento
- Ridotte produzioni di emissioni con necessità di più contenuti sistemi di depurazione
- Facile manutenzione

#### *Svantaggi*

- Maggiore ossidazione degli elementi di lega del bagno
- Maggiori consumi di combustibile se utilizzato in modo discontinuo
- Consumi energetici proporzionali alla quantità di acciaio (rottami) in carica

### **Il processo di affinazione dell'acciaio**

Questo processo consiste soprattutto nella decarburizzazione dell'acciaio, in modo da eliminare il carbonio e cambiare le caratteristiche metallurgiche del metallo. I modi per realizzare questa operazione si avvalgono di appositi convertitori, che sono:

- il convertitore ad ossigeno ed argon (AOD)
- il convertitore ad ossigeno sotto vuoto (VODC)

Nel convertitore AOD la prima fase del processo è costituita dall'iniezione di ossigeno per la decarburazione. Una volta che il carbonio ha raggiunto la concentrazione desiderata, l'iniezione di ossigeno è fermata e si aggiungono silicio e manganese, per bloccare le reazioni nel metallo fuso, che possono portare ad una vera e propria "bollitura" dello stesso. La fase di desolforazione è effettuata aggiungendo al bagno Al o Si con calcare e iniettando argon. In questo modo si riesce ad ottenere un livello di S minore a 0.005%.

Con il convertitore VODC la fase di decarburazione è uguale a quella effettuata con il convertitore AOD. Una volta portato il carbonio alla concentrazione desiderata, il convertitore è posto sotto vuoto (1-5 mbar) da una pompa; in questo modo si eliminano le impurità come idrogeno, azoto, e il contenuto di zolfo decresce notevolmente (più di quello ottenibile con il convertitore AOD).

Con il convertitore VODC si riescono ad ottenere gli acciai con le migliori caratteristiche meccaniche.

### **Trattamenti sulla ghisa**

La ghisa liquida, prima della colata nelle forme, necessita di opportuni trattamenti allo scopo di ottenere migliori risultati qualitativi, o specifiche strutture metallurgiche sui getti; alcuni di tali processi presentano una rilevanza dal punto di vista del loro impatto ambientale.

### *Desolfurazione*

La desolfurazione della ghisa può essere effettuata con l'aggiunta di sostanze come  $\text{Ca C}_2$  o  $\text{CaO}$  capaci di legarsi stabilmente con lo S. Il solfuro che si forma viene rimosso dal bagno liquido come scoria. Il processo utilizzato deve prevedere una adeguata agitazione del bagno, ottenuta per via meccanica o per insufflazione di un gas inerte.

### *Sferoidizzazione*

La fabbricazione di getti a grafite sferoidale, comporta l'aggiunta al metallo liquido, di specifiche leghe a base di Mg. Tale aggiunta può essere accompagnata da violente reazioni di ossidazione del Mg, se non vengono prese, nel processo, tutte le precauzioni necessarie che da un lato ottimizzano la resa del Mg, e dall'altro limitano gli effetti della reazione esotermica di ossidazione del Mg.

Le tecniche (processi) di sferoidizzazione sono numerose, e fra le più utilizzate vi sono:

Metodo "sandwich" (siviera aperta)

Tundish cover (siviera con coperchio)

Convertitore Fischer

Trattamento con filo

Processo "in mold" (sferoidizzazione in forma)

La scelta del processo di sferoidizzazione ottimale è legata a ragioni tecnico-economiche correlate con le tipologie di produzione e le serie, oltre che con il lay-out impiantistico della fonderia e, pertanto, specifica per ogni realtà produttiva.

### **Tecniche di formatura ( preparazione delle forme e delle anime)**

I metodi di formatura, cioè di preparazione della forma, si distinguono solitamente in due gruppi:

- (1) i metodi di formatura in forma transitoria, caratterizzati dal fatto che ogni forma può essere utilizzata per una sola colata e viene distrutta al momento di estrazione del greggio
- (2) i metodi di formatura in forma permanente, (o in conchiglia), nei quali la forma è progettata e realizzata in modo da poter essere utilizzata per un numero elevato di colate.

Le cavità eventualmente presenti all'interno del getto sono realizzate mediante parti di forma chiamate *anime*; realizzate in sabbia agglomerata con leganti chimici, e sono introdotte nella forma prima della sua chiusura.

Le anime vengono utilizzate nella produzione di getti sia nei sistemi con formatura transitoria (a perdere), sia nei sistemi con forma permanente, nei processi per colata a gravità.

### La formatura transitoria

I vari procedimenti di formatura in forma transitoria hanno in comune il fatto che il materiale di formatura è costituito da:

- un elemento refrattario
- un elemento legante, che garantisce la coesione della forma
- degli additivi, che hanno la funzione di correggere alcune caratteristiche del materiale di formatura, poco adatte all'uso della fonderia (non sempre presenti); spesso gli elementi leganti hanno anche la funzione di additivi

I principali elementi refrattari sono delle terre (sabbie) costituite da:

- Quarzo ( $\text{SiO}_2$ ): questo tipo di terra è una delle più comuni e una delle più usate, anche per il suo basso costo
- Cromite ( $\text{FeO.Cr}_2\text{O}_3$ ): questo tipo di terra ha una refrattarietà maggiore rispetto a quella silicea, e i grani sono mediamente più piccoli, in modo da far ottenere una migliore finitura superficiale del prodotto finito.
- Silicato di zirconio ( $\text{ZrSiO}_4$ ): questo tipo di terra ha caratteristiche simili a quella di cromite, ma permette finiture superficiali ancora migliori.
- Olivine: questo tipo di terra è prodotta macinando le rocce naturali. È utilizzata soprattutto per

la produzione di pezzi in acciaio al Mn.

I principali elementi leganti sono:

- Bentonite: questo legante è una argilla con componente attivo la montmorillonite. La bentonite è spesso attivata con di soda, per originare un legante che insieme alla sabbia, dà una miscela con un'ottima resistenza meccanica a secco e una lunga durata anche a temperature elevate.
- Resine: le resine sono dei leganti chimici che possono essere classificate in base al processo di indurimento a cui sono sottoposte:
  - Indurimento a freddo (cold-setting resins)
  - Indurimento con gas (gas-hardened resins)
  - Indurimento a caldo (hot curing resins)

Insieme alle resine sono spesso utilizzati catalizzatori gassosi per iniziare il processo di indurimento.

I campi di applicazione delle diverse resine sono riportati nella tabella seguente:

Hardening	Resin type ("commercial name")	Mould production	Core production	Curing temperature	Hardening time (*)	Metal types	Size of Series
Cold-setting	Furan	medium to large	some	10 - 30 °C	10 - 120 min	ferrous	small to large
	Phenolic	large	no	10 - 30 °C	10 - 30 min	ferrous	small to large
	Polyurethane ("Peraset/Pentex")	small to medium	some	10 - 30 °C	5 - 60 min	ferrous + non-ferrous	small to large
	Resol ("Alfasol")	small to large	some	10 - 30 °C	5 - 400 min	ferrous + non-ferrous	small to large
	Alkyd oil	large	some	10 - 30 °C	50 min	steel	small
	Silicate	medium to large	no	10 - 30 °C	1 - 60 min	ferrous	small to medium
Gas hardening	Phenolic/Furan <sup>†</sup> ("Hardox")	small	yes	10 - 30 °C	Immediate	ferrous + non-ferrous	all
	Polyurethane ("Cold Box")	small	yes	10 - 30 °C	Immediate	ferrous + non-ferrous	all
	Resol ("Betaset")	small	yes	10 - 30 °C	Immediate	ferrous + non-ferrous	all
	Acryl/Epoxy ("Isoset")	no	yes	10 - 30 °C	Immediate	ferrous + non-ferrous	all
	Silicate	small	yes	10 - 30 °C	Immediate	ferrous + non-ferrous	all
Thermosetting	Oil	small	yes	180 - 240 °C	Immediate	steel	small
	"Warm box"	seldom	yes	150 - 220 °C	20 - 60 s	ferrous	medium to large
	"Hot Box"	seldom	yes	220 - 250 °C	20 - 60 s	ferrous	medium to large
	"Crowning"	yes	yes	250 - 270 °C	120 - 180 s	ferrous + non-ferrous	large

(\*) : i.e. the release time - the time in which the mould/core has gained sufficient strength to be released from the pattern.

- Nero minerale: questo additivo è utilizzato soprattutto nelle fonderie di metalli ferrosi. Ha la proprietà di migliorare la finitura superficiale del pezzo fuso e di facilitare le operazioni di sformatura.
- Farina di cereali: questo legante ha la proprietà di eliminare i difetti dovuti all'espansione della forma.
- Ossidi di ferro: additivo utilizzato soprattutto nella fabbricazione delle anime

### Metodologie per la formatura in forma transitoria

Procedimento con formatura in terra verde: si utilizzano terra e bentonite (max 10%). La terra è compatta intorno al modello tramite apposite macchine di formatura, che funzionano a pressione o a vibro-compressione. Questa formatura è utilizzata sia per i metalli ferrosi che non.

Procedimento con formatura in terra non legata (o sotto vuoto): in questo caso non è presente nessun legante. La forma si realizza mediante sabbia sciolta depositata sul modello, al quale è applicato un sottile film plastico (PEVA), che garantisce la tenuta una volta che la forma è posta in depressione. Il vuoto consente di mantenere la geometria dell'impronta realizzata, quando si estrae il modello e nelle successive fasi di colata del metallo. La sformatura avviene semplicemente eliminando il vuoto; la sabbia si stacca dal modello ed è riciclata, senza nessun tipo di trattamento di recupero

Procedimento con formatura con terra e leganti chimici: i procedimenti principali sono tre:

1. Procedimento con indurimento a freddo effettuato a temperatura ambiente.
2. Procedimento di formatura con indurimento con gas (cold box)
3. Procedimento di formatura con indurimento termico (hot box, shell)

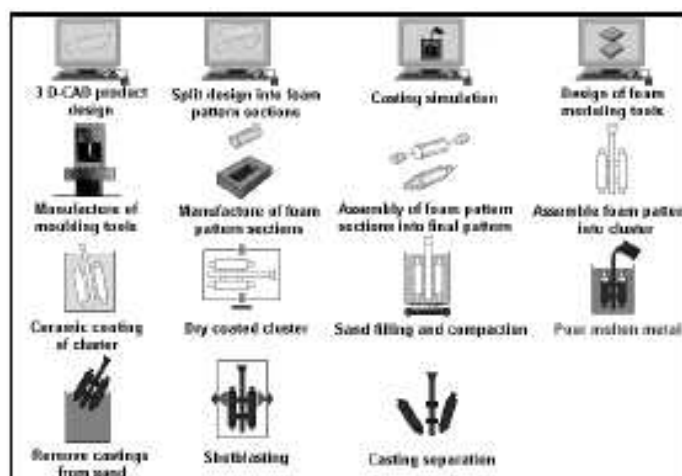
<i>Procedimento di formatura con indurimento a freddo (catalizzatore liquido)</i>		
<b>Legante</b>	<b>Catalizzatore a temperatura ambiente</b>	<b>Descrizione</b>
Fenoli-formaldeide o urea-formaldeide/fenoli-formaldeide copolimeri	Acido solfonico (paratoluene, xilene) con l'aggiunta talvolta di acido solforico	I componenti sono molto economici
Furani	Acido solfonico (paratoluene, xilene) con l'aggiunta talvolta di acido solforico	I componenti sono molto economici. Il processo di indurimento è più facile che con resine fenoliche
Resine fenoliche e isocianato	Derivato della piridina	Utilizzato sia per anime che forme. Non sempre utilizzabile per le colate in acciaio.
Soluzione fenolica alcalina di resol	Estere liquido	Utilizzate per piccole o medie produzioni
Resina di poliestere e isocianato	-	Si ottiene una buona finitura superficiale del pezzo. Procedimento costoso
Estere e soluzione alcalina di silicato	-	Utilizzato nelle fonderie di acciaio.
Cemento		Il mezzo più semplice ed economico per pezzi di grandi dimensioni

<i>Procedimento di formatura con indurimento con gas (cold box)</i>		
Legante	Catalizzatore gassoso	Descrizione
Resine fenoliche e isocianato	Dietilammina, Difenilammina Diisopropilammina, Dimetilammina	Permette una elevata finitura superficiale del pezzo e anche una elevata accuratezza dimensionale
Soluzione fenolica alcalina di resolo	Formiato di metile	Difficoltà nel recuperare la sabbia
Resine furaniche	SO <sub>2</sub>	La forma ha buone proprietà meccaniche, e le rotture sono molto difficili
Resine epossidiche/acriliche con perossido organico	SO <sub>2</sub>	La forma ha buone proprietà meccaniche, e le rotture sono molto difficili
Silicato di sodio	CO <sub>2</sub>	Poco costoso. La forma non presenta caratteristiche meccaniche molto buone
Soluzione fenolica alcalina	CO <sub>2</sub>	-

<i>Procedimento di formatura con indurimento termico (hot box – shell)</i>		
Legante	Catalizzatore attivato con il calore	Descrizione
Urea/fenoli-formaldeide	Sali di ammonio di acidi minerali	La forma presenta caratteristiche meccaniche e dimensionali molto buone
Resina fenolica che in uno strato sottilissimo avvolge il grano siliceo (sabbia prerivestita)	-	Il procedimento è chiamato shell-molding. È un procedimento utilizzato per la produzione in serie di anime e di forme impiegabili nella fonderia di metalli ferrosi e non. La precisione dimensionale e la finitura superficiale sono molto buone
Olio di lino	-	Facile da realizzare. Utilizzato per piccole anime
Olio d'alchide	-	Facile da realizzare. Utilizzato per piccole anime

### Procedimento di formatura con modello in materiale espanso

In questo caso il modello non è rimosso dalla forma prima della colata, ma rimane all'interno di essa ed è distrutto quando si cola il metallo.



il processo porta ad una elevata accuratezza dimensionale ed ad un'ottima precisione superficiale. Può essere utilizzato sia con terre senza leganti, sia con terre con leganti chimici.

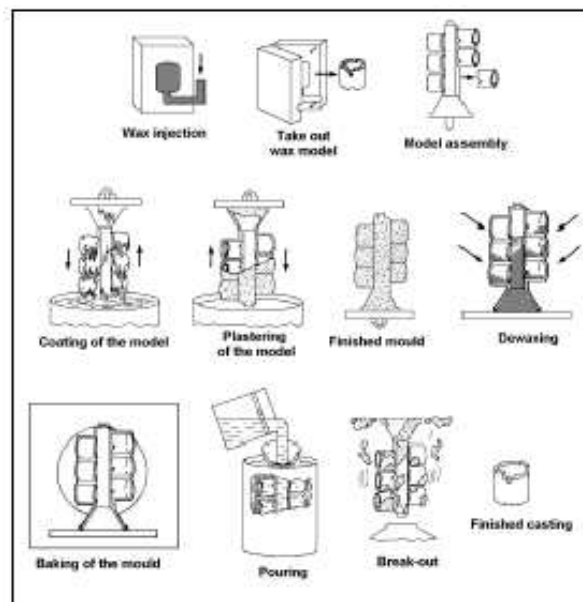
### La formatura con forme permanenti

In questo caso le forme sono fatte di metallo, e sono quindi riutilizzate più volte. L'elevato costo di lavorazione rende giustificabile questo tipo di formatura per le produzioni di serie. La forma è realizzata in lega metallica, normalmente acciai legati o ghise speciali, in modo da essere utilizzata per un numero elevato di getti uguali.

### La formatura di precisione

Il punto di partenza è la realizzazione, tramite iniezioni in conchiglia, di un certo numero di modelli a perdere in cera. Una volta realizzati i modelli in cera, questi sono immersi in una vasca contenente il materiale ceramico per il primo strato e, allo stato umido, esposto sotto una pioggia materiale refrattario in polvere; tale ciclo viene poi ripetuto fino al raggiungimento dello spessore richiesto del guscio.

Ottenuto il guscio, prima di procedere alla colata del metallo, è necessario svuotarlo dalla cera del modello e, in alcuni casi procedere alla sinterizzazione del guscio attraverso cottura in forno



Questo metodo è solitamente utilizzato per realizzare pezzi con elevati requisiti di precisione dimensionale, utilizzati allo stato grezzo di colata (fonderie di precisione) e per realizzare getti artistici (fonderie artistiche).

### **La fase di colata**

#### ***Colata nelle forme transitorie***

Il metallo è colato nelle forme attraverso la siviera, o mediante un apposito forno di colata.

Una volta colato il metallo, ha inizio la prima parte del raffreddamento del pezzo, che può richiedere tempi differenti in funzione della massa del getto. Finita questa fase, la forma viene aperta e distrutta ed il getto viene separato dalla terra di formatura, permettendo il successivo recupero di parte di questa.

### *Colata in forme permanenti*

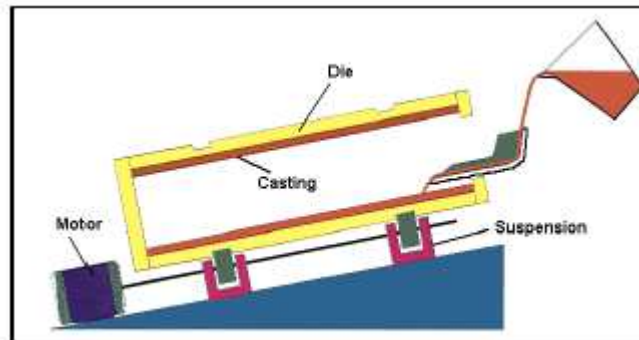
#### *Colata a gravità*

Il procedimento consiste nel versare il metallo nella conchiglia per il semplice effetto della gravità, analogamente alla colata nelle forme di terra a perdere.

La colata a pressione, diversamente che per i metalli non ferrosi, non viene utilizzata per i getti di ghisa e di acciaio.

#### *Colata centrifuga*

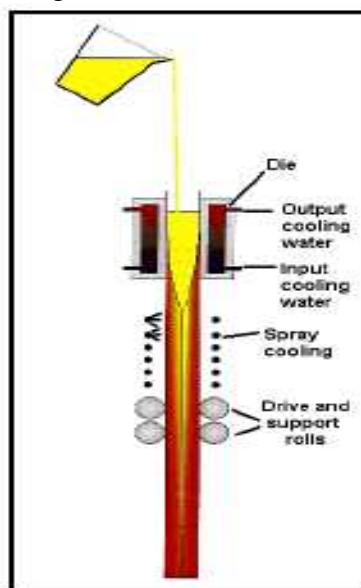
Questa tecnica si applica per produrre pezzi cilindrici o simmetrici rispetto ad un asse longitudinale. Con questa tecnica si riescono ad ottenere proprietà meccaniche del pezzo non ottenibili con gli altri metodi.



*schema della colata per centrifugazione*

### **Colata continua**

La colata continua è uno dei principali metodi per ottenere barre, tubi e profilati metallici, con un'alta produttività. Il metallo fuso passa attraverso la conchiglia e acquista la forma desiderata. Appena al di fuori è raffreddato e poi tagliato alla lunghezza richiesta.



## Trattamenti di finitura

I principali trattamenti meccanici che si applicano sui pezzi colati, una volta raffreddati, sono:

- rimozione del sistema di colata
- rimozione dei residui di sabbia della forma
- rimozione delle bave
- riparazione di eventuali imprecisioni dovute ad errori durante la colata

Si cerca di effettuare tutte queste operazioni in modo automatizzato, in modo da aumentare la produttività. Per quanto riguarda la sbavatura, soprattutto nelle produzioni di serie, si cerca di fare in modo che le bave si formino in parti del pezzo facilmente accessibili, in modo da ridurre i tempi di lavorazione.

## Trattamenti termici

Per i pezzi metallici, i trattamenti termici che sono principalmente sono quello di ricottura e quello di tempera. In particolare, per la ghisa sferoidale, i trattamenti termici che possono essere praticati sono:

- Ricottura di distensione: consiste in un riscaldamento del pezzo ad una velocità di 50-100 °C all'ora fino a 600 °C, seguito da un mantenimento a tale temperatura per un minimo di un'ora, e a un raffreddamento di 50 – 100 °C all'ora.
- Eliminazione dei carburi: consiste nel mantenere il pezzo ad una temperatura di 900-925 °C dalle 3 alle 5 ore.
- Bonifica: consiste nel riscaldare il pezzo alla temperatura di austenitizzazione, intorno ai 1000°C, con un successivo rinvenimento intorno ai 500°C.
- Ricottura per produrre una matrice ferritica: consiste nel mantenere il pezzo ad una temperatura di 900-925 °C dalle 3 alle 5 ore, seguito da un lento raffreddamento a 20 – 35°C/h attraverso l'intervallo di temperatura critica (710 – 800°C), e da un raffreddamento a 50-100 °C all'ora fino ai 200°C.
- Normalizzazione per produrre una matrice perlitica: riscaldamento a 900-925 °C per decomporre i carburi, seguito da raffreddamento in aria calma per attraversare in discesa la temperatura critica, ottenendo una struttura perlitica.
- Ottenimento di strutture di tempra: mediante austenitizzazione a 900-920 °C, con successiva tempra in olio a 600 °C .
- Processo di “austempering” della ghisa sferoidale:

L'austempering è un processo di tempra isoterma, per ottenere strutture ausferritiche.

Questo processo è utilizzato, in particolare per produrre getti in ghisa sferoidale (ADI) con elevate caratteristiche meccaniche.

Il processo è in due stadi: riscaldamento in campo austenitico intorno a 815-930 °C, seguito da tempra isoterma in bagno di sali a temperatura compresa tra 400 e 230 °C.

#### **4. Descrizione delle analisi elaborate in ambito comunitario per la individuazione delle BAT:**

- A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni e rifiuti)**
- B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

##### **4.1 Concetto generale di “migliori tecniche disponibili”**

Il concetto generale di “ *migliori tecniche disponibili*” è quello riportato all’art.2(11) della direttiva 96/61/CE del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e la riduzione integrata dell’inquinamento, recepito nell’ambito del D.Lgs n.372/99, che in particolare definisce per *migliori tecniche disponibili* (BAT – *Best Available Techniques*):

*“la più efficiente e avanzata fase di sviluppo dell’attività e relativi metodi di esercizio indicanti l’idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l’impatto sull’ambiente nel suo complesso.”*

L’art.2(11) chiarisce ulteriormente le suddette definizioni specificando il significato di ciascun termine nel modo seguente:

- **“migliori”**: *“qualifica le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell’ambiente nel suo complesso”;*
- **“tecniche”**: *“si intende sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, esercizio e chiusura dell’impianto;*
- **“disponibili”**: *“qualifica le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l’applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell’ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato membro di cui si tratta, purchè il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli”;*

In particolare le “tecniche” di prevenzione e riduzione integrata dell’inquinamento possono essere a loro volta di tipo integrato con il processo oppure possono essere delle tecnologie da prevedere a valle del processo per la riduzione del suo impatto sull’ambiente.

Con questa suddivisione le BAT sono state presentate nel BREF, con un’esauriente descrizione sulla fattibilità tecnico-economica e sulle prestazioni ambientali; in forma sintetica, senza una particolare suddivisione, l’elenco viene riassunto a conclusione della presentazione di ogni impianto.

Nelle pagine seguenti, l’elenco delle BAT riportato ha una struttura diversa; esso segue le varie fasi del processo di produzione, consentendo maggiore completezza e facilità di consultazione.

## **4.2 Il ciclo integrato**

### **4.2.1 Cokeria**

Per le cokerie i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- la prevenzione delle emissioni a carattere diffuso;
- il trattamento del gas di cokeria;
- il trattamento delle acque reflue, considerando in particolare l'ammoniaca.

#### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)**

Il processo di produzione del coke metallurgico comprende le seguenti fasi:

1. *preparazione della miscela di carbon fossile;*
2. *caricamento della miscela di carbon fossile nelle batterie di forni a coke;*
3. *cokefazione;*
4. *sforamento del coke;*
5. *spegnimento del coke;*
6. *trattamento del gas di cokeria;*
7. *trattamento del coke*

Per ciascuna delle suddette fasi vengono di seguito descritte le attività svolte e le principali componenti di natura ambientale su cui applicare le B.A.T. ai fini della prevenzione integrata dall'inquinamento.

#### **1. Preparazione della miscela di carbon fossile**

I carboni di diversa qualità, stoccati selettivamente in cumuli a cielo aperto date le grosse quantità in gioco, vengono quindi ripresi ed inviati, a mezzo nastri trasportatori, alla fase di preparazione della miscela per ottenere il mix idoneo al processo di cokefazione.

Le diverse qualità di carboni vengono stoccati in diversi sili e quindi successivamente ripresi, vagliati e quindi dosati e miscelati prima dell'invio alle torri di stoccaggio fossile, che a loro volta sono dotate di una serie di tramogge, da cui attingono le macchine caricatrici.

Per ottenere la granulometria idonea al processo di cokefazione i carboni fossili possono essere sottoposti oltre che all'operazione di vagliatura, anche all'operazione di frantumazione.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle che derivano dalle operazioni di manipolazione, frantumazione e vagliatura dei carboni per la preparazione della miscela di fossili da caricare nelle batterie di forni a coke.

#### **2. Caricamento della miscela di carbon fossile nelle batterie di forni a coke.**

Il caricamento della miscela di carbon fossile avviene tramite l'utilizzo di apposite macchine caricatrici che operano sul piano di carica delle batterie di forni a coke.

Per gravità si ha il trasferimento del carbon fossile dalle tramogge delle torri fossili alle tramogge delle caricatrici. Il numero di queste ultime dipende dal numero delle bocchette di carica di ciascun forno della batteria, bocchette generalmente in numero di cinque.

La macchina caricatrice si sposta lungo il piano di carica su appositi binari e si posiziona sul forno da caricare. Il caricamento ha quindi luogo secondo la seguente sequenza:

- chiusura delle porte su ambo i lati del forno da caricare;
- attivazione del sistema di aspirazione dei gas di caricamento, realizzando una depressione all'interno del forno con l'iniezione di vapore o acqua in pressione nel tubo di sviluppo;
- i coperchi delle bocchette di carica vengono sollevati dalla macchina caricatrice;
- posizionamento delle tramogge di trasferimento della macchina caricatrice con le rispettive bocchette di carica.

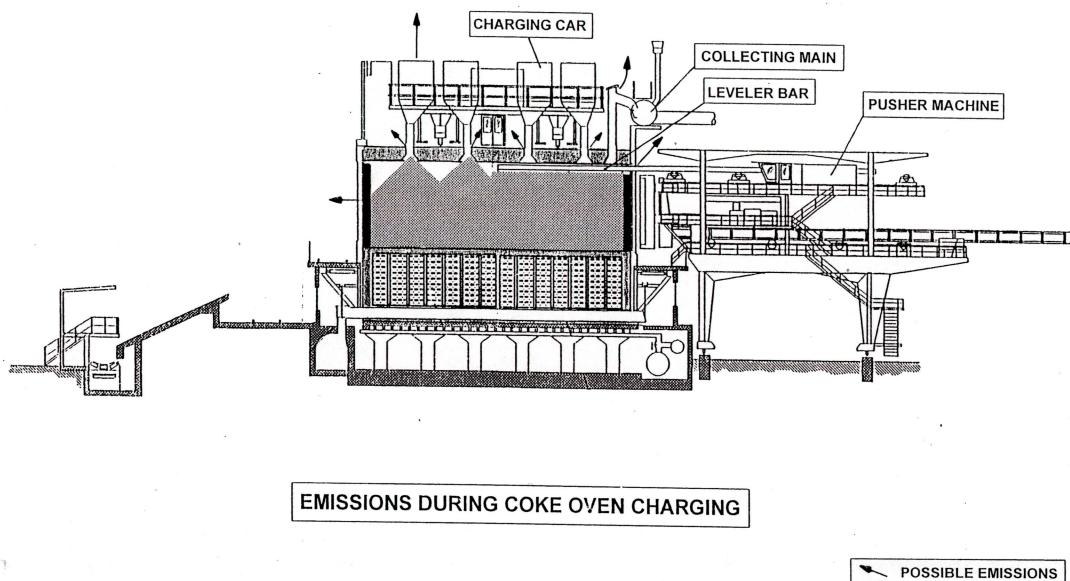
La miscela di carbon fossile si trasferisce per gravità da ciascuna tramoggia della caricatrice al forno e conseguentemente si ha la formazione di coni di materiale all'interno del forno in corrispondenza di ciascuna bocchetta di carica. Questi coni sono livellati mediante un'asta spianante presente sulla macchina sfornatrice al fine di mantenere libero un canale gas tra il pelo libero del carbon fossile caricato e la sommità del forno. Tale canale gas permette ai gas di distillazione di fluire verso il tubo di sviluppo, per effetto della depressione realizzata con l'eiezione di vapore o acqua, e di essere convogliati al bariletto ed al sistema di trattamento del gas di cokeria.

Il caricamento termina con la chiusura delle bocchette di carica e la macchina caricatrice ritorna sotto la torre fossile per approvvigionarsi di altra miscela da caricare in un altro forno e la sequenza riprende nuovamente.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di caricamento derivano:

- dagli accoppiamenti della caricatrice con il forno;
- dalla perdita della tenuta a fine caricamento;
- dalle porte dei forni;
- dai coperchi dei tubi sviluppo (cappellotti);
- dallo sportelletto di spianamento durante l'operazione di livellamento

Di seguito viene riportato uno schema che evidenzia i suddetti punti di emissione.



### 3. Cokefazione

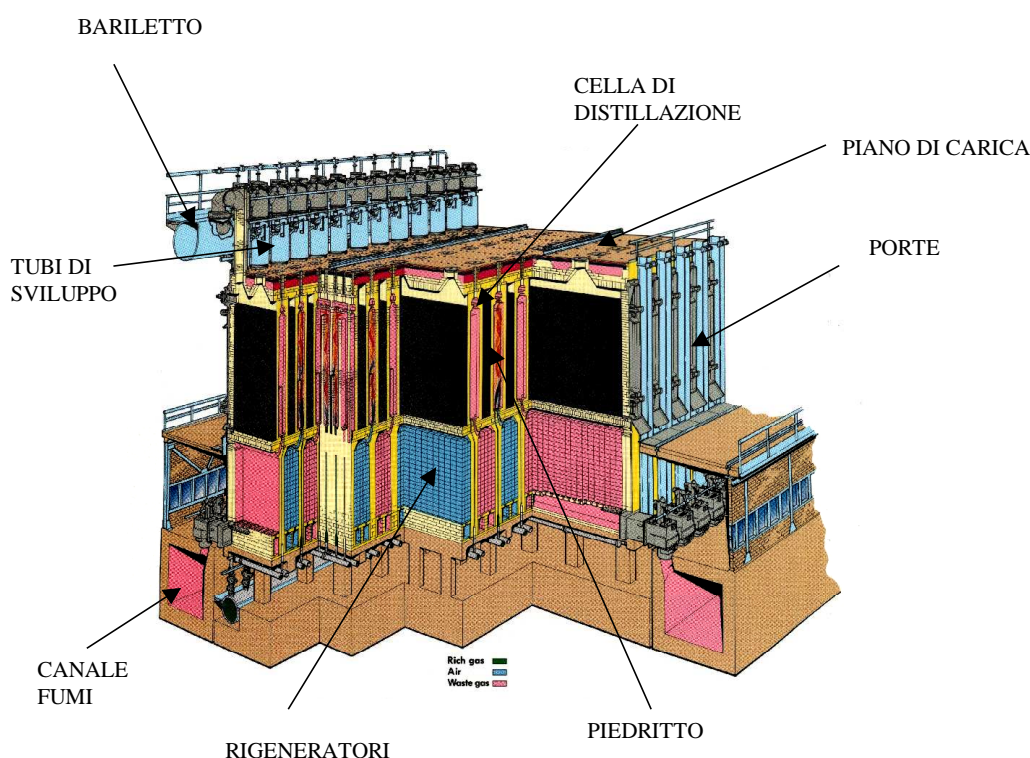
La cokefazione avviene in forni a sezione rettangolare che vengono riempiti con la miscela di carbon fossile da distillare. Il carbon fossile all'interno della cella viene riscaldato

esclusivamente da due opposte e parallele camere di combustione che trasmettono il calore attraverso la muratura in materiale refrattario.

Conseguentemente si ha un profilo di temperatura nella miscela di fossili che è fatto di una serie di isoterme planari che si muovono parallelamente dalla parete della cella al centro del forno. Il tempo di distillazione e la temperatura di cokefazione sono correlati tra loro: a più alta temperatura corrisponde un minor tempo di distillazione e viceversa.

Il riscaldamento avviene mediante la combustione di gas di cokeria (o gas di altoforno miscelato con gas di cokeria) nelle camere di combustione parallele, denominate “piedritti”, che attraverso la muratura in refrattario trasmettono il calore al carbon fossile da distillare.

Ogni piedritto è diviso in due sezioni verticali, sostanzialmente analoghe, che costituiscono due gruppi di riscaldamento separati: alternativamente fungono da camera di combustione e da convogliamento fumi; a ciascun gruppo corrisponde, sotto il forno, una camera di rigenerazione comunicante nella parte superiore con i canali di riscaldamento, nella parte inferiore con un canale orizzontale per l'evacuazione dei fumi.



*Sezione di una batteria di forni a coke*

Quando la combustione avviene in un gruppo di riscaldamento, i gas combusti percorrono tutti i canali della parete di riscaldamento di questa sezione; raccolti da un canale collettore orizzontale, vengono convogliati attraverso l'altro gruppo di riscaldamento, ne attraversano la relativa camera di rigenerazione e vengono convogliati al camino attraverso le gallerie fumi.

Ad intervalli di ca. 20-30 minuti, si ha l'inversione di funzionamento delle due sezioni del piedritto; nel gruppo di riscaldamento prima attraversato dai gas combusti si ha ora la combustione del gas di cokeria, con aria aspirata e preriscaldata.

Il gruppo che era in precedenza in combustione viene adesso attraversato dai fumi, che nel loro percorso verso il camino, attraversano la relativa camera di rigenerazione. In tal modo la cella di distillazione viene alternativamente riscaldata o dalla sua metà lato coke o dalla sua metà lato

macchina, con alternanza anche della funzione del rigeneratore. In alcune batterie tale alternanza avviene per coppie di bruciatori.

L'evacuazione dei fumi e l'aspirazione dell'aria comburente sono di tipo naturale, per effetto del tiraggio del camino; pertanto tutte le sezioni di passaggio sono calibrate per consentire un certo regime dei flussi ed una distribuzione uniforme del calore.

Tenuto conto della necessità di una distribuzione uniforme del calore su tutta l'altezza, l'aria comburente viene distribuita in due o più stadi in modo da ottenere una fiamma quanto più possibile distribuita per tutta l'altezza del piedritto.

Durante la fase di cokefazione, in cui si ha lo stazionamento del carbon fossile all'interno delle celle per il tempo necessario alla distillazione, sia le porte, che i cappellotti ed i coperchi di carica sono chiusi. I gas di distillazione vengono inviati al sistema di trattamento del gas di cokeria; in caso di anomalie al sistema di trattamento del gas di cokeria, il gas coke grezzo può essere combusto direttamente attraverso le torce presenti sul barileto.

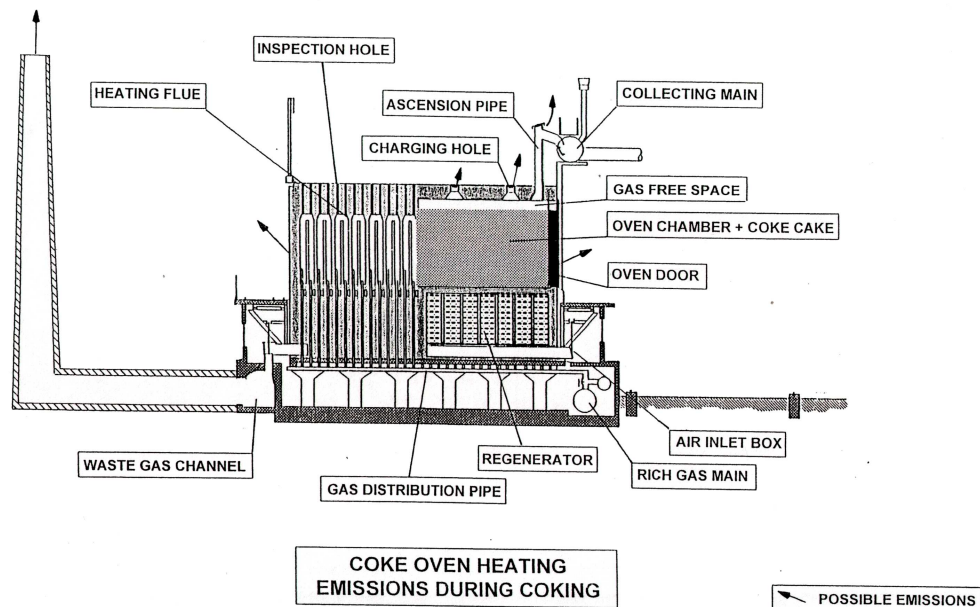


*Vista di una batteria di forni a coke*

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di cokefazione derivano:

- dal camino di convogliamento in atmosfera dei prodotti della combustione dei combustibili per il riscaldamento della batteria di forni a coke e di possibili trafiletti di gas grezzo tra la camera di distillazione e piedritto;
- dalle porte dei forni;
- dai coperchi dei tubi sviluppo (cappellotti);
- dai coperchi delle bocchette di carica.

Di seguito viene riportato uno schema che evidenzia i suddetti punti di emissione.



#### 4. Sfornamento del coke

Lo sfornamento del coke è l'operazione finale del ciclo di cokefazione; al completamento della cokefazione, in un intervallo di tempo (14 ÷ 24 ore) funzione del regime termico della batteria, il forno è ancora isolato dall'atmosfera esterna ed è collegato con il bariletto della batteria che convoglia il gas coke grezzo sviluppatosi durante il processo di distillazione.

La sequenza dello sfornamento si articola nelle seguenti fasi:

- posizionamento della macchina sfornatrice e della macchina guida coke;
- isolamento del forno dal bariletto e apertura del cappellotto;
- apertura delle porte su entrambi i lati;
- sfornamento del coke sul carro di spegnimento.

La macchina sfornatrice, la macchina guida coke ed il carro di spegnimento devono essere in linea, corrispondente all'asse del forno da sfornare. Il forno è poi isolato dal bariletto attraverso la chiusura della corrispondente valvola; viene aperto il coperchio del tubo di sviluppo ripristinando il collegamento con l'atmosfera.

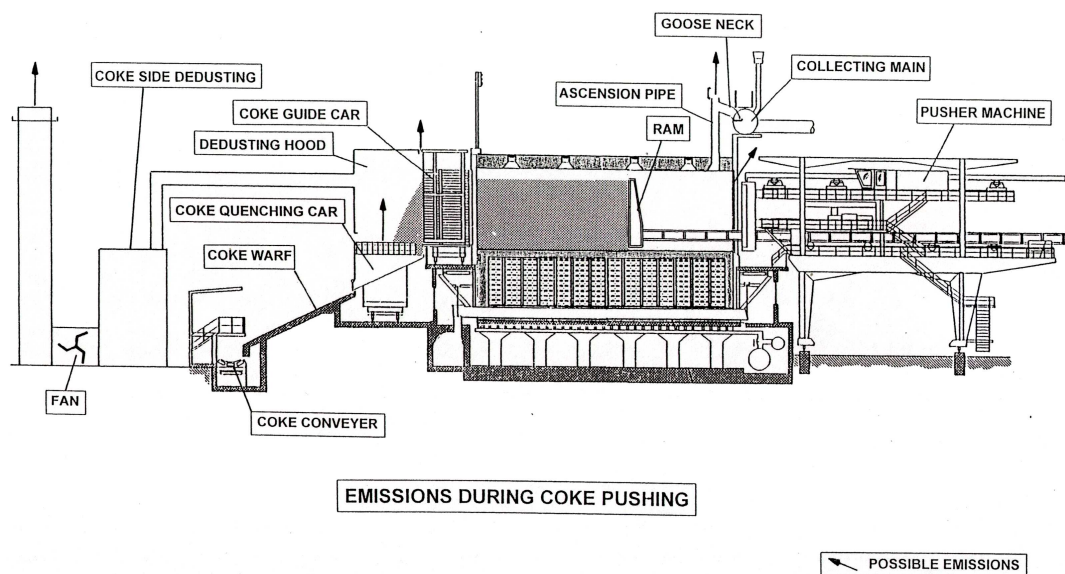
Con la rimozione delle porte su entrambi i lati del forno, mediante appositi sistemi montati rispettivamente sulla macchina sfornatrice e sulla macchina guida coke, il forno è pronto per lo sfornamento, operazione che avviene per mezzo di un'asta sfornante presente sulla macchina sfornatrice.

Durante lo sfornamento il carro di spegnimento si muove lentamente sul fronte della guida coke in modo da distribuire il coke sull'intera lunghezza del carro.

Al termine dello sfornamento, con l'estrazione dell'asta sfornante, il riposizionamento delle porte, la chiusura del coperchio del tubo di sviluppo e la riapertura del collegamento con il bariletto, il forno è pronto per un nuovo ciclo di caricamento.

L'emissione in atmosfera preponderante durante la fase di sfornamento è determinata dal trasferimento del coke dalla cella al carro di spegnimento, mentre emissioni di limitata entità, costituite essenzialmente dalle materie volatili residuali presenti nel coke, si manifestano all'apertura del cappellotto e delle porte su entrambi i lati del forno.

Di seguito viene riportato uno schema che evidenzia i suddetti punti di emissione.



## 5. Spegnimento del coke

Il coke sfornato dalla cella di distillazione è raccolto in un carro di spegnimento movimentato da un locomotore verso la torre di spegnimento ad umido.

Per effetto dell'acqua versata il coke subisce un drastico raffreddamento avviene attraverso il versamento e dalla temperatura di ca. 1000 °C si porta ad una temperatura prossima a quella ambiente.

Parte dell'acqua versata sul coke viene recuperata, previa decantazione del polverino di coke, riutilizzata nei cicli successivi di spegnimento, unitamente al reintegro della quota parte evaporata.

Il vapore che si genera in tale processo viene diffuso in atmosfera mediante un'apposita torre che rappresenta la fonte di emissione in atmosfera.

## 6. Trattamento del gas di cokeria

Durante il processo di distillazione del carbon fossile nelle batterie di forni a coke si sviluppa il cosiddetto gas di cokeria grezzo che attraverso i tubi di sviluppo ed il bariletto, previo raffreddamento diretto con acqua, viene inviato al sistema di trattamento del gas di cokeria. Tale gas, che è principalmente costituito da idrogeno, metano, ossido di carbonio, biossido di carbonio, azoto, ossigeno, idrocarburi, ammoniaca e idrogeno solforato, dopo il trattamento viene utilizzato come combustibile di recupero nelle varie utenze termiche di stabilimento, tra cui anche per lo stesso riscaldamento delle batterie di forni a coke.

*Range of Typical Coke Gas Compositions Before and After Treatment*

Properties	Compound	Raw Gas	Cleaned Gas
Composition (Vol %)	CO <sub>2</sub>	1.5-2.5	1.0-1.5
	CO	4.5-6.5	5.0-5.5
	O <sub>2</sub>	0.1-0.4	0.1-0.5
	CH <sub>4</sub>	21.5-26.6	23.0-27.0
	H <sub>2</sub>	54.8-61.9	60.0-61.0
	N <sub>2</sub>	3.7-5.7	2.5-3.0
	HHC <sup>(1)</sup>	2.5-4.5	2.5-3.6
Gas Constituents (g/m <sup>3</sup> )	Tar	70-90	negligible
	Naphthalene	0.4-2.0	0.05-0.1
	Benzene <sup>(2)</sup>	25	25
	Phenol	0.5-1.5	negligible
	H <sub>2</sub> S	8.1-8.6	0.5-2.0
	Organic sulphur	0.1-0.4	0.1-0.4
	Total ammonia	6-9	0.02-0.03
	Hydrocyanic acid	1.1-1.3	0.8-1.0

Note: The above ranges shown will vary significantly with coal mixture and plant characteristics.

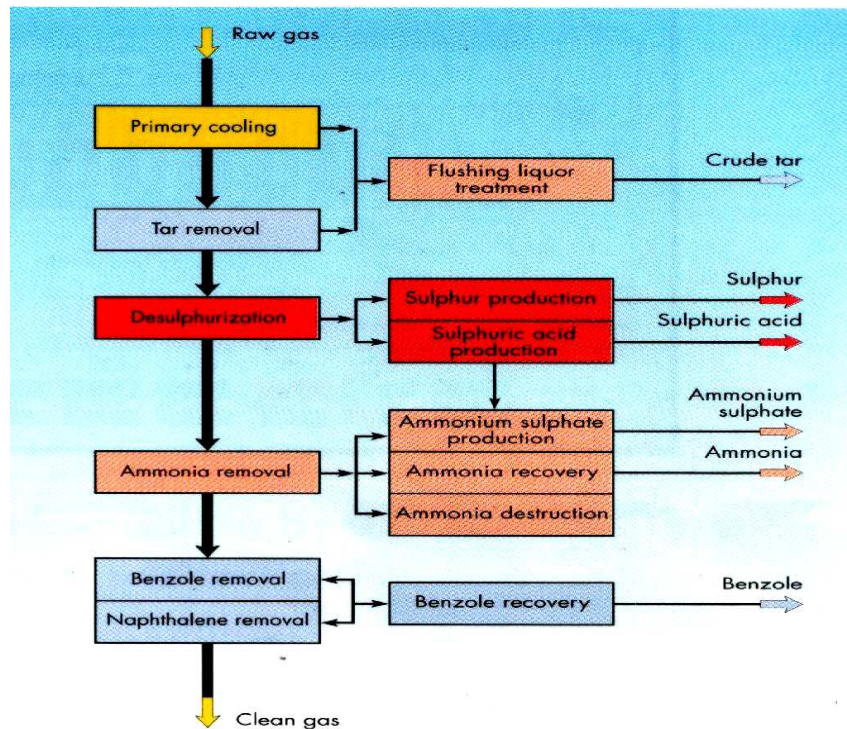
<sup>(1)</sup> Higher hydrocarbons.

<sup>(2)</sup> Only one data point was available.

Dal sistema di trattamento del gas di cokeria, che può avere alcune diversità impiantistiche, sostanzialmente si ha:

- la rimozione del catrame avviene principalmente per condensazione e la sua separazione dall'acqua avviene per decantazione. Il catrame, o comunque la miscela di condensabili ottenuti come sottoprodotto dal trattamento del gas di cokeria, viene venduto per l'ottenimento di ulteriori sottoprodotti o può essere utilizzato direttamente in altoforno in sostituzione di altri agenti riducenti iniettati a livello tubiere;
- la rimozione dell'ammoniaca è finalizzata a ridurre il tenore di composti azotati del gas e a prevenire effetti di corrosione delle tubazioni, ed avviene per assorbimento con acqua o acido solforico. Nel caso di utilizzo di acido solforico si ha la formazione di solfato ammonico che dopo cristallizzazione ed essiccamento, viene venduto come prodotto fertilizzante per l'agricoltura;
- la rimozione della naftalina è finalizzata a prevenire fenomeni di intasamento delle tubazioni, ed avviene per assorbimento con olio. La contestuale rimozione del benzolo (più propriamente benzene, toluene, xilene), è realizzata solo in alcuni casi in quanto il suo mantenimento nel gas di cokeria contribuisce favorevolmente ad innalzarne il potere calorifico e quindi porta ad un minor fabbisogno di combustibili di acquisto (ad es.: gas naturale, olio combustibile) con evidenti vantaggi dal punto di vista energetico;
- la rimozione dell'idrogeno solforato è finalizzata a ridurre le emissioni di ossidi di zolfo dagli impianti utilizzatori del gas di cokeria, e può avvenire con processi ad assorbimento o processi ossidativi. Da tali processi si ha in genere la produzione di acido solforico o zolfo.

Di seguito viene riportato uno schema di flusso generalizzato di un sistema di trattamento del gas di cokeria.



Dal sistema di trattamento del gas di cokeria le principali emissioni in atmosfera sono quelle di vapori derivanti dagli sfiati dei serbatoi di materiale organico e da eventuali perdite derivanti da tubazioni e pompe di convogliamento di materiale organico.

A questa specifica tipologia di emissioni a carattere diffuso, sono associate quelle derivanti dal trattamento dei sottoprodotti come ad esempio: la produzione di acido solforico, la produzione di zolfo, la termodemolizione dell'ammoniaca, ecc....

Dal sistema di trattamento del gas di cokeria derivano inoltre dei reflui costituiti essenzialmente da acque ammoniacali contenenti sostanze organiche e inorganiche.

## 7. Trattamento del coke

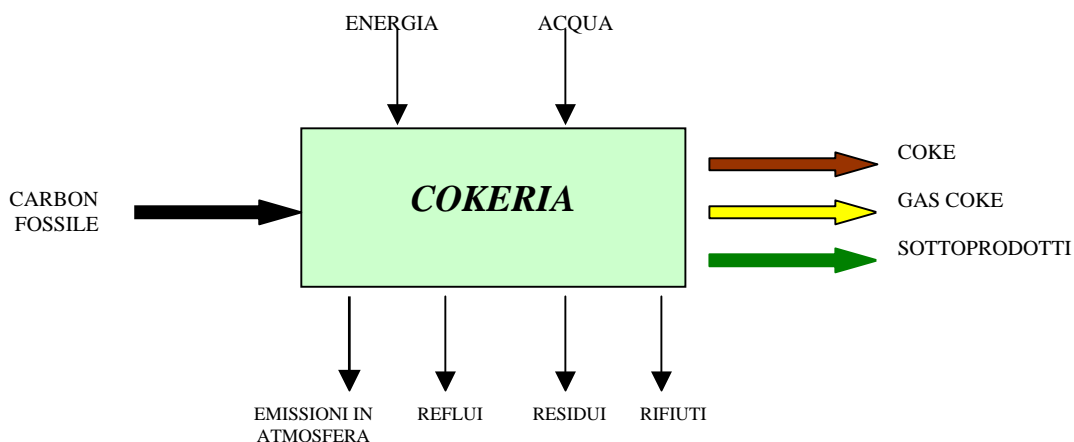
Dopo il raffreddamento del coke, il carro di spegnimento scarica il coke sulle cosiddette rampe dalle quali il coke viene avviato al trattamento che consiste essenzialmente in operazioni di frantumazione e/o vagliatura per ottenere le frazioni granulometriche idonee all'utilizzo in altoforno. La frazione fine viene invece utilizzata nel processo di sinterizzazione dei minerali di ferro.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano durante tale fase di processo sono principalmente a carattere diffuso e derivano:

- dal trasferimento del coke
- dal trattamento del coke con operazioni di frantumazione e/o vagliatura.

## **Bilancio complessivo di materia ed energia**

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla cokeria è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali residui nel normale esercizio sono costituiti dai fanghi derivanti dal sistema di trattamento dei reflui che vengono riciclati sul carbon fossile in alimentazione alle celle, il polverino di coke derivante dalla decantazione delle acque dello spegnimento ad umido del coke che viene riutilizzato negli impianti di sinterizzazione dei minerali di ferro e le polveri di carbon fossile e coke derivanti dai sistemi di depolverazione, che vengono anch'esse riciclate. Altri residui sono quelli derivanti da attività di manutenzione quali ad esempio refrattari, materiali contenenti amianto, rottame, ecc.... che vengono smaltiti e, ove possibile, avviati a riciclo.

## **B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

### **1. Preparazione della miscela di carbon fossile**

- Assicurare il giusto livello di umidificazione del carbon fossile per limitare le eventuali emissioni che possono generarsi durante la manipolazione e trasferimento del materiale.
- Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che si generano durante la frantumazione e/o vagliatura del carbon fossile e relativa depolverazione mediante filtro a tessuto.

### **2. Caricamento della miscela di carbon fossile nelle batterie di forni a coke**

Adozione di uno dei seguenti sistemi di caricamento:

- Caricamento "smokeless" con macchina caricatrice che realizza una connessione a tenuta tra la macchina ed il forno da caricare.  
La connessione a tenuta riguarda sia l'accoppiamento tra le tramogge fisse della caricatrice con i rispettivi telescopi mobili di collegamento al forno da caricare, che il sistema di distribuzione del carbon fossile all'interno delle celle che, oltre a consentire una regolare distribuzione, assicura una tenuta a fine caricamento (ad es.: adozione di coclea, ecc...).

Durante l'operazione di caricamento, il forno deve essere messo in depressione mediante l'eiezione di vapore (o acqua) nel gomito del tubo di sviluppo, in modo da non consentire la fuoriuscita dei gas di caricamento ed indirizzare la loro estrazione attraverso il tubo di sviluppo.

Il carbon fossile deve essere livellato all'interno del forno mediante l'uso dell'asta spianante presente sulla macchina sfornatrice, al fine di assicurare la presenza d'un canale gas tra il pelo libero del carbon fossile e la volta del forno e consentire il regolare deflusso dei gas di distillazione verso il tubo di sviluppo.

- Caricamento con macchina caricatrice e "jumper pipe".

Con tale tipo di caricamento l'aspirazione dei gas di caricamento viene realizzata da entrambi i lati del forno. Da una parte mediante il tubo di sviluppo e dall'altra mediante un "jumper pipe" di collegamento del forno in caricamento con un forno adiacente, anch'esso mantenuto in depressione mediante l'attivazione del sistema di eiezione a vapore (o ad acqua) nel tubo di sviluppo.

Le emissioni sono ridotte per effetto della ripartizione dell'aspirazione dei gas di caricamento sui due lati della batteria.

Il carbon fossile deve essere ugualmente livellato all'interno del forno per mezzo dell'asta spianante della macchina sfornatrice, al fine di assicurare la presenza del canale gas e consentire il regolare deflusso dei gas di distillazione verso il tubo di sviluppo ed il "jumper pipe".

Tale sistema necessita di ulteriori bocchette sul piano di carica della batteria, oltre a quelle già presenti per il caricamento e per il tubo di sviluppo, per realizzare di volta in volta il sistema di collegamento "jumper pipe" tra forni vicini. Tale aspetto risulta essere un ulteriore punto di possibile emissione di una batteria durante la fase di cokefazione in caso di imperfetta tenuta tra gli accoppiamenti, in particolar modo sulle batterie esistenti.

Alcuni tipi di batterie di forni a coke possono essere del tipo a doppio barileto (uno sul lato macchina e l'altro sul lato coke) in modo tale che i gas di caricamento possano essere evacuati su entrambi i lati della batteria.

Tale tipologia di batterie di forni a coke non è presente a livello nazionale.

- Caricamento "*tipo giapponese*" del tipo non a tenuta, con estrazione dei gas di caricamento fuori dal forno e loro convogliamento ad un sistema di trattamento. I gas di caricamento estratti vengono combusti ed inviati, attraverso un complesso sistema di collettori, ad un sistema di depolverazione mediante filtro a tessuto situato a piano campagna.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

– emissioni di polveri nei fumi trattati ed immessi in atmosfera, al camino :  $\leq 5$  g/t coke

A differenza degli altri tipi sopra riportati, questo sistema di caricamento non permette di mantenere i gas all'interno del forno, per cui non è un sistema idoneo dal punto di vista della prevenzione integrata dall'inquinamento, e determina inoltre notevoli problemi di lay-out nel caso di eventuale inserimento nel contesto dell'impiantistica esistente per la collocazione del sistema di collettori di convogliamento dei gas aspirati e del sistema di depolverazione a piano campagna.

### 3. Cokefazione

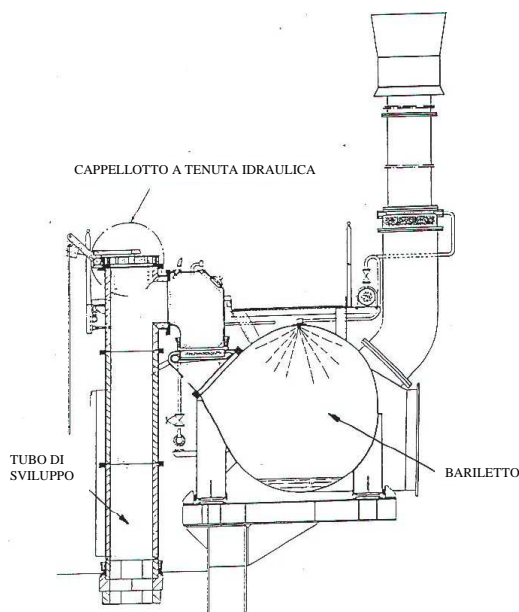
- Adozione di:
  - porte a tenuta elastica su forni di altezza  $> 5$  m;
  - porte a tenuta rigida e ben manuntenute su forni di altezza  $\leq 5$  m.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- percentuale di porte con emissioni visibili sul totale delle porte installate:
  - $\leq 5\%$  su nuovi impianti;
  - $\leq 10\%$  su impianti esistenti.
- Adozione di tubi di sviluppo dotati di coperchi (cappellotti) a tenuta idraulica.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- percentuale di coperchi dei tubi di sviluppo con emissioni visibili sul totale dei coperchi installati:  $\leq 1\%$ .



Tubo di sviluppo con cappellotto a tenuta idraulica

- Sigillatura dei coperchi di carica con malta liquida o con altro materiale idoneo.  
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
  - percentuale di coperchi con emissioni visibili sul totale dei coperchi installati:  $\leq 1\%$ .
- Adozione di sportelletti di spianamento dotati di sistemi di chiusura a tenuta.  
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
  - percentuale di sportelletti con emissioni visibili sul totale degli sportelletti installati:  $\leq 5\%$ .
- Pulizia di porte e telai, dei coperchi e delle bocchette di carica, dei tubi di sviluppo;

- Prevenzione delle perdite tra camera di distillazione e camera di combustione attraverso la regolarità delle operazioni di cokefazione e la riparazione delle rotture del materiale refrattario;
- Buon mantenimento del canale gas all'interno del forno per il veicolamento dei gas di distillazione verso il tubo di sviluppo mediante;
  - adeguato livellamento del carbon fossile tramite l'asta spianante durante la fase di caricamento del carbon fossile;
  - periodico degrafitaggio della volta del forno e pulizia del tubo di sviluppo meccanicamente o con aria compressa;
- Accurata manutenzione di forni, porte, telai, tubi di sviluppo, bocchette di carica e altre apparecchiature;
- Utilizzo di gas coke desolfurato. Il tipo di tecnica e le prestazioni raggiungibili sono riportate nel paragrafo relativo al sistema di trattamento del gas di cokeria (punto 6).
- Utilizzo di una delle seguenti tecniche per la limitazione delle emissioni di NO<sub>x</sub> presenti nei fumi di combustione:
  - Utilizzo di tecniche low-NO<sub>x</sub> tramite la combustione a stadi nella costruzione di nuove batterie.

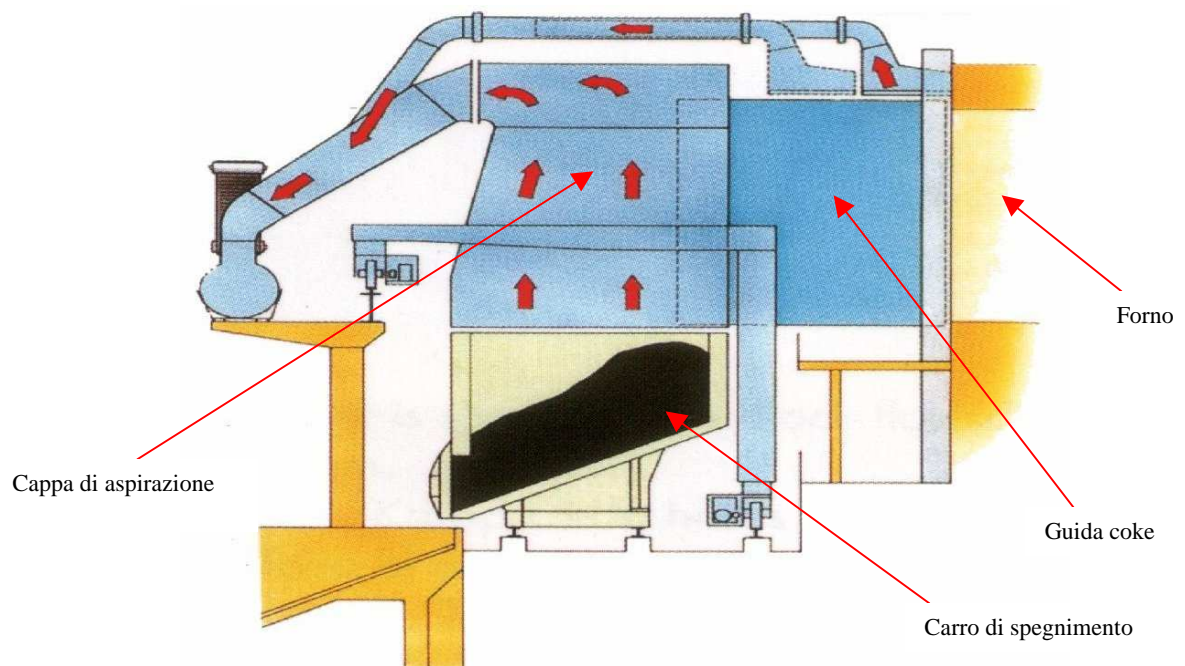
Questo sistema è strutturalmente legato al tipo di batteria e non può essere oggetto di implementazione su batterie esistenti.

Le prestazioni raggiungibili con questa tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni di NO<sub>x</sub> nei fumi di combustione immessi in atmosfera, al camino:  
500÷770mg/Nmc;
- denitrificazione dei fumi di combustione (ad es. con sistema SCR) in cui gli NO<sub>x</sub> vengono cataliticamente ridotti, per mezzo di NH<sub>3</sub>, in N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, solo nel caso di nuovi impianti. Tale tecnica presenta notevoli problemi rispetto alla precedente in quanto:
  - non è un sistema integrato con il processo;
  - riduce il recupero energetico nei rigeneratori in quanto i fumi dovranno essere rilasciati ad una temperatura maggiore (300-400°C) per consentire le operazioni di conversione catalitica;
  - sul catalizzatore viene a formarsi il nitrato d'ammonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) che ha caratteristiche esplosive e determina, unitamente al particolato, un decadimento dell'efficienza di conversione;
  - difficile installazione negli stabilimenti esistenti per problemi di lay-out;
  - ha un elevato costo di installazione ed esercizio;
  - è una tecnica raramente applicata.

#### **4. Sforamento del coke**

Adozione di sistema di captazione dei fumi generati nel punto di trasferimento del coke dal forno di distillazione al carro di spegnimento, con convogliamento dell'aeriforme captato dalla macchina guida coke e dal carro di spegnimento ad un sistema di depolverazione con un filtro a tessuto collocato a terra.



*Principio della captazione emissioni allo sfornamento coke*



*Vista sistema di captazione emissioni allo sfornamento coke*

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni di polveri nei fumi trattati ed immessi in atmosfera, al camino:  $\leq 5$  g/t coke.

Sugli impianti esistenti va ricercata una soluzione che si adatti all'impiantistica esistente, tenendo comunque presente che la mancanza di spazio è un elemento che è comunque vincolante per la possibile implementazione di tale tipo di tecnica.

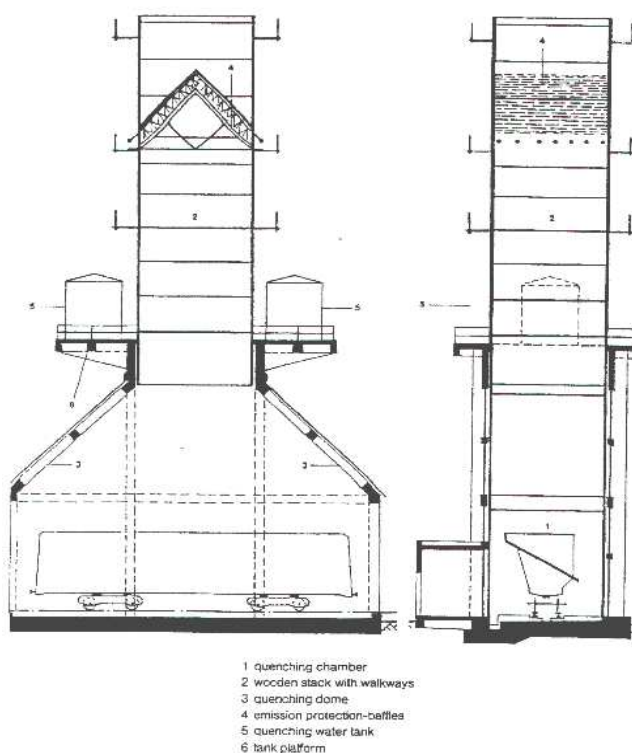
## 5. Spegnimento del coke

- Spegnimento ad umido del coke in un'apposita torre al di sotto della quale viene posizionato il carro di spegnimento con il coke incandescente estratto dal forno. L'acqua immessa per lo spegnimento del coke produce una quantità di vapore che viene diffuso in atmosfera attraverso la torre; questa deve essere dotata sulla sommità di setti per il trattenimento del particolato eventualmente trascinato con il flusso di vapore.

Va evitato l'utilizzo di acqua con un rilevante carico organico, quale ad esempio l'effluente derivante dal sistema di depurazione dei reflui del sistema di trattamento del gas di cokeria.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni di particolato presente nel vapore acqueo diffuso dalla torre di spegnimento ad umido:  $\leq 50$  g/t coke.



*Torre di spegnimento ad umido del coke*

- spegnimento a secco del coke con recupero del calore sensibile, in un sistema che è essenzialmente costituito da un reattore di raffreddamento, una caldaia per la produzione di vapore ed un sistema di ricircolo del gas inerte di raffreddamento.

In particolare, il coke viene caricato nel reattore nel quale ricircola gas inerte che sottrae calore sensibile al coke incandescente, raffreddandolo. Il gas inerte caldo viene quindi inviato in una caldaia, previa separazione delle polveri grossolane, dove cede il calore acquisito e consente la produzione di vapore. In uscita dalla caldaia il gas inerte viene quindi ricircolato nel reattore, previo un blow-down per abbassare il livello di CO ed altri composti che vengono a generarsi durante il processo.

Le emissioni derivanti dalla fase di carica del reattore, scarico del coke spento e lo scarico del gas inerte sono convogliate ad un sistema di depolverazione a tessuto.

L'utilizzo di tale tecnica è limitato, principalmente per i seguenti motivi:

- il livello di recupero energetico non è sempre tale da giustificare l'investimento. A tal proposito è anche da considerare che non è trascurabile il maggior consumo di energia elettrica necessaria per il funzionamento dei ventilatori e delle unità di depolverazione;
- ha un basso livello di utilizzo e quindi necessita comunque sempre la presenza di torri per lo spegnimento ad umido del coke da utilizzare in alternativa;
- il coke spento a secco determina maggiori effetti di spolveramento nelle fasi successive di trasporto, manipolazione e trattamento del coke, rispetto al coke spento ad umido;
- determina problemi di sicurezza legati alla possibile formazione di miscela esplosiva all'interno del reattore di raffreddamento a causa della formazione di ossido di carbonio e altri composti combustibili;
- difficile installazione negli stabilimenti esistenti per problemi di lay-out.

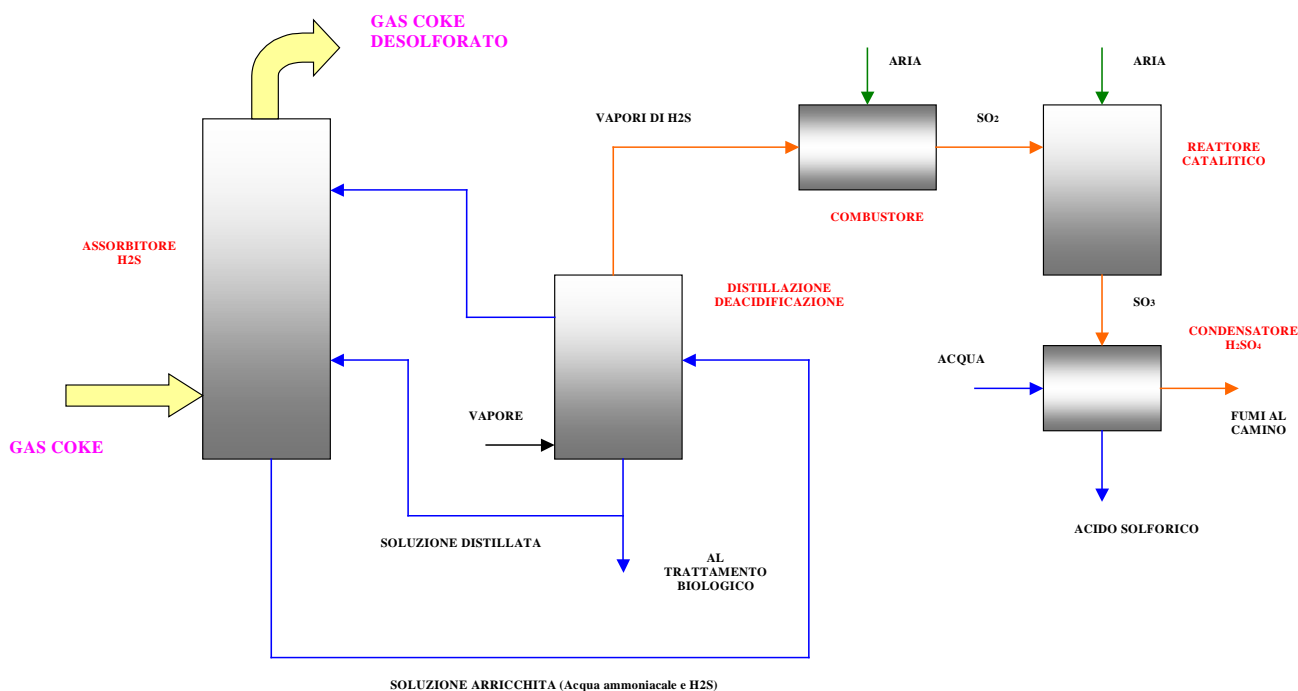
## 6. Trattamento del gas di cokeria

- Sistema di trattamento del gas di cokeria grezzo in uscita dai forni di distillazione dotato di sistema di desolforazione secondo uno dei seguenti processi:

### Processi ad assorbimento

- Carl Still, Diamex, ASK, Desulf

L'idrogeno solforato ( $H_2S$ ) è assorbito dal gas di cokeria per mezzo di una soluzione di acqua ammoniacale. La soluzione di acqua ammoniacale, in uscita dalle torri di assorbimento, viene strippata con vapore ed i gas acidi in uscita dalla colonna di strippaggio possono essere inviati ad un impianto Claus o ad un impianto per la produzione di acido solforico.



*Schema tipico di sistema di desolforazione gas coke con stadio di produzione acido solforico*

– Vacuum carbonate

L'idrogeno solforato ( $H_2S$ ) è assorbito dal gas di cokeria con una soluzione di carbonato sodico ( $Na_2CO_3$ ) o una soluzione di carbonato di potassio ( $K_2CO_3$ ). La soluzione di lavaggio è rigenerata in una colonna ad alta temperatura e bassa pressione. I gas acidi vengono strippati dalla soluzione e devono essere trattati (ad es.: in un impianto Claus o in un impianto per la produzione di acido solforico).

– Sulfiban

Il gas di cokeria è lavato con monoetanolammina (MEA). L'ammoniaca deve essere assorbita prima dell'assorbimento dell' $H_2S$  con la MEA per evitare la formazione di prodotti indesiderati nella soluzione di assorbimento. L' $H_2S$  viene quindi strippato dalla MEA con vapore acqueo e quindi trattato in un impianto Claus o in un impianto per la produzione di acido solforico. I prodotti organici insolubili dello zolfo che si formano durante il processo vengono rimossi dalla MEA e costituiscono un rifiuto.

### **Processi ossidativi**

– Stretford

L'idrogeno solforato ( $H_2S$ ) è assorbito dal gas di cokeria con una soluzione di carbonato sodico ( $Na_2CO_3$ ) con formazione di zolfo elementare utilizzando vanadato ( $VO_3$ ) come reagente. La rigenerazione della soluzione di lavaggio viene effettuata per mezzo di aereazione ( $O_2$ ), utilizzando ADA (anthrachinone disulphonic acid) come reagente.

– Takahax

Processo simile allo Stretford ad eccezione del reagente utilizzato per la rigenerazione che è 1,4-naphthoquinone-2-sulphonic acid.

– Thylox

L'assorbimento dell' $H_2S$  è effettuato con una soluzione di tioarsenato sodico ( $Na_4As_2S_5O_2$ ) e la rigenerazione della soluzione è effettuata con ossigeno. Il prodotto ottenuto è zolfo elementare.

– Perox

Il gas di cokeria è lavato con una soluzione ammoniacale. Viene utilizzato parabenzochinone per l'ossidazione dello zolfo e la rigenerazione della soluzione di lavaggio è effettuata con ossigeno.

– Fumaks-Rhodacs

L' $H_2S$  è ossidato per mezzo di acido picrico in una fase-Fumaks, ottenendo zolfo elementare. I cianuri sono recuperati nella fase-Rhodacs.

I range di prestazioni raggiungibili con la desolforazione del gas di cokeria sono i seguenti:

- con processi ad assorbimento: 500÷1000 mg/Nmc di  $H_2S$  residuale nel gas di cokeria;
- con processi ossidativi: < 500 mg/Nmc di  $H_2S$  residuale nel gas di cokeria.

I processi ossidativi anche se permettono di ottenere una concentrazione residuale di  $H_2S$  nel gas di cokeria più bassa rispetto ai processi ad assorbimento, determinano però l'utilizzo e la formazione di sostanze tossiche che anche se trattate e/o smaltite determinano un impatto ambientale aggiuntivo.

La realizzazione di un complesso sistema di desolfurazione del gas di cokeria da inserire nel contesto dell'impiantistica esistente comporta il superamento di numerose difficoltà connesse alla natura dei processi tecnologici ed alla complessità della realizzazione con associati problemi legati alla necessaria ristrutturazione dell'impiantistica esistente

- Adozione delle seguenti tecniche per la tenuta negli impianti di trattamento del gas di cokeria:
  - utilizzo di pompe a tenuta;
  - collettamento degli sfiati dei serbatoi con convogliamento nel gas di cokeria oppure effettuando la combustione dei gas di sfogo;
  - minimizzazione del numero di flangie utilizzando, ove possibile, connessioni saldate.
- Pretrattamento delle acque di cokeria con stripping dell'ammoniaca utilizzando alcali. In particolare si ha la rimozione dell'ammoniaca in colonne di distillazione la cui efficienza di rimozione dipende dal vapore e dagli alcali addizionati al sistema (ad es. NaOH), oltre che dal tipo di colonna.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica sono le seguenti:

- Concentrazione di ammoniaca teoricamente raggiungibile nelle acque di stripping:  
20 mg/l

Tenendo presente che sono previsti trattamenti successivi di nitrificazione-denitrificazione, lo stripping dell'ammoniaca non deve essere così spinto dovendo comunque raggiungere il punto di miglior equilibrio con il successivo stadio di trattamento biologico.

Normalmente l'effluente derivante dallo stripping dell'ammoniaca non contiene catrame, ma se questo è significativamente presente, risulterebbe necessaria la sua rimozione per evitare effetti negativi sul funzionamento dello stadio di trattamento biologico.

- Trattamento biologico integrato con stadio di nitrificazione e denitrificazione. La tecnica biologica più comunemente applicata per il trattamento dei reflui di cokeria è il trattamento biologico aerobico con fanghi attivi integrato con stadio di nitrificazione - denitrificazione .

#### Sistema aerobico a fanghi attivi

Nel sistema aerobico a fanghi attivi, i contaminanti biodegradabili sono degradati biologicamente a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e i minerali e i componenti non degradabili sono rimossi dalla fase acquosa mediante parziale adsorbimento sui fanghi attivi.

In pratica, la maggior parte dei contaminanti come fenoli, cianuri e idrocarburi aromatici, sono degradati biologicamente e i metalli pesanti e altri composti non degradabili sono parzialmente rimossi per adsorbimento sui fanghi attivi.

#### Nitrificazione

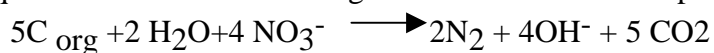
Il sistema di trattamento aerobico a fanghi attivi può essere preso come punto di partenza per lo stadio di nitrificazione. I batteri nitrificanti trasformano l'ammonio in nitrato.

#### Denitrificazione

Per ottenere basse concentrazioni di tutti i composti contenenti azoto è necessario un ulteriore trattamento anaerobico. Sono possibili diverse varianti di impianto, ma buoni risultati possono essere ottenuti con il cosiddetto trattamento di pre-denitrificazione(DN)-nitrificazione(N).

Nel sistema pre-DN/N, il sistema a fanghi attivi aerobico viene usato come punto di partenza . Prima che il refluo sia aerato, viene aggiunta l'acqua ricca di nitrati derivante

dallo stadio di nitrificazione. In condizioni anaerobiche, i batteri usano, come fonte di ossigeno per la degradazione del carbonio organico, l'ossigeno dei nitrati. L'azoto del nitrato viene quindi trasformato in azoto gassoso. La reazione complessiva è la seguente:



I range di prestazioni raggiungibili con il trattamento biologico integrato con sistema di nitrificazione e denitrificazione cokeria sono i seguenti:

- Rimozione COD:  $\geq 90\%$ ;
- Solfuri:  $\leq 0,1$  mg/l;
- IPA (6 Bornef):  $\leq 0,05$  mg/l
- CN- :  $\leq 0,1$  mg/l;
- Fenoli :  $\leq 0,5$  mg/l
- Somma di  $NH_4^-$ ,  $NO_3^-$ - $NO_2^-$ :  $\leq 30$  mgN/l;
- Solidi sospesi:  $\leq 40$  mg/l.

## 7. Trattamento del coke

- Assicurare il giusto livello di umidificazione del coke per limitare le eventuali emissioni che possono generarsi durante la manipolazione e trasferimento del materiale.
- Adozione inoltre di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che si generano durante la frantumazione e/o vagliatura del coke e relativa depolverazione mediante filtro a tessuto.

#### 4.2.2 Impianti di produzione agglomerato di minerali di ferro

Per la produzione di agglomerato di minerali di ferro, i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- il trattamento delle emissioni primarie derivanti dalla sinterizzazione;
- il recupero dell'energia termica.

##### A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)

Il processo di produzione dell'agglomerato comprende le seguenti fasi:

1. *omogeneizzazione e miscelazione dei materiali;*
2. *sinterizzazione;*
3. *raffreddamento e trattamento dell'agglomerato.*

Per ciascuna delle suddette fasi vengono di seguito descritte le attività svolte e le principali componenti di natura ambientale su cui applicare le B.A.T. ai fini della prevenzione integrata dall'inquinamento.

##### 1. Omogeneizzazione e miscelazione dei materiali

I materiali da agglomerare devono essere preventivamente omogeneizzati, prima di essere inviati alla macchina di agglomerazione. Ciò viene realizzato stratificando i vari materiali costituenti la miscela (minerali di ferro, polverino d'altoforno, scaglie di laminazione, additivi- come ad esempio calcare, olivina-, residui e materiali vari da riciclare, ecc...) in appositi cumuli di omogeneizzazione, localizzati generalmente in un'area prossima all'impianto di agglomerazione.

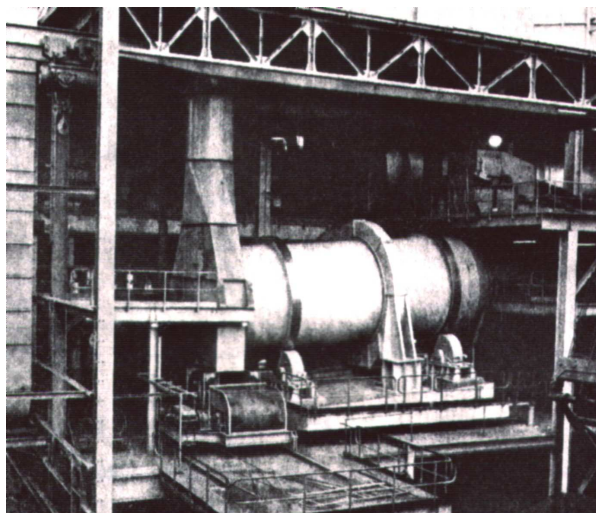
Per quantità, i materiali maggiormente presenti nei cumuli di omogeneizzato, sono i minerali di ferro; questi vengono ripresi dai rispettivi cumuli di stoccaggio delle materie prime, inviati in appositi sili in relazione alle diverse qualità e quindi ripresi per essere opportunamente dosati nella formazione dei cumuli di omogeneizzato.



*Omogeneizzazione materiali*

La miscelazione con gli altri materiali, come la calce, il calcare, i minuti di ritorno derivanti dall'impianto di agglomerazione e dall'altoforno, il coke ed eventualmente altri materiali non riciclati nei cumuli di omogeneizzato, avviene nei tamburi mescolatori, dove con l'aggiunta di acqua si ottengono delle micro-pellets idonee ad essere alimentate sulla macchina di agglomerazione per il successivo processo di sinterizzazione. Il coke fine ( $\leq 5$  mm) da introdurre nella miscela di agglomerazione deriva generalmente dalle operazioni di

trattamento del coke prodotto dalla cokeria, oppure può essere ottenuto sull'impianto di agglomerazione con operazioni di frantumazione di una pezzatura di coke più grossolana ( $\leq 20$  mm).



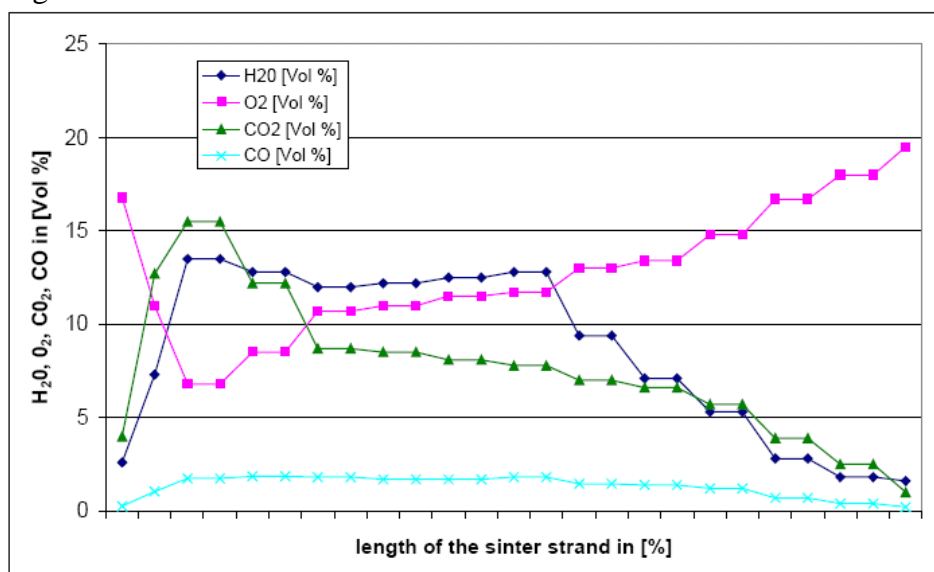
*Mescolatore primario*

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle di polveri che derivano dalle operazioni di miscelazione e/o frantumazione del coke.

## 2. Sinterizzazione

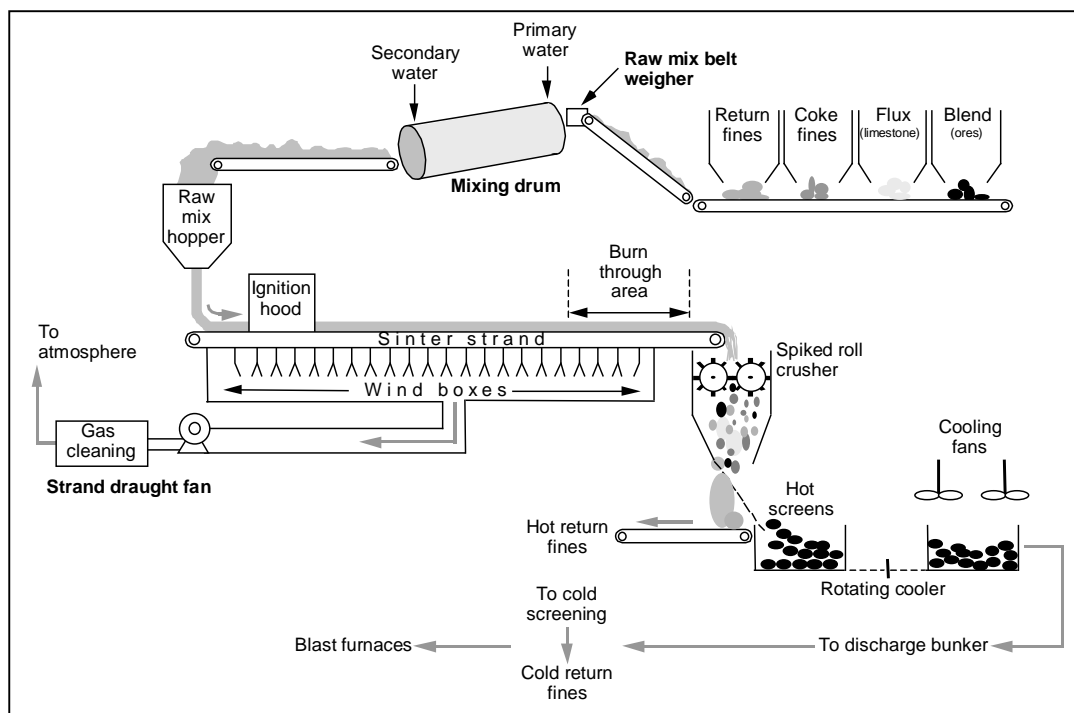
La miscela, in uscita dai mescolatori, viene distribuita sulla macchina di agglomerazione, costituita da una serie di carrelli il cui fondo grigliato consente il passaggio di aria. In testa alla macchina di agglomerazione, un fornello di accensione alimentato con gas siderurgici e/o metano, accende il coke contenuto nella miscela in un processo di combustione che continua per effetto della reazione con l'ossigeno contenuto nell'aria. Il flusso d'aria che permea attraverso lo strato di agglomerazione e che determina il suddetto processo di combustione del coke, viene realizzato mediante degli elettroventilatori che realizzano una depressione nelle cosiddette casse d'aria (wind boxes), al di sotto della macchina di agglomerazione.

Un profilo tipico delle emissioni di CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O nei fumi in uscita dalle singole wind-boxes è il seguente:



Sulle linee di agglomerazione di maggiore capacità, caratterizzate da una superficie maggiore del letto di agglomerazione, i collettori di aspirazione dell'aria possono essere due. Macchine di agglomerazione più piccole in genere hanno un solo collettore di aspirazione.

Man mano che la miscela di agglomerazione avanza lungo il nastro, il fronte di combustione si abbassa all'interno dello strato, creando una quantità di calore sufficiente a far in modo che le particelle costituenti la carica si aggregino tra loro dando origine ad un materiale agglomerato resistente e poroso.



*Schema di flusso di un impianto di agglomerazione*

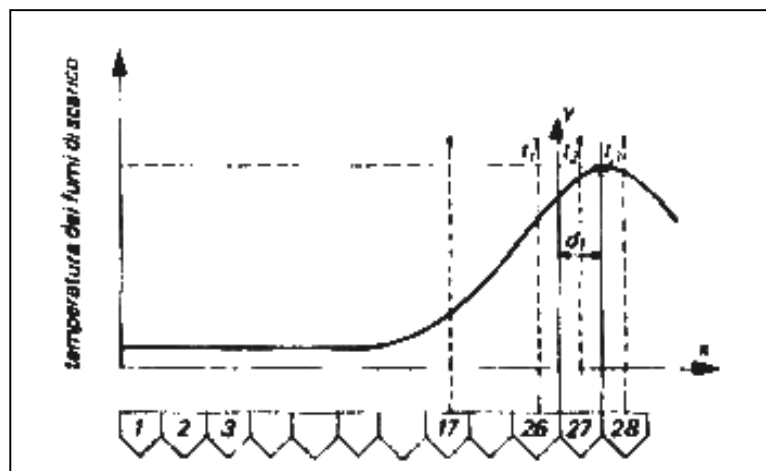
Il processo di agglomerazione dà luogo a numerosi fenomeni fisici e chimici. Nel corso della cottura si distinguono le seguenti principali fasi:

- intorno a 100° C si ha l'essiccazione della miscela;
- successivamente a temperature più elevate viene eliminata l'acqua di cristallizzazione;
- tra i 600° C e gli 800 °C si produce una prima agglomerazione delle particelle fini in una massa porosa; i grani ingrossandosi aderiscono debolmente tra loro. Questa prima fase non è sufficiente a dare al prodotto la coesione necessaria per la sua ulteriore utilizzazione in altoforno;
- oltre i 1000 °C i grani rammolliscono e si verificano le condizioni fisico-chimiche favorevoli al completamento del processo di agglomerazione. Durante queste reazioni si producono nella massa (allo stato pastoso) delle cavità che si ritrovano, nel successivo raffreddamento, nella struttura finale dell'agglomerato sotto forma di pori. L'entità della porosità totale dell'agglomerato è una caratteristica molto importante per il suo successivo impiego in altoforno. Dal punto di vista chimico il coke ed il minerale, essendo miscelati, danno luogo a dei fenomeni di riduzione che avvengono nel periodo di massima temperatura (ca. 1300–1480°C). Durante il successivo raffreddamento, al contatto con l'aria, si producono in superficie dei fenomeni di ossidazione. L'ossido ferroso formatosi, la silice, la calce e l'allumina si combinano per dare i silicati e alluminati di calcio e di ferro.



*Linea di agglomerazione*

La massima temperatura del gas di scarico, lungo la macchina si ha, approssimativamente, nel punto dove la miscela ha completato il processo di agglomerazione, che in genere è il più vicino possibile al punto di scarico dell'agglomerato.



*Andamento tipico della temperatura dei gas di scarico*

Le principali caratteristiche atte a classificare la qualità dell'agglomerato prodotto sono:

- la pezzatura: è la caratteristica più importante ai fini dell'utilizzazione dell'agglomerato ed è funzione della sua dimensione media, della sua omogeneità e del contenuto dei fini;
- la resistenza meccanica: è l'attitudine a sopportare sollecitazioni meccaniche e termiche che l'agglomerato subisce durante la carica in altoforno e durante il processo di fabbricazione della ghisa. La resistenza dipende dalla compattezza dei legami che si stabiliscono tra le singole particelle di minerale nel processo di agglomerazione. In definitiva quindi la resistenza di un agglomerato dipende dalla composizione chimica del

minerale, dalla temperatura di agglomerazione, dal tempo in cui la miscela permane alla massima temperatura;

- la porosità: è la proprietà per la quale l'agglomerato presenta una infinità di piccoli fori. Il processo di fabbricazione della ghisa in altoforno risulta molto più rapido quanto maggiore è la superficie che il minerale espone alla corrente di gas riducente che attraversa la carica;
- la riducibilità: è la proprietà per cui il minerale con l'ossido di carbonio, contenuto nel gas riducente in altoforno, si trasforma più o meno rapidamente da ossido di ferro a ferro. La riducibilità di un agglomerato dipende essenzialmente dalla sua composizione chimica, dalla sua pezzatura, dalla sua porosità.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante questa fase del processo sono quelle associate con i fumi primari estratti dalla parte bassa del letto di agglomerazione e che contengono principalmente inquinanti tipici di un processo di combustione come polveri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO e microinquinanti come metalli, sostanze organiche, ecc...

Durante le fasi di avviamento, arresto e nel caso di perturbazioni al processo, come ad esempio durante i cambi cumulo di omogeneizzato, si determinano effetti transitori con aumento delle emissioni convogliate nonostante il normale funzionamento dei sistemi di depolverazione.

### **3 . Raffreddamento e trattamento agglomerato**

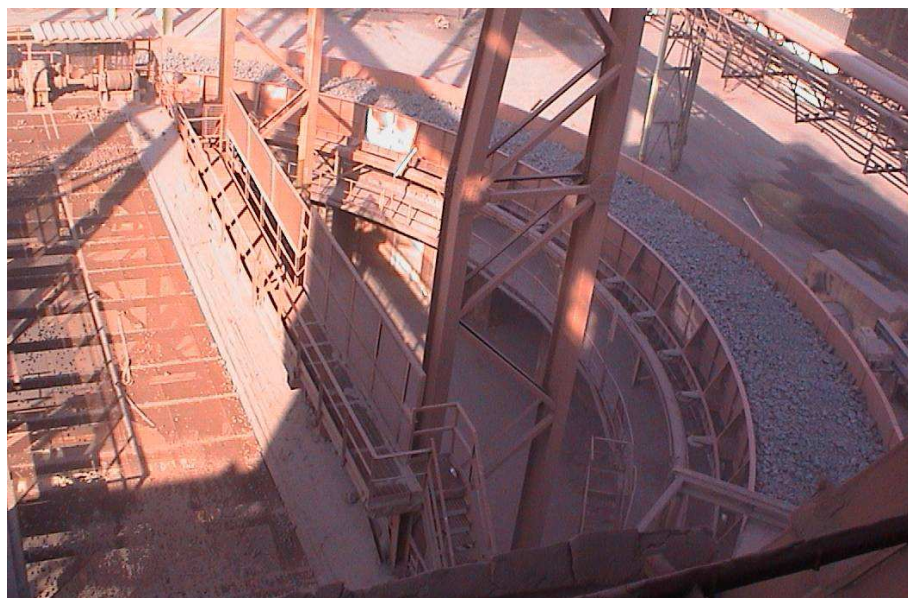
Il raffreddamento dell'agglomerato avviene tipicamente in una struttura rotante costituita da una serie di carrelli collegati tra loro e disposti in modo da formare una corona circolare che riceve, in un punto determinato, l'agglomerato proveniente dalla vagliatura a caldo.

Tali carrelli mobili sono a fondo grigliato in modo che l'aria di raffreddamento possa fluire dal basso verso l'alto. La corona dei carrelli ruota con continuità nella suddetta corona circolare che costituisce il raffreddatore rotante, ed al completamento del giro si ha l'apertura del fondo del carrello che permette lo scarico dell'agglomerato freddo.

Il flusso d'aria di raffreddamento viene realizzato mediante ventilatori che provvedono ad insufflare aria dal basso dei carrelli.

L'agglomerato freddo viene quindi avviato alla vagliatura a freddo per la separazione della frazione granulometrica idonea alla carica in altoforno, dalla frazione granulometrica fine che viene riciclata sempre nel processo di agglomerazione.

In genere l'agglomerato utile prodotto viene inviato direttamente in altoforno o stoccato in cumuli per avere la necessaria polmonazione atta a sopperire agli inevitabili scompensi che intervengono tra la marcia dell'impianto di agglomerazione e quella dell'altoforno.

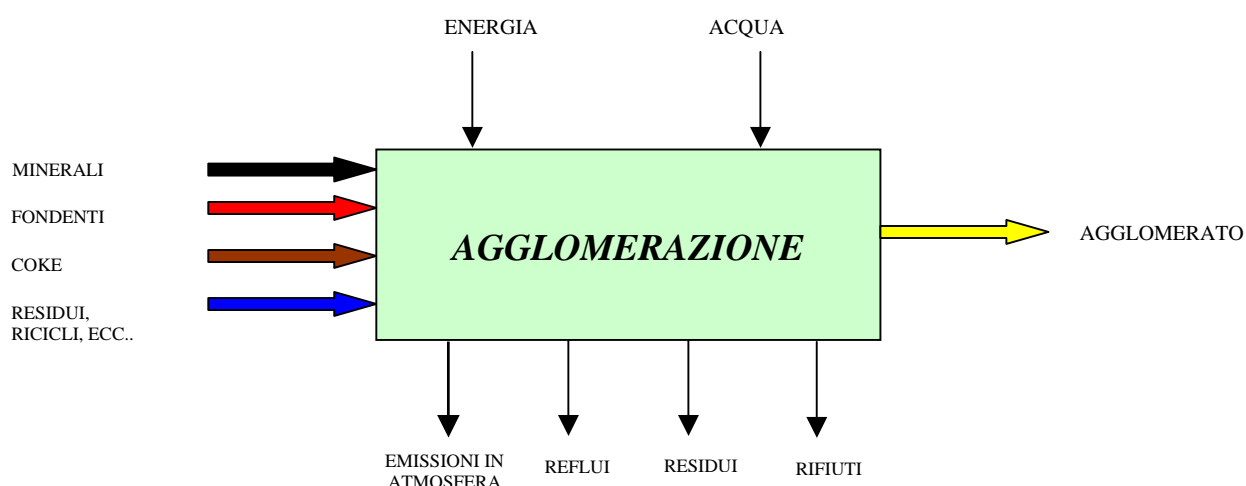


*Raffreddatore rotante*

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle di polveri che derivano dalle operazioni di vagliatura e raffreddamento dell'agglomerato

### **Bilancio complessivo di materia ed energia**

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dall'impianto di agglomerazione è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali residui nel normale esercizio sono costituiti dalle polveri derivanti dai sistemi di depolverazione a secco, dai fanghi derivanti dai sistemi di depurazione ad umido ove utilizzati, che vengono sin dove possibile, riciclati allo stesso impianto di agglomerazione. Altri residui, quali quelli derivanti da attività di manutenzione quali ad esempio refrattari a fine ciclo non riciclabili, rottame, ecc.... vengono smaltiti e, ove possibile, riciclati.

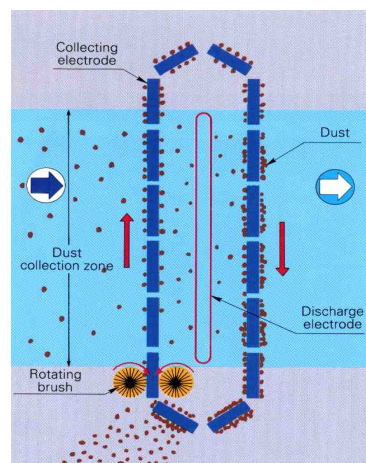
## B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

### 1. Omogeneizzazione e miscelazione dei materiali

- Assicurare il giusto livello di umidificazione dei materiali inviati all'omogeneizzazione per limitare le eventuali emissioni che possono generarsi durante la manipolazione, il trasferimento e la preparazione del cumulo di omogeneizzato.
- Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che possono generarsi durante la miscelazione dei materiali e/o frantumazione del coke con relativa depolverazione mediante elettrofiltro.  
Possono essere adottati, a seconda delle necessità e delle condizioni di lay-out impiantistici, sistemi di captazione e depolverazione centralizzati che possano asservire sia la suddetta fase di processo che quella di vagliatura dell'agglomerato.

### 2. Sinterizzazione

- Adozione di una delle seguenti tecniche per la depolverazione dei fumi dal processo di agglomerazione:
  - precipitatori elettrostatici tecnologicamente avanzati quali:
    - gli elettrofiltri MEEP (Moving Electrode Electrostatic Precipitator), dotati di una serie di placche captatrici mobili e continuamente pulite meccanicamente mediante l'azione di spazzole rotanti; ciò permette di rimuovere efficacemente lo strato di polvere che si deposita sulla superficie delle placche di captazione, migliorando in tal modo l'effetto del campo elettrico e quindi l'efficienza di abbattimento.



Principio elettrofiltro MEEP

- gli elettrofiltri con sistema di alimentazione energetica pulsante. Il picco di tensione è più alto con una energizzazione pulsante e si ha quindi una migliore carica delle particelle di polvere con positivi effetti sull'efficienza di abbattimento;
- gli elettrofiltri che operano ad alto voltaggio (70 –200 KV). Ciò è possibile attraverso una più ampia spaziatura tra le placche captatrici. Un più elevato campo elettrico determina un miglioramento dell'efficienza di abbattimento.

Nella quasi totalità degli impianti di agglomerazione europei l'abbattimento delle emissioni è realizzato con precipitatori elettrostatici.

I precipitatori tecnologicamente avanzati possono essere sostitutivi degli elettrofiltri tradizionali, oppure essere installati, ove possibile, a valle di questi ultimi, ottenendo in quest'ultimo caso un più elevato rendimento di abbattimento complessivo. In alternativa, nel caso di impianti esistenti, la tecnica MEEP può essere installata sull'ultimo campo di un elettrofiltro tradizionale. Il tipo di soluzione che può essere adottata dipende dalla situazione impiantistica e di lay-out specifica del sito.

Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:

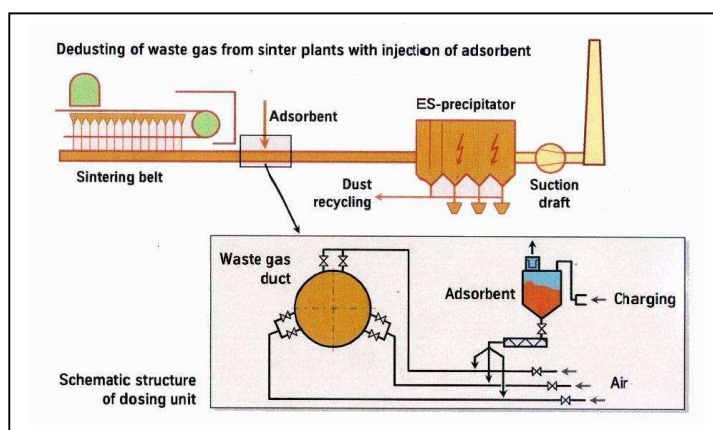
- concentrazione di polveri:  $\leq 50 \text{ mg/Nmc}$

Con l'iniezione a monte degli elettrofiltri di polvere di carbone e/o altri additivi è possibile ridurre anche le emissioni di PCDD/F.

In particolare le PCDD/F allo stato gassoso sono adsorbite sulla polvere di carbone e/o altro e vengono poi abbattute negli elettrofiltri.

Particolare attenzione deve essere posta nell'adozione di tale tecnica di iniezione di polvere di carbone e/o altri additivi per la riduzione delle emissioni di PCDD/F, per evitare rischi di incendio.

Le polveri derivanti dall'ultimo campo di depolverazione elettrostatica non dovrebbero essere riciclate nell'impianto di agglomerazione per ridurre le emissioni di metalli pesanti.



*Esempio di sistema di iniezione*

- preabbattimento con precipitatori elettrostatici tradizionali, più filtro a tessuto.

Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:

- concentrazione di polveri:  $10 \div 20 \text{ mg/Nmc}$

Con l'iniezione a monte del filtro a tessuto di polvere di carbone e/o altri additivi è possibile ridurre anche le emissioni di PCDD/F.

In particolare le PCDD/F allo stato gassoso sono adsorbite sulla polvere di carbone e/o altro e vengono poi abbattute nel filtro a tessuto.

Con tale tipo di trattamento le emissioni di PCDD/F raggiungibili in condizioni normali sono  $0,2 \div 1 \text{ ng TEQ/Nmc}$ . In molti casi si sono raggiunti valori  $\leq 0,5 \text{ ng TEQ/Nmc}$ .

L'applicazione di filtri a tessuto per la depolverazione dei fumi di agglomerazione è una tecnica raramente applicata per l'elevata abrasività delle polveri, per effetti di impaccamento delle maniche filtranti per la presenza di alcali, per l'elevata perdita di carico che i filtri a tessuto determinano con conseguente significativo aumento dei consumi energetici anche in

relazione agli elevati volumi di gas da trattare, per problemi di lay-out particolarmente rilevanti nel caso di esistenti. I filtri a tessuto necessitano di essere esclusi dalla filtrazione in fase di avviamento e fermate impianti, ove in particolare la temperatura fumi è più bassa del dew-point.

Particolare attenzione deve essere posta nell'adozione di tale tecnica di iniezione di polvere di carbone e/o altri additivi per la riduzione delle emissioni di PCDD/F, per evitare rischi di incendio.

L'additivazione di calce in ingresso al filtro a tessuto consentirebbe di ridurre le emissioni di metalli pesanti.

- preabbattimento con precipitatori elettrostatici tradizionali o cicloni, più sistema di abbattimento ad umido (Airfine o Wetfine).

In particolare i fumi di agglomerazione in uscita dal sistema di preabbattimento mediante elettrofiltro o ciclone, vengono inviati ad uno stadio di quenching con acqua in modo da avere un aeriforme freddo e saturo. In uscita dallo stadio di quenching i fumi possono essere avviati ad un sistema "Fine Scrubber System" basato sull'iniezione congiunta ad alta pressione di getti di acqua ed aria nella corrente gassosa, oppure ad un sistema di "Wet Electrostatic Precipitator" in cui le particelle caricate elettricamente vengono attratte dagli elettrodi e rimosse dagli stessi mediante spruzzi di acqua.

Le acque derivanti dalla depurazione ad umido, che contengono i cloruri di metalli solubili in acqua, devono essere trattate e per quanto possibile riciclate.

Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:

- concentrazione di polveri:  $\leq 50 \text{ mg/Nmc}$ ;
- concentrazione di PCDD/F:  $\leq 0,4 \text{ ng TEQ/Nmc}$

Le prestazioni raggiungibili nei reflui, eventualmente scaricati dal sistema di trattamento acque, sono le seguenti:

- Concentrazione di TOC:  $\leq 20 \text{ mg C/l}$
- Concentrazione di metalli pesanti:  $\leq 0,1 \text{ mg/l}$   
(Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)

L'applicazione di sistemi di abbattimento ad umido per la depolverazione dei fumi di agglomerazione è una tecnica raramente applicata, ed è limitata a impianti di minore capacità e con volumi ridotti di fumi da trattare. Inoltre il sistema di abbattimento ad umido determina un significativo aumento dei consumi di energia e dà origine a dei reflui che richiedono un loro trattamento con un impatto ambientale aggiuntivo.

- Ricircolo dei fumi di processo sulla macchina di agglomerazione se la qualità dell'agglomerato prodotto e la produttività dell'impianto non vengono influenzate.  
In linea di principio i fumi di agglomerazione, dopo depolverazione possono essere parzialmente riciclati sulla macchina di agglomerazione ed in parte evacuati in atmosfera. Il riciclo potrebbe avvenire anche per settori. I fumi riciclati in pratica vanno a sostituire parte dell'aria che attraversa il letto di agglomerazione, con l'effetto di ridurre i volumi di fumi scaricati in atmosfera (riduzione di ca. 40-50%) e di determinare conseguentemente un beneficio sul flusso di massa degli inquinanti emessi (polveri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ecc...).

Tale tecnica potrebbe anche essere considerata una forma di recupero energetico, considerando comunque che l'entità del recupero è contrastata dai maggiori consumi necessari per il riciclo dei fumi.

Il ricircolo dei fumi di processo può essere adottato su nuovi impianti dove, in fase progettuale, potrebbe essere possibile:

- superare i problemi di lay-out;
- ottimizzare il sistema di recupero in modo da rendere apprezzabile l'entità del recupero energetico;
- adottare le più idonee misure di contenimento atte a limitare la possibile dispersione di fumi contenenti monossido di carbonio nell'ambiente di lavoro con rischi di avvelenamento del personale addetto, cosa che invece non è possibile assicurare nel caso di impianti esistenti;
- contenere i costi realizzativi che per un sistema di tale tipo risulterebbero proibitivi in particolar modo per gli impianti esistenti.

- Riduzione del contenuto di idrocarburi volatili nella miscela di agglomerazione evitando l'uso di antracite ed utilizzando solo carbon coke come combustibile nel processo di sinterizzazione, nonché dosando il contenuto di polveri e scaglie oleose riciclate nella miscela di agglomerazione. Inoltre una riduzione del contenuto di idrocarburi nelle scaglie di laminazione potrebbe essere ottenuto attraverso un'accurata manutenzione delle tenute, guarnizioni, pompe, ecc... degli impianti di laminazione.

Tecniche di deolazione delle scaglie di laminazione che in linea di principio può essere il riscaldamento delle scaglie a ca. 800°C in modo da consentire la vaporizzazione degli idrocarburi oppure il lavaggio delle scaglie con solventi, in modo da avere un contenuto di idrocarburi  $< 0,1\%$ , non sono presenti nell'industria europea ed inoltre determinerebbero impatti ambientali aggiuntivi sia in relazione alla vaporizzazione degli idrocarburi che alla necessità trattamento e/o smaltimento dei solventi esausti.

- Adozione di una delle seguenti tecniche per la limitazione delle emissioni di SO<sub>2</sub> presenti nei fumi di processo:

- utilizzo di minerali di ferro e coke con un ridotto contenuto di zolfo.

Le emissioni convogliate in atmosfera raggiungibili in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di SO<sub>2</sub>:  $\leq 500$  mg/Nmc

Questa tecnica è integrata con il processo e risolve il problema all'origine.

- desolforazione ad umido dei fumi nel caso di utilizzo di materiali ad elevato contenuto di zolfo. In particolare si ha che i fumi dopo raffreddamento sono inviati in una torre di lavaggio con una soluzione acquosa di calcio o magnesio. La reazione di questi composti con l' SO<sub>2</sub> da origine a gesso (CaSO<sub>4</sub>) o solfato di magnesio (MgSO<sub>4</sub>) estratti dalla torre come torbida; a sua volta, questa deve essere trattata, dando origine a delle acque (in parte riciclate ed in parte scaricate) e ad un prodotto solido che in linea generale potrebbe essere venduto, ma che per le situazioni di mercato in genere è destinato allo smaltimento in discarica.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di SO<sub>2</sub>:  $\leq 100$  mg/Nmc

Questa tecnica presenta notevoli problemi rispetto alla precedente in quanto:

- non è un sistema integrato con il processo;
- difficile installazione negli stabilimenti esistenti per problemi di lay-out;
- ha un elevato costo di installazione;
- determina problemi ambientali aggiuntivi per la produzione di reflui liquidi e residui solidi;
- è una tecnica raramente applicata.

- Riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> per esempio tramite la denitrificazione dei fumi con sistema SCR (Selective Catalytic Reduction) o sistema RAC (Regenerative Activated Carbon). Sia nel sistema SCR che nel sistema RAC gli NO<sub>x</sub> vengono ridotti cataliticamente, per mezzo di ammoniaca (NH<sub>3</sub>), in N<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O. Nel sistema SCR il catalizzatore può essere pentossido di vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) o ossido di tungsteno supportato su ossido di titanio (TiO<sub>2</sub>), oppure anche ossido di ferro e platino. Nel sistema RAC viene invece utilizzato carbone attivato e consente anche la riduzione di altri inquinanti tra cui principalmente SO<sub>2</sub>.

Queste tecniche sono raramente applicate sugli impianti di agglomerazione ed inoltre presentano notevoli problemi in quanto:

- non sono sistemi integrati col processo;
- si ha un aumento dei consumi energetici, in quanto i fumi, per consentire le operazioni di conversione degli ossidi di azoto, devono essere riscaldati ad una temperatura di 300-400°C per il sistema SCR;
- il trasporto e lo stoccaggio dell'ammoniaca introduce rischi aggiuntivi dal punto di vista ambientale e per la sicurezza;
- è necessario sostituire periodicamente il catalizzatore con evidenti riflessi sotto il profilo ambientale ed economico;
- sul catalizzatore viene a formarsi il nitrato di ammonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) che ha caratteristiche esplosive e determina, unitamente al particolato, un decadimento dell'efficienza di conversione;
- l'ammoniaca in eccesso trascinata dal reattore può reagire con gli ossidi di zolfo contenuti nei fumi di processo, portando alla formazione di particelle di solfato o bisolfato di ammonio, che possono provocare fouling, erosione e corrosione delle superfici degli impianti;
- l'installazione è difficoltosa per problemi di lay-out;
- i costi di installazione ed esercizio sono molto elevati.

### 3. Raffreddamento e trattamento agglomerato

- Recupero del calore sensibile dei fumi derivanti dal raffreddamento agglomerato. Il calore recuperato può essere utilizzato, a seconda delle necessità e possibilità impiantistiche, per la produzione di vapore, oppure per il preriscaldamento dell'aria comburente nel fornello di accensione, oppure per il preriscaldamento dei materiali. Nel caso di produzione di vapore, i fumi caldi captati nella zona di ingresso nel raffreddatore rotante, vengono depolverati in separatori ciclonici e quindi inviati in una caldaia per la produzione di vapore. In uscita dalla caldaia, i fumi a più bassa temperatura, in parte vengono riciclati ed in parte sono convogliati in atmosfera.

Il ricircolo dei fumi di processo può essere adottato su nuovi impianti dove, in fase progettuale, potrebbe essere possibile:

- superare i problemi di lay-out;
- ottimizzare il sistema di recupero in modo da rendere apprezzabile l'entità di risparmio energetico;
- contenere i costi realizzativi che per un sistema di tale tipo sono in genere molto elevati.

- Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che possono generarsi durante la frantumazione e vagliatura dell'agglomerato con relativa depolverazione mediante elettrofiltro.

Possono essere adottati, a seconda delle necessità e delle condizioni di lay-out impiantistici, sistemi di captazione e depolverazione centralizzati che possano asservire sia la suddetta fase di processo che quella di miscelazione dei materiali in carica.

#### 4. Gestione dei residui

Per quanto possibile dovrebbe essere adottata:

- la minimizzazione della produzione dei rifiuti;
- il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili tra cui principalmente le polveri derivanti dalle depolverazioni a secco, i residui contenenti ferro e carbonio come ad esempio polverino d'altoforno, fanghi dai sistemi di trattamento ad umido, scaglie di laminazione, ecc...
- lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.

### 4.2.3 Altoforno

Per la produzione della ghisa in altoforno, i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

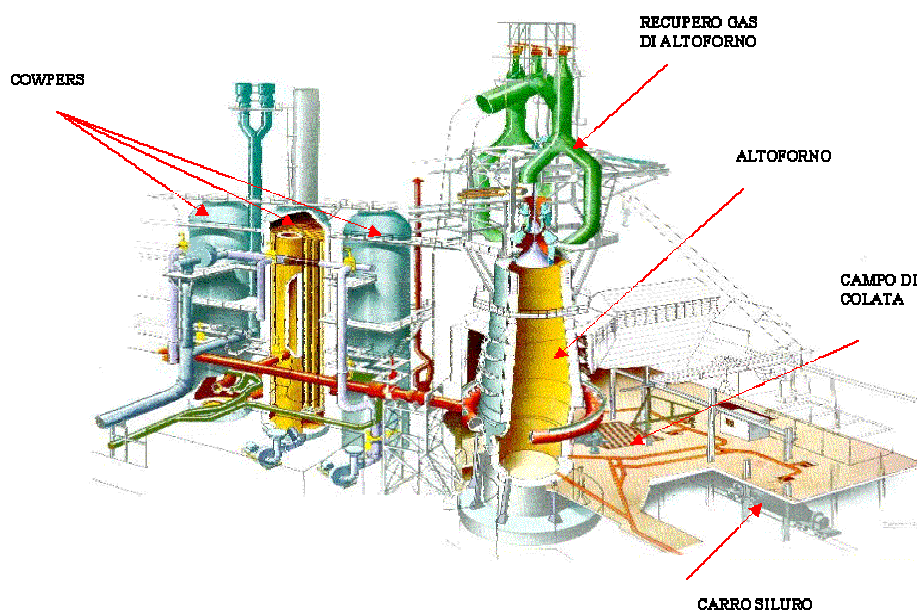
- il trattamento ed il recupero del gas di altoforno;
- la captazione e abbattimento delle emissioni nel colaggio dei prodotti fusi.

#### A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)

Il processo di produzione della ghisa in altoforno comprende le seguenti fasi:

1. *caricamento materiali;*
2. *generazione del vento caldo;*
3. *processo di riduzione in altoforno;*
4. *colaggio ghisa e loppa;*
5. *trattamento loppa.*

Per ciascuna delle suddette fasi vengono di seguito descritte le attività svolte e le principali componenti di natura ambientale su cui applicare le B.A.T. ai fini della prevenzione integrata dall'inquinamento.



#### 1. Caricamento materiali

I materiali costituenti la carica dell'altoforno sono il coke, i fondenti ed i materiali ferriferi, questi ultimi in forma di minerale agglomerato e/o in pezzatura (pellets e calibrati). Detti materiali, provengono dai rispettivi impianti produttivi e/o dallo stoccaggio in cumuli, sono stati insilati in una stock-house al servizio dell'altoforno e dopo vagliatura per la scelta della frazione granulometrica idonea, vengono, dopo pesatura, inviati in altoforno per il caricamento dall'alto.

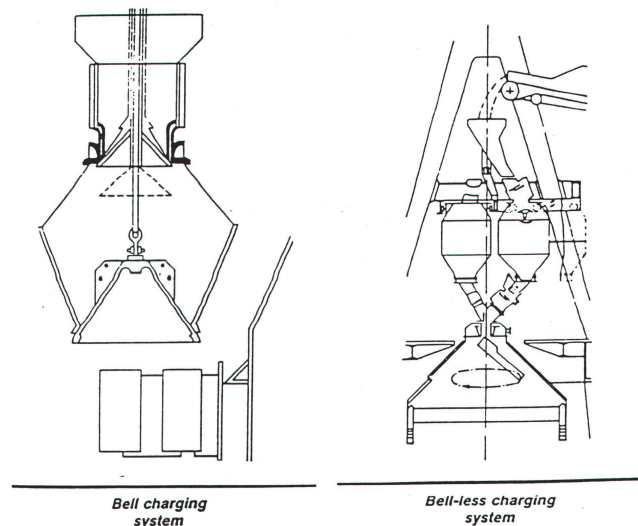
Il coke in altoforno assolve a diverse funzioni, tra le quali:

- fornisce il calore necessario alla fusione dei minerali;

- fornisce il gas riducente necessario alla trasformazione degli ossidi di ferro in ferro metallico;
- fornisce il carbonio necessario alla carburazione della ghisa e per la riduzione di alcuni elementi di lega;
- sostiene la carica fino alla parte bassa dell'altoforno, essendo l'unico materiale che non fonde.

L'agglomerato e i minerali di ferro in pezzatura sono i portatori del ferro: dallo stato di ossidi essi vengono trasformati dall'azione del gas riducente; i fondenti, invece, hanno il compito di rendere fusibili le impurità (ganga) contenute nei minerali di ferro e che vanno a costituire la cosiddetta loppa di altoforno.

Con l'adozione di sistemi di caricamento a tenuta con campane o con tramogge, la quantità di gas di altoforno e particolato che può essere emesso durante l'operazione di caricamento, viene limitata alla sola quantità relativa alla depressurizzazione del volume del vano di carica.



Sistema di caricamento in altoforno

In normali condizioni di funzionamento, le principali emissioni in atmosfera presenti nella fase di caricamento sono quelle che si manifestano nella vagliatura dei materiali alla stock-house.

## 2. Generazione del vento caldo.

Per i processi che avvengono in altoforno è necessaria l'iniezione di aria calda (vento caldo) tramite apposite tubiere.

L'ossigeno contenuto nel vento caldo (quello presente nell'aria ambiente con eventuale arricchimento esterno) ed il carbonio del coke reagiscono tra loro dando origine al gas riducente, ricco in ossido di carbonio, che investe in fase ascensionale la carica ed esercita l'azione riducente nei confronti degli ossidi di ferro presenti nei minerali.

La generazione del vento caldo avviene attraverso l'utilizzo dei cosiddetti "cowpers" a combustione interna o a combustione esterna; per ogni altoforno sono necessari dai tre ai quattro cowpers.



Vista cowpers altoforno

I cowpers vengono riscaldati attraverso la combustione del gas di altoforno, arricchito con gas di cokeria o gas metano; il calore generato nella combustione determina il riscaldamento di un impilaggio di mattoni refrattari, sino a raggiungere nella camera una temperatura di circa  $100\div 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A questo punto la combustione nel cowper viene interrotta e nella camera viene soffiata aria in controcorrente; il calore accumulato dall'impilaggio di mattoni refrattari si trasferisce all'aria riscaldandola sino ad una temperatura compresa tra  $900\div 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Il processo continua fino a che la camera non può più produrre vento a temperatura idonea, dopodiché viene interrotto il passaggio dell'aria ed effettuato un nuovo ciclo di riscaldamento.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano, in normali condizioni, durante la fase di generazione del vento caldo sono quelle dei prodotti di combustione del gas di altoforno, arricchito con gas di cokeria o con gas metano; in particolare gli  $\text{NO}_x$ , per via delle alte temperature.

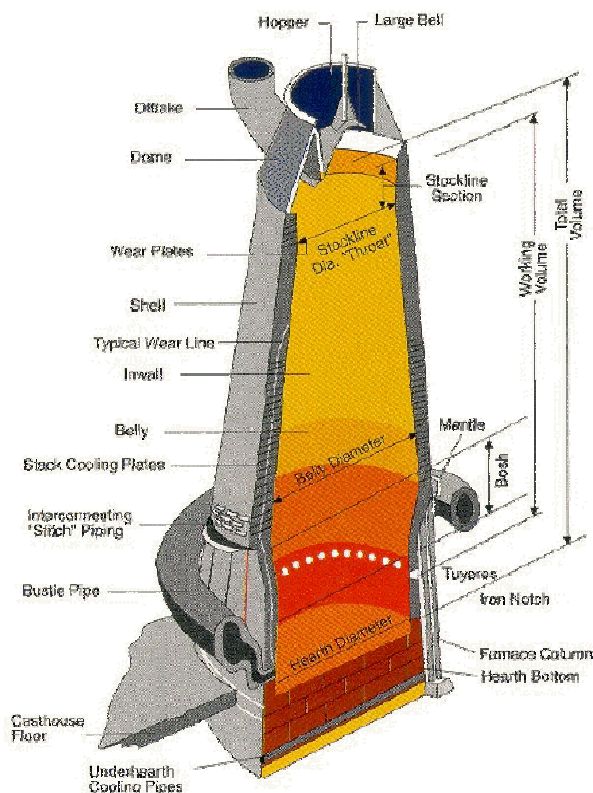
### 3. Processo di riduzione in altoforno

L'altoforno è costituito da una corazza esterna d'acciaio rivestita all'interno da mattoni refrattari con particolari caratteristiche chimico-fisiche atte a resistere alle elevate temperature e raffreddato con acqua nelle zone termicamente più sollecitate.

La temperatura varia da zona a zona: è massima (ca. 2000 °C) nella zona in cui il vento caldo viene insufflato alle tubiere e dove si ha la combustione del coke e degli altri agenti riducenti, ed è più bassa nella parte alta del forno dove viene introdotta la carica (ca. 100 – 300 °C): nel crogiolo dove si raccolgono la ghisa e la loppa allo stato fuso, si hanno temperature di ca. 1600°C.

L'altoforno è un forno a tino costituito da due tratti troncoconici (“tino” la parte superiore e “sacca” la parte inferiore) uniti in corrispondenza della loro base maggiore da una zona cilindrica (ventre).

Il materiale grezzo, che costituisce la carica del forno, viene introdotto dalla parte alta della struttura (bocca).



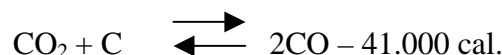
Vista in sezione di un altoforno

Immediatamente al di sotto della sacca si trova una parte cilindrica detta “crogiolo”, la quale ha la funzione di raccogliere la ghisa prodotta insieme alla scoria (loppa di altoforno).

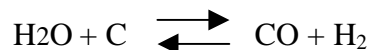
La carica, costituita dal letto di fusione (carica ferriera e fondenti) e da coke, viene introdotta dalla bocca a strati alterni e discende lentamente lungo il tino, permeata in controcorrente da gas caldi riducenti costituiti principalmente da CO, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>. Il gas si origina nella parte bassa del forno per effetto della combustione del carbonio del coke e degli agenti riducenti con l'ossigeno del vento, secondo la seguente reazione:



La CO<sub>2</sub>, in presenza di carbonio in eccesso, reagisce dando origine al CO secondo la seguente reazione di equilibrio:



L'umidità contenuta nell'aria soffiata a livello tubiere ("vento caldo" prodotto dai cowpers) si dissocia secondo la seguente reazione:



L'ossido di carbonio (CO) così formatosi nella zona di combustione, tende a salire attraverso la carica solida ed entra in contatto con il minerale esercitando l'azione di riduzione degli ossidi di ferro. La parte ridotta (Fe) fonde e si deposita nel crogiolo dove avviene la carburazione (soluzione del carbonio nella massa fusa) dando origine alla ghisa. La calcinazione del fondente presente nella carica dà origine ad ossido di calcio che insieme alla ganga dei minerali e alle ceneri del coke formano la loppa di altoforno. Questa fonde nella zona a più elevata temperatura del forno e si raccoglie nel crogiolo, in uno strato galleggiante sul bagno di ghisa fusa. Oltre alla neutralizzazione della componente acida dei minerali, la loppa consente l'assorbimento dello zolfo e di altre impurezze contenute nella carica ed indesiderate nella ghisa.



Vista di altoforni

Il gas di altoforno esercita l'azione riducente nel suo moto ascensionale attraverso la carica, si raccoglie nella parte alta del forno, da dove viene convogliato al sistema di depurazione. Il gas d'altoforno è principalmente costituito da ca. 20÷28 % di CO, ca. 1÷5% di H<sub>2</sub>, ca. 50÷55% di N<sub>2</sub> e ca. 17÷25% di CO<sub>2</sub>.

Tale gas per le sue caratteristiche energetiche viene recuperato e dopo depurazione utilizzato tal quale, o arricchito con gas di cokeria o gas metano nelle varie utenze termiche. Emissioni in

atmosfera a carattere transitorio possono derivare dai cappelli di sicurezza posti sulla sommità dell'altoforno per consentire di scaricare le eventuali sovrappressioni che possono determinarsi all'interno del forno.

Dai sistemi di trattamento ad umido del gas di altoforno derivano inoltre dei reflui contenenti prevalentemente solidi sospesi (come carbone e metalli pesanti), composti dei cianuri, ecc.

#### 4. Colaggio ghisa e loppa

All'interno del crogiolo dell' altoforno si raccolgono, allo stato liquido, la ghisa e la scoria (*loppa*), quest'ultima stratificata sul bagno di ghisa fusa per effetto del differente peso specifico.

Periodicamente, la ghisa e la loppa vengono evacuate attraverso dei fori di colata situati lateralmente al crogiolo e chiusi con una massa refrattaria. All'apertura, mediante un martello pneumatico, i prodotti fusi fluiscono in un canale (*rigolone*) rivestito di materiale refrattario. La colata inizia con la fuoriuscita della ghisa, mentre verso la fine si ha la fuoriuscita sia della ghisa che della loppa; questa continua a stratificarsi sopra il bagno di ghisa e sfruttando proprio l'azione dei due diversi pesi specifici, con l'azione di una barriera immersa nel rigolone si ha la separazione della ghisa dalla loppa che si incanalano rispettivamente nella rigola ghisa e nella rigola loppa, che sono anch'essi dei canali rivestiti di materiale refrattario. Il tratto terminale della rigola ghisa è costituito dal sistema di caricamento (*tilting*) dei carri siluro.

I carri siluro sono dei contenitori a forma allungata rivestiti internamente di materiale refrattario, movimentati attraverso carri ferroviari, all'interno dei quali viene colata la ghisa fusa per il trasferimento in acciaieria.



Carri siluro

Periodicamente occorre verificare lo stato del rivestimento, per l'eventuale ripristino o rifacimento; ciò richiede che vengano eliminati gli eventuali residui depositatisi all'interno del carro; l'evacuazione è effettuata allo stato fuso (*sgrondo*) per rotazione quasi totale del carro siluro in modo da riversare il contenuto in una vasca e raffreddarlo con spruzzaggio di acqua.

In caso di necessità e/o per sopperire ad eventuali scompensi tra la produzione dell'altoforno e quella dell'acciaieria, la ghisa contenuta nei carri siluro può essere sottoposta a trattamento di solidificazione (granulazione, produzione di pani di ghisa o colaggio in campo di emergenza).

La granulazione della ghisa viene effettuato in vasca con spruzzaggio di acqua; l'evaporazione di quest'ultima può trascinare con sé del polverino, effetto che viene contenuto mediante irrorazione di acqua aggiuntiva nella vasca di granulazione.

La produzione di pani di ghisa avviene in apposita macchina a colare dove la ghisa viene solidificata in forme raffreddate con acqua.

In via eccezionale la ghisa può essere colata in un campo di emergenza, in tal caso il raffreddamento avviene per via naturale.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante le operazioni descritte, sono emissioni di particolato: In media le emissioni non abbattute sono nell'intervallo 400-1500 g/t di ghisa prodotta. Queste emissioni si generano principalmente dal contatto tra il metallo caldo e le scorie con l'ossigeno dell'ambiente.

## **5. Trattamento loppa**

La loppa prodotta nel processo di riduzione dei minerali di ferro e che fuoriesce dall'altoforno allo stato fuso deve essere raffreddata.

Il sistema di raffreddamento utilizzato in ambito nazionale è quello della granulazione mediante spruzzaggio di acqua di mare o di acqua dolce ad alta pressione.

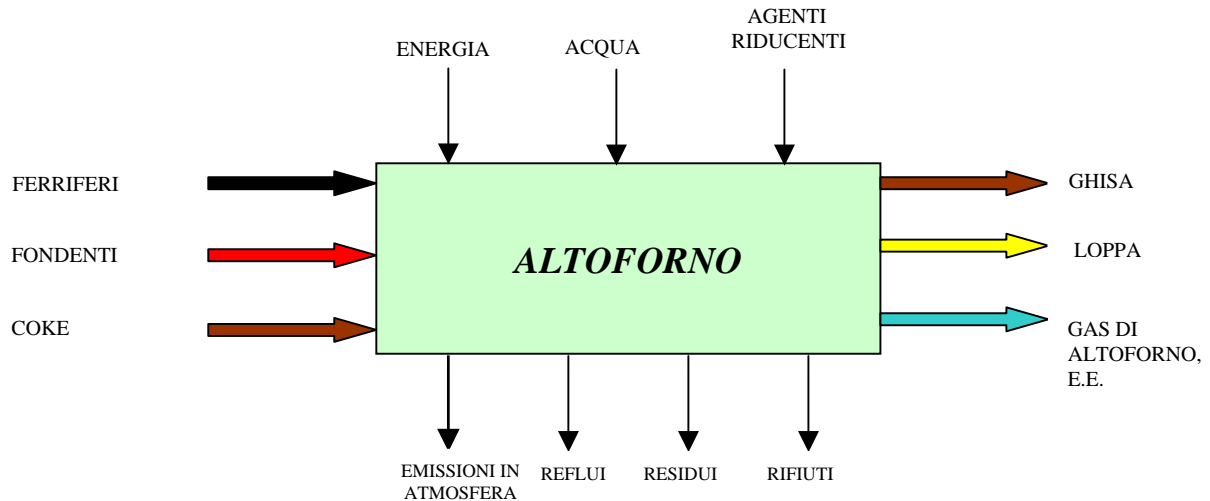
L'operazione può avvenire in bacino aperto o in bacino chiuso. In entrambi la loppa fusa viene convogliata, attraverso la rigola loppa, alla testa di granulazione in cui un forte getto di acqua permette il suo raffreddamento e nello stesso tempo dà origine a granuli di loppa che vengono trascinati insieme all'acqua utilizzata nel processo. Durante la granulazione si genera del vapore acqueo, contenente una limitata quantità di composti solforati, che viene emesso in atmosfera.

La separazione dell'acqua dalla loppa, nel sistema a bacino aperto, avviene in un letto drenante che consente il filtraggio e lo scarico dell'acqua, ed trattiene in superficie la loppa; in bacino chiuso la miscela di acqua e loppa può essere inviata ad un sistema di separazione acqua-loppa di tipo statico con sili drenanti, oppure può essere inviata ad un sistema dinamico di separazione a tamburo rotante (processo INBA), dove la loppa separata viene evacuata a mezzo nastro trasportatore.

La loppa granulata così prodotta, che ha una umidità residua di ca. il 10%, viene stoccata in cumuli per essere poi destinata al riutilizzo (cementerie, costruzione di strade, ecc....). Nel caso di granulazione con acqua dolce si ha un sistema a riciclo, con reintegro dell'acqua persa per evaporazione; mentre nel caso di utilizzo di acqua di mare si ha un sistema aperto in cui l'acqua separata dalla loppa viene filtrata e scaricata dal sistema di drenaggio.

## Bilancio complessivo di materia ed energia

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dall'altoforno è sinteticamente di seguito rappresentato:



I residui solidi determinati nelle fasi del processo di produzione descritto sono in larga misura recuperati con operazioni di riciclo; la loppa prodotta nel normale esercizio degli impianti viene riutilizzata nell'industria del cemento, per la costruzione di strade, ecc.; i fanghi derivanti dai sistemi di depurazione ad umido e dalle polveri raccolte dai sistemi di depurazione a secco vengono in gran parte riciclati negli impianti di agglomerazione e/o bricchettaggio. Altri residui di natura ferrosa, come rottame, spuntature, crostoni, ecc. sono riciclati in acciaieria; in pratica, sono soprattutto i rifiuti derivanti da attività di manutenzione, come i refrattari non riciclabili, ad essere indirizzati allo smaltimento in discarica.

## **B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

### **1. Caricamento materiali**

- Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri durante la vagliatura dei materiali nella stock-house e successivo trattamento con sistemi di abbattimento ad umido o a secco (filtri a tessuto). Nel caso di depolverazione con sistemi ad umido, il trattamento delle acque reflue può essere effettuato congiuntamente con il trattamento delle acque derivanti dalla depurazione ad umido del gas di altoforno.

### **2. Generazione del vento caldo.**

La produzione di vento caldo a mezzo di cowpers avviene con la combustione di gas d'altoforno, spesso arricchito; le emissioni raggiungibili nei fumi di combustione, in condizioni normali, sono:

- concentrazione di polveri :  $\leq 10 \text{ mg/Nmc (3\% O}_2\text{)}$
- concentrazione di NO<sub>x</sub> :  $\leq 350 \text{ mg/Nmc (3\% O}_2\text{)}$

A riguardo, si possono adottare vari sistemi per ottimizzare l'efficienza energetica:

- Recupero del calore sensibile dei fumi con preriscaldamento dell'aria comburente e/o del combustibile, ove possibile.  
Tale tecnica non è economicamente e tecnicamente applicabile, generale, sugli impianti esistenti, se la temperatura dei fumi è troppo bassa ( $< 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Il preriscaldamento dell'aria e/o del combustibile alimentato ai cowper determina in ogni caso un aumento della formazione di NO<sub>x</sub>.
- Miglioramento del processo di combustione; può essere vantaggioso, ove possibile, l'impiego di idonei bruciatori ed il controllo del processo di riscaldamento.

### **3. Processo di riduzione in altoforno**

- Iniezione diretta di agenti riducenti in altoforno. In particolare l'iniezione di idrocarburi, come ad esempio carbon fossile polverizzato o granulare, olio combustibile, residui oleosi, catrame, residui plastici o gas naturale, permette la sostituzione di parte del coke utilizzato in altoforno, con conseguente effetto di riduzione delle emissioni e dei consumi energetici associati alla produzione di coke.

L'agente riducente maggiormente utilizzato, ed iniettato a livello tubiere, è il carbon fossile polverizzato, opportunamente preparato attraverso processi di macinazione ed essiccamento (P.C.I. – Powdered Coal Injection).

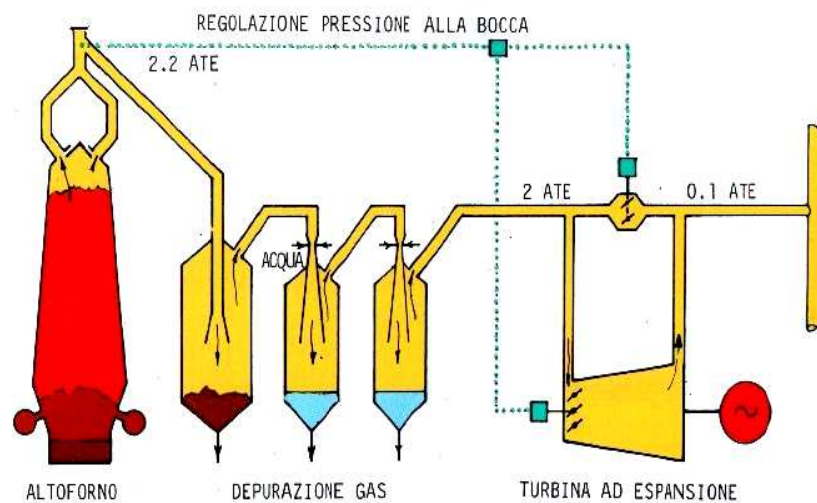
Il coke è un componente insostituibile nel processo di produzione della ghisa in altoforno, per cui la sua parziale sostituzione con agenti riducenti non può essere eccessivamente spinta e comunque non può superare determinati livelli.

Il livello provato di iniezione di carbon fossile polverizzato in altoforno è di 180 Kg/t ghisa; tuttavia è da tenere presente che tale livello di iniezione è strettamente legato alla marcia dell'altoforno, alla stabilità del processo, alla qualità dei materiali alimentati, nonché alla qualità della ghisa e della loppa prodotti.



Sistema P.C.I.(Powdered Coal Injection)

- Recupero del gas di altoforno (Bfgas); un apposito sistema di collettori di raccolta posizionati nella parte alta, in prossimità della bocca, con relativo sistema di sicurezza per le eventuali sovrappressioni che possono verificarsi all'interno dell'altoforno, consente di convogliare verso la depurazione e poi allo stoccaggio un gas che contiene un 20-28 % di ossido di carbonio (CO) ed 1-5 % di idrogeno. Anche se il contenuto energetico del Bfgas è relativamente basso ( $2,7-4,0 \text{ MJ/Nm}^3$ ) ed il suo impiego come combustibile prevede un arricchimento con gas di cokeria o gas naturale, il recupero energetico è molto significativo, per le alte quantità in gioco ( $1200-2000 \text{ Nm}^3/\text{t}$  di ghisa) e può aggirarsi sui  $5 \text{ GJ/t}$  di ghisa.
  - Depolverazione del gas di altoforno recuperato, mediante un preabbattimento delle polveri grossolane con sistema di separazione a secco (*sacca a polvere*) e successivo trattamento di depurazione ad umido o, più raramente, con elettrofiltri.
  - Adozione di un sistema di recupero energetico della pressione di bocca dell'altoforno mediante turbina ad espansione collegata a un turboalternatore per la produzione di energia elettrica.  
Questa tecnica può essere applicata su nuovi altoforni, che operano con un'elevata pressione di bocca (2-2,5 bar) e con sistemi di depurazione gas opportunamente dimensionati con una ridotta perdita di carico. Su impianti esistenti non sempre sussistono i suddetti prerequisiti e quelli di realizzabilità (disponibilità del lay-out, vantaggio del recupero, ecc...).
- Negli impianti moderni si fa particolare attenzione anche alla caduta di pressione lungo tutto il sistema di depurazione, poiché essa determina l'efficienza del recupero energetico dalla pressione del gas.



*Schema di flusso sistema di recupero e trattamento del gas di altoforno con preabbattitore a secco e venturi ad umido*

- Trattamento delle acque reflue derivanti dalla depurazione ad umido del Bfgas; con:
    - riciclo, per quanto possibile, delle acque trattate;
    - coagulazione e sedimentazione dei solidi sospesi; le prestazioni raggiungibili in condizioni normali, sono le seguenti:
      - concentrazione di solidi sospesi dopo trattamento :  $\leq 50$  mg/l (media giornaliera);  
:  $\leq 20$  mg/l (media annuale).
    - Riciclaggio, per quanto possibile, all'impianto di agglomerazione dei fanghi precipitati e trattamento della parte non direttamente riciclabile; questi fanghi sono caratterizzati da presenza di zinco, che è di ostacolo al processo in altoforno. Se la parte di fanghi non riciclabile ha una distribuzione granulometrica tale da permettere una separazione rappresentativa delle particelle fini (più ricche in zinco) da quelle più grossolane (più povere di zinco), può essere operata l'idrociclonatura dei fanghi. La frazione più grossolana può quindi essere avviata a riciclo mentre la frazione fine viene inviata in discarica.
- Per la tipologia di fanghi prodotti non sempre è adottabile il processo di idrociclonatura in quanto non si otterrebbe un ragionevole e vantaggioso effetto di separazione e quindi un significativo incremento delle quantità di fanghi da poter riciclare.

#### 4. Colaggio ghisa e loppa

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni che si generano dalle operazioni di colaggio della ghisa e della loppa e loro relativa depolverazione mediante filtro a tessuto o elettrofiltro.

Le prestazioni raggiungibili dopo depolverazione in condizioni normali, sono le seguenti:

- concentrazione di polveri :  $1 \div 15$  mg/Nmc.
- Riduzione delle emissioni durante la colata nelle rigole. Si può raggiungere questo obiettivo con le seguenti attività:
  - adozione di materiale refrattario non legato con catrame, per il rivestimento delle rigole;
  - copertura delle rigole; questa tecnica può essere adottata laddove la tipologia di ghisa prodotta lo consenta; infatti per alcune campagne di ghisa caratterizzate da maggiore viscosità (con conseguente difficoltà di deflusso nelle rigole), si rende necessario disporre di canali aperti per poter intervenire meccanicamente al fine di agevolare il deflusso del materiale.
  - adozione di un sistema di inertizzazione dei prodotti fusi con azoto per la riduzione della formazione dei fumi durante le operazioni di colaggio, in alternativa alla installazione di sistemi di captazione e depolverazione, nel caso in cui il design dell'impianto permetta la sua adozione e se vi è una sufficiente disponibilità di azoto. La captazione e depolverazione delle emissioni dal foro di colata resta comunque necessaria. L'insufflaggio di azoto, che si diffonde nell'ambiente di lavoro, può determinare problemi di sicurezza per il personale (asfissia), per cui l'eventuale adozione di tale tecnica necessita di misure aggiuntive tese ad assicurare un'adeguata ventilazione degli ambienti di lavoro ed il loro monitoraggio.

## 5. Trattamento loppa

- Adozione di un sistema di granulazione della loppa, con raffreddamento ad acqua di mare se a circuito aperto o ad acqua dolce con relativo riciclo.
- Condensazione dei vapori di granulazione della loppa, nel caso vi siano problemi di odori (da H<sub>2</sub>S o SO<sub>2</sub>).

La tecnica è applicabile soprattutto nella realizzazione di nuovi altoforni; negli stabilimenti esistenti problemi di lay-out, di compatibilità con l'impiantistica esistente ed elevati costi di realizzazione, rendono in genere impraticabile la realizzazione dell'intervento, i cui benefici devono essere valutati anche in relazione ai consumi energetici richiesti dal circuito dell'acqua ed alle emissioni conseguenti alla produzione di energia.

## 6. Gestione dei residui

Per i rifiuti solidi, le seguenti tecniche sono considerate BAT:

- la minimizzazione della produzione di rifiuti;
- il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili, tra cui principalmente le polveri derivanti dalle depolverazioni a secco, i fanghi derivanti dai sistemi di abbattimento ad umido, ecc...,tal quali e/o tramite bricchettaggio; il riutilizzo della loppa (ad es.: in cementeria, per la costruzione di strade, ecc...);
- lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.

### 4.2.4 Acciaieria ad ossigeno e Colata Continua

Per le acciaierie ad ossigeno e le colate continue i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- il trattamento ed il recupero del gas di acciaieria;
- la captazione e abbattimento delle emissioni secondarie.

#### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)**

La tecnologia più diffusa per il trattamento della ghisa fusa è la tecnica BOS (Basic Oxygen Steelmaking), un processo di affinazione in convertitori ad ossigeno che comprende le seguenti fasi:

1. *trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione);*
2. *affinazione della ghisa;*
3. *trattamento metallurgico secondario dell'acciaio;*
4. *colaggio acciaio.*

Per ciascuna delle suddette fasi vengono di seguito descritte le attività svolte e le principali componenti di natura ambientale su cui applicare le B.A.T. ai fini della prevenzione integrata dall'inquinamento.

##### **1. Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione)**

La ghisa fusa prodotta dagli altoforni viene trasferita in acciaieria a mezzo di carri siluro movimentati con locomotori ferroviari (4.2.3. punto 4).

In acciaieria, il versamento della ghisa dai carri siluro viene effettuato posizionando una siviera ghisa in zona sottostante al carro ed effettuando una rotazione di quest'ultimo attorno all'asse longitudinale.

La ghisa, in arrivo dall'altoforno, può contenere delle impurezze la cui presenza è controindicata per la produzione di acciai dai requisiti qualitativi particolarmente severi. Pertanto, prima del caricamento nel convertitore ad ossigeno, possono rendersi necessari degli opportuni pretrattamenti, come la desolforazione, la defosforazione, la desilicizzazione; di questi il più diffuso è la desolforazione, effettuata per regolare nella ghisa il contenuto in zolfo.

La desolforazione avviene mediante l'iniezione nel bagno di ghisa fusa di agenti desolforanti (carburo di calcio, soda, calce, ecc...) che sono essenzialmente dei composti basici ai quali lo zolfo si lega, trasferendosi dalla ghisa nella scoria.

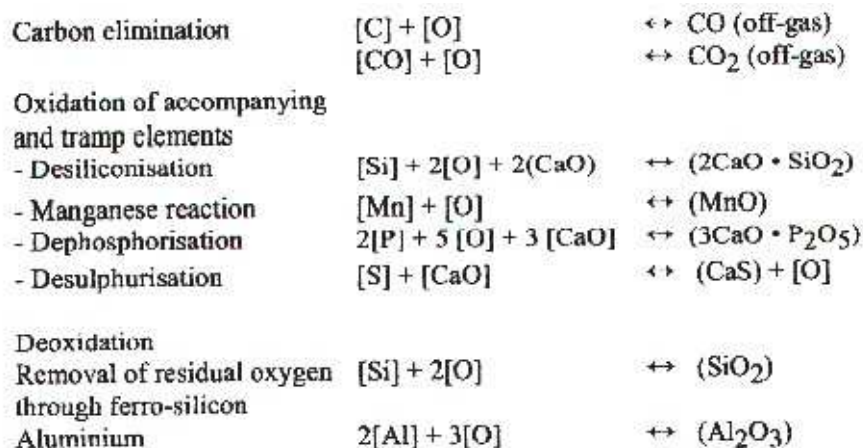
La scoria si stratifica sul bagno di ghisa fusa per effetto del minor peso specifico e deve essere eliminata per evitare il ritorno dello zolfo durante l'operazione di affinazione. L'operazione di "scorifica" viene effettuata in apposita postazione mediante l'ausilio di un raspo.

Dopo la raspatura la siviera di ghisa fusa viene inviata al convertitore per la fase di carica.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano, in normali condizioni, durante il processo di desolforazione e le successive fasi di separazione e pesatura delle scorie, sono emissioni di particolato, presenti fino a 10.000 mg/Nm<sup>3</sup>.

##### **2. Affinazione della ghisa.**

L'affinazione della ghisa avviene nel convertitore, dove per azione dell'ossigeno si ha l'ossidazione del carbonio (approssimativamente dal 4% a meno dell'1%) e di altri composti indesiderati che si trasferiscono nella scoria. Le principali reazioni che hanno luogo durante il processo di affinazione sono le seguenti:



Notes: [ ] solute in the iron  
( ) contained in the slag

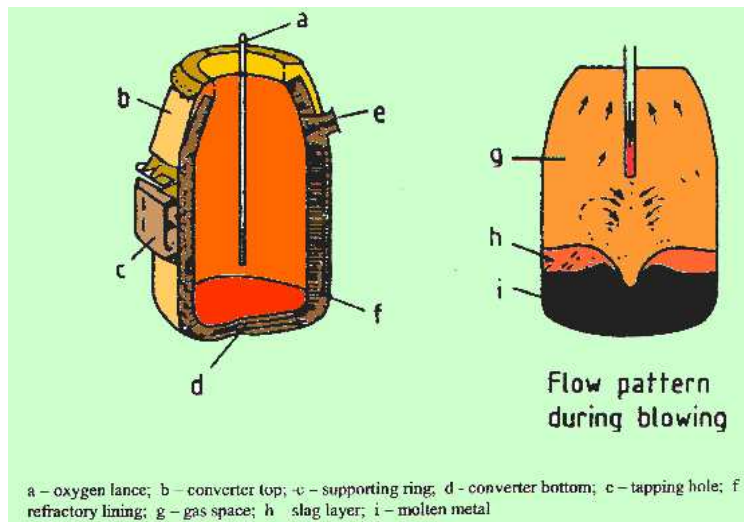
La reazione del carbonio (decarburazione) è quella di maggiore importanza; essa avviene con sviluppo di gas (principalmente monossido di carbonio), che determina agitazione del metallo e rimescolamento della scoria. Il contenuto di ossigeno nel corso dell'affinazione è in larga misura controllato da questa reazione, che indirettamente influisce così su altre reazioni e sui parametri di processo dipendenti dallo stato di ossidazione. La durata dell'affinazione dipende quindi dal tempo necessario alla riduzione del tenore di carbonio da un determinato livello iniziale al livello finale desiderato.

I processi di affinazione ad ossigeno impiegano una carica composta per il 70 ÷ 90 % di ghisa liquida e il rimanente da rottame di ferro e materiale ferriero. Essi consentono anche di arrestare la decarburazione a livelli medi ed elevati di carbonio, e quindi la produzione di acciai duri e semiduri.

I principali processi di conversione ad ossigeno sono il processo L.D. (Linz-Donawitz) ed il processo O.B.M. (Oxygen-Boden-Maxhuette).

Il processo L.D. è realizzato in un convertitore a fondo chiuso, rivestito internamente di materiale refrattario, dove viene introdotta la carica (rottame e ghisa fusa) mantenendo il convertitore in posizione inclinata. Al termine della carica, il convertitore viene raddrizzato e con l'introduzione della lancia per il soffiaggio dell'ossigeno inizia il processo di affinazione; la lancia è mantenuta ad una certa altezza rispetto alla superficie del bagno metallico.

L'impatto dell'ossigeno con il bagno metallico fuso crea dopo pochi attimi l'innesco, ossia si forma una zona di reazione a temperatura estremamente elevata per l'ossidazione diretta del materiale. In tale zona avviene l'assorbimento dell'ossigeno soffiato, che si diffonde con grande rapidità in tutta la massa metallica per la forte turbolenza e circolazione di metallo, determinata dal getto di ossigeno, dallo sviluppo di gas per il procedere veloce della decarburazione e dal gradiente termico determinatosi all'interno del bagno metallico.



Soffiaggio in convertitore

Contemporaneamente all'ossidazione del carbonio e di altri composti (silicio, manganese, fosforo, ecc...), si formano anche delle scorie basiche fluide, dovute all'aggiunta di calce, immessa anch'essa dalla bocca del convertitore. A seconda dei tipi e della qualità degli acciai da produrre, la decarburazione può essere completa (scendendo così a tenori di carbonio dello  $0,03 \div 0,08\%$ ) oppure parziale, se viene arrestata a un tenore di carbonio più elevato.

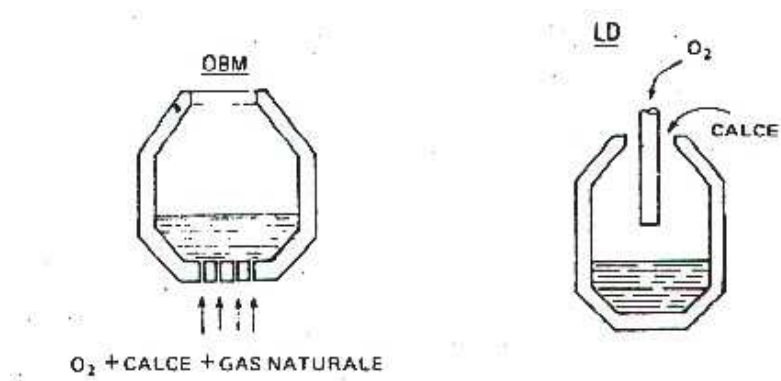
Terminata la fase di soffiaggio l'acciaio viene colato in siviera (spillaggio) procedendo alle aggiunte necessarie per il raggiungimento della composizione chimica richiesta.

La scoria, invece, versata in paiole movimentate con carri ferroviari, dopo lo svuotamento delle stesse è raffreddata con acqua ed avviata alla deferrizzazione: la separazione del materiale ferifero dall'inerte, ne consente il riciclo.



Spillaggio acciaio in siviera

A differenza del processo L.D., nel processo OBM, il soffiaggio del bagno fuso avviene invece dal basso, come di seguito schematizzato.



L'ossigeno, immesso direttamente all'interno del bagno e per una zona relativamente estesa attraverso numerose tubiere, riduce le condizioni di non omogeneità della composizione del bagno metallico e gli stati di non equilibrio tra bagno e scoria. Il soffiaggio dell'ossigeno provoca elevatissime temperature nella zona di contatto tra tubiera e bagno metallico determinando una rapida usura delle tubiere e del refrattario di fondo. A contrastare tale fenomeno viene soffiato anche un idrocarburo gassoso (metano), il quale a contatto con il bagno, si dissocia termicamente secondo la reazione:



assorbendo quindi una elevata quantità di calore e diminuendo le alte temperature provocate dalle reazioni dell'ossigeno nella zona di uscita dalla tubiera.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano, in normali condizioni, durante le operazioni di carica e spillaggio del convertitore, sono emissioni di polveri; queste sono presenti in discreta quantità (15-20 kg/t LS), anche nel gas di acciaieria che si sviluppa durante il soffiaggio; quest'ultimo, contenendo una grande quantità di monossido di carbonio, può essere recuperato o combusto.

Durante il soffiaggio possono inoltre intervenire sporadicamente particolari perturbazioni nel processo che comportano effetti transitori con generazione anomala di fumi di ossidi di ferro, il cui volume istantaneo è di entità tale da non poter essere totalmente aspirato dai sistemi di aspirazione dei fumi primari e secondari.

Dal trattamento del gas di acciaieria per via umida derivano inoltre dei reflui contenenti prevalentemente solidi sospesi.

### 3. Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio.

Il processo di ossidazione nel convertitore è generalmente seguito da post-trattamenti metallurgici che sono stati sviluppati per far fronte alle sempre maggiori richieste qualitative dell'acciaio prodotto. I principali obiettivi dei trattamenti metallurgici sono:

- miscelazione e omogeneità del bagno;
- aggiustamenti della composizione chimica
- aggiustamenti della temperatura;
- deossidazione;
- rimozione di gas indesiderabili;
- miglioramento della purezza attraverso la separazione delle inclusioni non metalliche

Uno dei principali step dei trattamenti metallurgici è il degasaggio (o trattamento sottovuoto) che permette la rimozione di composti gassosi inglobati nel bagno, come idrogeno, ossigeno, azoto, o composti del carbonio.

Sono stati sviluppati i seguenti sistemi degasaggio:

- Degasaggio in siviera;
- Degasaggio mediante ricircolazione dell'acciaio.

#### Degasaggio in siviera

Può essere realizzato introducendo la siviera, con l'acciaio in essa contenuto, in un contenitore collegato all'impianto del vuoto; oppure dotando la siviera stessa di un coperchio di tenuta collegato all'impianto del vuoto.

In questo modo la superficie dell'acciaio viene esposta all'azione del vuoto, azione che però si attenua rapidamente al di sotto della superficie; per questo motivo l'acciaio in siviera deve venire costantemente rimescolato in modo da portare il metallo che si trova in profondità in superficie e viceversa. Questa agitazione viene ottenuta mediante gorgogliamento di argon dal fondo della siviera (introducendolo mediante tappo poroso), oppure mediante azione elettromagnetica. L'acciaio deve essere adeguatamente surriscaldato per tener conto della caduta di temperatura durante il trattamento.

#### Degasaggio mediante ricircolazione dell'acciaio

Rispetto al degasaggio in siviera, che esercita la sua azione sull'intera colata, in questo processo viene esposta all'azione del vuoto, ripetutamente, solo una parte della colata d'acciaio.

Questo viene fatto ricircolare in un recipiente di trattamento sovrastante, nel quale si mantiene il vuoto. Il metallo passa dalla siviera al recipiente sotto vuoto attraverso una o due gambe tubolari di refrattario che stanno immerse nell'acciaio.

La porzione di acciaio degasato ritorna nella siviera mescolandosi con il resto della colata, che viene ad essere così progressivamente diluita.

Con questo sistema il degasaggio è favorito poiché con la limitata quantità di acciaio sottoposta di volta in volta al vuoto, si realizza un aumento della superficie esposta ed una diminuzione del percorso diffusoriale dei gas da eliminare. Il trattamento può essere discontinuo (DH) o continuo (RH) con possibilità di operare aggiunte e soffiare ossigeno allo scopo di effettuare decarburazioni molto spinte.

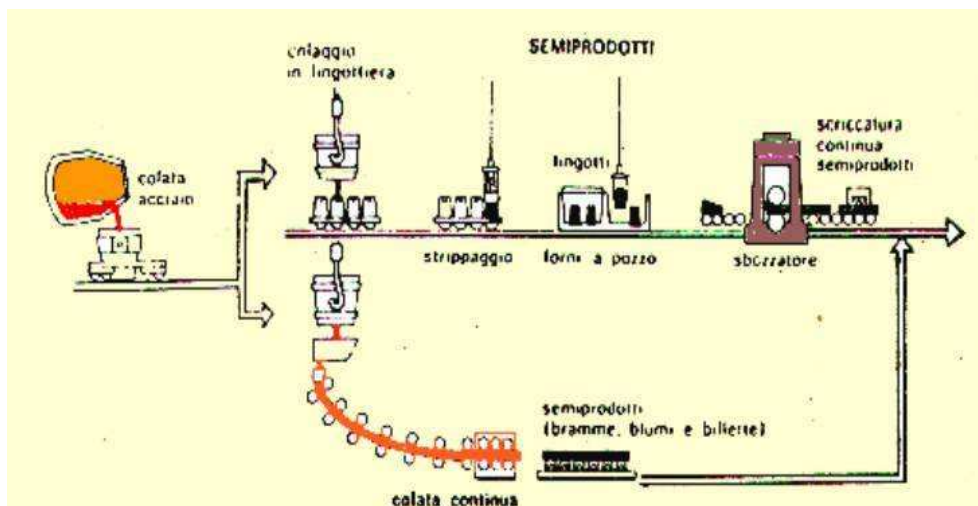
Su impianti significativi il vuoto viene realizzato per mezzo di eiezione con vapore e condensazione con acqua, di cui si ha un consumo significativo.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle che derivano dalle operazioni di trattamento dell'acciaio. Dai trattamenti sotto vuoto, che utilizzano vapore ed acqua per creare il vuoto, derivano inoltre dei reflui contenenti prevalentemente solidi sospesi.

#### 4. Colaggio acciaio.

Una volta raggiunta la qualità desiderata, l'acciaio deve essere solidificato; il colaggio in lingotti, per molti anni, ha rappresentato un passaggio obbligato per la produzione di bramme, blumi, billette. Il lingotto, trascorso il tempo necessario alla solidificazione, veniva strappato, inviato ai forni a pozzo e riscaldato fino a raggiungere la temperatura idonea di laminazione allo sbizzatore.

Con l'introduzione della colata continua, l'acciaio liquido viene direttamente solidificato in bramme, blumi, billette senza l'ausilio di ulteriori passaggi intermedi, con evidenti vantaggi dal punto di vista del risparmio energetico, di riduzione delle emissioni, dell'utilizzo di acque, di aumento della produttività, di miglioramento delle rese di trasformazione, ecc...



### Confronto cicli di produzione bramme da fossa e da colata continua

Il processo di colata continua è caratterizzato essenzialmente dal colaggio dell'acciaio dalla siviera in un recipiente rivestito in materiale refrattario (paniera), che ha il compito principale di mantenere un battente ferrostatico costante e consentire un deflusso regolare e controllabile dell'acciaio liquido alla sottostante lingottiera. La paniera garantisce la continuità del colaggio; nel caso di macchine a più linee disposte in parallelo, ha anche il compito di ripartire l'acciaio fra le diverse linee.



Colata continua: colaggio acciaio in paniera

La lingottiera è dotata di moto oscillatorio ed è raffreddata indirettamente con acqua; il raffreddamento assicura la veloce solidificazione dell'acciaio, nel breve tempo del suo attraversamento, in modo che la barra abbia formato un guscio solido esterno prima di abbandonarla.

Il moto oscillatorio, invece, impedisce che l'acciaio aderisca alle superfici, provocando incollamenti che dapprima ostacolerebbero l'avanzamento della barra e poi provocherebbero la rottura della pelle.

La lunghezza della lingottiera è studiata così da conciliare i seguenti principali fattori:

- deve essere sufficientemente lunga e realizzata in materiale idoneo per consentire il raffreddamento della bramma e permettere la formazione di una pelle di spessore tale da resistere alla pressione ferrostatica;
- evitare eccessivi attriti tra l'acciaio e la superficie della lingottiera.



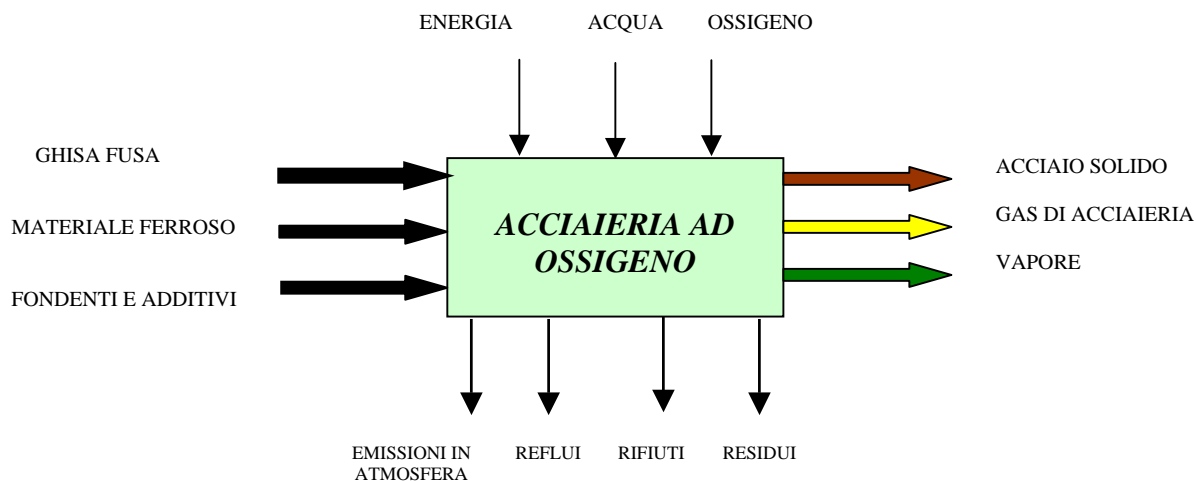
Macchina di colata continua

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle di vapore che derivano dalle operazioni di raffreddamento della bramma, dei blumi, delle billette con acqua e che vengono evacuate in atmosfera.

Dal processo di raffreddamento dell'acciaio derivano inoltre reflui contenenti solidi sospesi ed oli.

## **Bilancio complessivo di materia ed energia**

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla acciaieria ad ossigeno è sinteticamente di seguito rappresentato:



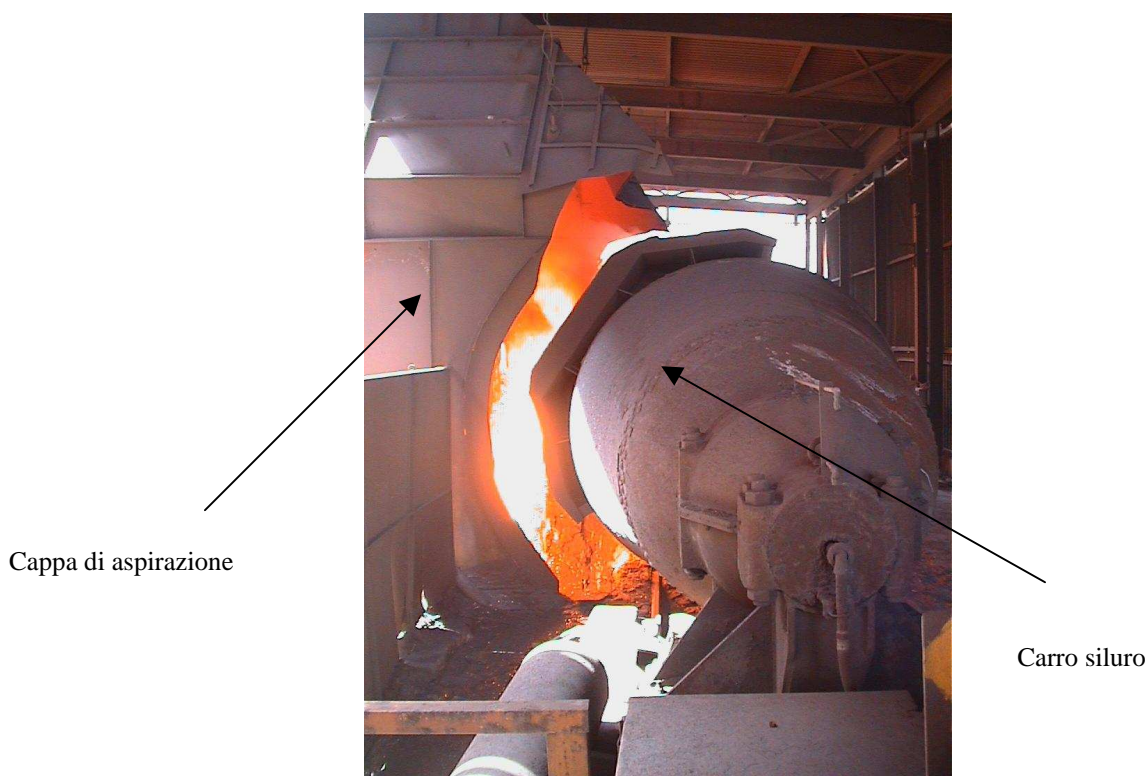
I principali residui solidi, determinati nel normale svolgimento del processo descritto, sono costituiti da scorie di acciaieria e da scorie derivanti dai trattamenti ghisa e acciaio, dalle scaglie e dai fanghi derivanti dai sistemi di trattamento dei reflui e da polveri derivanti dai sistemi di depolverazione a secco. In larga misura si tratta di residui che vengono recuperati sia in acciaieria che in agglomerato. Quanto non riciclabile, insieme ai rifiuti derivanti da attività di manutenzione, quali i refrattari non riciclabili, sono indirizzati allo smaltimento in discarica.

## B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

### 1. Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa (desolforazione)

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni (secondarie) che si verificano
- nella fase di versamento della ghisa dal carro siluro alla siviera,
  - nella fase di trattamento della ghisa (desolforazione e scorifica),

e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto o elettrofiltro.



Captazione fumi nel versamento ghisa

Le prestazioni raggiungibili con questa tecnica, in condizioni normali, sono le seguenti:

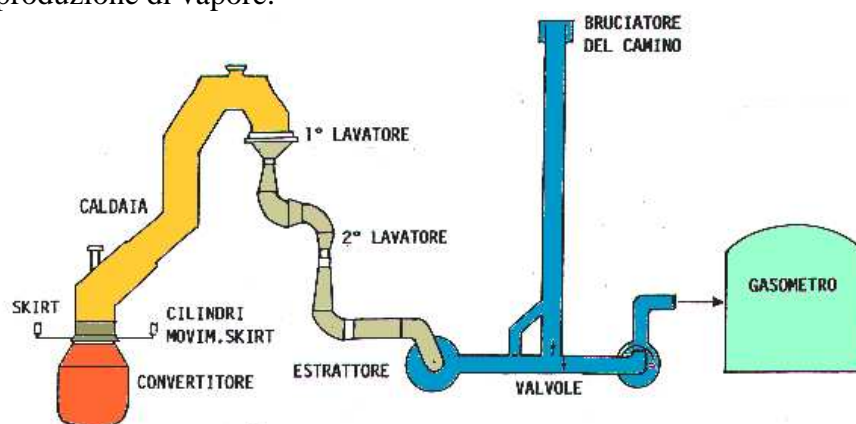
- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
  - con filtro a tessuto:  $5 \div 15$  mg/Nmc
  - con elettrofiltro:  $20 \div 30$  mg/Nmc

Per il versamento della ghisa dal carro siluro alla siviera, una nuova tecnica, alternativa all'adozione dei sistemi di captazione e depolverazione, è quella di minimizzare la formazione dei fumi mediante l'uso di un gas inerte. Più precisamente, questa tecnica consiste nella vaporizzazione di biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ) nella siviera di raccolta, per creare un'atmosfera inerte e prevenire l'ossidazione della ghisa versata; ciò limita la formazione di fumi.

Tuttavia la vaporizzazione della  $\text{CO}_2$  nell'ambiente di lavoro determina problemi per la sicurezza del personale (pericolo di asfissia), per cui l'eventuale adozione di tale sistema necessita di misure aggiuntive tese ad assicurare un'adeguata ventilazione degli ambienti di lavoro ed il loro monitoraggio.

## 2. Affinazione della ghisa

- Adozione di un sistema di aspirazione dei gas di acciaieria (gas BOF) che si sviluppano durante il processo di affinazione in convertitore ed applicazione di una delle seguenti tecniche per il recupero d'energia:
  - combustione soppressa con recupero del gas di acciaieria, depolverazione primaria, stoccaggio in gasometro e suo riutilizzo come combustibile. Nella combustione soppressa il recupero del gas è relativo alla parte centrale della fase di soffiaggio ossigeno in convertitore, quando più alta è la percentuale di ossido di carbonio nel gas. Il gas che si sviluppa durante la fase iniziale e la fase finale del processo di affinazione in convertitore, per la durata di pochi minuti, non viene recuperato ma combusto in torcia. Tale sistema consente anche il recupero del calore sensibile ceduto dal raffreddamento del gas ed il suo utilizzo per la produzione di vapore.



*Schema del sistema a combustione soppressa con depurazione ad umido*

Dopo la rimozione del particolato più grossolano in una zona di deviazione, la depolverazione viene generalmente eseguita con uno scrubber tipo Venturi o con i precipitatori elettrostatici.

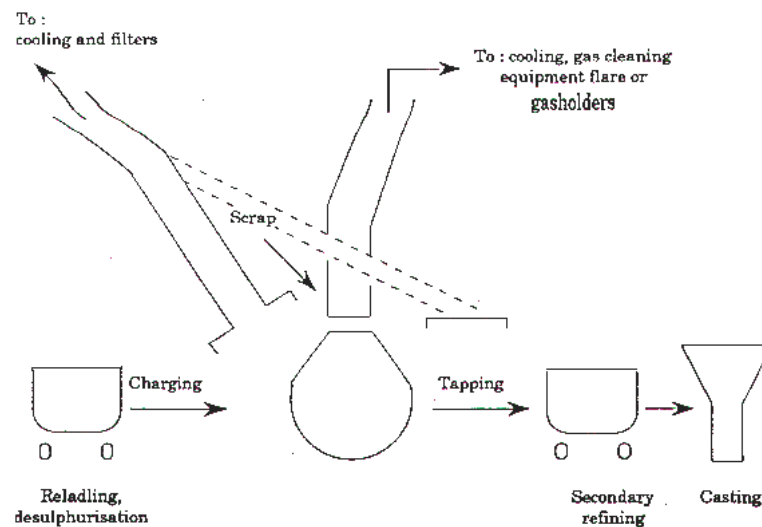
- combustione del gas di acciaieria con relativa generazione di vapore. Tecnica adottata negli impianti esistenti, nei casi in cui non è fattibile il recupero e l'utilizzo del gas di acciaieria, o non vi è convenienza dal punto di vista energetico.

In questo caso la depolverazione del gas di acciaieria va effettuata dopo la combustione, prima dello scarico al camino; sono ancora utilizzati scrubber ad umido ed elettrofiltri a secco, questi ultimi nelle applicazioni più recenti.

In linea di principio, nel caso della combustione si hanno maggiori portate da trattare, per via dell'immissione dell'aria comburente; quindi, nel caso di adozione della combustione soppressa i sistemi di depolverazione sono dimensionati per un minor flusso volumetrico di gas da trattare.

- Chiusura del foro di ingresso della lancia ossigeno durante il soffiaggio o insufflaggio di gas inerte per limitare l'eventuale dispersione di gas e particolato.

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni (secondarie) durante le fasi di carica del convertitore e di spillaggio dell'acciaio e delle scorie dal BOF;



*Schema captazione fumi al caricamento e spillaggio acciaio*

conseguente depolverazione dei fumi captati mediante l'utilizzo di filtri a tessuto o elettrofiltri a secco, oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di abbattimento.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
  - con filtro a tessuto : 5÷15 mg/Nmc
  - con elettrofiltro : 20÷30 mg/Nmc

Queste polveri normalmente contengono un alto contenuto di zinco.

- Minimizzazione delle acque di scarico del sistema di depolverazione ad umido del gas BOF mediante il ricorso, per quanto possibile, possibile al ricircolo delle stesse; ciò presuppone:
  - un sistema di trattamento delle acque di lavaggio, come la coagulazione e la sedimentazione dei solidi sospesi.  
Prestazioni raggiungibili in condizioni normali: concentrazione di solidi sospesi: 20 mg/l.
  - nei sistemi a combustione soppressa, un più elevato livello di ricircolo può essere ottenuto attraverso l'iniezione di CO<sub>2</sub> nelle acque, prima dello stadio di sedimentazione per favorire la precipitazione dei carbonati.
- Utilizzo di rottame, per quanto possibile, con basso contenuto di zolfo e di metalli come piombo e cadmio.

### 3. Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio

- Adozione di un sistema di captazione delle emissioni secondarie che si generano durante i processi di trattamento metallurgico secondario dell'acciaio e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di abbattimento.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- concentrazione di polveri dopo abbattimento:
  - con filtro a tessuto : 5÷15 mg/Nmc

#### 4. Colaggio acciaio

- Riduzione dei reintegri delle acque dei raffreddamenti diretti in colata continua, mediante il ricorso, per quanto possibile, al ricircolo delle stesse; ciò presuppone il trattamento delle acque mediante:
  - un sistema di coagulazione e sedimentazione per l'eliminazione dei solidi sospesi;
  - un sistema di rimozione dell'olio.

#### 5. Gestione dei residui

Per quanto possibile si consiglia di adottare:

- la minimizzazione della produzione dei rifiuti;
- il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili, tra cui principalmente il materiale ferroso, le scorie di acciaieria, le polveri derivanti dalla depolverazione a secco, i fanghi derivanti dai sistemi di depolverazione ad umido del gas di acciaieria, le polveri derivanti dalla depolverazione con elettrofiltri a secco del gas di acciaieria tramite bricchettaggio, ecc...Riguardo al recupero di queste polveri, le bricchette vengono riutilizzate nella carica del convertitore e/o in altoforno. Invece del bricchettaggio, per particolari condizioni operative, e ove possibile, può essere adottato un processo di pellettizzazione.
- smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.

#### **4.2.5 Stoccaggio e manipolazione di materie prime, prodotti intermedi e ausiliari**

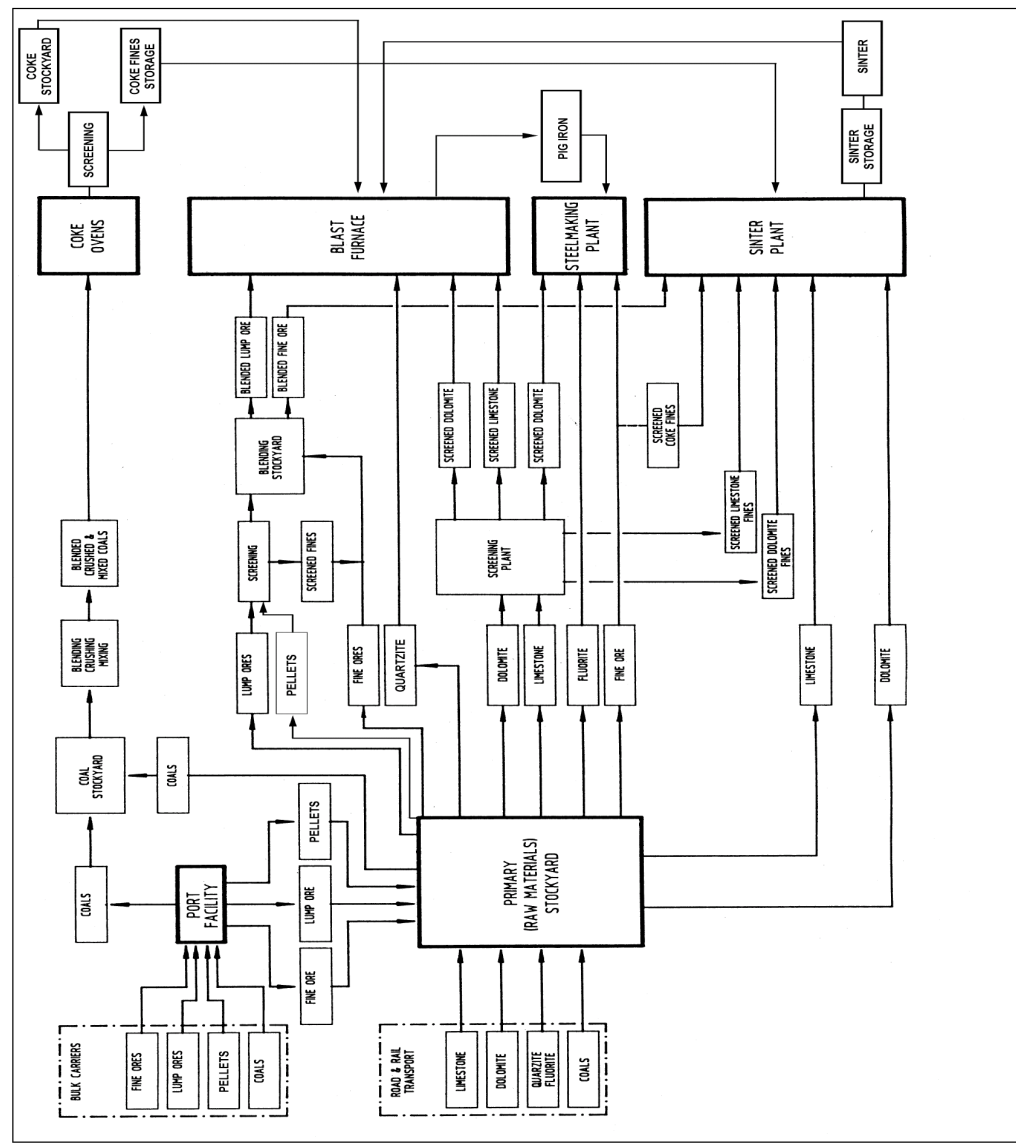
##### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali**

Nel ciclo integrato viene utilizzata un'elevata quantità di materie prime solide come minerali (calibrati, pellets, fini), carbon fossili, calcare, calce, ausiliari ecc..., necessari ai vari processi per la produzione dell'acciaio e che vengono generalmente approvvigionati mediante navi e/o attraverso mezzi stradali e ferroviari.

Tali materiali, nonché i prodotti intermedi (come ad esempio coke, agglomerato), sottoprodotti, ecc..., sono stoccati in cumuli in apposite aree di stoccaggio. Inoltre nei rispettivi impianti di trasformazione, i materiali solidi, a seconda delle necessità, possono essere stoccati per tipologia in silos, box, tettoie, ecc...

Il trasferimento dei vari materiali avviene, a seconda delle necessità, a mezzo di nastri trasportatori, nonché attraverso mezzi stradali e/o ferroviari.

Di seguito viene riportato un esempio di schema di flusso dei materiali in un ciclo integrato tradizionale con agglomerato senza impianto di bricchettaggio.



Per lo stoccaggio e la manipolazione delle suddette materie solide i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano la limitazione delle emissioni di polveri a carattere diffuso.

## B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

### 1. Stoccaggio materiali solidi

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

- Stoccaggio in cumuli a cielo aperto

Lo stoccaggio in cumuli è l'unica opzione per lo stoccaggio di elevate quantità di materiali, poco o moderatamente polverosi e che non hanno problemi di deteriorabilità con l'umidità, come minerali di ferro, carbon fossile, coke, calcare in pezzatura, ecc....



*Parchi di stoccaggio materie prime*

Le misure di prevenzione delle emissioni di polveri sono una combinazione delle seguenti tecniche:

- formazione di cumuli in modo tale da limitare l'esposizione all'effetto del vento come ad esempio: cumuli ad asse longitudinale parallelo alla direzione del vento prevalente, cumuli di maggiori dimensioni rispetto a più cumuli di minore capacità, cumuli conici o troncoconici che abbiano idonee proporzioni in modo da limitare la superficie esposta.  
Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione delle suddette misure sono principalmente: la sfavorevole posizione del sito, la presenza di infrastrutture come strade, ferrovie, strutture, ecc.. che non possono essere modificate, l'indisponibilità del lay-out, la necessità di formazione di cumuli diversi sia per le diverse tipologie e qualità dei materiali che per assicurare la costante alimentazione degli impianti, la pendenza dei cumuli è quella assunta naturalmente dal materiale, ecc...;
- spruzzaggio di una soluzione di filmante sulla superficie dei cumuli di materiale che possono presentare un'elevata tendenza allo spolveramento in modo da creare un film superficiale di aggregazione delle particelle di materiale resistente all'azione del vento.  
La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione della suddetta misura deriva principalmente da possibili effetti di danneggiamento del materiale sottoposto all'azione dell'agente filmante o da necessità di continua movimentazione del materiale.



*Filmatura cumuli*

- umidificazione della superficie dei cumuli di materiale, non sottoposti all'azione della filmatura.  
Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tale misura sono ad esempio la deteriorabilità del materiale con l'umidità, la mancanza di risorse idriche, ecc... Inoltre tale misura non viene ad essere applicata in caso di clima piovoso e/o freddo.
- copertura dei cumuli con teli o inerbimento della superficie dei cumuli, solo nel caso di stoccaggi per periodi molto lunghi in cui il materiale non viene ad essere movimentato;
- sospensione, se possibile, dell'attività di messa a parco e ripresa del materiale in caso di forte vento.  
La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.
- adozione di sistemi protettivi dall'azione del vento come recinzioni, reti protettive, piantumazione di alberi, adozione di colline artificiali, muri di contenimento.  
Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tali misure derivano da problemi di lay-out, presenza di infrastrutture che non possono essere modificate, limitazioni della capacità di stoccaggio.

- Stoccaggio in sili o in sistemi coperti

Lo stoccaggio in sili può essere applicato quando la quantità di materiale da stoccare non è elevata o nel caso di stoccaggio di materiali che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici.

Per la limitazione delle emissioni che possono derivare nella fase di riempimento e/o ripresa del materiale dai sili può essere operata l'umidificazione prima dell'insilaggio e/o allo scarico. Tale tecnica è generalmente applicabile agli impianti esistenti dove maggiori sono i problemi di lay-out.

In alternativa e ove possibile, possono essere adottati sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo di sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.

Per lo stoccaggio di materiali in quantità non elevata e che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici, possono essere adottati sistemi di stoccaggio coperti che sono in genere costituiti da tettoie, capannoni, cupole.

Tali tecniche di stoccaggio non sempre sono applicabili per motivi tecnici, logistici e/o economici.



*Stoccaggio sotto tettoia*

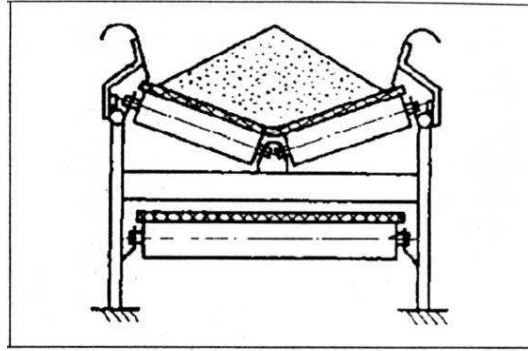
## **2. Trasferimento e manipolazione materiali solidi**

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

- adozione, ove possibile, di sistemi di trasporto continuo, come l'utilizzo di nastri trasportatori, in alternativa al trasporto discontinuo (ad esempio a mezzo pala, camion, ecc.. ). Il tipo di sistema di convogliamento dipende dal tipo di materiale trasportato, dalla situazione logistica e deve essere valutato caso per caso. Per gli impianti esistenti l'applicazione di sistemi di trasporto continuo non è sempre possibile per motivi di lay-out, tecnici e/o economici, trattandosi di una tecnica notevolmente costosa.

Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali poco o moderatamente polverosi e/o umidificabili, quali ad esempio i minerali di ferro, i carbon fossili, il calcare in pezzatura, il coke, l'agglomerato, ecc..., possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali con una delle seguenti tecniche o una appropriata combinazione delle stesse:

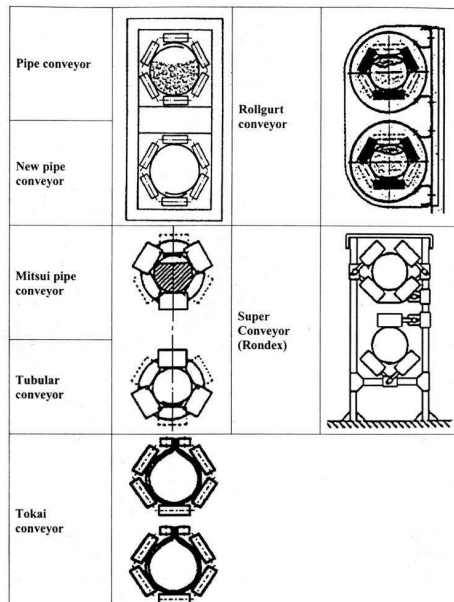
- sistemi di protezione dall'azione del vento;
- umidificazione o nebulizzazione d'acqua nei punti di trasferimento del materiale;
- pulizia del nastro mediante raschiatori o altro idoneo sistema.



*Nastro convogliatore convenzionale*

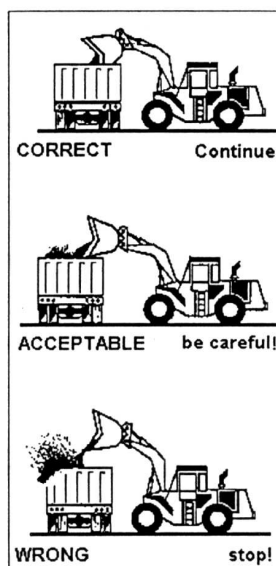
Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali molto polverosi e non umidificabili, quali ad esempio la calce, il carbon fossile polverizzato secco, ecc... possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali protetti e adozione, ove possibile, nei punti di trasferimento del materiale di sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo e la necessità del sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.

Per nuovi stabilimenti che necessitano del trasporto continuo di materiali molto polverosi e non umidificabili, possono essere applicati sistemi di trasporto chiusi o sistemi che racchiudono il materiale trasportato all'interno del nastro (ad esempio nastri tubolari), la cui adozione comunque necessita di complesse infrastrutture in particolar modo nel caso in cui è necessario coprire lunghe distanze.



*Nastri trasportatori tubolari*

- nel caso di utilizzo di pale meccaniche deve essere per quanto possibile ridotta l'altezza di caduta del materiale scegliendo la migliore posizione durante il carico dei mezzi di trasporto;

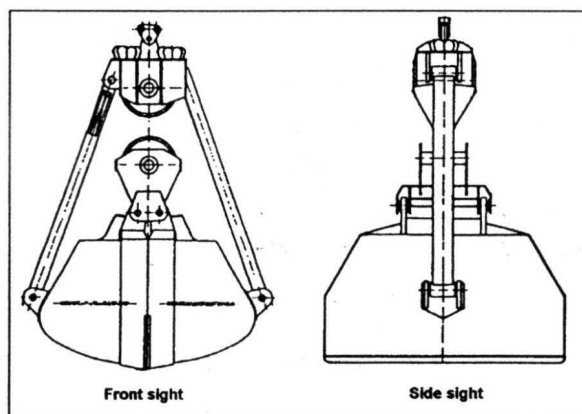


*Carico camion con pala*

- sospensione, se possibile, dell'attività di carico e scarico effettuata all'esterno in caso di forte vento ( $>20$  m/s).  
La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.
- adozione di un'adeguata velocità dei mezzi di trasporto in modo da limitare il possibile sollevamento della polvere durante l'attraversamento di strade, piste, ecc...;
- adozione, ove possibile, di strade asfaltate che possono essere facilmente pulite con idonei sistemi di pulizia (spazzatrici, ecc...);
- adozione, ove possibile, della pulizia delle ruote dei mezzi con acqua, in modo da limitare l'eventuale sollevamento di polvere durante la movimentazione su strada;
- minimizzazione dell'altezza di caduta libera e della velocità di carico e scarico di materiali molto polverosi adottando ad esempio: deflettori, sistemi di regolazione di uscita del materiale, scivoli, tramogge, tubi in cascata, ecc...;
- adozione di un sistema di spruzzaggio di acqua per prevenire la formazione di polvere durante le attività di carico e scarico di materiali molto polverosi. Lo spruzzaggio di acqua può essere effettuato attraverso l'utilizzo di sistemi fissi o mobili.  
Per materiali che non possono essere umidificati può essere adottato un sistema di nebulizzazione di acqua o lo spruzzaggio di acqua con additivi;
- nel caso di scarico materiali con benna il materiale deve essere rilasciato nella tramoggia e la benna deve stazionare per il tempo sufficiente alla discarica. La zona di scarico in tramoggia, può essere dotata di un sistema di spruzzaggio di acqua da attivare all'occorrenza.

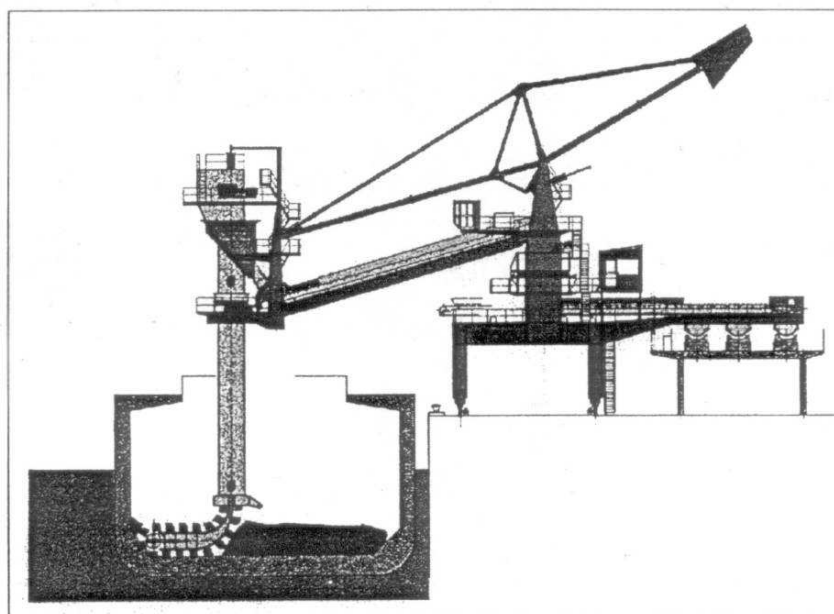
Per le nuove benne dovrebbero essere applicate le seguenti proprietà:

- idonea forma geometrica;
- idonea capacità e volume di carico;
- idonea superficie interna che limiti l'adesione del materiale;
- buona capacità di chiusura.



*Benna*

Nello scarico dei materiali da navi, oltre all'utilizzo di scaricatori dotati di benne, possono essere adottati scaricatori continui in cui il materiale viene estratto dalle stive della nave a mezzo di un elevatore flessibile che convoglia il materiale direttamente sul nastro convogliatore di trasferimento.



*Scaricatore continuo*

### 4.3 Produzione d'acciaio al forno elettrico

La produzione di acciaio al forno elettrico è di per se stessa un'attività ecologica, in senso lato, in quanto sfrutta materiali simili ai prodotti finiti che altrimenti, al termine del loro ciclo di vita, non avrebbero destinazione, recuperando anche una buona parte dell'energia che inizialmente è stata spesa per ottenere l'acciaio a partire dal minerale.

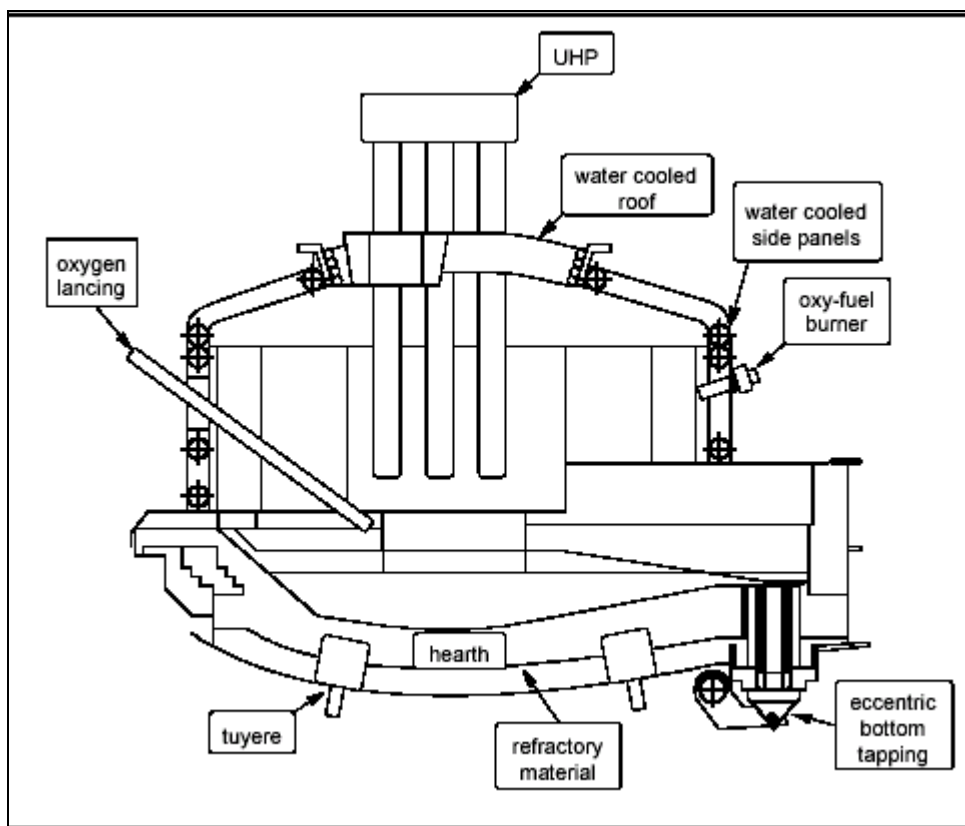
Riguardo ai consumi di energia resta comunque ancora ad un livello elevato (è, per così dire, molto energivoro).

- A fronte di tale prerogativa, l'operazione ha comunque un impatto ambientale; i principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:
  - la captazione e l'abbattimento delle polveri
- i rifiuti solidi
- la gestione delle acque
- il consumo di energia
- i composti organoclorurati

#### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)**

Negli ultimi 15-20 anni il forno elettrico è stato oggetto di tutta una serie di miglioramenti che ne hanno, in definitiva, ottimizzata la marcia incrementandone la produttività e diminuendone, di conseguenza, il consumo specifico di energia.

La figura seguente riassume alcune delle tecniche di ottimizzazione



Esaminando le fasi principali del processo, secondo la suddivisione riportata al capitolo 3.3, si può osservare che le tematiche ambientali si presentano essenzialmente nelle fasi di :

- Carica del forno fusorio con o senza preriscaldamento
- Fusione in EAF dell'acciaio ed affinazione
- Scorifica e spillaggio
- Trattamenti di metallurgia secondaria

A fronte di questi fattori si possono adottare tecniche di mitigazione già sperimentate adottate e disponibili.

Inoltre, non tutte le tecniche, di cui si dirà nel seguito, sono estendibili a tutte le acciaierie del settore in maniera indifferenziata, in quanto non sempre le condizioni della specifica acciaieria permettono l'inserimento, o la modifica sostanziale, degli impianti e delle apparecchiature interessate.

#### - Preriscaldamento rottame.

Si basa sul concetto di recuperare il calore sensibile dei fumi captati in uscita dal forno elettrico.

Negli anni passati il preriscaldamento più comunemente utilizzato era quello effettuato in ceste a cui veniva convogliata, direttamente, una quota spillata all'inizio del condotto fumi.

Il sistema è certamente oneroso dal punto di vista tecnico e manutentivo, costituendo peraltro un altro punto di emissione, per cui lentamente andrà in disuso.

Attualmente altri sistemi sono in via di espansione come utilizzo come ad esempio lo Shaft Furnace (vedi fig. A) ed il Consteel(vedi fig. B).

Tutti e due si basano sul fatto che i fumi, prima di andare al sistema di abbattimento, passano in controcorrente attraverso il rottame; la differenza risiede nelle modalità di come il rottame viene portato al forno. In entrambi i casi non è richiesta l'apertura della volta per la carica del rottame per cui il risparmio di energia viene maggiormente aumentato ed il tempo tap to tap ulteriormente ridotto.

Come concetto è applicabile ad impianti sia nuovi che vecchi; in pratica, però, l'installazione si deve verificare caso per caso in relazione al lay-out disponibile o altri vincoli tecnici esistenti..

Dal punto di vista delle criticità delle emissioni non esistono, per il sistema di carica in continuo, particolari problematiche di aspirazione e convogliamento all'impianto fumi del forno; anzi, la quasi totale assenza di cariche discontinue con cesta limita, di molto, il fenomeno della dispersione di fumi secondari (la carica con cesta è limitata alle ripartenze dopo fermate prolungate, cioè a forno freddo e vuoto, o per alimentare rottame di pezzatura e forma non idonea al carico con il convogliatore in continuo).

Entrambi i sistemi portano un beneficio nel contenimento delle emissioni sonore.

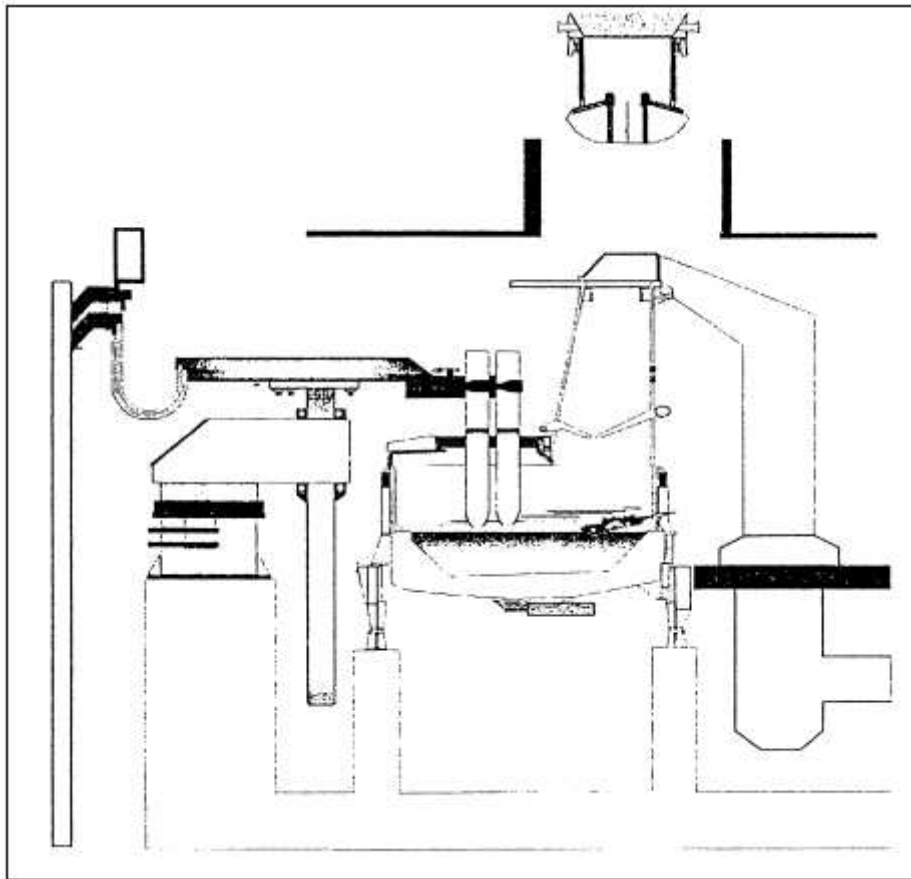


Fig. A –Esempio di EAF equipaggiato con “finger shaft furnace”

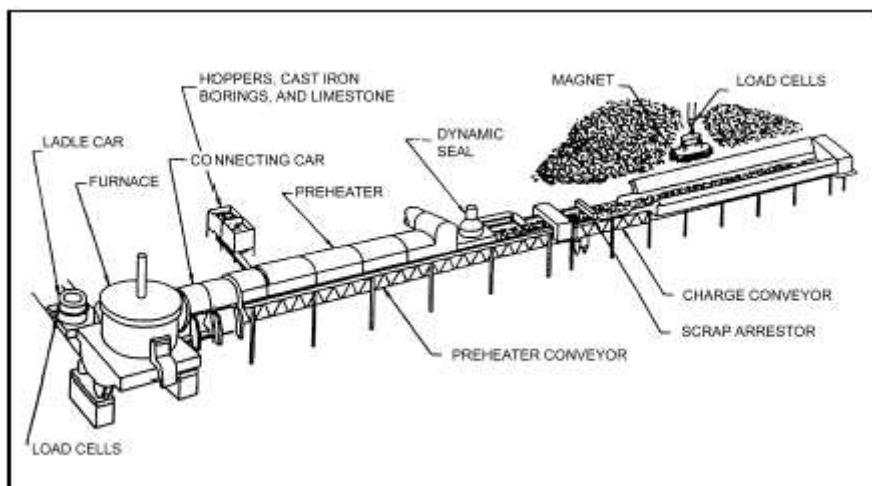


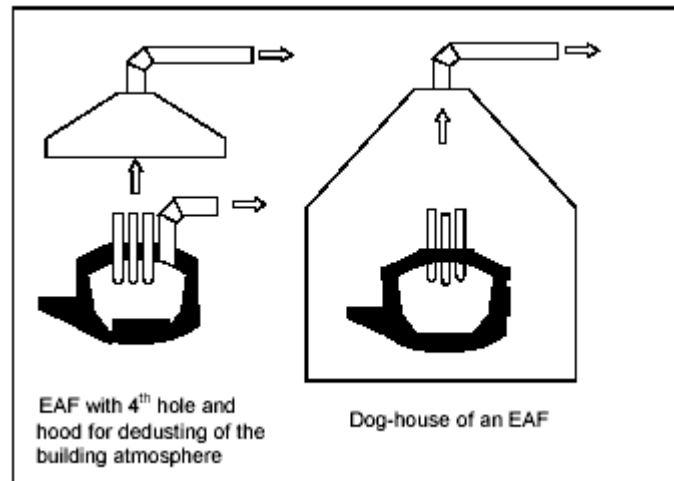
Fig. B –Esempio di EAF equipaggiato con “Consteel Process”

- Fusione in EAF dell'acciaio ed affinazione

La fase di fusione è quella in cui maggiormente si sviluppano le emissioni di polveri e di gas inquinanti di cui è strettamente necessaria la captazione (emissioni primarie).

A riguardo si sono evolute ed affermate diverse tecniche, di cui le più conosciute sono le seguenti:

- 4° foro e cappa (o 2° foro e cappa)
- 4° foro e dog – house
- Confinamento totale del forno



Il 2° o il 4° foro può estrarre praticamente le emissioni generate durante la fusione ed il periodo di affinazione.

Questo tipo di estrazione rappresenta lo stato dell'arte per le acciaierie moderne; il sistema può essere applicato anche ai vessels utilizzati nella metallurgia secondaria.

In un sistema a cappa, una o più cappe sopra il forno raccolgono i fumi indiretti uscenti durante il periodo di carica forno, fusione, scorifica e colaggio (fino al 90% delle emissioni primarie ed anche delle secondarie). Questi sistemi, che includono l'uso delle cappe, sono largamente utilizzati nelle acciaierie elettriche.

La combinazione dei due suddetti sistemi porta ad un miglioramento della captazione fino al 98%.

Le cappe vengono installate anche per raccogliere le emissioni provenienti dalla metallurgia secondaria e dai nastri trasportatori.

Il confinamento dei forni, chiamata dog-house, di norma incapsula il forno nel suo complesso e lascia qualche spazio di lavoro davanti alla porta. Normalmente i fumi vengono estratti vicino alla sommità attraverso aperture presenti nella stessa dog house, mentre l'aria di ricambio entra attraverso le aperture fatte a livello del piano di lavoro.

Il confinamento del forno ha un benefico effetto sulla riduzione del rumore, se questo confinamento viene realizzato in maniera corretta e con materiali adatti.

L'abbattimento del livello di pressione sonora può situarsi tra 10 e 20 dB(A).

Un altro sistema per la captazione delle emissioni secondarie, in pratica per tutte le installazioni a monte e a valle del forno, è una completa chiusura degli impianti in un capannone a tenuta.

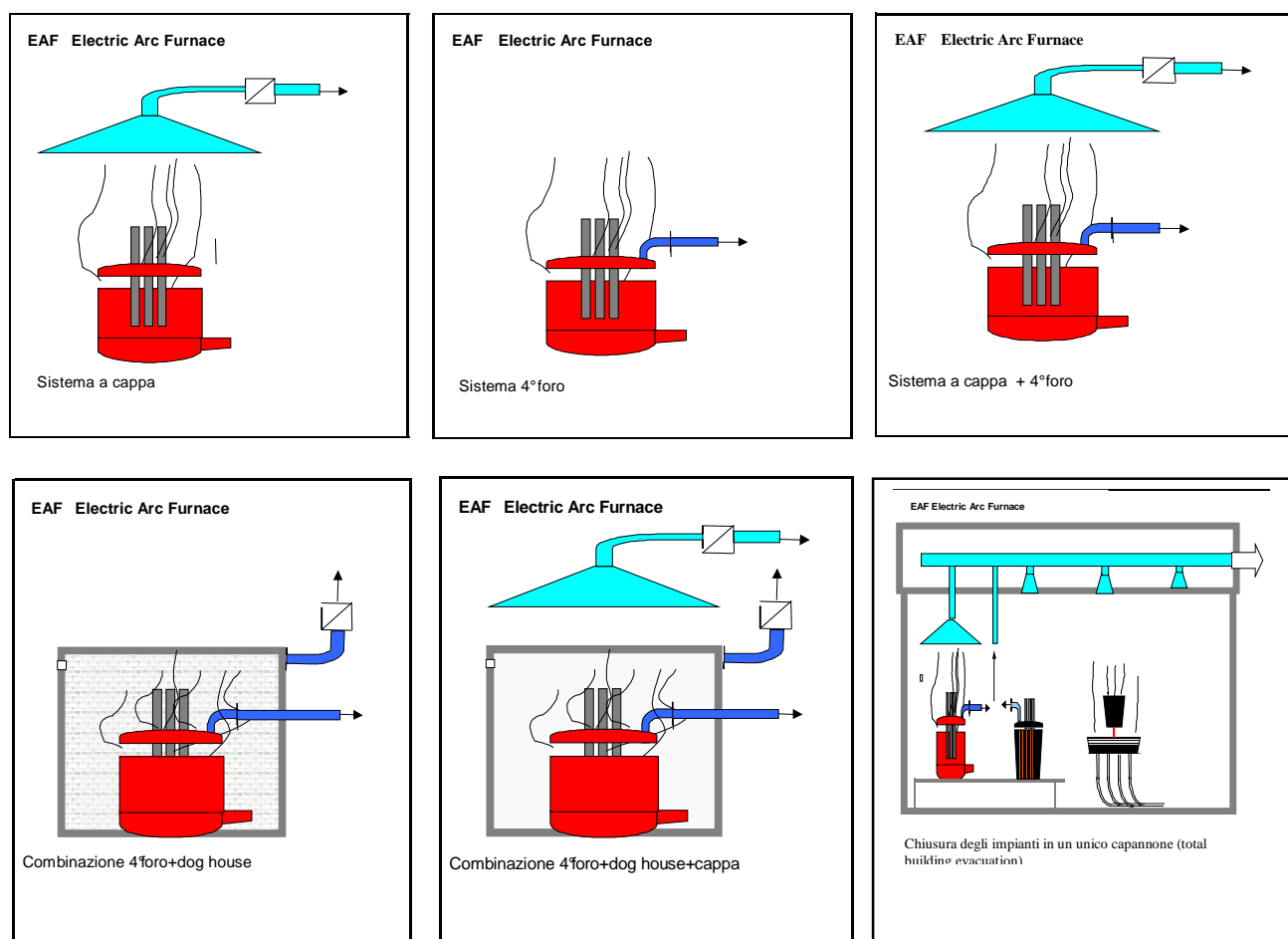
In pratica si tratta di una chiusura che include più di una fase di processo.

La costruzione di questi edifici richiede ulteriori installazioni per assicurare il completo abbattimento delle polveri. I costi per gli operatori sono elevati e bisogna tenere conto che impianti di questo tipo comportano una riduzione delle emissioni diffuse all'esterno ma possono comportare

anche effetti indesiderati negli ambienti di lavoro. Come conseguenza occorre un'accurata valutazione dei costi-benefici.

Nelle figure sottostanti vengono riportate esempi di configurazioni per realizzare la captazione complessiva delle emissioni primarie e secondarie.

### SISTEMI DI ASPIRAZIONE DA EAF



Assieme alle polveri, nella fase di fusione ed affinazione dell'acciaio possono svilupparsi anche dei composti organoclorurati come PCB e PCDD/F. Un certo contenimento di queste emissioni può essere effettuato con la tecnica della post – combustione, affermata con il miglioramento delle operazioni, specialmente l'incremento dell'uso di ossigeno e fluidi, che hanno incrementato l'ammontare dell'energia chimica nei fumi primari ( $\text{CO}$  ed  $\text{H}_2$ ).

A partire dalla metà degli anni '80 sono iniziate le prove per cercare di riutilizzare la massima parte di questa energia, ma il  $\text{CO}$  e l' $\text{H}_2$  non vengono quasi mai completamente ossidati ed è per questo che si ricorre alla post-combustione.

La post-combustione in una camera adatta serve a portare a completa combustione CO e H<sub>2</sub> in modo da impedire reazioni incontrollate nell'impianto di abbattimento.

In seconda battuta la post-combustione, se correttamente sistemata, riduce l'emissione dei composti organici.

#### - Scorifica e Spillaggio

In queste operazioni si sviluppano delle emissioni di polveri (secondarie) la cui captazione è presidiata dall'impianto di aspirazione del forno dei fumi secondari (cappa e/o dog – house).

Sempre in queste operazioni si ha la raccolta della scoria, un composto di ossidi di ferro, calcio, silicio, magnesio, alluminio, manganese; la maggior parte è costituita dai primi tre e nel totale costituiscono circa l'80% di questo sottoprodotto della produzione di acciaio.

Il totale della scoria prodotta durante tutto il processo si aggira tra il 12 ed il 14% dell'acciaio liquido prodotto; di questa circa il 60-65% è quella direttamente prodotta al forno elettrico; il complemento è quello che proviene dalla metallurgia secondaria.

Nel caso della produzione di acciai inossidabili, la quantità di scoria è pari a circa il 25% dell'acciaio prodotto. Di questa circa il 35 – 40% è prodotta da EAF, la rimanente quantità proviene dalla metallurgia secondaria.

#### - Metallurgia secondaria in forni di affinazione

I fenomeni emissivi, dovuti alle reazioni che avvengono nel forno siviera, sono più controllati e circoscritti rispetto a quelli del forno fusorio. Per questo il forno siviera è dotato di un sistema di aspirazione direttamente posto sulla volta del forno per la captazione dei fumi che si sviluppano dalle reazioni metallurgiche. L'aspirazione dei fumi, la cui portata è dell'ordine di qualche decina di migliaia di m<sup>3</sup>/h, viene in genere convogliata all'impianto fumi del forno fusorio.

Diverso è il caso dell'affinazione degli acciai inossidabili, che comporta emissioni di entità paragonabile a quelle del forno elettrico; per tale motivo queste emissioni sono generalmente captate ed abbattute con sistemi indipendenti.

#### - Colata continua o in fossa

Le colate continue non sono normalmente presidiate da sistemi di aspirazione localizzati.

Solo in alcuni casi sono presenti cappe aspiranti sopra le siviere mentre più diffuso risulta sulle stesse l'impiego di polveri di copertura e/o coperchi.

Le emissioni individuate durante la fase di colata continua, sono costituite da ossidi metallici provenienti dalle siviere e paniere in fase di colaggio, dall'eventuale ossitaglio delle billette.

I fenomeni emissivi legati alla colata in fossa sono contenuti e sostanzialmente costituiti da ossidi metallici derivanti dalle attività di colaggio e dai prodotti di trascinamento delle polveri di copertura utilizzate.

#### - Riscaldamento siviere

Sia in fase di primo riscaldamento, che in fase di mantenimento, il riscaldamento avviene con bruciatori a metano. Il primo riscaldamento si caratterizza per la presenza nelle emissioni di componenti organici che volatilizzano e sono prodotti dalla decomposizione del legante organico presente nell'impasto refrattario.

Per tale ragione le emissioni di primo riscaldamento siviera, con i gas combusti, possono essere inviate ove possibile ad un recuperatore dei gas di combustione o convogliate all'impianto fumi dell'EAF, o trattate in apposito impianto.

Non risultano convogliate invece le emissioni dei successivi mantenimenti a caldo delle siviere, perché sostanzialmente costituite dai fumi di combustione dei bruciatori a metano.

#### - *Movimentazione, trattamento e stoccaggio scoria*

Queste attività generano un'emissione costituita dalle polveri della scoria stessa, per il contenimento delle quali vengono in genere praticate operazioni di umidificazione e pulizia dei piazzali.

Per quanto riguarda le informazioni qualitative le polveri emesse sono costituite essenzialmente da ossidi di calcio, ferro, silicio, alluminio ecc. in genere in forma di silicati, alluminati.

### **B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

#### **- *Carica del forno – Fusione – Scorifica e Spillaggio***

- Preriscaldamento del rottame.

Il preriscaldamento del rottame, consente di recuperare il calore dei fumi prodotti durante la fusione.

Applicando un sistema di preriscaldamento del tipo descritto in A) è possibile raggiungere un risparmio di 50 kWh/t di acciaio liquido; applicazione che non può essere prescritta in generale per tutte le acciaierie del comparto, ma deve essere verificata impianto per impianto in quanto richiedono notevole disponibilità per il lay-out.

In ogni caso occorre tenere presente, e quindi prendere gli opportuni provvedimenti, che si potrebbero avere incrementi nelle emissioni di composti organici inquinanti.

- Aspirazione delle polveri sia primarie che secondarie.

Per impedire la diffusione nell'ambiente esterno delle polveri prodotte, in quantità variabile, durante un ciclo di fusione, le tecnologie più efficaci, come descritto in A), sono le seguenti:

combinazione di estrazione dei fumi direttamente dal 4° o 2° foro del forno ed una cappa opportunamente dimensionata atta a raccogliere quanto sfuggito al primo sistema;

- dog-house e cappa;
- dog-house ed aspirazione dal 4° foro
- sistema di aspirazione totale applicato all'edificio complessivo relativo all'acciaieria.

Con tali sistemi è possibile ottenere un'efficienza di captazione e contenimento dei fumi primari e secondari prodotti a diverso livello piuttosto elevata, pari al 98%.

Tale risultato, può essere esteso a tutte le acciaierie del settore con l'avvertenza che captazioni elevate non sono raggiungibili istantaneamente ma in un significativo periodo di tempo, in installazioni ben condotte e con efficaci ed efficienti sistemi di manutenzione.

- Abbattimento delle polveri captate

La tecnologia che meglio realizza l'obiettivo di riduzione delle polveri contenute nelle emissioni è quella che adotta filtri a maniche operanti a secco, eventualmente preceduti da filtri centrifughi per l'abbattimento delle particelle a granulometria più grossolana.

La qualità del tessuto deve essere opportunamente progettata.

Con sistemi di filtraggio di questo tipo si ottengono valori di emissione di polveri al camino con concentrazioni di 5 mg/Nm<sup>3</sup> per i nuovi impianti e di 15 mg/Nm<sup>3</sup> per gli impianti esistenti. Tali valori sono determinati come media giornaliera.

- Riduzione dei composti organoclorurati (PCDD/F e PCB in particolare) con l'uso di appropriati sistemi di post-combustione seguiti da un rapido raffreddamento oppure con insufflazione di polvere di lignite
- Ottimizzazione della post-combustione.

Oggi, questa tecnica può ridurre i composti organici come PCB o PCDD/F. A causa della rilevanza de novo synthesis di PCDD/F è importante che il raffreddamento dei fumi consenta un rapido attraversamento della fascia di temperatura caratteristica di questo fenomeno; questo può essere ottenuto ad esempio con una torre di quenching o mediante altri sistemi che garantiscano un rapido raffreddamento degli esausti.

La post-combustione con l'ulteriore scopo di minimizzare i microinquinanti necessita di un tempo di ritenzione, turbolenza e temperatura sufficiente.

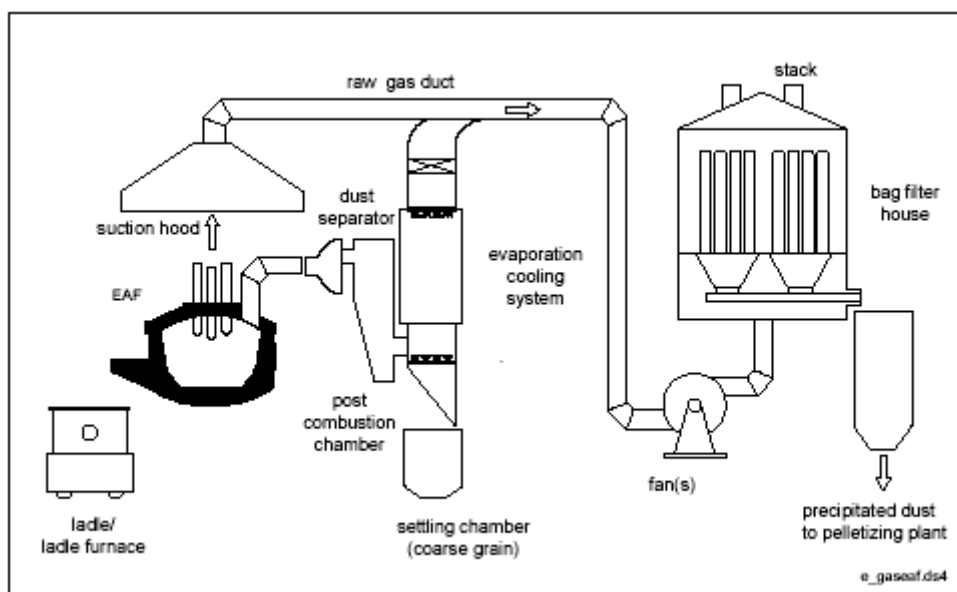
Se non si può introdurre una camera di combustione separata, la post-combustione può essere ottenuta nel condotto degli esausti.

Gli sviluppi più recenti prevedono camere di combustione separate con bruciatori aggiuntivi.

I livelli di emissione raggiungibili con un rapido raffreddamento, ottenuto per diluizione o con water quenching, o mediante altri sistemi che garantiscano un rapido raffreddamento dei fumi possono essere  $\leq 0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$  in condizioni ottimali.

La riduzione di PCDD/F può essere considerato come parametro guida; ci si può aspettare che gli altri microinquinanti vengano pure distrutti.

In linea di principio tali tecniche possono essere adottate sia in impianti nuovi che esistenti ma tenendo conto per questi ultimi delle effettive circostanze specifiche, come spazio disponibile, il sistema di aspirazione etc.



Esempio di un sistema di post - combustione seguito da raffreddamento veloce

- Iniezione di polvere di lignite od altri agenti adsorbenti (carbone attivo, ecc.)
- Per ridurre i microinquinanti organici negli esausti (primari e secondari) e specialmente PCDD/F si può dosare sul condotto fumi prima dei filtri una certa quantità di polvere di lignite. La quantità necessaria è di circa  $100 \text{ mg di lignite/Nm}^3$  di esausti. La polvere di lignite viene poi separata dal gas esausto nei filtri a maniche e smaltita con le polveri abbattute che peraltro già svolgono la funzione di adsorbire i microinquinanti condensati. Bisogna fare attenzione a scintille e possibili incendi o danneggiamenti delle

maniche. L'iniezione di polvere di lignite determina rischi di incendi per cui particolare attenzione deve essere posta nel caso di adozione di tale tecnica.

Le concentrazioni raggiungibili sono  $\leq 0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$ .

- Riduzione della quantità di rifiuti solidi.

In linea di principio e con relative ridotte variazioni, in più o in meno in funzione della pratica operativa adottata nella conduzione del forno e del tipo di acciaio fabbricato, la produzione di scoria e polvere è quasi un'invariante. Anzi, per quanto riguarda la polvere, a parità di altre cose, lo sforzo è quello di captarne il più possibile.

Le tecniche di riduzione sono pertanto quelle che riducono la quantità finale da destinare alla discarica. Pertanto possono essere adottate, per quanto possibile, tecniche di riciclo all'interno o all'esterno dell'acciaieria dei residui prodotti.

- Per quanto riguarda la polvere di acciaieria la quantità che viene raccolta, in funzione del tipo di acciaio prodotto e della marcia adottata dal forno, si aggira su valori compresi tra 10 e 20 Kg/t di acciaio liquido con punte sino a 25 Kg/t.

Normalmente queste polveri sono la conseguenza della pulizia degli esausti captati e contengono una significativa quota di metalli pesanti che necessitano di attenzioni speciali in caso di lavorazioni successive o invio in discarica.

Tralasciando l'esame dei problemi, da risolvere con opportuni trattamenti, vetrificazione esclusa, della messa a dimora in discariche, le alternative di recupero si possono classificare in tre categorie:

- Riciclaggio delle polveri ricaricandole nel forno elettrico stesso
- Processi piro ed idrometallurgico per recupero dello zinco e recupero o rimozione degli altri metalli pesanti
- Processi come al punto precedente ma destinati al recupero sia dei metalli pesanti, del ferro e della scoria risultante.

In breve le caratteristiche dei processi sono:

- Riciclaggio delle polveri ricaricandole nel forno elettrico stesso  
Lo scopo è quello di arricchire le polveri come contenuto di zinco diminuendone la quantità prodotta. L'operazione ha un impatto negativo sulla conduzione del forno riducendone l'efficienza ed incrementando il consumo di energia. Il riciclaggio della polvere ed il conseguente incremento del contenuto di zinco ha un limite nel consumo di energia e nei costi operativi prima che su altri fattori.

Per la definizione di possibili valori di miglioramento occorre tenere conto delle modalità di reiniezione della polvere che in ogni caso richiedono investimenti e costi di esercizio non trascurabili.

E' evidente che se oltre alla riduzione della quantità si conta sul recupero di elementi di lega (è il caso delle polveri provenienti dalla produzione di acciai alto legati o inossidabili) la convenienza appare più evidente.

- Processi piro ed idrometallurgico per recupero dello zinco e recupero o rimozione degli altri metalli pesanti

E' un processo per il recupero di metalli che per essere messi sul mercato hanno subito tutto il ciclo a partire dal minerale.

Le possibilità sono il processo piro ed idrometallurgico.

Le tecniche disponibili e provate sono il processo Waelz e l'EZINEX; per il recupero degli elementi di lega esiste il processo al plasma (tipo Plasminox)

- Processi come al punto precedente ma destinati al recupero sia dei metalli pesanti, del ferro e della scoria risultante.

Si tratta di un processo sperimentato (brevettato) ma non ancora passato alla fase realizzativa in quanto i suoi economics non sono ancora soddisfacenti.

In pratica una miscela di polvere, carbone ed altri additivi viene iniettata in un forno, di taglia adatta alle necessità, ma comunque diverso dall'EAF specifico anche se può essere collegato in linea con il sistema di captazione ed abbattimento polveri.

L'iniezione viene fatta tramite lance raffreddate in un bagno di scoria preventivamente fusa; l'apporto di energia viene attraverso un elettrodo.

La post - combustione del gas di processo mediante l'insufflazione di ossigeno fornisce il calore necessario allo svolgimento del processo stesso. Se si aumenta il quantitativo di carbone, od altro combustibile, si può giungere al mantenimento del processo con sola energia chimica. Il ciclo può essere continuo; il risultato delle operazioni è :

- fase metallica (ghisa) ricaricabile al forno elettrico
- polvere molto ricca in ossido di zinco (oltre l'85%) da usare come carica in processi di fabbricazione di zinco metallico.
- scoria inerte.

- Per quanto riguarda la scoria proveniente direttamente dal forno elettrico, dopo la deferrizzazione, può essere riutilizzata per le sue buone caratteristiche meccaniche e resistenza agli agenti atmosferici.

La tecnica consigliata per il recupero è quella prevista nel decreto sul riutilizzo dei rifiuti non pericolosi. Nell'applicazione di questa tecnica deve però essere revisionata la prova di eluizione prevista per il recupero di massa.

- Per il raffreddamento del forno, prevedere un sistema ad acqua a circuito chiuso

#### - Colata Continua

L'acqua è usata per il raffreddamento sia delle apparecchiature che del prodotto in uscita dalle colate continue.

Queste possono operare a circuito chiuso se dotate di opportuni impianti di trattamento acque, usualmente utilizzati anche per gli impianti di laminazione. Il consumo di acqua è limitato al reintegro delle perdite per evaporazione, smaltimento fanghi, etc.

La tecnica di cui sopra va supportata con un sistema di controllo e regolazione della qualità dell'acqua in termini di alcalinità, conduttività e corrosività.

E' evidente che il circuito chiuso richiede energia elettrica aggiuntiva per il pompaggio dell'acqua.

## **4.4 La laminazione a caldo**

Di seguito vengono riportate le migliori tecniche per gli impianti di laminazione a caldo di metalli ferrosi, i cui principali aspetti ambientalmente rilevanti riguardano:

- le emissioni in atmosfera dal processo di riscaldamento, laminazione e trattamento superficiale;
- il trattamento delle acque di processo, contenenti principalmente olio e solidi.

### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)**

#### **1. Condizionamento del semilavorato**

I semilavorati (bramme, blumi e billette) provenienti sia da processi discontinui (colata in lingotti) che da processi continui (colata continua), possono presentare discontinuità sulla superficie del materiale. Alcuni di questi difetti possono essere pregiudizievoli al raggiungimento della qualità richiesta sul prodotto finale e quindi vanno asportati.

I sistemi per asportare i difetti in superficie sono essenzialmente di due tipi:

- abrasione mediante molatura;
- asportazione mediante fusione (scarfatura): i difetti superficiali sono rimossi tramite l'utilizzo di una fiamma che fonde ed ossida la superficie dei semilavorati.

In entrambi i casi il condizionamento del semilavorato può avvenire con sistemi manuali o con un macchinario fisso.

La scelta di utilizzare sistemi a freddo (molatura) od a caldo (fusione mediante scarfatura) è legata al tipo di materiale: generalmente per gli acciai inox e gli acciai speciali, per i quali non è possibile la rimozione termica dei difetti superficiali, si utilizza la molatura, mentre per gli acciai al carbonio si utilizza la scarfatura.

Il miglioramento della qualità superficiale dei prodotti colati riduce la necessità di bonifica superficiale del semilavorato.

Le principali emissioni in atmosfera, peraltro limitate, che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono le polveri che derivano dalle attività di molatura e scarfatura.

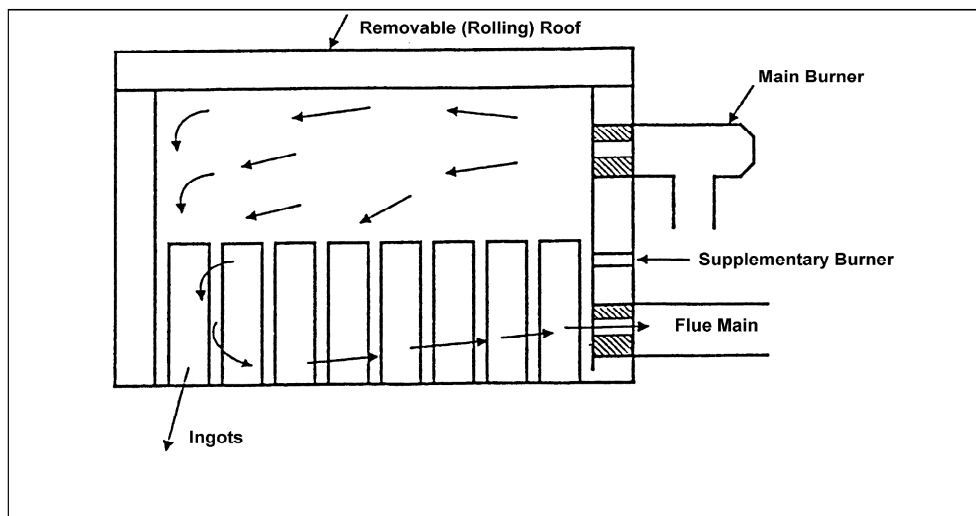
#### **2. Riscaldamento del semilavorato**

Il processo di riscaldamento persegue i seguenti obiettivi:

- rendere il materiale più facilmente deformabile;
- garantire che la laminazione a caldo avvenga alle temperature di processo richieste in tutte le sue fasi;
- permettere la solubilizzazione, dove necessario, di elementi specifici all'interno della matrice austenitica.

Gli impianti di riscaldamento possono essere di tipo discontinuo o continuo ed il calore necessario può essere fornito attraverso la combustione di combustibili quali olio combustibile, gas di cokeria, gas naturale, etc.

Gli impianti di tipo discontinuo sono solitamente forni a pozzo in cui vengono alloggiati bramme, lingotti o altro materiale che permangono sino al completamento del ciclo termico impostato (riscaldamento o mantenimento alla temperatura idonea per la laminazione).



**Forno a pozzo**

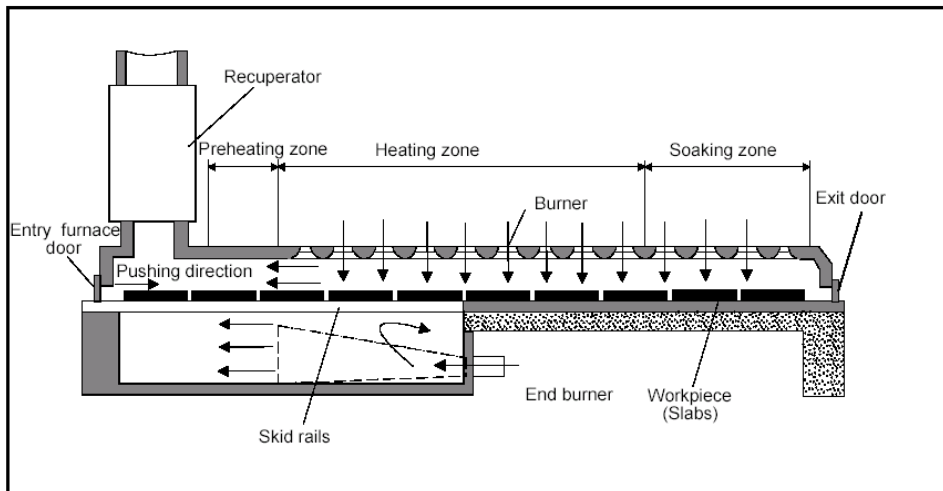
La maggior parte degli impianti di produzione di laminati piani, lunghi e tubi senza saldatura utilizza invece forni continui nei quali il semilavorato viene spostato all'interno del forno mentre viene riscaldato.

In funzione della geometria del forno e dal sistema mediante il quale viene spostato il semilavorato si hanno le seguenti tipologie di forni continui:

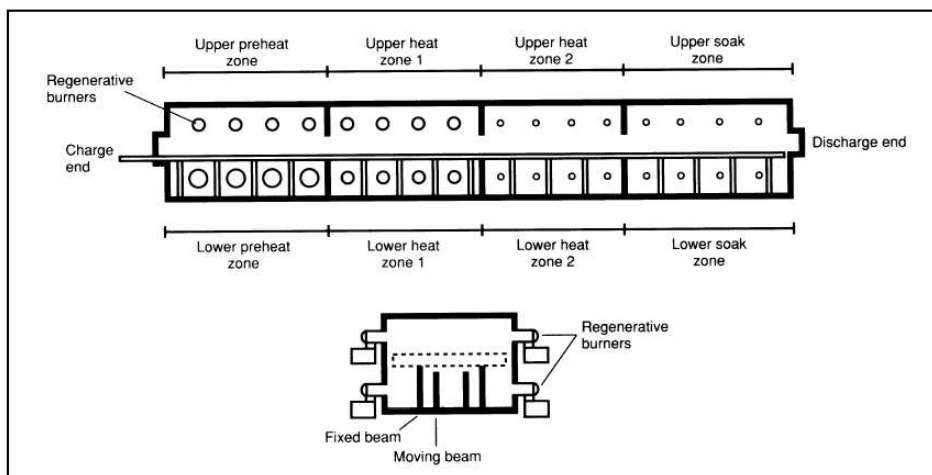
- forni a spinta: ciascun pezzo introdotto spinge i precedenti, in modo che all'inforamento di un semilavorato freddo corrisponde lo sfornamento di un semilavorato caldo;
- forni a "walking beam": l'avanzamento nel forno dei semilavorati avviene mediante un sistema di guide mobili e fisse disposte nel senso della lunghezza del forno; le guide mobili, ad intervalli regolari sollevano e trascinano in avanti tutti i pezzi posti in un forno ad una certa distanza gli uni dagli altri;
- forni a suola rotante: il forno è circolare e la suola (base) ruota, i semilavorati sono disposti come mozzì di una ruota;
- forni a rulli (il semilavorato è mosso da speciali rulli coibentati e raffreddati interni al forno), utilizzati nelle colate continue sottili.

In funzione del tipo di riscaldamento, i forni continui possono essere:

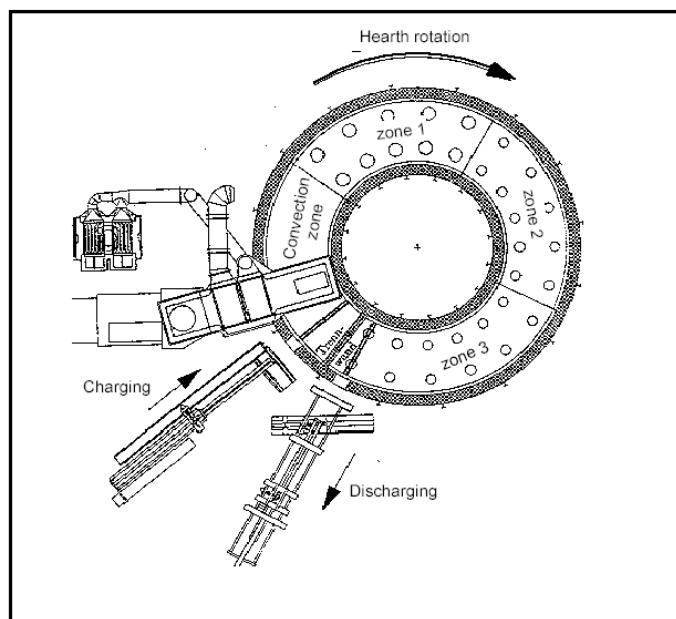
- forni a riscaldamento unilaterale (il riscaldamento avviene attraverso la sola superficie superiore del semilavorato)
- forni a riscaldamento bilaterale (il riscaldamento avviene attraverso la superficie superiore ed inferiore del semilavorato)
- forni a riscaldamento misto (nella lunghezza del forno una parte è a riscaldamento bilaterale, una parte è a riscaldamento unilaterale)



**Forno a spinta**



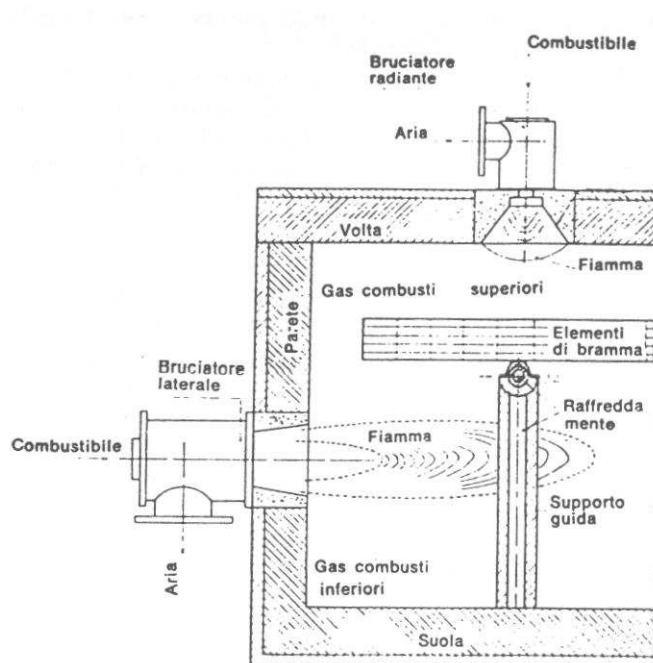
**Forno "walking beam"**



**Forno a suola ruotante**

Il controllo di temperatura e combustione all'interno dei forni continui è organizzato in funzione delle dimensioni e della tipologia del forno. Normalmente i forni continui, avendo la lunghezza come dimensione dominante, sono organizzati in zone di controllo della combustione nel senso della lunghezza del forno, ma, se di tipo bilaterale, anche per posizione del riscaldamento e per forni larghi anche nel senso della larghezza.

Nella figura seguente sono riportati gli elementi fondamentali dello scambio termico nei forni di riscaldamento continui:



*Elementi fondamentali dello scambio termico nei forni di riscaldamento*

Tra le tipologie di bruciatori superiori vi sono quelli di tipo radiante i quali consentono una distribuzione di temperatura uniforme all'interno dei forni, unitamente ad una elevata efficienza

termica. I bruciatori radianti sono atti ad essere installati in una volta piana e la combustione avviene completamente all'interno di una coppa, in materiale altamente refrattario; lo scambio termico con il materiale da riscaldare avviene per irraggiamento.

Il riscaldamento laterale, per i forni continui per i quali è previsto, generalmente è realizzato con bruciatori a fiamma lunga disposti lungo le pareti laterali.

I sistemi di supporto e movimentazione dei semilavorati all'interno dei forni di riscaldamento continui possono essere raffreddati a vapore o acqua oppure essere in solo refrattario e materiali isolanti.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante tale fase di processo sono quelle che derivano dal processo di combustione di combustibili per il riscaldamento dei forni (principalmente NO<sub>x</sub> ed SO<sub>x</sub>).

### **3. Discagliatura**

Durante il riscaldamento all'interno dei forni si formano, sulla superficie del materiale, scaglie (fondamentalmente costituite da ossidi di ferro) che devono essere rimosse per evitare che lascino impronte sulla superficie del materiale durante la laminazione. La rimozione delle scaglie può essere di tipo meccanico (rottura meccanica della scaglia tramite una lieve laminazione) oppure può avvenire spruzzando acqua ad alta pressione sulla superficie del materiale.

La discagliatura, oltre che all'ingresso del treno sbozzatore, può essere effettuata anche in altri punti dell'impianto di laminazione, ad es. all'ingresso del treno finitore (per rimuovere la scaglia secondaria, ossia quella formatasi durante il trasferimento del materiale sulla tavola a rulli dal treno sbozzatore al treno finitore).

Dalla fase di discagliatura derivano dei reflui contenenti principalmente solidi (scaglie).

### **4. Laminazione**

Esistono molti tipi di treni di laminazione, ciascuno dei quali è progettato specificatamente per un determinato tipo di prodotto da laminare.

Il modo più appropriato di classificare i treni di laminazione è quello di definirli attraverso il prodotto finale ottenuto:

- Treno per nastri: per la laminazione a caldo di bramme in nastri
- Treno per lamiere: per la laminazione a caldo di bramme in lamiere
- Treno per barre: per la laminazione a caldo di blumi o billette in barre
- Treno per tondi (vergella): per la laminazione a caldo di blumi o billette in tondi (vergella)
- Treno per profilati: per la laminazione a caldo di blumi in profilati.

Un treno di laminazione è costituito da una serie di gabbie di laminazione, ciascuna delle quali contiene, all'interno di un telaio, i cilindri di laminazione ed i relativi azionamenti per la regolazione della distanza tra i cilindri e quindi della deformazione da impartire al materiale.

Le gabbie di laminazione possono essere di tipo continuo (il materiale passa una sola volta) o di tipo reversibile (il materiale passa più volte, invertendo il senso di avanzamento).

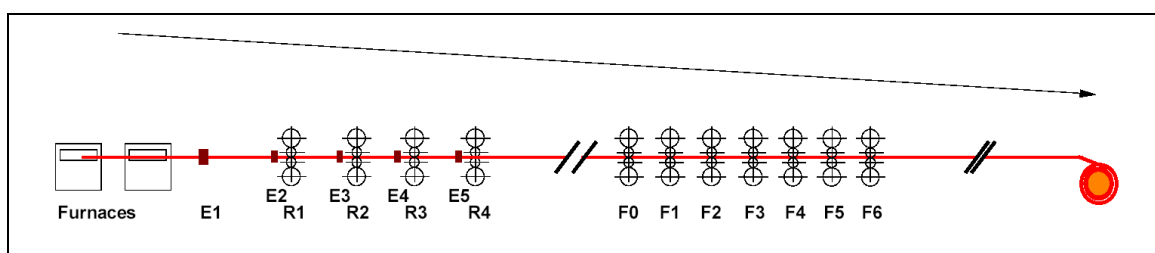
Le gabbie di laminazione possono possedere più tipi di cilindri: i cilindri di lavoro (sempre presenti) ed i cilindri di appoggio. I cilindri di lavoro sono quelli che deformano il materiale, mentre la funzione dei cilindri di appoggio è fondamentalmente quella di evitare l'incurvatura dei cilindri di lavoro nella laminazione delle bramme.

## Laminatoi per nastri

La bramma riscaldata alla temperatura di laminazione nei forni di riscaldamento, dopo la fase di discagliatura, viene laminata nel treno sbozzatore, dove subisce una prima riduzione di spessore. Si ottiene una “barra di trasferimento” con spessori di circa 20-50 mm.

La sbozzatura può includere anche una riduzione di larghezza; infatti, poichè le bramme prodotte dalla colata continua hanno certe larghezze definite, può essere necessario ridurne la larghezza per avvicinarla a quella del nastro che si vuole ottenere, in modo da ridurre gli scarti e migliorare la resa. Questa riduzione può avvenire nei così detti edgers (gabbie di laminazione verticali) posizionati davanti alle gabbie sbozzatrici e/o attraverso l'utilizzo di una pressa posizionata prima del treno sbozzatore.

La laminazione al treno sbozzatore può essere effettuata utilizzando un treno continuo oppure una sola gabbia reversibile (invertendo il verso di rotazione) oppure una configurazione mista.

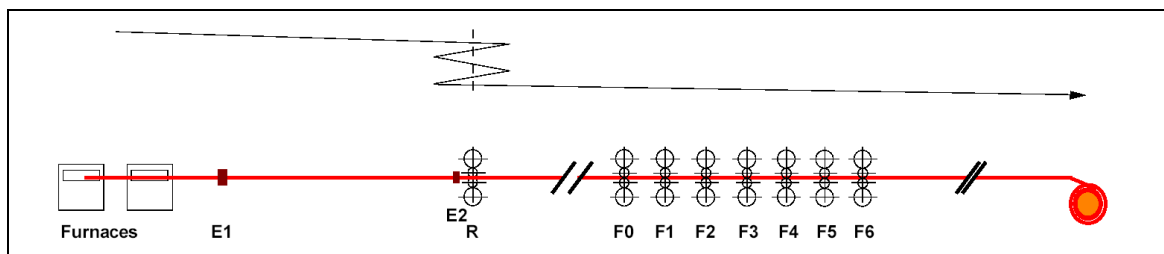


E = edger

R = gabbia sbozzatrice

F = gabbia finitrice

*Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri continuo*

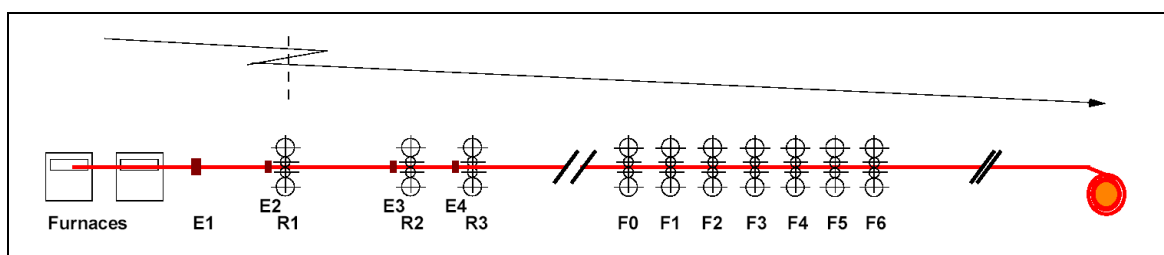


E = edger

R = gabbia sbozzatrice

F = gabbia finitrice

*Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri semi-continuo*



E = edger

R = gabbia sbozzatrice

F = gabbia finitrice

### *Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per nastri $\frac{3}{4}$ continuo*

Il materiale sbozzato (barra di trasferimento) è generalmente inviato al treno finitore attraverso una via a rulli intermedia.

Nel treno finitore avviene la riduzione finale di spessore; un treno finitore è solitamente composto da più gabbie poste una dopo l'altra ed aventi le aperture dei cilindri tali che la riduzione di spessore avviene con un unico passaggio della barra di trasferimento.

Prima di entrare nel treno finitore, la barra di trasferimento viene tagliata attraverso una cesoia per eliminare le estremità che possono avere forma non regolare. Questo consente sia di ottenere un ingresso più sicuro nel treno finitore (minore rischio di danneggiamento dei cilindri) sia di ridurre la generazione di scarti.

La laminazione a temperatura controllata in un treno finitore (che comprende il raffreddamento controllato del nastro all'uscita della tavola a rulli) fornisce al nastro le caratteristiche finali richieste (durezza, tenacità, etc.).

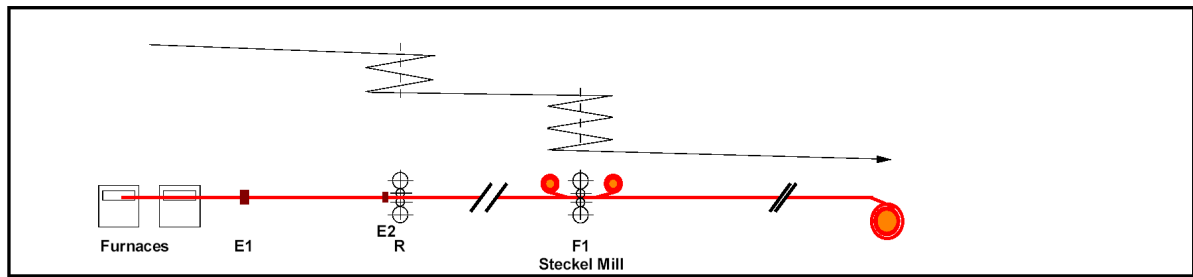
Il nastro laminato a caldo viene avvolto in un coil, utilizzando degli aspi avvolgitori.

I nastri laminati a caldo per i quali non è previsto il successivo processo di laminazione a freddo, possono avere la necessità di essere condizionati a seconda dell'utilizzo a cui sono destinati. La finitura dei coils può includere la spianatura, la rifilatura dei bordi, il taglio longitudinale in bande più sottili ed il taglio in fogli.



*Treno nastri*

I laminatoi Steckel rappresentano un modo speciale per la produzione di nastri nella zona finitore. Il materiale viene lavorato attraverso una laminazione di tipo reversibile in una gabbia finitrice.



E = edger

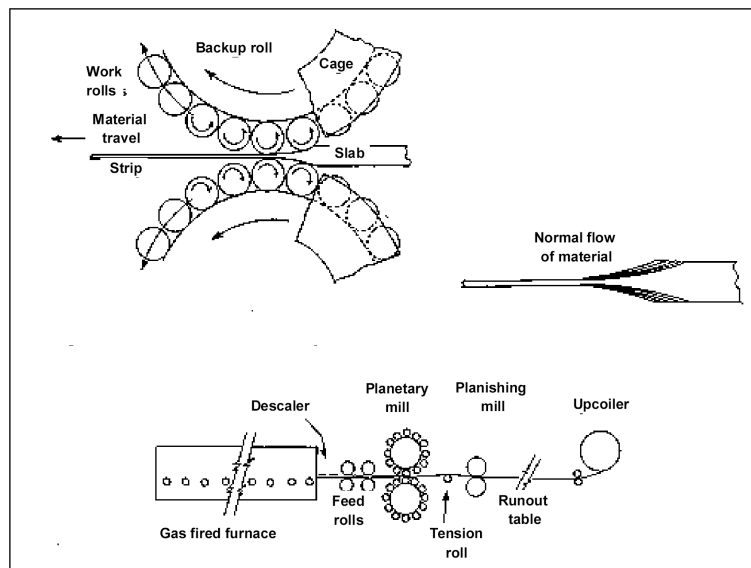
R = gabbia sbazzatrice

F = gabbia finitrice

### *Configurazione tipica di un laminatoio Steckel*

Per ridurre a livelli ragionevoli le perdite termiche durante il processo di laminazione al finitore e per maneggiare più facilmente il nastro (relativamente lungo) si utilizzano degli avvolgitori riscaldati ad entrambi i lati della gabbia di laminazione (gabbia finitrice), dove il materiale laminato è stoccato temporaneamente.

I laminatoi Planetario (Sendzimir) di questo tipo sono caratterizzati dall'utilizzo di particolari configurazioni dei cilindri di laminazione: si utilizzano cilindri di appoggio che guidano i cilindri di lavoro in modo che la superficie di questi ultimi si muove in una direzione opposta a quella del pezzo da lavorare.

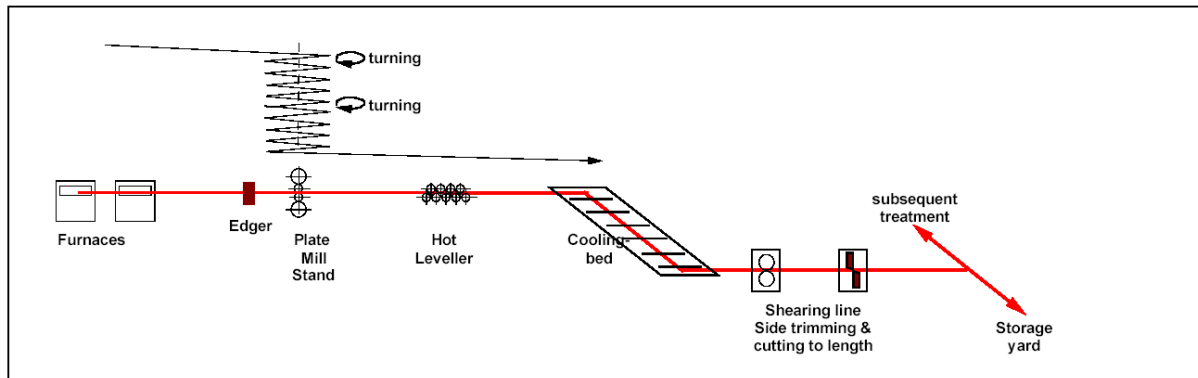


### *Laminatoio planetario*

#### Laminatoi per lamiera

La produzione è realizzata tramite laminazione reversibile utilizzando o un'unica gabbia di laminazione o due gabbie di laminazione (una sbazzatrice ed una finitrice).

Dopo la laminazione, le lamiera sono posizionate su un letto di raffreddamento e raffreddate a temperatura ambiente o temperature idonee per i trattamenti successivi.



*Configurazione tipica di un laminatoio a caldo per lamiera*

In casi particolari il prodotto laminato è trattato termicamente attraverso sistemi di raffreddamento ad acqua immediatamente dopo la laminazione a caldo.

Prima o dopo il letto di raffreddamento le lamiere possono essere spianate per conferire al prodotto idonee caratteristiche di planarità.

Dopo il letto di raffreddamento, si effettua la finitura delle lamiere (taglio, rifilatura bordi, riduzione alla lunghezza desiderata).

Dopo la finitura, alcuni prodotti possono essere soggetti a trattamento termico (ad es. ricottura, ricottura sferoidale, distensione, normalizzazione, tempra e rinvenimento).

Inoltre attraverso un processo di laminazione a caldo possono essere ottenuti prodotti speciali multi-strato (placcati) costituiti da uno strato interno di acciaio al carbonio e strati esterni superficiali aventi particolari caratteristiche di resistenza alla corrosione.

### Laminatoi per barre

Le barre laminate a caldo comprendono fondamentalmente due tipi di prodotti in acciaio:

- barre commerciali con sezioni trasversali di vario tipo (tonde, quadrate, rettangolari, esagonali, ottagonali, semitonde, ad L, a T, a Z, ad I, etc.)
- barre di rinforzo del calcestruzzo (re-bars), con sezione tonda (da 6 a 56 mm di diametro) e con nervature sulla superficie.

I laminatoi per barre sono in genere laminatoi a singolo elemento, costituiti da un treno sbizzatore, un treno intermedio ed un treno finitore seguiti da cesoie che tagliano il prodotto laminato in barre lunghe, che sono quindi trasportate su letti di raffreddamento. I laminatoi possono essere continui o aperti.

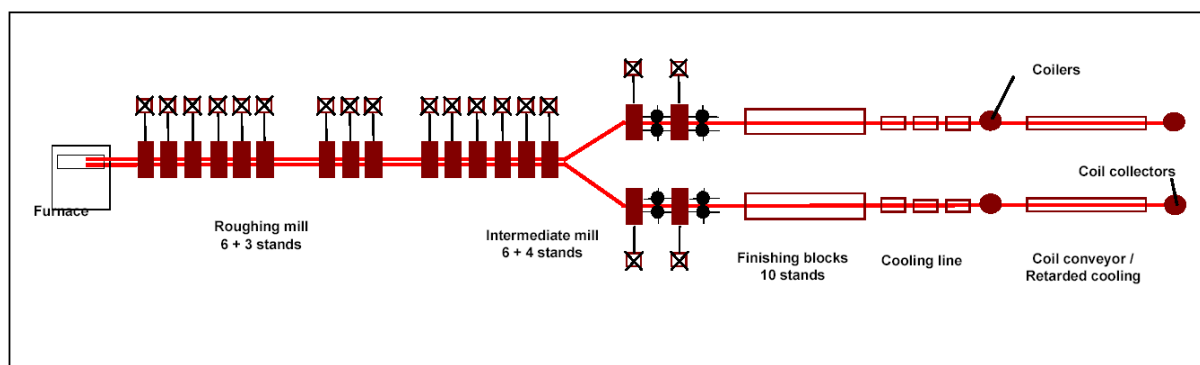
Dopo il raffreddamento, le barre sono tagliate alle lunghezze commerciali e possono essere raddrizzate a freddo tramite una raddrizzatrice.

Spesso le barre di rinforzo per calcestruzzo sono trattate termicamente in linea attraverso un raffreddamento ad acqua intensivo per ottenere un elevato carico di snervamento e di rottura. Un modo diverso per aumentare il carico di snervamento e di rottura consiste in un trattamento meccanico dopo il raffreddamento: le barre sono deformate a freddo fino ad ottenere il carico di rottura desiderato.

## Laminatoi per vergella

La vergella è un prodotto in genere di sezione circolare con un diametro compreso tra 5 e 16 mm. Utilizzando cilindri con scanalatura di forma adeguata, si possono ottenere sezioni più grosse e sezioni di forme differenti (ad es. ovale, quadrata, esagonale, ottagonale, etc).

La vergella laminata a caldo di solito è utilizzata per essere ulteriormente processata o tramite trafilatura a freddo o tramite laminazione a freddo.



*Esempio di laminatoio a caldo per vergella (a due elementi)*

Le billette alimentate ai laminatoi per tondi sono riscaldate alla temperatura di laminazione in forni del tipo a spinta o del tipo “walking beam”.

Tra l’uscita dei forni e la prima gabbia di laminazione si può effettuare una discagliatura.

I laminatoi per tondi sono composti da un treno sbozzatore, un treno intermedio ed un treno finitore. La sezione di sbozzatura e quella intermedia possono essere a più elementi, mentre la sezione di finitura è di solito a singolo elemento.

Tra le varie sezioni del laminatoio sono installate delle cesoie utilizzate per impartire un taglio “pulito”, in modo da migliorare l’introduzione nelle gabbie di laminazione successive. Le cesoie sono utilizzate anche per tagliare il materiale impegnato nel processo di laminazione in caso di incidente a valle nel laminatoio.

La vergella può subire un trattamento termico in linea che consiste in un raffreddamento ad acqua posizionato tra le gabbie finali di laminazione e gli avvolgitori. Inoltre, dopo l’avvolgimento, la vergella, poggiata su trasportatori, subisce un raffreddamento ad aria.

### Laminatoi per profilati

Come la maggior parte degli altri tipi di laminatoi, i laminatoi per profilati sono composti da gabbie sbozzatrici, gabbie intermedie e gabbie finitrici, generalmente precedute da una discagliatrice installata tra i forni di riscaldamento ed il treno sbozzatore.

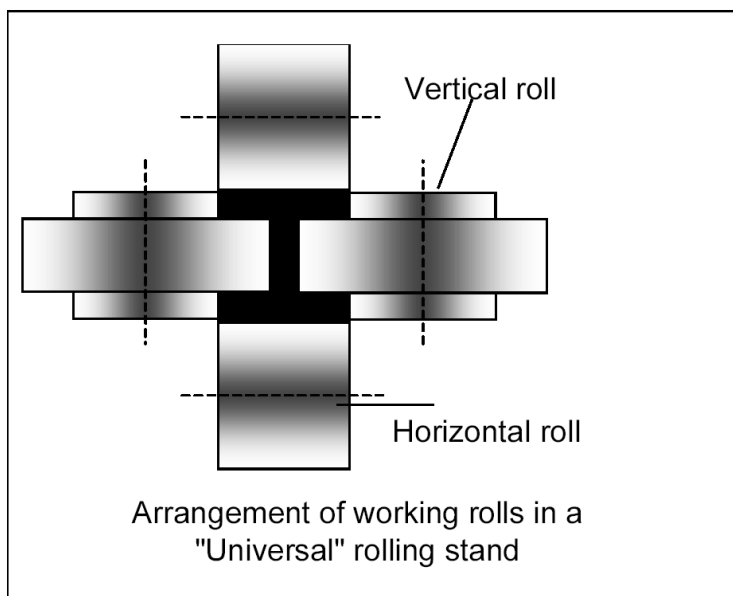
Le gabbie sbozzatrici sono in genere di tipo reversibile. I cilindri possono avere una serie di profili, che sono utilizzati in sequenza. Il cilindro superiore può essere mosso verticalmente al fine di ridurre progressivamente l'apertura tra i cilindri e pertanto ridurre la sezione di passaggio nei reversibili.

In genere tra le varie sezioni del laminatoio sono installate delle cesoie a caldo, utilizzate per impartire un taglio "pulito", in modo da migliorare l'introduzione nelle gabbie di laminazione successive.

All'uscita del treno finitore, il profilato viene diviso nella lunghezza del letto di raffreddamento o nelle lunghezze commerciali tramite cesoie.

Dopo i letti di raffreddamento il prodotto è raddrizzato a freddo tramite raddrizzatrici meccaniche o idrauliche ed è tagliato alla lunghezza richiesta tramite sistemi meccanici (cesoie, segatrici, ecc..).

Per ottenere i vari profili richiesti si utilizzano o gabbie con due cilindri scanalati, o gabbie "universali" costituite da due cilindri orizzontali e due cilindri verticali.



*Gabbie universali*

Il controllo della geometria è di estrema importanza nella laminazione di profilati, poiché per i profilati laminati a caldo di solito sono richieste tolleranze piuttosto strette e si utilizzano strumenti di misura basati su tecniche sofisticate.

I layout dei laminatoi per profilati variano enormemente a seconda del tipo di profilato da produrre.

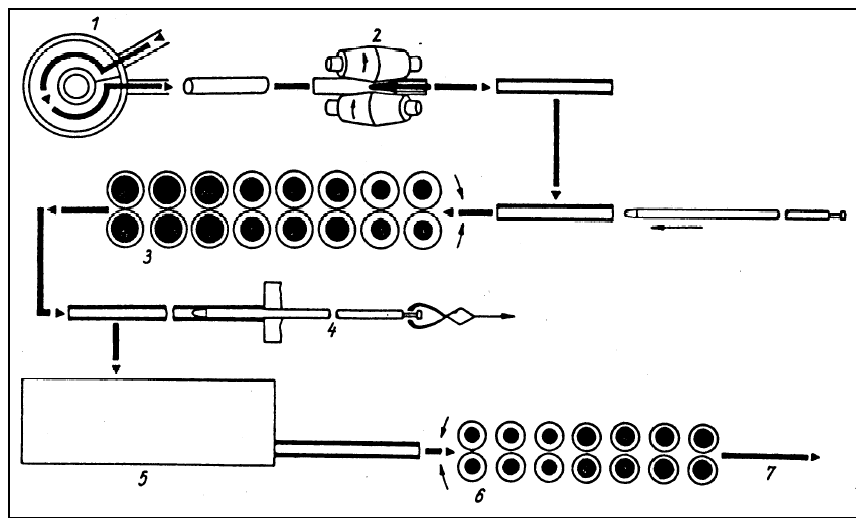
### Laminatoi per tubi senza saldatura

La produzione dei tubi senza saldatura può essere realizzata utilizzando processi differenti ed è costituita fondamentalmente dalle seguenti fasi:

- riscaldamento del materiale in ingresso
- perforazione (perforazione per pressione o laminazione obliqua)
- allungamento/stiramento
- laminazione finale
- trattamento termico

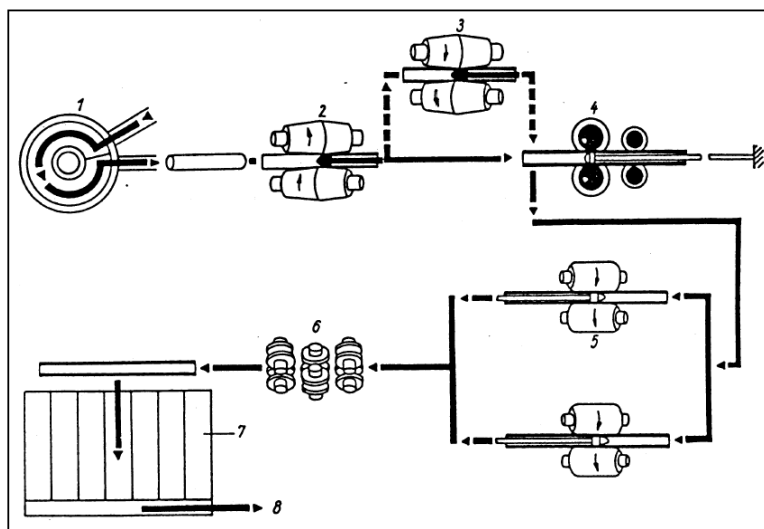
Le tipologie più importanti di impianti attualmente utilizzati sono i laminatoi a mandrino, i laminatoi a spina, i laminatoi a passo di pellegrino ed i laminatoi con banco a spinta; la denominazione di questi impianti deriva dal nome del laminatoio sbizzatore.

Le figure seguenti mostrano alcune configurazioni tipiche di laminatoi per tubi:



- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 1. Forno a suola rotante | 5. Forno di riscaldamento                      |
| 2. Perforazione          | 6. Stiramento                                  |
| 3. Laminatoio a mandrino | 7. Al letto di raffreddamento ed alla finitura |
| 4. Estrattore            |  |

#### *Laminatoio a mandrino*



- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Forno a suola rotante | 5. Reeler                             |
| 2. Perforazione          | 6. Laminazione alla dimensione finale |
| 3. Allungamento          | 7. Letto di raffreddamento            |
| 4. Laminatoio a spina    | 8. Finitura                           |

### *Laminatoio a spina*

La materia prima per la produzione di tubi d'acciaio non legati e medio-legati è costituita da billette o blumi tondi ottenuti dalla colata continua, sebbene a volte si possono utilizzare billette con sezione trasversale quadrata. La materia prima per gli acciai al cromo alto-legati sono fondamentalmente barre tonde, laminate da billette colate.

Il materiale in ingresso è riscaldato alla temperatura di laminazione in forni a suola ruotante, alimentati con gas naturale o olio combustibile.

Successivamente si ottiene una billetta cava tramite perforazione. Il processo di perforazione più importante utilizza cilindri inclinati: la cavità è prodotta attraverso due cilindri inclinati che ruotano nella stessa direzione, in modo che il materiale è laminato con un movimento a vite su una spina perforatrice.

Per la fase di allungamento si utilizzano la laminazione longitudinale, la laminazione trasversale o presse. Il processo più importante è quello di laminazione dei tubi in continuo, in quanto è uno dei più produttivi e dei più efficienti.

Alcune gabbie di laminazione sono utilizzate contemporaneamente (di solito 6-8 gabbie per gruppo), ad un angolo di 90° tra di loro. La riduzione dello spessore della parete ha luogo tra i cilindri ed un mandrino cilindrico lubrificato.

La laminazione alla dimensione finale è effettuata senza un mandrino interno nei laminatoi calibratori o nei laminatoi di stiramento.

I laminatoi calibratori hanno 2-10 gabbie e possono avere 2 o 3 cilindri per gabbia; poiché si riduce la circonferenza, aumenta lo spessore della parete.

Nei laminatoi di stiramento, che di solito hanno tre cilindri per gabbia e fino a 30 gabbie, si evita un aumento dello spessore della parete, in quanto si applicano forze di trazione tra le gabbie durante il processo.

I tubi destinati ad applicazioni che non richiedono speciali caratteristiche meccaniche, non sono sottoposti a trattamenti successivi. Se è richiesta una maggiore qualità, in particolar modo una

buona tenacità, dopo la laminazione si effettua un trattamento termico separato che può includere normalizzazione e rinvenimento.

I cilindri di lavoro nel processo di laminazione a caldo sono gli utensili mediante i quali viene applicato lo sforzo di deformazione al laminato; di conseguenza a questo loro utilizzo, essi sono soggetti a sollecitazioni di natura meccanica e termica che comportano modifiche della forma e della superficie dei cilindri stessi. L'entità di queste usure cambia in funzione sia delle caratteristiche (dimensioni e materiale) del cilindro stesso sia delle caratteristiche di lavorazione (riduzione, velocità e temperatura) che il cilindro effettua sul materiale.

I cilindri di laminazione sono normalmente riutilizzabili dopo ricondizionamento, sia delle superfici che di alcune dimensioni, che dei sistemi di supporto (anelli, cuscinetti, guarniture, etc.).

I cilindri dei treni di laminazione sono condizionati in base a specifiche ben definite, a seconda del prodotto da laminare. Il condizionamento dei cilindri è effettuato nella torneria cilindri, in cui in genere si svolgono le seguenti operazioni:

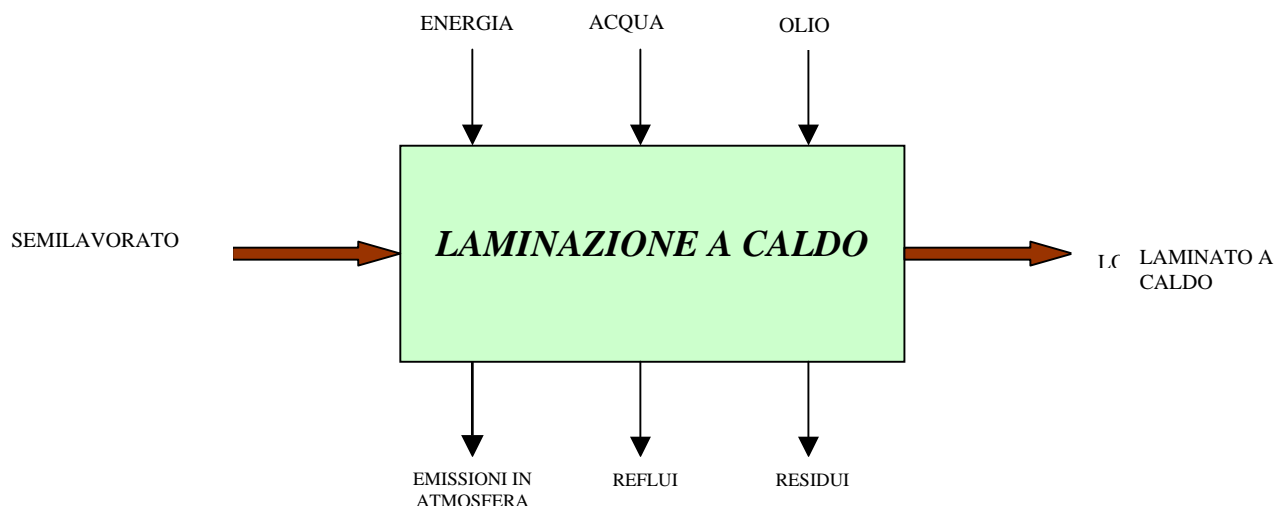
- raffreddamento: i cilindri di lavoro sono raffreddati in atmosfera o con spruzzi d'acqua;
- preparazione: le guarniture, i cuscinetti, i supporti sono eventualmente smontati e messi a punto;
- pulizia: i cilindri da condizionare sono puliti da depositi e lubrificanti;
- condizionamento: i macchinari tipici utilizzati sono i torni, le rettificatrici e le mole.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di laminazione a caldo sono costituite dalle polveri che possono provenire dalle gabbie di laminazione; queste emissioni dipendono ampiamente dalla velocità di laminazione e dall'area superficiale del prodotto.

Inoltre da tale fase di processo si generano dei reflui, contenenti principalmente olio e scaglie.

### **Bilancio complessivo di materia ed energia**

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla laminazione a caldo è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali residui nel normale esercizio sono costituiti dalle scaglie di laminazione, residui oleosi, rottame, polveri derivanti dai sistemi di depurazione a secco che vengono, sin dove possibile, riciclati. Altri residui quali ad esempio refrattari a fine ciclo, fanghi derivanti dal trattamento acque, utensili da taglio esauriti, ecc.... vengono smaltiti e, ove possibile, riciclati.

## **B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

### **1. Condizionamento del semilavorato**

- Adozione delle seguenti tecniche alla scarfatura tramite macchinario fisso:
  - sistema di captazione delle emissioni e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto o elettrofiltro a secco o ad umido (nel caso di fumi molto umidi).  
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
    - concentrazione di polveri dopo abbattimento:
      - con filtro a tessuto :  $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$
      - con elettrofiltro a secco o ad umido :  $20\div 50 \text{ mg/Nmc}$
  - trattamento delle acque derivanti dalla filtrazione ad umido per la separazione dei solidi.
- Adozione di un sistema fisso di captazione delle emissioni che si verificano durante la molatura e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto.  
Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:
  - concentrazione di polveri dopo abbattimento:  $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$

Le suddette tecniche sono applicabili ai nuovi impianti con macchinario fisso e non sono applicabili per operazioni manuali di scarfatura e/o molatura.

### **2. Riscaldamento del semilavorato**

Per i nuovi forni di riscaldamento, in fase progettuale, possono essere considerate una combinazione delle seguenti tecniche:

- Adozione di idonee misure costruttive volte ad incrementare la durata del materiale refrattario, riducendone la possibilità di danneggiamento.
- Adozione, per i forni a marcia discontinua, di refrattari a bassa massa termica in modo da ridurre le perdite legate all'accumulo di energia ed i tempi necessari per l'avviamento del forno.
- Riduzione delle sezioni di passaggio dei materiali in ingresso ed in uscita dal forno (riduzione apertura porte, adozione di porte multi-segmento, etc), in modo da ridurre le perdite energetiche dovute alla fuoriuscita dei fumi e l'ingresso di aria esterna nel forno.  
La riduzione dell'apertura porte, ossia il mantenimento di una minima apertura delle porte necessaria per il caricamento del materiale da riscaldare, può essere operata anche sugli impianti esistenti.

- Adozione di misure (ad es. supporti a bassa dissipazione di temperatura detti “cavalieri”, guide inclinate nei forni a longheroni, sistemi di compensazione) per ridurre fenomeni di raffreddamento localizzato sulla base del materiale in riscaldamento (skid marks), dovuti al contatto del materiale stesso con i sistemi di supporto all’interno del forno.
- Adozione di un sistema di controllo della combustione.  
In particolare, il controllo del rapporto aria/combustibile è necessario per regolare la qualità della combustione, poiché assicura la stabilità della fiamma ed una combustione completa. Inoltre più il rapporto aria/combustibile è vicino a quello stechiometrico, più il combustibile è sfruttato in modo efficiente e più sono basse le perdite energetiche nei fumi.  
Un sistema di controllo della combustione può essere applicabile anche agli impianti esistenti.
- Scelta del tipo di combustibile per il riscaldamento dei forni (in funzione della disponibilità) ai fini della riduzione delle emissioni di SO<sub>2</sub>.  
In un ciclo integrato possono essere utilizzati i gas di recupero siderurgici (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria), a volte miscelati con gas naturale. Nel caso di utilizzo del gas di cokeria, quest’ultimo può essere sottoposto, ove possibile, ad un processo di desolforazione presso gli impianti di produzione (cokerie).  
I combustibili liquidi sono in particolare utilizzati in caso di indisponibilità dei combustibili gassosi.

A seconda del combustibile utilizzato, le emissioni convogliate in atmosfera raggiungibili di SO<sub>2</sub> sono:

- Gas naturale	SO <sub>2</sub> ≤ 100 mg/Nmc
- Miscele di gas di recupero siderurgici con gas naturale	SO <sub>2</sub> ≤ 400 mg/Nmc
- Olio combustibile (S ≤ 1%)	SO <sub>2</sub> ≤ 1700 mg/Nmc

- Adozione di bruciatori radianti sulla volta del forno, che per effetto della veloce dissipazione dell’energia, producono livelli emissivi di NO<sub>x</sub> più bassi.
- Adozione di bruciatori a basso NO<sub>x</sub> (low-NO<sub>x</sub>).  
I bruciatori low-NO<sub>x</sub> sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NO<sub>x</sub>.  
I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione, che potenzialmente possono determinare una riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> di circa il 65% rispetto ai bruciatori convenzionali.  
Sugli impianti esistenti risulterebbe possibile convertire i bruciatori convenzionali in bruciatori a basso NO<sub>x</sub> modificando i diffusori.  
I forni di riscaldamento non funzionano in condizioni stabili durante l’avviamento e lo spegnimento; durante queste fasi, i livelli emissivi possono aumentare, così come pure quando i bruciatori operano a portate inferiori a quelle di targa (in funzione dell’apporto calorico richiesto).  
Il preriscaldamento dell’aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l’efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NO<sub>x</sub> più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di NO<sub>x</sub> al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:

Temperatura di preriscaldamento aria comburente	NO <sub>x</sub> (mg/Nmc) – 3% O <sub>2</sub>
< 200 °C	< 400
300 °C	fino a 450
400 °C	fino a 600
500 °C	fino a 800
700 °C	fino a 1500
800 °C	fino a 2300
900 °C	fino a 3500
1000 °C	fino a 5300

La tecnica di denitrificazione dei fumi tramite sistema SCR (in cui gli NO<sub>x</sub> vengono ridotti cataliticamente, per mezzo di ammoniaca, in N<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O) o sistema SNCR (in cui la riduzione degli NO<sub>x</sub> avviene a temperature più elevate, senza l'aiuto di un catalizzatore), è raramente applicata ed inoltre presenta notevoli problemi in quanto:

- non è un sistema integrato col processo;
  - si ha un aumento dei consumi energetici, in quanto i fumi, per consentire le operazioni di conversione degli ossidi di azoto, devono essere rilasciati e/o riscaldati ad una temperatura di 300-400°C per il sistema SCR e ad una temperatura di 850-1100°C per il sistema SNCR;
  - il trasporto e lo stoccaggio dell'ammoniaca introduce rischi aggiuntivi dal punto di vista ambientale e per la sicurezza;
  - è necessario sostituire periodicamente il catalizzatore nel sistema SCR con evidenti riflessi sotto il profilo ambientale ed economico;
  - sul catalizzatore (nel sistema SCR) viene a formarsi il nitrato di ammonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) che ha caratteristiche esplosive e determina, unitamente al particolato, un decadimento dell'efficienza di conversione;
  - si hanno problemi di efficienza di riduzione degli NO<sub>x</sub> in particolare su forni in cui la produttività ed i profili di temperatura non sono stabili;
  - sono necessarie specifiche condizioni di temperatura e flusso volumetrico dei fumi, che non sempre possono essere raggiunti dagli impianti;
  - l'ammoniaca in eccesso trascinata dal reattore può reagire con gli ossidi di zolfo contenuti nei fumi di combustione, portando alla formazione di particelle di solfato o bisolfato di ammonio, che possono provocare fouling, erosione e corrosione delle superfici degli impianti;
  - l'installazione è difficoltosa per problemi di lay-out;
  - i costi di esercizio ed installazione sono elevati.
- Recupero del calore dei fumi di combustione per preriscaldare all'interno dei forni continui, attraverso una zona di preriscaldamento, il materiale caricato nei forni.  
In fase progettuale, può essere prevista all'interno del forno una zona di preriscaldamento del materiale caricato, in modo da assicurare un adeguato recupero di calore dai fumi di combustione.
  - Recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente.

I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.

Con l'utilizzo di sistemi recuperativi si possono ottenere risparmi energetici di circa il 25 % e riduzioni potenziali delle emissioni specifiche di NOx fino al 30% (50% in combinazione con i bruciatori low-NOx).

I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).

I sistemi rigenerativi possono essere, in particolare, utilizzati in forni discontinui, in quanto generalmente non sono dotati di una zona di preriscaldamento.

Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici.

I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi).

Con l'utilizzo dei bruciatori rigenerativi si possono ottenere risparmi energetici del 40 – 50 % e riduzioni potenziali delle emissioni specifiche di NOx fino al 50%.

In alternativa e ove vi è la necessità di vapore per il laminatoio a caldo, può essere possibile che il calore recuperato dai fumi di combustione sia utilizzato per la produzione di vapore o altro.

- Adozione della carica calda o della laminazione diretta.

In tal modo può essere sfruttato il contenuto termico residuo dei prodotti semilavorati provenienti dalla colata continua, caricandoli ancora caldi nei forni di riscaldamento, riducendo i tempi di stoccaggio del materiale e/o intervenendo, ove possibile, sull'isolamento del materiale, che comunque comporta notevoli problemi nella gestione degli stoccaggi e ne penalizza pesantemente la capacità, tale da rendere impraticabile la sua applicazione.

La laminazione diretta, rispetto alla carica calda, prevede temperature di infornamento più elevate.

L'applicabilità di queste tecniche è possibile per i nuovi stabilimenti in quanto è strettamente legata al layout degli impianti, dal momento che è indispensabile avere gli spazi necessari e che la colata continua ed i forni di riscaldamento siano vicini.

Inoltre queste tecniche possono essere applicate solo se la qualità superficiale è tale da non richiedere il condizionamento del semilavorato e solo se i programmi produttivi tra la colata continua e l'impianto di laminazione a caldo possono essere adeguatamente coordinati.

### 3. Discagliatura

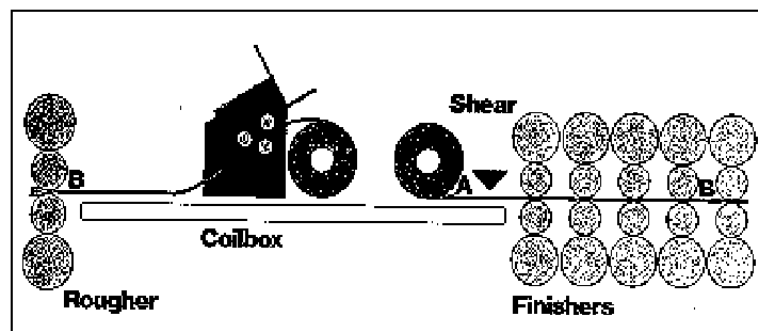
- Riduzione dei consumi di acqua tramite l'utilizzo di sensori che determinano quando il materiale entra o esce dall'impianto di discagliatura; in questo modo le valvole dell'acqua vengono aperte quando è effettivamente necessario ed il volume d'acqua è quindi adattato alla necessità.

#### 4. Laminazione

- Adozione di una delle seguenti tecniche per ridurre le perdite energetiche durante il trasporto del materiale dal treno sbozzatore al treno finitore:
  - utilizzo del Coil Box (e del Coil Recovery Furnace).

Nel Coil Box, il prodotto intermedio che esce dal treno sbozzatore viene avvolto in un coil, che successivamente viene posizionato su un dispositivo di svolgimento, svolto ed inviato al treno finitore.

Nel caso di brevi rallentamenti della linea a valle del Coil Box, il coil può rimanere in attesa per un tempo maggiore; inoltre nel caso di interruzioni lunghe il coil può essere conservato nei cosiddetti forni di recupero del calore “Coil Recovery Furnace”, dove viene ripristinata la temperatura di laminazione.



*Coil Box*

L'utilizzo del Coil Box, che consente una distribuzione di temperatura lungo la barra di trasferimento più uniforme e che implica l'utilizzo di carichi minori per la laminazione al treno finitore, determina tuttavia un fabbisogno aggiuntivo di energia legato alle fasi di avvolgimento e svolgimento del coil e di riscaldamento nel Coil Recovery Furnace. La riduzione dei consumi energetici è minore nel confronto con impianti di laminazione in cui il tempo di esposizione all'aria della barra di trasferimento non è elevato.

L'utilizzo del Coil Box può portare un peggioramento della qualità del prodotto per effetto di un aumento dei difetti superficiali ed inoltre possono esserci effetti di riduzione della capacità produttiva del laminatoio.

Questa tecnica può essere applicata ai laminatoi semicontinui per la produzione di nastri e se le condizioni impiantistiche e di prodotto lo permettono.

- utilizzo degli scudi termici sulle tavole di trasferimento.

La tavola a rulli di trasferimento dal treno sbozzatore al treno finitore può essere equipaggiata ove possibile con scudi termici per ridurre le perdite di temperatura del materiale mentre è trasportato e per diminuire la differenza di temperatura tra la testa e la coda del materiale in ingresso al treno finitore.

Tuttavia gli scudi termici comportano un rischio più elevato di difetti superficiali, in quanto viene favorita la formazione di scaglie a seguito della temperatura più elevata a cui viene mantenuta la barra di trasferimento; inoltre gli scudi termici comportano costi di gestione molto elevati, in quanto possono essere danneggiati facilmente dalle barre di trasferimento incurvate.

Inoltre per gli impianti esistenti l'utilizzo di scudi termici non risulterebbe possibile in quanto le tavole a rulli esistenti potrebbero non sopportare le maggiori temperature ed inoltre la riduzione dei consumi energetici non giustifica gli elevati costi di installazione e gestione.

L'utilizzo di scudi termici non è possibile ove, per motivi metallurgici, sono richieste temperature più basse al treno finitore.

- Adozione di una delle tecniche seguenti, per la riduzione delle emissioni di polveri durante la laminazione nel treno finitore:

- spruzzaggio d'acqua alle gabbie finitrici con trattamento delle acque al sistema di depurazione delle acque di laminazione. Tale sistema permette di abbattere alla fonte le eventuali emissioni di polveri.
- sistema di captazione dell'aeriforme alle gabbie del treno finitore (in particolare le ultime gabbie) con depolverazione tramite filtri a tessuto. Per aeriformi particolarmente umidi, in alternativa ai filtri a tessuto, può essere adottato un sistema di abbattimento ad umido.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera:  $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$

Nei laminatoi che operano a bassa velocità e/o con aree superficiali del prodotto ridotte, le emissioni sono già limitate, e quindi non è necessaria l'adozione dei suddetti sistemi di abbattimento.

- Adozione di un sistema di captazione e depolverazione mediante filtri a tessuto per la riduzione delle emissioni di polveri che possono derivare dalla spianatura dei nastri.

Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera:  $\leq 20 \text{ mg/Nmc}$

- Adozione delle seguenti tecniche relative alla tornerie cilindri:

- utilizzo di sgrassatori a base d'acqua, fin quando è tecnicamente accettabile in funzione del grado di pulizia richiesto; nel caso di utilizzo di solventi organici, sono da preferire quelli privi di cloro;
- trattamento, ove possibile, dei fanghi di molatura tramite separazione magnetica, per recuperare le particelle metalliche e consentirne il successivo avvio a riciclo/recupero;
- smaltimento appropriato dei rifiuti derivanti dalle lavorazioni (ad es. grasso rimosso dai cuscinetti, mole consumate, residui di molatura, cilindri di laminazione consumati, etc.);
- trattamento degli effluenti liquidi (provenienti dai raffreddamenti, dagli sgrassaggi, dalla molatura) negli impianti di trattamento dell'acqua previsti per la laminazione a caldo.

- Adozione delle seguenti tecniche relative al trattamento acque:
  - riduzione del consumo e dello scarico dell'acqua utilizzando, per quanto possibile, circuiti a ricircolo (rapporti di ricircolo superiori al 95% sono raggiungibili);
  - trattamento delle acque di processo contenenti scaglie ed olio e riduzione dell'inquinamento negli effluenti utilizzando una combinazione appropriata di singole unità di trattamento, come ad esempio fosse scaglie, vasche di sedimentazione, filtri, torri di raffreddamento.  
 Le prestazioni raggiungibili in condizioni normali sono le seguenti:
    - concentrazioni allo scarico dopo trattamento:
      - solidi sospesi:  $\leq 20$  mg/l
      - olio:  $\leq 5$  mg/l
      - Fe:  $\leq 10$  mg/l
      - Cr<sub>tot</sub>:  $\leq 0.2$ mg/l ( $\leq 0.5$  mg/l, per gli acciai legati ed inossidabili)
      - Ni:  $\leq 0.2$  mg/l ( $\leq 0.5$  mg/l, per gli acciai legati ed inossidabili)
      - Zn:  $\leq 2$  mg/l
  - adozione delle seguenti misure per prevenire l'inquinamento delle acque da parte di idrocarburi:
    - accurata manutenzione di tenute, guarnizioni, pompe, ecc...;
    - utilizzo di idonei cuscinetti per i cilindri di lavoro e di appoggio ed adozione di indicatori di perdite sul sistema di lubrificazione.
    - raccolta e trattamento delle acque di drenaggio;
  - riciclo nel processo siderurgico o vendita per altri riutilizzi delle scaglie di laminazione derivanti dagli impianti di trattamento dell'acqua;
  - disidratazione ed idoneo smaltimento dei fanghi oleosi;
  - utilizzo di sistemi di raffreddamento ad acqua separati e funzionanti in circuiti chiusi.

## **4.5 La zincatura a caldo**

### **4.5.1 Processo Discontinuo**

#### **A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)**

Per ciascuno degli stadi del processo vengono di seguito descritte le attività con le implicazioni di natura ambientale per cui applicare le B.A.T ai fini della prevenzione integrata dell'inquinamento.

1. Preparazione - I manufatti in acciaio vengono ispezionati al fine di garantire che siano adatti alla zincatura. I manufatti vengono appesi ad attrezzature e traverse per mezzo di ganci o legacci d'acciaio. Bulloni e minuterie sono caricati entro appositi contenitori perforati.
2. Sgrassaggio - L'eliminazione degli oli (refrigeranti, antiossidanti, lubrificanti) e grassi, depositi sulla superficie durante la produzione e l'assemblaggio dei manufatti in acciaio, si ottiene comunemente usando bagni di sgrassaggio alcalini o acidi.

I bagni di sgrassaggio alcalini contengono idrossido di sodio, carbonati, fosfati, silicati, tensioattivi superficiali che rimuovono l'olio dalla superficie del metallo attraverso l'emulsione. Le emulsioni non stabili risultanti galleggiano sulla superficie del bagno da cui possono essere agevolmente rimosse con azioni meccaniche o tramite separatori gravitazionali. La concentrazione, la temperatura del bagno e il tempo di immersione dei pezzi determinano l'efficienza del bagno di sgrassaggio. Il normale intervallo di temperature di esercizio per bagni di sgrassaggio riscaldati indirettamente è 30 - 70°C. I bagni possono avere diversa composizione. Indicativamente possono consistere di una soluzione di idrossido di sodio 1 - 10% con l'aggiunta di altri reagenti alcalini come soda, silicato di sodio, fosfati alcalini condensati e borace, nonché specifici tensioattivi, agenti di emulsione e di dispersione. A questo trattamento segue un lavaggio per evitare il trascinarsi di sostanze alcaline all'interno dei bagni di decapaggio acidi. In tal caso infatti gli agenti di sgrassaggio potrebbero abbreviare la vita del bagno di decapaggio e ridurre il tempo di riutilizzo.

I bagni di sgrassaggio acidi sono ottenuti a partire da acidi inorganici forti (come l'acido cloridrico e/o l'acido fosforico) diluiti con additivi, emulsionanti ed inibitori della corrosione. Gli agenti dello sgrassaggio acido formano di solito emulsioni di olio stabile che possono creare qualche difficoltà nella manutenzione del bagno per la loro scrematura e separazione. C'è tuttavia un vantaggio consistente nella possibilità di omissione del successivo step di lavaggio con conseguente riduzione del consumo idrico.

L'energia necessaria per portare il riscaldamento dei bagni alla temperatura di esercizio proviene da olio combustibile o da gas, a seconda delle condizioni locali di ogni impianto. In molti casi i sistemi di sgrassaggio vengono riscaldati tramite il recupero di calore esausto o da scambio di calore.

Lo sgrassaggio produce rifiuti chimici sotto forma di fluidi esausti e fanghi. La quantità di liquami esausti prodotti dallo sgrassaggio dipende dalla quantità di acciaio sottoposto a processo di sgrassaggio, e dal grado di inquinamento. La durata massima di attività della soluzione sgrassante è di solito di circa 1-2 anni ed, in taluni casi particolari, è riportato possa superare i 5 anni.

I bagni di sgrassaggio contengono, durante il loro esercizio, grassi ed oli liberi ed emulsionati.

I bagni di sgrassaggio esausti vengono sottoposti a trattamenti fisicie chimici in situ o da ditte specializzate nello smaltimento di tali rifiuti. L'emulsione viene separata in una fase ricca di olio ed in una povera di olio. La parte acquosa a basso contenuto di olio viene ulteriormente trattata, mentre quella ricca di olio deve essere smaltita secondo le vigenti normative sullo smaltimento di tali rifiuti.

I fusti di sostanze prime per lo sgrassaggio sono ricevuti e stoccati secondo le direttive dei produttori.

3. Decapaggio – Il decapaggio in acido serve a rimuovere incrostazioni, ossidi e ruggine presenti sui pezzi da sottoporre a zincatura. Il più utilizzato è l'acido cloridrico diluito, ma è possibile anche l'uso di altri acidi inorganici come l'acido solforico e, in casi particolari, l'acido fluoridrico. Un impianto di zincatura di solito comprende una serie di bagni di decapaggio con concentrazione di acido variabile.

L'acido cloridrico normalmente viene acquistato in soluzione al 28 - 33% circa e diluito fino ai 12 -16%. Per prevenire un decapaggio eccessivo dei pezzi d'acciaio e per proteggere le vasche, si aggiungono inibitori di decapaggio al bagno che diminuiscono l'aggressività nei confronti del metallo. Sono in uso presso alcuni impianti anche inibitori di evaporazione.

Durante l'esercizio delle vasche il contenuto di ferro del bagno di decapaggio aumenta mentre la quantità di acido libero diminuisce, rendendo necessario il rabbocco occasionale del bagno attraverso l'aggiunta di acido fresco. Il cloruro di ferro bivalente ha una solubilità limitata in acido cloridrico. Il decapaggio diviene impossibile in presenza di concentrazioni eccessive di  $\text{FeCl}_2$ , ma di solito il bagno di decapaggio viene sostituito o rigenerato prima di raggiungere questa condizione. Sono possibili soluzioni impiantistiche in cui lo sgrassaggio ed il decapaggio sono combinati in un'unica vasca. Questa pratica è totalmente distinta dal caso di operatori che sgrassano articoli con depositi d'olio meno pesanti nella vasca di decapaggio, saltando lo sgrassaggio. Ciò non può essere considerato ecologicamente compatibile dal momento che può condurre a tempi di decapaggio prolungati, volumi più grandi dei bagni conferiti a rifiuto per tonnellata di prodotto e consumo maggiore di zinco.

Il decapaggio presso l'impianto con pretrattamento aperto viene di solito effettuato a temperatura ambiente. Il consumo medio dell'acido in un decapaggio a temperatura ambiente è di circa 20kg per tonnellate di prodotto, ma è molto variabile in funzione delle condizioni superficiali dell'acciaio: un range realistico è 10-40 kg/ton.

Emissioni gassose e vapori dell'agente di decapaggio possono essere originate dai pezzi sottoposti a decapaggio e dai bagni di decapaggio in rapporto alla concentrazione e alla temperatura del bagno. L'estrazione (ad esempio l'estrazione a bordo vasca), o l'abbattimento con lo scrubber non vengono utilizzati, poiché la ventilazione generale dell'impianto mantiene la concentrazione nell'aria di HCl nel luogo di lavoro al di sotto dei limiti consentiti.

Ci sono alcuni impianti con pretrattamento chiuso che operano a temperature dell'acido più elevate (fino a circa 40°C). L'uso di questi sistemi riscaldati rende possibili tempi di trattamento minori e richiedono una minore quantità di acido. Inoltre, innalzando la temperatura del bagno di decapaggio, si può renderne possibile l'uso a concentrazioni relativamente alte di  $\text{FeCl}_2$  ad esempio 175-200 g/l con il bagno a 35°C. Uno svantaggio è dato dal fatto che le emissioni e vapori generati dalle vasche di acido sono maggiori in termini relativi e, quindi, sono raccolti e, in alcuni casi, purificati da apparecchiature di abbattimento adeguate.

Le sostanze chimiche utilizzate come materie prime sono ricevute in contenitori di plastica o in fusti (per gli additivi), o vengono scaricate da autocisterne. Vengono stoccate secondo le direttive dei produttori.

I consumi di energia durante il processo di decapaggio, originati dal funzionamento di apparecchiature ausiliarie, come pompe e gru, possono essere considerati trascurabili.

Sono rifiuti generati nel decapaggio i liquidi di decapaggio esausto e i fanghi. I liquidi di decapaggio esausto sono composti di acido libero, cloruro di ferro (fino a 140/170 g Fe/t), cloruro di zinco, elementi di superficie dell'acciaio decapato e, talvolta inibitori di decapaggio. Dove lo strippaggio ed il decapaggio sono effettuati nello stesso bagno, si genera un liquido misto di decapaggio con alto contenuto di zinco e ferro. Se lo sgrassaggio è combinato con il decapaggio sono presenti oli liberi ed emulsionati.

4. Lavaggio - Il lavaggio è uno step molto importante nel processo di zincatura dal momento che prolunga la vita dei bagni di trattamento successivi, riduce la produzione di rifiuti e incrementa il riutilizzo dei sottoprodotti. Dopo lo sgrassaggio ed il decapaggio, l'acciaio assemblato viene dunque lavato-immerso in bagni d'acqua, che talvolta vengono riscaldati. L'acqua per il lavaggio può essere usata per preparare bagni freschi di lavaggio o decapaggio, come modo di riciclare acqua e ridurre lo spurgo.

A valle di queste fasi si può ancora avere un certo trascinamento di fluidi verso la vasca di flussaggio. Questo può essere causato sia dalle procedure con cui il materiale è traslato da un bagno all'altro (per esempio, uno scarso tempo di gocciolamento determina un trascinamento maggiore), sia dalle caratteristiche geometriche che possono determinare una maggiore o minore predisposizione a trattenere fluidi. Il trascinamento di acido e sali di ferro dal decapaggio all'interno dei bagni di flussaggio e oltre ancora fino alla vasca di zincatura, incrementa sia la generazione di zinco duro (matte) che il consumo di zinco.

5. Flussaggio – l'azione del flussaggio consiste sia nell'abbassare la tensione superficiale dello zinco liquido favorendo la bagnabilità della superficie dell'acciaio con lo zinco fuso e la reazione di formazione dello strato, sia di consentire un ulteriore decapaggio e la protezione dall'ossidazione che potrebbe causarsi prima dell'immersione nello zinco fuso.

Ci sono due diverse soluzioni tecnologiche:

- nella "zincatura a secco" l'acciaio viene immerso in una vasca contenente gli agenti di flussaggio (una soluzione acquosa contenente cloruro di zinco, cloruro di ammonio e Sali composti di zinco ed ammonio). La zincatura a secco prevede necessariamente la fase successiva di essiccazione e preriscaldamento;

- nella "zincatura ad umido" gli stessi agenti di flussaggio formano uno strato di sale fuso, più o meno spesso, galleggiante sulla superficie del bagno di zincatura. Le parti in acciaio da zincare vengono fatte passare attraverso lo strato di flussante all'interno del bagno di zinco. Ad immersione ultimata (dopo la reazione metallurgica dello zinco con il ferro) lo strato di sale fuso viene spostato dalla superficie del bagno e raccolto da un lato per mezzo di palette, per permettere l'estrazione dal bagno di zinco senza ulteriore contatto con il flussante. In questo caso non è necessario eseguire una fase di essiccazione e preriscaldamento.

Durante l'immersione nello zinco fuso, a temperature superiori a 200°C, il cloruro di ammonio nel flussante si decompone in  $\text{NH}_3$  e  $\text{HCl}$ , che produce un effetto di decapaggio aggiuntivo.

Nella zincatura a secco la vasca di flussaggio viene mantenuta alla temperatura di 25-50°C. L'energia necessaria per riscaldare il bagno di flussaggio si ottiene, in genere, recuperando il calore dai fumi di combustione del forno di zincatura.

Le concentrazioni tipiche del bagno sono:  $\text{ZnCl}_2$  150 - 300g/l,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  150 - 300 g/l, densità 1,15 -1,30 g/ml, ferro disciolto < 2 g/l.

Il valore del pH dei bagni di flusso è normalmente portato approssimativamente a 4,5 per assicurare la precipitazione degli ioni ferro come idrossido di ferro trivalente. Il pH del bagno di flussaggio può comunque variare tra 1 e 5.

La concentrazione totale di sali di flussaggio (la somma di cloruro di zinco e cloruro di ammonio) e il rapporto tra cloruro di zinco e cloruro di ammonio sono entrambi molto importanti. Il cloruro di ammonio in un buon bagno di flussaggio, spesso rappresenta il 40 - 60% del sale di flussaggio. Il cloruro di ammonio assicura una veloce essiccazione ed una migliore rimozione degli ossidi di ferro dalla superficie dei pezzi, però provoca anche più fumo, ceneri e matte durante il processo di rivestimento. Quando il pretrattamento dei manufatti è insufficiente occorre una maggiore quantità di cloruro di ammonio. Il cloruro di zinco impedisce l'ossidazione della superficie dei pezzi. Questo è particolarmente importante quando il tempo di essiccazione è lungo. I bagni possono contenere anche cloruro di potassio, con un'azione di riduzione dei fumi in fase di immersione dell'acciaio nello zinco fuso.

Complessivamente, la concentrazione e la composizione del flussante non è stabilita univocamente, ma deve essere adattata alle circostanze (alle tipologie di materiale e alle esigenze dell'impianto) per l'ottenimento di una zincatura di qualità.

Il contenuto di ferro nel flussante è estremamente importante per il controllo del processo ed ha notevoli risvolti in termini di economia e ambiente. Un'alta concentrazione di ferro nel flussante (originata dal trascinamento dai bagni di decapaggio) influenza anche la qualità del rivestimento di zinco e determina un aumento della produzione di sottoprodotti.

Le emissioni in aria dai bagni di flussaggio sono considerate trascurabili, dal momento che il bagno non contiene composti volatili, e la principale emissione è vapore acqueo. Il rifiuto dell'operazione di flussaggio è formato da liquidi di flussaggio esausti e fanghi.

I bagni di flussaggio che non vengono continuamente rigenerati, aumentano il loro contenuto di acidità e ferro durante l'utilizzo. Un riciclaggio discontinuo o continuo di soluzione di flussaggio è una pratica comune per ottenere il mantenimento di un pH ottimale e la separazione del Fe. In alcuni casi la soluzione usata viene conferita al produttore di flussante regolarmente per la rigenerazione.

L'alternativa zincatura ad umido costituisce un processo in passato utilizzato molto più frequentemente. È inadatto ad ottenere alti rendimenti produttivi ma rende possibile la zincatura di pezzi di forma particolare che nel processo a secco non sono trattabili.

6. Essiccazione e preriscaldamento - L'ulteriore essiccazione viene ottenuta in forni di essiccazione. I gas esausti provenienti dalla vasca di zincatura possono essere talvolta un'utile fonte indiretta di calore per il forno, anche se spesso si usano bruciatori supplementari.

L'essiccazione completa del manufatto permette di ridurre gli spruzzi ed le eiezioni di metallo, nel momento in cui il manufatto viene immerso nel bagno di zinco, un beneficio che si incrementa se il manufatto trattiene il calore dopo essere uscito dall'essiccatore come preriscaldamento.

7. Zincatura (rivestimento con metallo fuso) - I manufatti di acciaio sottoposti a flussaggio vengono lentamente immersi nel bagno di zinco fuso. È possibile la presenza di alliganti nel bagno di zincatura con funzione di aggiunte tecnologiche effettuate per migliorare la qualità estetica, per effettuare un controllo dello spessore in relazione alla crescita ed uniformità dello strato e, in taluni casi, per migliorare la resistenza alla corrosione dello strato.

L'acciaio reagisce con lo zinco formando un rivestimento consistente in una serie di strati di leghe ferro-zinco sovrastata da uno strato di zinco puro, quando le parti vengono ritirate dal bagno. Il tempo di immersione varia da qualche minuto per manufatti d'acciaio relativamente poco spessi, fino a 15 minuti per le parti strutturali più spessi. Alcuni manufatti di forma particolare possono richiedere tempi di immersione più lunghi.

Lo zinco fuso ha una temperatura di 440-460°C. Per applicazioni speciali il bagno di zincatura può essere gestito a temperature più elevate, giungendo all' utilizzo di vasche di ceramica, invece di vasche in acciaio. Un piccolo numero di impianti eseguono questa "zincatura ad elevate temperature", con vasche ceramiche che consentono al bagno di zinco di essere gestito alle temperature più elevate, di solito circa 530°C. Questo processo viene richiesto nel trattamento di alcune categorie di acciai e di alcuni tipi specifici di componenti.

Le dimensioni delle vasche variano notevolmente a seconda delle esigenze del mercato e del tipo di manufatti trattati.

Le vasche, inserite nel forno, si trovano a livello della pavimentazione o sottostante; esse vengono riscaldate dall'esterno, comunemente da bruciatori a gas o a gasolio. Si usa un riscaldamento con bruciatori ad immersione o con riscaldatori a cappa quando la temperatura dello zinco è superiore a 460°C con vasche ceramiche.

Il bagno di zinco di solito contiene anche una piccolissima quantità di altri metalli che sono impurità dello zinco immesso o sono aggiunti come alliganti. Una composizione di riferimento del bagno può essere (ma esistono molte variazioni da impianto ad impianto):

zinco  $\geq 98.0$  % in peso  
piombo 1.0 % in peso  
ferro 0.03 % in peso  
alluminio 0.002 % in peso  
cadmio 0.02 % in peso  
tracce di altri metalli (ad esempio stagno o rame).

L'alluminio ed il piombo sono aggiunti per la loro influenza sullo spessore e sull'aspetto esteriore del rivestimento. Talvolta si riscontra l'utilizzo di piccole quantità di nickel (0.04 - 0.06% in peso) per ottenere un aspetto più brillante e un più agevole controllo dello spessore dello strato di zincatura in caso di acciai fortemente reattivi. L'aggiunta di piombo influenza le caratteristiche fisiche dello zinco, in particolar modo la viscosità e la tensione superficiale. Ciò aiuta a bagnare l'acciaio prima della zincatura e a far defluire lo zinco dalla superficie dopo la zincatura. Il piombo può essere anche utilizzato per proteggere la vasca. In questo caso, lo zinco fuso galleggia su di uno strato di piombo fuso sul fondo della vasca. Lo stagno dà fluidità al bagno e viene a volte aggiunto al bagno in quantità maggiori (fino allo 0.5% od oltre) per ottenere particolari qualità estetiche del rivestimento di zincatura. Si può anche riscontrare la presenza di bismuto come agente di fluidificazione del bagno.

Nel caso in cui siano utilizzate vasche d'acciaio, è importante che il materiale della vasca (di solito acciaio a basso contenuto di carbonio) venga scelto correttamente al fine di ridurre gli effetti degli attacchi dello zinco, e che sia costruita per resistere agli elevati carichi idrostatici e agli stress termici generati durante il riscaldamento alle temperature di esercizio.

La temperatura di sublimazione del cloruro di ammonio, un componente del flussaggio, è inferiore alla temperatura del bagno di zinco, e questo, assieme ad altre reazioni che si

verificano, provoca fumi durante l'immersione. Per l'estrazione dei fumi le vasche di zincatura sono normalmente contenute in cabine ad aspirazione forzata, o equipaggiate con sistemi di estrazione a bordo vasca. Il flusso aspirato può essere purificato tramite filtri a tessuto. In tal caso, la polvere precipitata viene raccolta e mandata fuori per il recupero di sostanze riutilizzabili, ad esempio come flussanti. Alcuni zincatori applicano scrubber [torri di lavaggio] ed utilizzano lo scarico dello scrubber per integrare la soluzione flussante.

Bulloni e piccoli componenti vengono raccolti in un cestello perforato d'acciaio, che viene immerso nello zinco fuso secondo il medesimo procedimento. Dopo l'estrazione il cesto viene posizionato all'interno di una centrifuga. Il rivestimento di zinco in eccesso viene rimosso per mezzo della forza centrifuga. I componenti così zincati vengono tolti dal cesto e raffreddati.

La principale materia prima del processo di zincatura è naturalmente lo zinco metallico usato per il rivestimento. Il consumo totale medio di zinco per una ton di acciaio zincato è 70 Kg circa. Questo costituisce un riferimento molto grossolano, dal momento che il rapporto tra peso dello zinco e peso dell'acciaio varia notevolmente al variare dello spessore dell'acciaio rivestito. Noto è anche l'effetto della reattività dell'acciaio (che è per lo più in relazione con il contenuto in Silicio e Fosforo dell'acciaio), per cui lo stesso spessore di substrato può provocare consumi molto variabili di zinco. Quantità estremamente alte o basse di consumo possono essere attribuite anche alla forma dell'acciaio assemblato e alla qualità del rivestimento. Il consumo di zinco è ovviamente proporzionale alla superficie rivestita e allo spessore del rivestimento.

La vasca di zincatura è una delle fonti di emissioni nell'aria. Le emissioni avvengono principalmente durante l'immersione dei manufatti. A seconda dei flussanti, le emissioni comprendono prodotti di sublimazione e vaporizzazione estremamente fini, che includono ioni cloro, ammonio e zinco, così come i composti ossido di zinco, cloruro di zinco (in minima quantità) e cloruro di ammonio. Il tipo e la quantità delle emissioni dipende dal consumo di flussante, dalla composizione del flussante e da altri fattori determinati dagli articoli da zincare (il tipo, il numero, la qualità della superficie), e il loro pretrattamento (sgrassaggio, decapaggio, lavaggio e essiccazione). Alcune fonti riportano che la dimensione delle particelle igroscopiche è molto piccola, per la maggior parte minore di 1  $\mu\text{m}$ , mentre altri riportano che la media dimensione delle particelle è 30  $\mu\text{m}$ , e solo circa il 5% è inferiore al  $\mu\text{m}$ .

Secondo alcune ricerche recentemente completate sulla distribuzione delle dimensioni delle particelle emesse in aria dal bagno di zincatura non vi è alcun rischio per la salute degli operatori di zincheria per le dimensioni e la massa del particolato. La ricerca mostra che l'esposizione del personale è di bassa entità se si guarda alla massa totale, specialmente nel caso di flussanti a bassa emissione di fumi o a fumi ridotti. Inoltre la ricerca mostra che la massa delle particelle piccole ( $>1 \mu\text{m}$ ) è la stessa sia per il flussaggio normali che per i flussaggi a basso fumo. Dunque non vi è alcuna preoccupazione per la salute sia per differenti tipi di flusso, che per la dimensione del particolato sospeso in aria.

In letteratura non sono riportati grossi motivi di preoccupazione riguardo alla salute delle maestranze.

L'ammontare di polvere emessa è strettamente correlato al consumo di agente di flussaggio.

I fumi vengono abbattuti mediante filtri a tessuto che danno luogo alla polvere filtrata. In alternativa, vengono sottoposti ad abbattimento in torri di lavaggio (scrubber), dando luogo a fluido acquoso che viene normalmente trattato. In aggiunta alla polvere, può avere luogo l'emissione di piccoli volumi di sostanze volatili, come acido cloridrico e cloruro di ammonio, provenienti dalla decomposizione dell'agente di flusso e dalla ricombinazione del cloruro di

ammonio come particolato sospeso in aria. Inoltre lo sfruttamento dei combustibili per il riscaldamento del forno di zincatura comporta emissioni di prodotti di combustione come la CO<sub>2</sub>; nell' utilizzo di gasolio ci possono essere emissioni di CO, NO<sub>x</sub>, ed SO<sub>x</sub>.

I ventilatori e bruciatori per la combustione possono produrre rumore.

Durante l'immersione si generano sottoprodotti solidi contenenti zinco come le matte, le schiumature e gli spruzzi.

Lo zinco duro (o matte) si produce nel bagno di zinco durante l'esercizio e viene causato dalla reazione dello zinco stesso con il ferro dei manufatti zincati, delle pareti della vasca e dalla reazione del ferro trascinato dal decapaggio e dal flussaggio. A causa della loro densità elevata, le matte si raccolgono sul fondo della vasca da dove vengono periodicamente rimosse. Il loro contenuto di zinco è elevato (95 - 98%). Non comportando, per il loro riutilizzo nell'industria di produzione dell'ossido di zinco, la necessità di alcun trattamento ausiliario ed essendo individuate e descritte dalla normativa UNI sui rottami di zinco, le matte sono considerate materia prima secondaria.

Le schiumature (povere) di zinco (dette anche ceneri da zincatura a caldo) si formano per la reazione tra lo zinco e l'ossigeno dell'aria e tra lo zinco ed il flussante. Consistono soprattutto di ossido di zinco e cloruro di zinco con parti di ossido di alluminio se l'alluminio è usato come alligante nel bagno metallico. Avendo una densità più bassa del bagno di zincatura, le schiumature galleggiano sulla superficie e vengono schiumate prima di estrarre i manufatti immersi, di solito trascinando una certa quantità di zinco. Il contenuto di zinco, quindi, varia dal 40 al 70% e può essere recuperato direttamente in fabbrica o si può optare per il conferimento a ditte specializzate all'esterno per un riutilizzo nell'industria dello zinco secondario.

Di tanto in tanto piccole quantità di zinco vengono emesse dalla vasca sotto forma di spruzzi, risultato dell'emissione di vapore dalla superficie dei pezzi lavorati. Tali quantità aderiscono ai dispositivi di estrazione dei fumi (se presenti) dai quali vengono rimossi per il recupero del loro contenuto metallico. Lo zinco spruzzato può essere direttamente re-immesso nel bagno di zincatura o inviato all'esterno per il recupero.

8. Finitura - Dopo l'estrazione dei manufatti in acciaio dal bagno di zinco, lo zinco in eccesso viene rimosso colpendo o, in alcuni casi, scuotendo i manufatti. I manufatti vengono poi raffreddati e ispezionati. Le piccole imperfezioni della superficie vengono riparate ed i manufatti vengono sganciati e preparati per la spedizione. Dopo l'immersione a caldo, alcuni prodotti in acciaio vengono raffreddati in acqua. Il consumo relativo di acqua arriva a 10 l/t di acciaio zincato. L'acqua evapora parzialmente, il resto è riutilizzato per la preparazione dei bagni di processo. Come protezione contro la ruggine bianca, i prodotti possono essere rivestiti di sostanze sigillanti o passivanti.

In taluni casi si procede al raffreddamento dei pezzi zincati in acqua, con consumi fino a 10 l/t.

9. Strippaggio o dezincatura - Talvolta è necessario pulire le apparecchiature di sostegno dei manufatti d'acciaio dallo zinco depositato su di essi o rimuovere i rivestimenti malriusciti dei manufatti di acciaio stessi. Questa operazione viene comunemente effettuata mediante immersione in acido di decapaggio diluito.

L'operazione di strippaggio attraverso acido cloridrico genera rifiuti acidi, ma con una composizione differente da quella originata nel decapaggio. Se lo strippaggio è effettuato in un bagno acido distinto dai bagni di decapaggio, si genera cloruro di zinco relativamente non

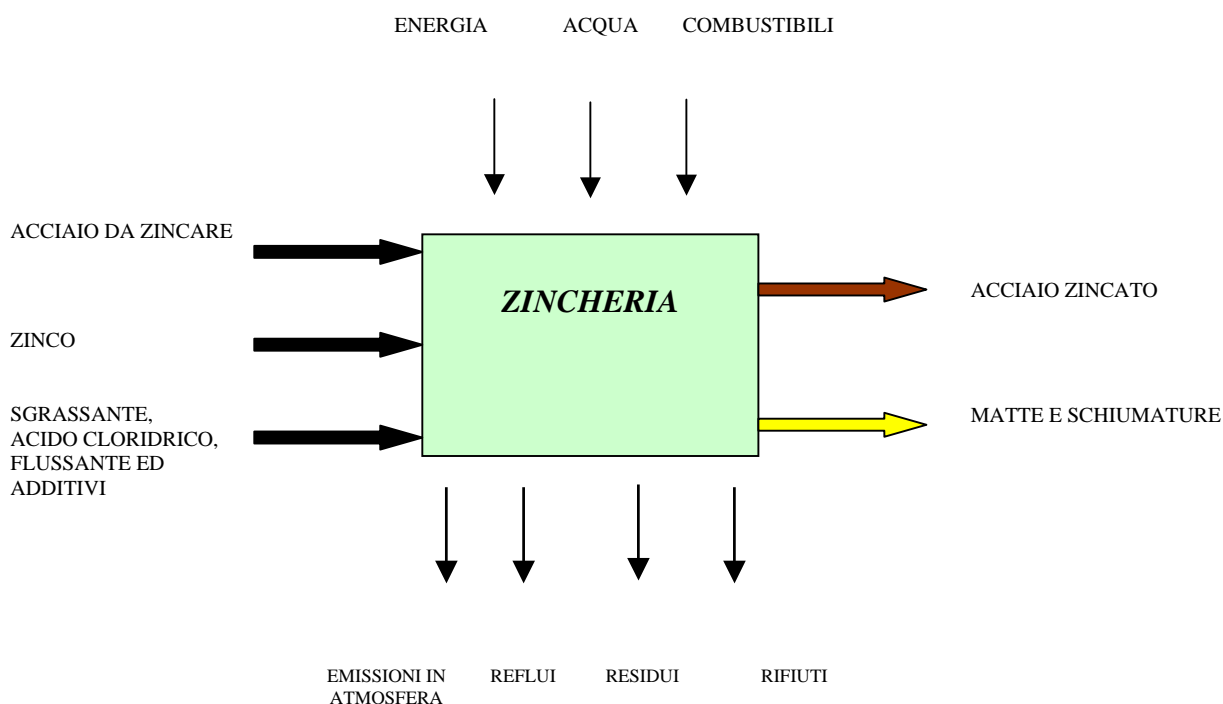
contaminato dal cloruro di ferro. Questa soluzione può essere riciclata per la rigenerazione del bagno di flussaggio.

Quando il decapaggio e lo strippaggio vengono effettuati nella stessa vasca, si creano liquidi di decapaggio che contengono cloruro di ferro e di zinco. Alcuni zincatori hanno in esercizio bagni separati di decapaggio e strippaggio perché nel loro ambiente tecnico ed economico questo favorisce il riciclaggio dello zinco contenuto in esse. Il liquido di strippaggio esausto può essere trattato per il recupero dello zinco sia sul posto che mandato all'esterno presso terzi. In alcuni casi il liquido di strippaggio esausto viene mandato per neutralizzazione e smaltimento presso terzi.

Le soluzioni contenenti cloruro di ferro e cloruro di zinco da bagni combinati di decapaggio e strippaggio, possono essere utilizzate nell'industria dei fertilizzanti, sebbene si debba prestare attenzione all'aggiunta di zinco nei terreni agricoli e non superare i livelli consentiti.

## Bilancio complessivo di materia ed energia

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla zincheria è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali sottoprodotti nel normale esercizio sono costituiti da schiumature povere di zinco e matte prodotte durante l'immersione dell'acciaio nel bagno di zincatura. I principali residui sono costituiti dai fanghi derivanti dai sistemi di trattamento dei bagni di sgrassaggio, decapaggio, lavaggio e flussaggio e da polveri e fanghi derivanti dai sistemi di abbattimento a filtri di stoffa o torri di lavaggio (scrubber). Altri residui sono quelli derivanti da attività di manutenzione quali ad esempio refrattari a fine ciclo, rottame, ecc o legacci di acciaio (filo di ferro rottame) che unitamente ai precedenti, vengono avviati a riciclo, ove possibile, e la parte rimanente viene invece ad essere smaltita.

## B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

Di seguito, per ogni stadio del processo, vengono riportate le BAT – Migliori Tecniche Disponibili per la Zincatura Generale a Caldo, proposte a livello comunitario.

### 1. Sgrassaggio

Per le operazioni di sgrassaggio negli impianti di zincatura discontinua, le tecniche seguenti vengono considerate BAT:

- Installazione di uno *step* di sgrassaggio, a meno che i manufatti non siano completamente privi di grasso, cosa molto rara nella zincatura conto terzi.
- Processi di bagno ottimali per migliorarne l'efficienza, ad es. tramite agitazione.

Si possono utilizzare misure generali per controllare l'esercizio del bagno di sgrassaggio, al fine di ottimizzare tale attività, attraverso monitoraggi discontinui dei parametri del bagno, come la temperatura e la concentrazione dell'agente di sgrassaggio.

Inoltre l'efficienza dello sgrassaggio può essere migliorata incrementando il contatto tra liquido e manufatto da sottoporre a zincatura, per esempio movimentando il manufatto stesso in vasca, creando agitazione nel bagno o usando gli ultrasuoni.

- Pulizia delle soluzioni sgrassanti per allungarne la durata (tramite schiumatura, centrifuga ecc.) e riutilizzo, riciclaggio dei fanghi oleosi, ad es. termicamente.

Si distinguono generalmente due tipi di sgrassaggio: alcalino ed acido.

Negli sgrassaggi alcalini l'emulsione che si forma è instabile, l'olio e il grasso si conglomerano e formano uno strato galleggiante sulla superficie nelle aree dove non c'è movimento del fluido del bagno di sgrassaggio. Questo conglomerato può essere separato e rimosso attraverso schiumarole, tubi di drenaggio e scarico, raschi, ecc, utilizzando semplicemente la gravità come forza spingente per la separazione. Per mezzo di tali misure, con un tempo di separazione di un paio d'ore, la vita dei bagni di sgrassaggio può essere prolungata da 2 a 4 volte. I fanghi rimossi contengono oli, grassi, agenti di sgrassaggio, scaglie, ruggine, polvere, ecc. e vengono di solito smaltiti.

Ci sono altri sistemi più veloci con separatori centrifughi, che separano l'olio e l'acqua entro pochi secondi. Gocce piccolissime di olio e grasso sono separate più facilmente; la parte più ricca di olio contiene solo il 5-10% di acqua, e si evita il trascinamento non desiderato di materiali chimici di sgrassaggio.

Tutte le misure descritte sopra per prolungare la vita dei bagni di sgrassaggio sono anche applicabili ai bagni di sgrassaggio acidi ma, a causa della formazione di emulsioni più stabili, la loro efficienza risulta ridotta. Lo sgrassaggio acido comporta la possibilità di evitare il successivo stadio di lavaggio con conseguente risparmio di acqua di processo.

- Sgrassaggio biologico con pulizia *in situ* (rimozione di grassi ed oli dalla soluzione sgrassante) tramite batteri.

L'olio ed il grasso accumulati nel bagno di sgrassaggio vengono decomposti dai micro-organismi. Il rifiuto prodotto è un fango biologico che viene drenato quotidianamente dal sistema.

Il liquido di sgrassaggio è composto di alcaloidi, fosfati, silicati e tensioattivi cationici e non-ionici. Un concentrato di questi composti chimici viene continuamente mescolato con i micro-organismi. Nella stessa vasca di sgrassaggio, viene immessa aria per mantenere attivi i processi

biologici. L'acqua è aggiunta per compensare la perdita per evaporazione, dal momento che il bagno è tenuto alla temperatura ottimale di 37°C. Il liquido proveniente dalla vasca di sgrassaggio viene fatto circolare attraverso un separatore lamellare ad una velocità di circa 1 m<sup>3</sup>/h. Nel separatore lamellare il fango accumulato, composto di un misto di micro-organismi vivi e morti (bio-fango), viene separato. Il fango (circa 10 l/giorno) viene drenato manualmente attraverso una valvola sul fondo della vasca. Il dosaggio dei componenti chimici è effettuato da pompe di dosaggio nella scatola di connessione posta a valle del separatore lamellare. Non è facile essere totalmente accurati, e un consumo eccessivo può essere comune. Il dosaggio dei composti chimici necessari è automaticamente controllato per mantenere un pH di 9,13.

## 2. Decapaggio e strippaggio

Per il decapaggio con HCl le tecniche seguenti sono considerate BAT per la riduzione dell'impatto ambientale:

- Monitoraggio attento della temperatura del bagno e dei parametri di concentrazione, nonché operatività entro i limiti riportati in fig. 2.1. Il decapaggio effettuato ai fini della zincatura per immersione a caldo discontinua è statico.

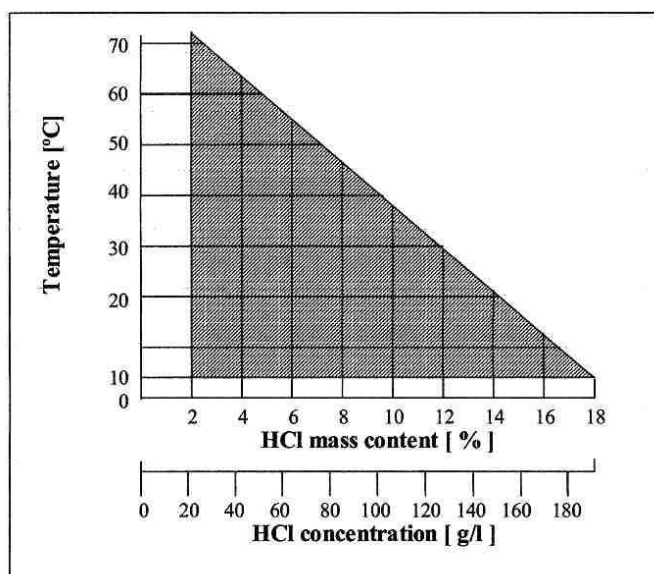


Fig. 2.1. Curva limite per l'esercizio dei bagni di decapaggio aperti.

Il contenuto di HCl nella fase gassosa al di sopra di un bagno di decapaggio dipende dalla temperatura e dalla concentrazione. Le emissioni dai bagni di decapaggio sono al di sotto di 10mg/Nm<sup>3</sup> quando la coppia di valori (temperatura e concentrazione) è nell'area al di sotto della retta in fig. 2.1.

Importanza fondamentale nella gestione delle vasche di decapaggio ha il flusso di aria che si determina al di sopra delle vasche. Ad elevati flussi di aria (ottenuti con eccessiva estrazione o ventilazione) corrisponde sulle vasche un flusso elevato di acido verso l'atmosfera.

Infatti la soluzione di decapaggio tende rapidamente a creare delle condizioni di equilibrio di fase liquido-gas che impediscono ad altro acido di evaporare una volta raggiunta la pressione di vapore. La depressione, causata dalla estrazione eventuale, turba l'equilibrio e consente al liquido di evaporare, incrementando l'emissione e il consumo di acido. L'estrazione dovrebbe essere minimizzata. Se si effettua un controllo accurato dei parametri di processo (temperatura e

concentrazione), con condizioni operative nei limiti stabiliti in fig. 2.1., i sistemi di estrazione della fase vapore e le successive tecniche di abbattimento diventano sovrabbondanti. Le aspirazioni e conseguenti abbattimenti possono essere richiesti quando non è possibile operare nelle zone del diagramma di fig. 2.1. o quando le condizioni di ventilazione naturale lo richiedano.

Durante l'esercizio, il bagno si arricchisce in cloruro ferroso, il che determina un aumento dell'attività decapante ed anche un aumento della tensione di vapore. Devono essere tenuti in considerazione i rapporti relativi tra acidità libera e cloruro ferroso per l'ottimizzazione della gestione dei bagni di decapaggio.

- Se si richiedono operazioni al di fuori dell'intervallo di esercizio riportato in fig. 2.1., ad es. se vengono usati bagni di HCl riscaldati o a più alta concentrazione, l'installazione di un'unità di estrazione ed il trattamento dell'aria estratta sono considerati BAT (ad es. tramite scrubber). Il livello associato di emissione di HCl è pari a 2-30 mg/Nm<sup>3</sup>.

In tal caso, l'impianto, nella zona di pretrattamento (grassaggio e decapaggio), funziona all'interno di tunnel chiusi. L'alta temperatura raggiunta dall'acido consente un'attività maggiore, per cui occorrono quantità di acido minori che nel decapaggio aperto. D'altro canto le emissioni di acido non sono più trascurabili a punto che occorrono la separazione dall'ambiente esterno (ed anche interno di lavoro) e sistemi di estrazione ed abbattimento delle emissioni.

- Attenzione speciale alla reale attività del bagno di decapaggio e utilizzo di inibitori di decapaggio per evitare un sovra-decapaggio.

L'efficienza del decapaggio, e quindi il tempo necessario per il decapaggio, cambia lungo la durata del bagno. Man mano che il bagno invecchia, la concentrazione del ferro aumenta ed è necessario meno acido libero per mantenere la stessa velocità di decapaggio dell'inizio. È infatti necessaria la presenza di ioni Fe<sup>2+</sup> in quantità dipendenti dall'acidità libera per ottenere l'ottimizzazione dell'attività decapante del bagno.

Un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione attraverso la conoscenza dei cambiamenti nel bagno e permettere procedure di esercizio diverse, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio. Parimenti cambiamenti drastici nel liquido di decapaggio, per esempio sostituendo grandi volumi del bagno, possono portare a condizioni di decapaggio che possono comportare sovra-decapaggio. Lo scarico di acido esausto e l'aggiunta di acido fresco in dosi più frequenti ma piccole evita cambiamenti drastici nelle caratteristiche del bagno e permette un esercizio più agevole.

Nella fig.2.2 i valori ottimali sono compresi nell'area grigia.

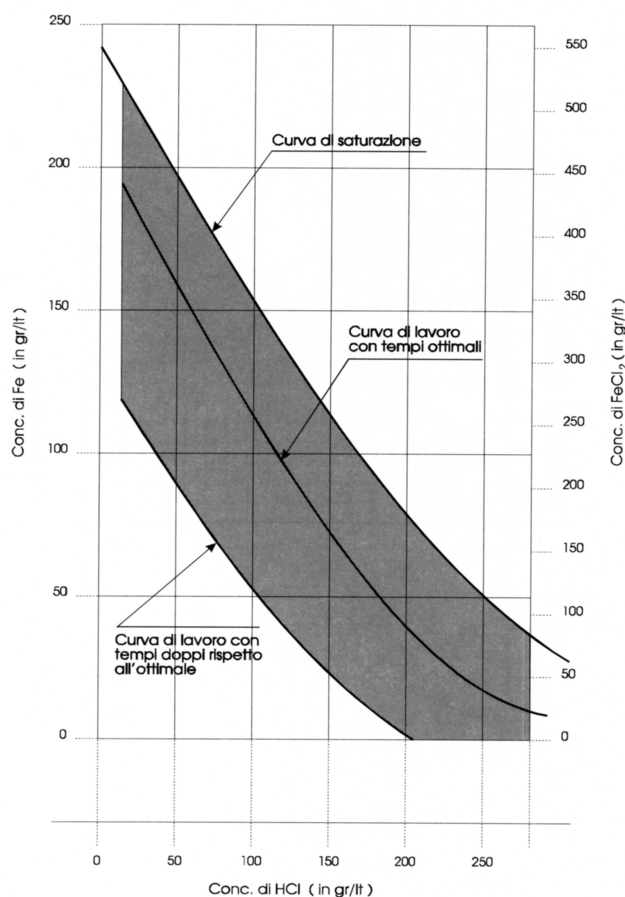


Fig. 2.2. Concentrazione di Fe — FeCl<sub>2</sub> — HCl per il controllo dell'attività del bagno di decapaggio

Un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione attraverso la conoscenza dei cambiamenti nel bagno e permettere procedure di esercizio diverse, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio. Parimenti cambiamenti drastici nel liquido di decapaggio, per esempio sostituendo grandi volumi del bagno, possono portare a condizioni di decapaggio che possono comportare sovra-decapaggio. Lo scarico di acido esausto e l'aggiunta di acido fresco in dosi più frequenti ma piccole evita cambiamenti drastici nelle caratteristiche del bagno e permette un esercizio più agevole.

Per proteggere dal sovra-decapaggio le parti di manufatto che sono già pulite e metalliche, si aggiungono alla soluzione di decapaggio gli inibitori di decapaggio. Gli inibitori possono ridurre la perdita di materiale dai manufatti anche del 98% e possono ridurre il consumo di acido. Comunque, questi inibitori organici possono avere un'influenza negativa sui successivi processi di riciclo dell'acido e la riduzione del consumo di acido attraverso l'uso degli inibitori di decapaggio deve essere ponderata attentamente attenendosi scrupolosamente alle indicazioni delle schede tecniche predisposte dai produttori.

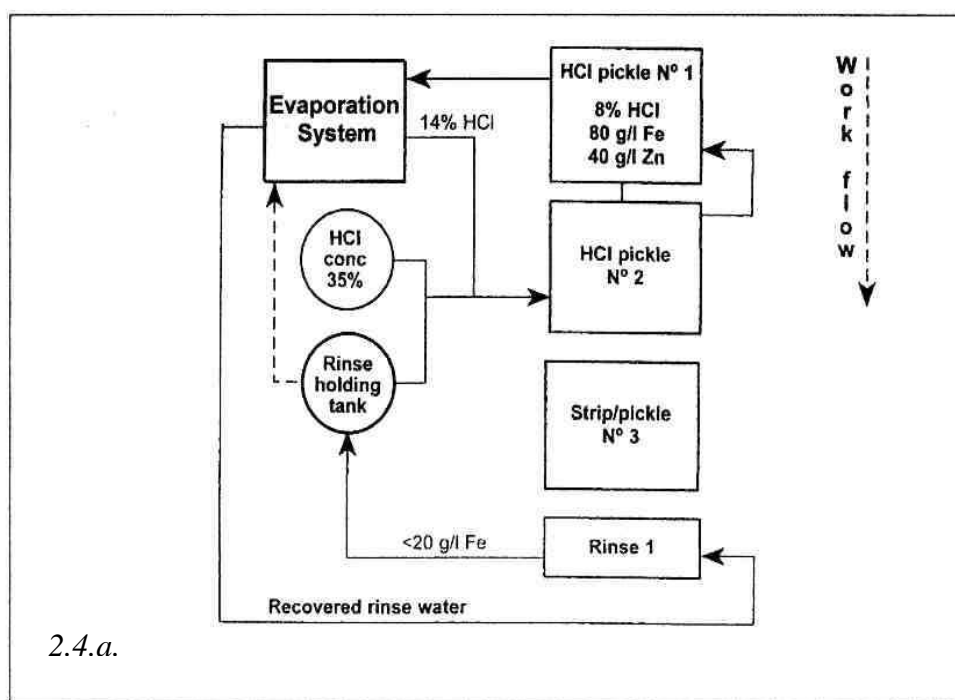
Attraverso il controllo e la gestione ottimizzata del bagno si può ottenere un consumo di acido fresco (al 33w %) fino a 10 – 15 kg per tonnellata di acciaio zincato.

- Recupero della frazione di acido libero dai liquidi di decapaggio esausti.

Vengono indicate due operazioni possibili di recupero:

–Recupero per evaporazione:

Piuttosto complesso, consiste in un evaporatore rapido a circolazione forzata con condensazione/separazione in due fasi controllate. La soluzione acida esausta viene riscaldata violentemente per estrarre l'acido e l'acqua dal rifiuto esausto. Rimane solo una soluzione di cloruro di ferro concentrata. Un esempio di processo è schematizzato in fig. 2.4.a. mentre in fig.2.4.b. sono indicate relative possibili prestazioni.



2.4.b.

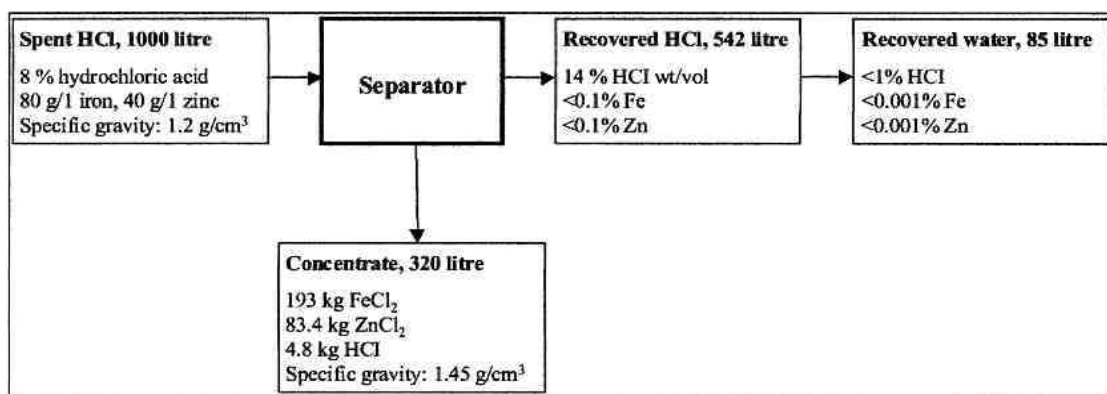
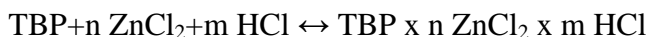


Fig. 2.4.– Un esempio di recupero di HCl per evaporazione.

Questo schema operativo comporta la generazione di una soluzione concentrata di cloruro di ferro di difficile smaltimento.

–Recupero mediante estrazione liquido – liquido

L'estrazione mediante solvente per la separazione selettiva dello zinco dagli acidi esausti di decapaggio con HCl utilizza l'agente estraente TBP tributilfosfato ed è basata sulla seguente reazione semplificata:



Lo  $\text{ZnCl}_2$  dalla soluzione acquosa è legato come cloruro complesso insieme al HCl al composto organico, che è meno denso della fase acquosa. Quindi esso può essere separato per decantazione. Quando il carico organico è posto a contatto diretto con una nuova soluzione, la reazione complessante procede nel verso opposto (ri-estrazione) in modo che l'agente estraente organico strappato può essere riciclato e viene prodotta una soluzione diluita di  $\text{ZnCl}_2$ . Questa soluzione viene fatta evaporare per incrementare la concentrazione di zinco. Il condensato è riciclato alla ri-estrazione ed il concentrato viene venduto. La figura 2.4.2. illustra schematicamente l'intero processo.

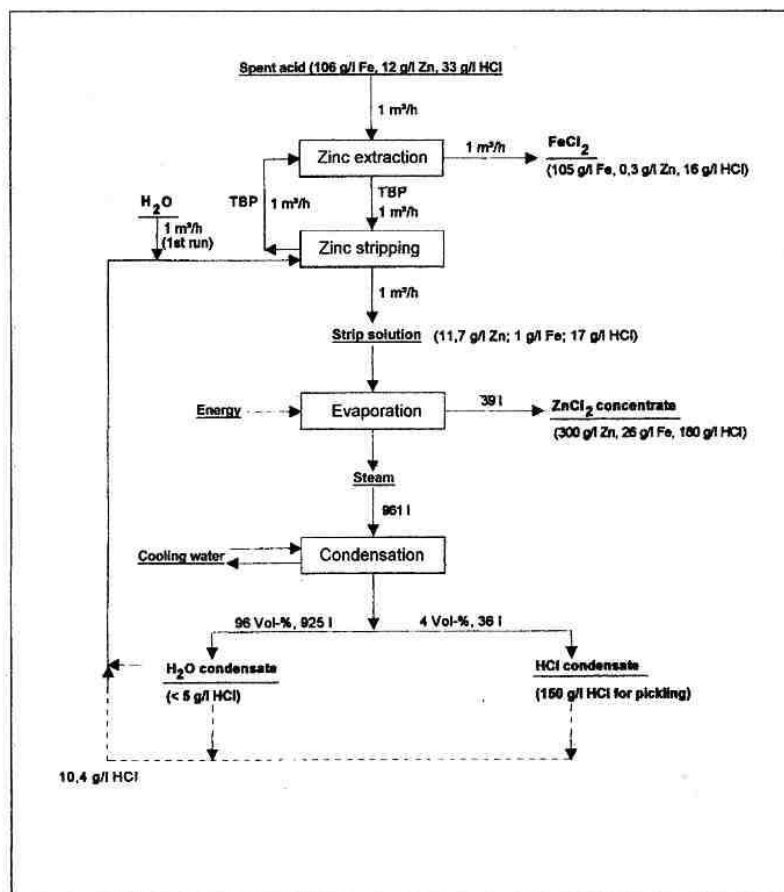


Fig. 2.4.2. – Esempio di recupero di acido mediante estrazione liquido-liquido

- Rigenerazione esterna dei liquidi di decapaggio.

Le soluzioni esauste di acido cloridrico vanno a società specializzate ed autorizzate alla neutralizzazione e smaltimento.

- Rimozione dello zinco dall'acido.

L'acido cloridrico esausto da decapaggi e strippaggi combinati con alte concentrazioni di zinco e ferro può essere processato e recuperato come bagno di flussaggio. Dopo l'ossidazione con perossido di idrogeno e neutralizzazione con ammoniaca si separa il fango di idrossido di ferro. Il liquido rimanente contiene alte concentrazioni di cloruro di zinco e cloruro di ammonio e può essere riutilizzato come soluzione flussante.

- Utilizzo di liquidi di decapaggio esausti per la produzione di flussanti.

La neutralizzazione dei liquidi di decapaggio esausti e l'uso di tali liquidi per la separazione dell'emulsione non sono considerati BAT.

- Una misura primaria per ridurre l'impatto ambientale dato dal decapaggio e dallo strippaggio è costituita dall'esercizio di vasche separate di trattamento, poiché gli acidi misti (ad alto contenuto sia di ferro che di zinco) provocano problemi nella rigenerazione o nel riutilizzo. Dal momento che non vi sono trattamenti adeguati per gli acidi misti, il decapaggio separato dallo strippaggio e il riutilizzo dei liquidi di strippaggio esausti (interni ed esterni, ad es. per il recupero dei flussanti) sono considerati come BAT sia per i nuovi impianti che per quelli già esistenti.
- Qualora non fosse possibile separare il decapaggio dallo strippaggio, ad es. per mancanza di spazio per installare un'altra vasca, il riutilizzo degli acidi misti per la produzione di flussante, tramite conferimento ad operatori esterni, è considerato come BAT.

### 3. Lavaggio

Generalmente è richiesto un buon drenaggio tra le vasche di pre-trattamento. Inoltre è essenziale il lavaggio dopo lo sgrassaggio e dopo il decapaggio, per evitare il trascinamento di materiali nelle vasche dei bagni successivi e per prolungare la durata di tali bagni.

E' considerato BAT:

- Il lavaggio statico o a cascata.

Dopo il decapaggio, i manufatti in acciaio sono risciacquati in una vasca di lavaggio statica.

Il lavaggio è effettuato per evitare il trascinamento all'interno del bagno di flussaggio sia di liquido di decapaggio, che altera il pH, sia di ioni  $\text{Fe}^{++}$ , che inquinano la soluzione flussante.

Si ipotizza anche la possibilità di utilizzo di un lavaggio effettuato in cascata mediante tre immersioni successive in altrettante vasche.

- Utilizzo dell'acqua di lavaggio per il rabbocco dei bagni precedenti.

Quando l'acqua giunge ad un livello di contaminazione troppo elevato per assicurare un lavaggio efficiente, viene riutilizzata nel bagno del precedente processo di decapaggio come acqua di rabbocco per le perdite causate dall'evaporazione e dal drenaggio. Con una gestione accurata e la pratica operativa, tutta l'acqua del lavaggio può essere riutilizzata nell'impianto di zincatura.

Acque di scarico possono essere prodotte in casi eccezionali, ed, in tal caso, è necessario un trattamento di purificazione.

#### 4. Flussaggio

- Per il flussaggio, il controllo dei parametri dei bagni e la quantità ottimale del flussante usato sono importanti per ridurre le emissioni anche negli *step* successivi. Per il bagno di flussaggio, è possibile la rigenerazione della soluzione sul posto (usando  $H_2O_2$ , l'ossidazione elettrolitica e lo scambio di ioni) oppure la rigenerazione esterna, se non è possibile installare un impianto di rigenerazione in situ. Sia la rigenerazione interna che quella esterna sono considerate BAT.
- Per integrare le perdite da trascinamento e per mantenere la concentrazione dei bagni di flussaggio costante, agenti di flussaggio e acqua sono aggiunti su basi regolari. Per evitare il trascinamento di cloruri di ferro dai bagni di decapaggio, i manufatti decapati dovrebbero essere lavati accuratamente prima del flussaggio. E' necessario un accurato monitoraggio del contenuto di ferro. Pur tuttavia non è possibile evitare completamente i depositi di cloruro di ferro, cosicché la soluzione flussante deve essere sostituita o rinnovata periodicamente.
- I bagni di flussante esausti possono essere mandati fuori, di solito presso i produttori di agenti flussanti, per il riciclaggio. I sali nella soluzione del flussante esausto possono essere riutilizzati per la produzione di agenti di flussaggio.

#### 5. Immersione nello zinco fuso.

Il problema principale della immersione nella vasca di zinco è rappresentato dalle emissioni nell'aria provocate dalle reazioni chimiche dei flussanti durante l'immersione.

Le tecniche seguenti sono considerate BAT:

- Cattura delle emissioni tramite cabina o tramite estrazione a bordo vasca, seguita da abbattimento della polvere (tramite filtri a manica o *scrubber* ad umido). Il livello di polvere associato con queste tecniche è  $<5 \text{ mg/Nm}^3$ .

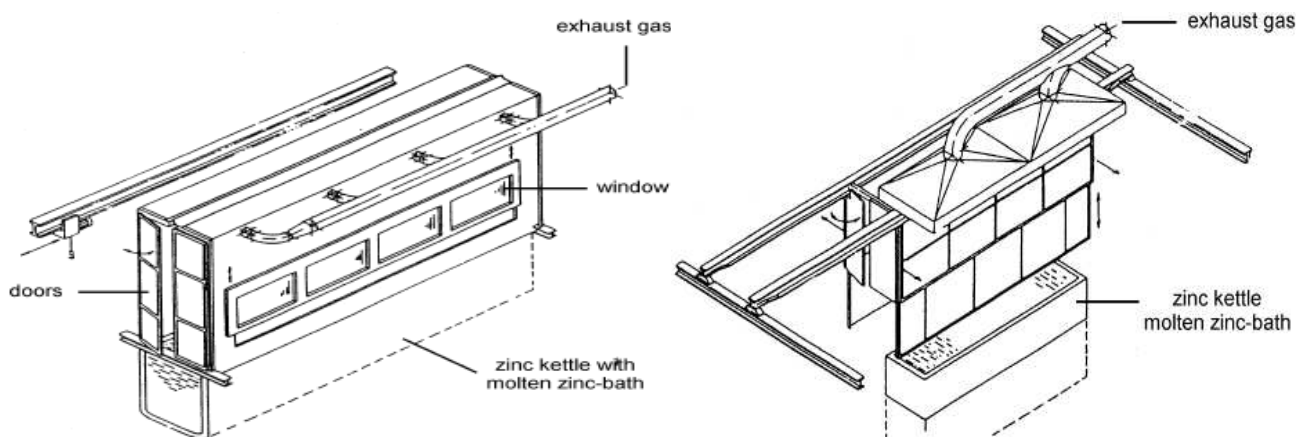


Fig. 5.1.– a) esempio di cabina fissa – b) esempio di cabina mobile solidale al bilancino.

Le estrazioni a bordo vasca in combinazione avvengono per mezzo di cappe laterali a bagno aperto (Fig. 5.2.).

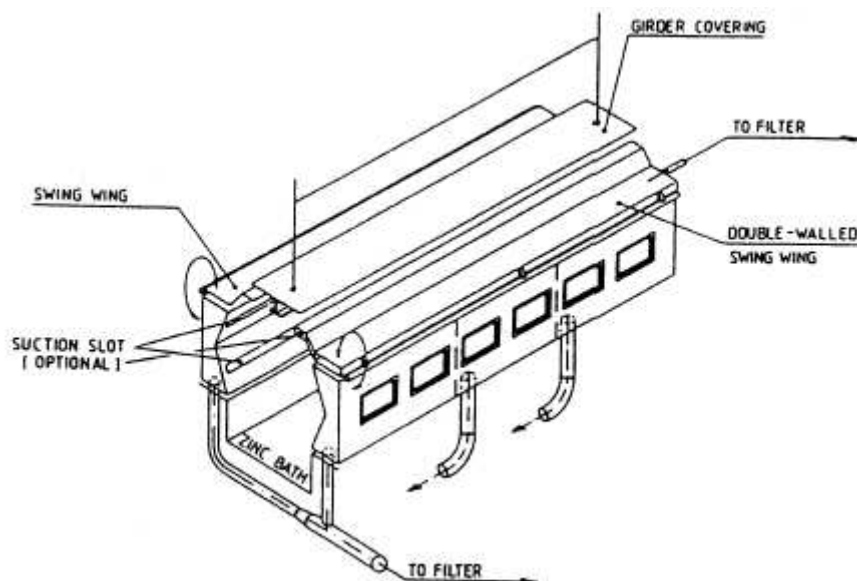


Fig. 5.2. – Esempio di estrazione a bordo vasca.

- Riutilizzo interno o esterno della polvere raccolta per la produzione di flussanti. Poiché questa polvere può raramente contenere diossina a bassa concentrazione, per problemi nell'impianto (manufatti zincati precedentemente non ben sgrassati), solo i processi di recupero che rendono gli agenti flussanti liberi da diossina sono considerati BAT.
- Sebbene le opportunità di risparmio di energia dal trasferimento di calore dai gas combusti dalle vasche di zincatura siano limitate, a causa dei bassi volumi e delle relativamente basse temperature (450°C), è buona norma recuperare il calore da questa fonte per riscaldare o l'acqua usata altrove nell'impianto, o l'aria per l'essiccazione.

Un sistema di scambiatori a tubo e mantello può essere impiegato per recuperare calore dai fumi di combustione e trasferirlo alle soluzioni di flussaggio e sgrassaggio, sovente riscaldate per mantenere la giusta solubilità degli agenti chimici. Per il recupero di calore destinato all'essiccatore i fumi vengono fatti passare per il forno di essiccazione prima di essere inviati al camino.

Il recupero di calore dai fumi di combustione costituisce una quota del calore necessario per le operazioni suddette, per cui l'impianto di zincatura necessita della presenza di bruciatori aggiuntivi seppure di modesta portata.

- Per tutti i rifiuti contenenti zinco (matte, zinco duro, spruzzi e schizzi), sono considerate tecniche BAT:
  - l'immagazzinamento separato
  - la protezione da pioggia e vento
  - il riutilizzo nell'industria dei metalli non ferrosi o in altri settori per il recupero delle sostanze utili che essi contengono.

#### 4.5.2 Processi di rivestimento continui

Nei processi di rivestimento continui, l'acciaio viene fatto passare continuamente in un bagno di metallo fuso. I metalli utili a tale scopo sono quelli che hanno una temperatura di fusione sufficientemente bassa da evitare modificazioni termiche dei prodotti d'acciaio (ad es. alluminio, piombo, stagno e zinco).

I prodotti d'acciaio che possono essere rivestiti tramite processi continui sono i nastri ed i fili. Per i nastri, i principali tipi di rivestimento sono riassunti nella tabella seguente:

METALLO BASE	BAGNO	RIVESTIMENTO	
		Tipo	Nome
Zinco	Zn	Zn	Galvanised
	Zn	Zn-Fe	Galvannealed
	Zn	Senza Piombo	
	Zn-Al	99% Zn, 1% Al	Crackfree
	Zn-Al	95% Zn, 5% Al	Galfan
Alluminio	Al-Zn	55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si	
	Al-Si	Al 92%, Si 8%	
Piombo	Pb-Sn	8,25% Sn, 75-92% Pb	Terne

*Principali tipologie di rivestimenti per i nastri d'acciaio*

I fili d'acciaio possono essere rivestiti con zinco o stagno; lo zinco è fondamentalmente applicato come protezione contro la corrosione, mentre lo stagno fornisce al filo un aspetto lucido e costituisce uno stato adesivo di lega per saldatura.

#### 1. Zincatura a caldo continua dei Nastri d'acciaio

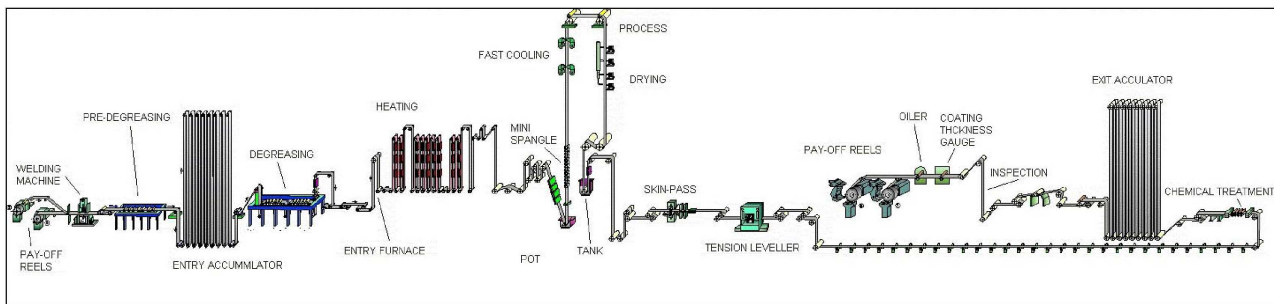
##### A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)

Nella zincatura a caldo continua, il nastro d'acciaio laminato a freddo viene rivestito con uno strato di zinco o lega di zinco che impartisce protezione alla corrosione.

I rotoli di nastro d'acciaio laminati a freddo in ingresso all'impianto vengono svolti e saldati tra di loro, in modo da dare continuità al processo; il nastro continuo viene accumulato in un sistema di accumulo, in modo da garantire la marcia della linea anche in caso di rallentamenti nella sezione di ingresso. Analogamente è presente un sistema di accumulo in coda all'impianto, in modo da garantire la marcia durante i rallentamenti della sezione di uscita della linea (taglio del nastro e riavvolgimento in coils).

Il processo di zincatura a caldo di nastri di acciaio laminati a freddo è generalmente costituito dalle fasi seguenti:

1. sgrassaggio
2. trattamento termico
3. immersione nel bagno fuso (Zincatura)
4. trattamento di Galvannealing
5. post-trattamenti
6. finitura



*Configurazione tipica di una linea di zincatura a caldo continua di nastri d'acciaio*

La configurazione impiantistica può essere differente nella sezione iniziale (presenza o meno della sezione di sgrassaggio alcalino), nella tipologia dei forni di ricottura e nei trattamenti di post-zincatura.

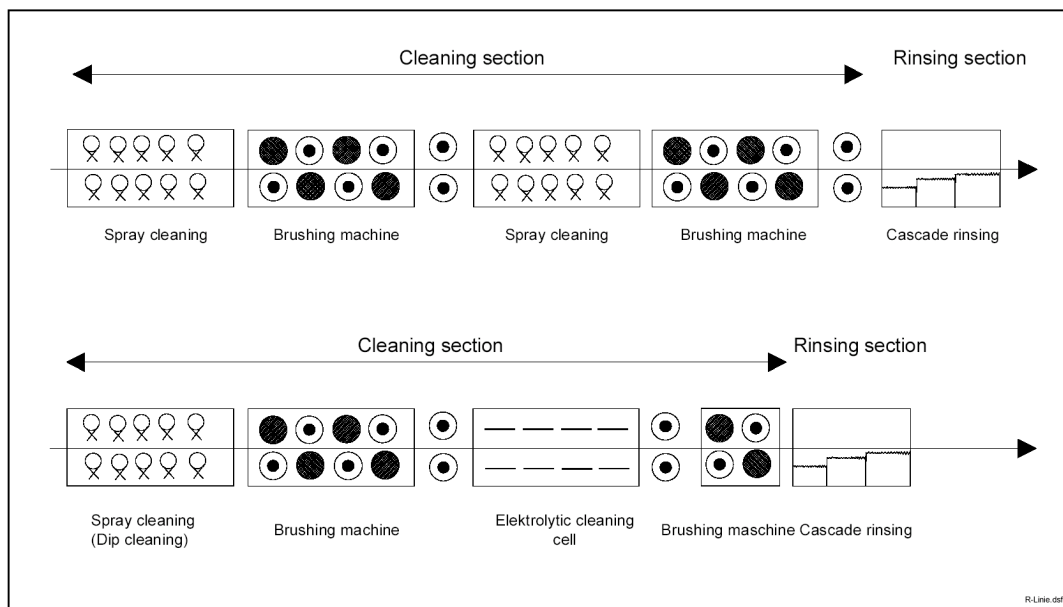
## 1. Sgrassaggio

La superficie del nastro deve essere priva di impurezze come olio, grasso e particelle di ferro, in modo da assicurare che la superficie del nastro sia completamente esposta al rivestimento e per consentire un'elevata aderenza del rivestimento stesso.

A tal fine il nastro di acciaio può essere sottoposto ad una fase di sgrassaggio in cui si utilizzano solitamente soluzioni acquose alcaline riscaldate.

Lo sgrassaggio di solito comprende alcune o tutte le fasi seguenti:

- sgrassaggio alcalino attraverso immersione o attraverso spruzzatura (può essere accoppiato con spazzolatura);
- sgrassaggio alcalino attraverso un sistema elettrolitico (può essere accoppiato con spazzolatura);
- risciacquo con acqua con spazzolatura intermedia tra le vasche di risciacquo;
- asciugatura del nastro.



*Possibili configurazioni della linea di sgrassaggio*

Nel caso in cui si utilizzano forni di trattamento termico a fiamma diretta, l'operazione di sgrassaggio può non essere effettuata in quanto i residui oleosi vengono bruciati all'interno del forno.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di sgrassaggio sono costituite dai vapori generati nelle vasche di trattamento.

Inoltre da tale fase di processo si generano dei reflui oleosi alcalini (soluzioni di sgrassaggio esauste).

## **2. Trattamento termico**

Prima della fase di zincatura, i nastri di acciaio attraversano un forno ad atmosfera controllata principalmente per migliorare le proprietà adesive della superficie, consentire all'acciaio di ottenere le proprietà meccaniche richieste e di raggiungere la temperatura richiesta prima dell'immersione nel bagno fuso.

Solitamente si utilizzano le seguenti tipologie di forni:

### *Forno Sendzimir*

È un tipo di forno continuo orizzontale, costituito da:

- zona di preriscaldamento, separata dal resto del forno, in cui il nastro è riscaldato direttamente (zona ossidante);
- zona di riduzione e zona di mantenimento a riscaldamento indiretto contenenti atmosfere riducenti ( $H_2/N_2$ );
- zona di raffreddamento.

Nella zona di preriscaldamento il nastro viene pulito e ossidato bruciando i residui di emulsione oleosa; nella zona di riduzione si ha la riduzione degli ossidi in atmosfera inerte; nella zona di mantenimento si realizza la ricristallizzazione e la normalizzazione dell'acciaio; nella zona di raffreddamento il nastro viene raffreddato ad una temperatura leggermente superiore a quella del bagno di zinco fuso.

### *Forno a fiamma diretta (D.F.F.)*

Il forno a fiamma diretta (tipo non ossidante) può essere suddiviso in varie sezioni:

- sezione di pre-riscaldamento, in cui il nastro è preriscaldato utilizzando i fumi provenienti dal forno;
- il forno stesso, in cui il nastro viene riscaldato a contatto diretto con la fiamma;
- sezione di ricottura, dove, attraverso un riscaldamento elettrico o tramite elementi radianti, il nastro viene riscaldato e mantenuto a temperatura adeguata in atmosfera riducente;
- sezione di raffreddamento del nastro, suddivisa in più parti aventi velocità di raffreddamento diverse;
- sezione di uscita, da cui il nastro viene avviato al bagno di zinco fuso.

Questa tipologia di forno consente la pulizia della superficie del nastro, cosa che rende non sempre necessario lo sgrassaggio preliminare del metallo.

### *Forno a tubi radianti (R.T.F.)*

Tramite questo tipo di forno si realizza un riscaldamento del nastro di tipo indiretto: i fumi di combustione circolano all'interno di tubi radianti e non entrano in contatto col nastro, che transita all'interno del forno in un'atmosfera riducente ( $H_2/N_2$ ). La zona di mantenimento può essere dotata di riscaldamento con tubi radianti o di tipo elettrico. Questo tipo di forno, in combinazione con uno sgrassaggio alcalino preliminare, consente di ottenere standard qualitativi molto elevati e di migliorare l'aderenza del successivo rivestimento metallico.

Il riscaldamento viene generalmente realizzato con la combustione di gas di cokeria desolforati o gas naturale.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di trattamento termico sono costituite dai prodotti di combustione dei suddetti combustibili.

### **3. Immersione del nastro nel bagno fuso (Zincatura)**

Il rivestimento di zinco sul nastro avviene per immersione del nastro di acciaio in un bagno di zinco fuso.

Il bagno di zincatura attraverso il quale viene fatto passare il nastro è mantenuto ad una temperatura di 440-490°C tramite sistemi ad induzione elettrica o tramite la combustione di gas naturale; il bagno è costituito da zinco fuso e da additivi (ad es. antimonio, piombo o alluminio).

La quantità di zinco fuso contenuta è sufficiente per prevenire ampie variazioni della temperatura.

Il controllo di temperatura del bagno è essenziale, in quanto una temperatura troppo elevata provoca un aumento dell'ossidazione della superficie del bagno fuso, mentre una temperatura troppo bassa del bagno provoca un aumento della viscosità del metallo fuso che ostacola la formazione di uno strato di rivestimento sottile. La temperatura del bagno deve essere pertanto ottimizzata al fine di ottenere le caratteristiche qualitative richieste per il prodotto finale rivestito.

Il nastro lascia il bagno con una certa quantità di zinco liquido sulla superficie; per ottenere l'esatto spessore richiesto, il nastro viene fatto passare attraverso una serie di getti posti al di sopra della superficie del bagno; in questo modo l'eccesso di zinco viene rimosso dall'acciaio soffiando aria o azoto ed il sistema solitamente è regolato da un misuratore dello spessore del rivestimento.

Dopo aver lasciato il bagno, il nastro viene solitamente sottoposto a raffreddamento ad aria, water quench ed asciugatura.

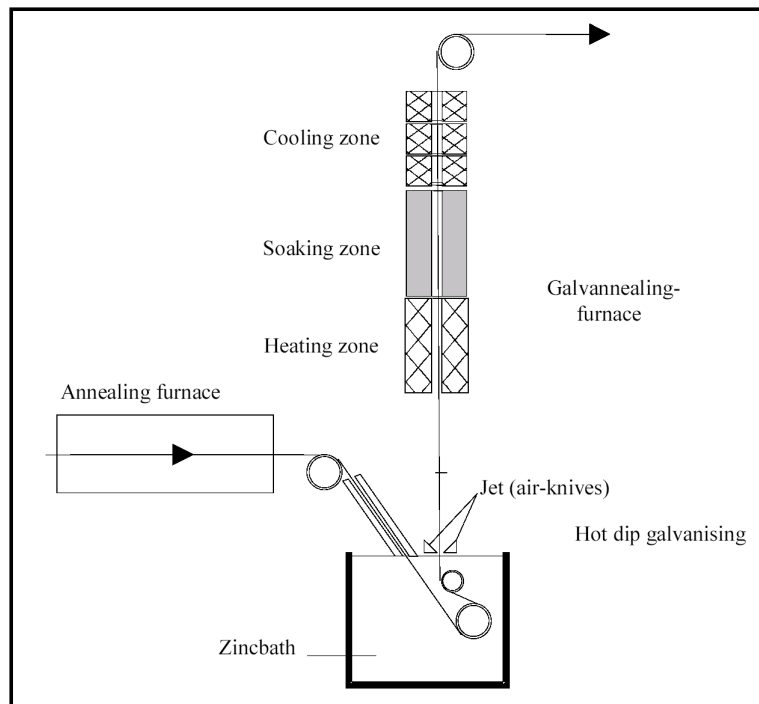
Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di zincatura sono costituite dai prodotti di combustione del combustibile utilizzato per il riscaldamento del bagno fuso; tali emissioni sono assenti nel caso in cui si utilizzano sistemi di riscaldamento della vasca induttivi.

### **4. Galvannealing**

Il Galvannealing è un post-trattamento, presente su alcuni impianti, in cui il nastro in uscita dal bagno di zincatura viene riscaldato ad una temperatura tale da portare alla formazione di una lega zinco-ferro (10% in ferro) che impartisce al prodotto un aspetto particolarmente liscio. La lega si crea per diffusione del ferro dal nastro allo strato di zinco; tale diffusione è ottenuta mediante il riscaldamento per un tempo adeguato ad una temperatura che dipende dal tipo di acciaio (generalmente tra i 500 ed i 540°C). A tal fine si utilizzano dei forni, che si dividono in due zone: zona di riscaldamento e zona di mantenimento.

Alcuni forni sono dotati di riscaldamento per induzione nella zona di riscaldamento e di riscaldamento elettrico o tramite tubi radianti nella zona di mantenimento. Il riscaldamento induttivo consente un periodo di riscaldamento ed un tempo di reazione brevi, una regolazione accurata della temperatura, oltre che da assenza di emissioni in atmosfera; pertanto consente di ottenere prodotti qualitativamente migliori.

Altri tipi di forni sono equipaggiati con tubi radianti in entrambe le zone e sono caratterizzati pertanto da tempi di riscaldamento più lunghi.



*Schema di una linea di Galvannealing*

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase di Galvannealing sono costituite dai prodotti di combustione dei combustibili utilizzati nei forni; tali emissioni sono assenti laddove si utilizzano sistemi di riscaldamento di tipo induttivo.

## **5. Post-trattamenti**

Dopo la fase di rivestimento, i nastri d'acciaio sono solitamente sottoposti a post-trattamenti per prevenire danni superficiali e fessurazioni, nonché per consentire di migliorare i processi successivi a cui sono sottoposti i nastri. In particolare i post-trattamenti come ad es. l'oliatura, la passivazione, la fosfatazione o una loro combinazione aumentano in modo considerevole la resistenza contro la formazione di ruggine bianca (idrossidi di zinco), che influenza negativamente le lavorazioni successive.

L'oliatura consiste nell'applicare uno strato d'olio sulla superficie del nastro.

La passivazione è un trattamento effettuato con solventi contenenti acidi cromatici, applicati tramite spruzzatura o tramite rulli di applicazione.

La fosfatazione è un trattamento effettuato con una soluzione a base di acido fosforico per spruzzaggio o per immersione che porta alla precipitazione di cristalli di fosfato di zinco sulla superficie del nastro.

Le principali emissioni in atmosfera che si manifestano in normali condizioni durante la fase dei post-trattamenti sono costituite dai vapori che si generano dalle vasche di trattamento.

Inoltre da tale fase di processo si possono generare, a seconda del trattamento, dei reflui.

## **6. Finitura**

Per impartire all'acciaio determinate proprietà richieste dal cliente (ad es. un'apparenza superficiale particolare, levigatezza, etc.) o per rispettare le tolleranze di larghezza del nastro si possono realizzare le seguenti operazioni di finitura:

### Trattamento Mini/No Spangle

Se la velocità di raffreddamento dello strato superiore di zinco puro è sufficientemente bassa, si formano cristalli larghi che impartiscono un aspetto “lucente”. A volte questo effetto o non è richiesto o è richiesto in misura ridotta; in tal caso si raffredda il nastro più velocemente o si ricorre a spruzzaggio di vapore, a spruzzaggio di vapore con additivi solitamente a base di fosfati o a spruzzaggio con polvere di zinco (stellatura ridotta).

### Skinpassatura

Il nastro viene skinpassato mediante cilindri di lavoro ed il trattamento può essere realizzato in tre modi: a secco, ad umido con sola acqua e ad umido con acqua e detergente.

### Spianatura

Il nastro viene spianato mediante rulli di lavoro che intervengono ad eliminare i difetti di forma del nastro, come imbarcature, curvature, etc.

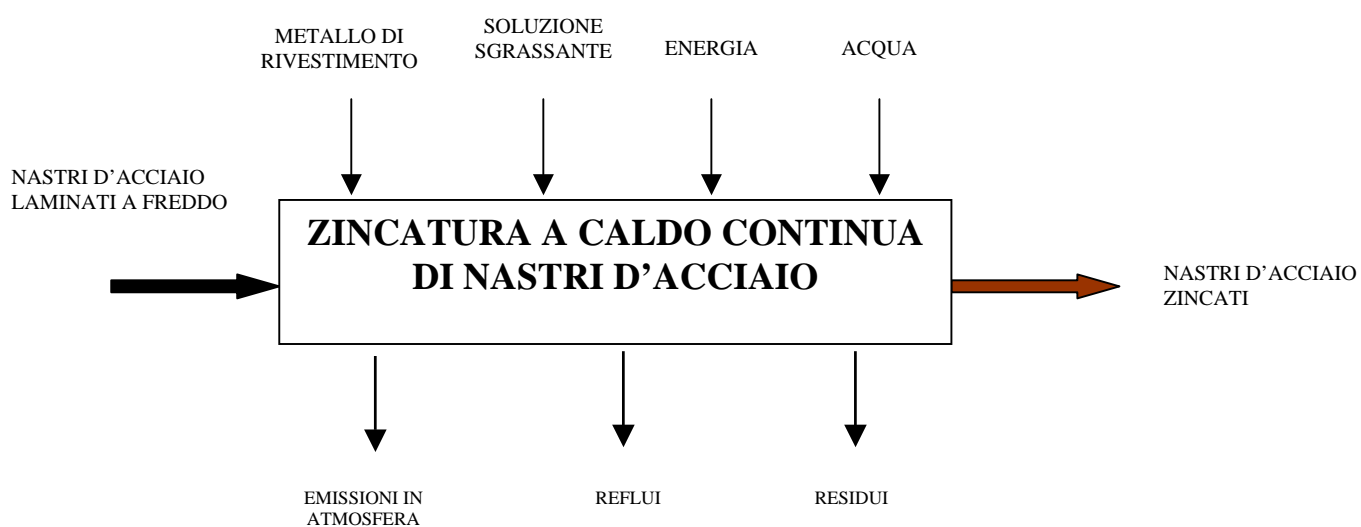
### Taglio dei bordi

Per alcune applicazioni si deve effettuare un taglio dei bordi per raggiungere la tolleranza in larghezza richiesta ed eliminare piccoli difetti ai bordi.

Dalla fase di skinpassatura ad umido si generano dei reflui, contenenti principalmente solidi sospesi e zinco.

- **Bilancio complessivo di materia ed energia**

Lo schema di flusso di materia ed energia in ingresso ed in uscita dalla zincatura a caldo continua di nastri è sinteticamente di seguito rappresentato:



I principali residui nel normale esercizio sono costituiti dalle scorie (contenenti fondamentalmente zinco) che si formano sulla superficie del bagno fuso; tali scorie sono rimosse periodicamente e riciclate all'industria dei metalli non ferrosi per consentire il recupero dei metalli contenuti.

Altri residui quali ad esempio refrattari a fine ciclo, fanghi derivanti dal trattamento acque, sfridi, ecc.... vengono smaltiti e, ove possibile, riciclati.

## **B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili**

### **1. Sgrassaggio**

- Riduzione dei reflui derivanti dallo sgrassaggio alcalino mediante:
  - l'utilizzo della soluzione sgrassante in cascata, nel caso in cui lo sgrassaggio alcalino è direttamente connesso con lo stadio di pulitura elettrolitica.  
In particolare si ha che la soluzione alcalina utilizzata nello sgrassaggio elettrolitico può essere ricircolata nello stadio contiguo di sgrassaggio non elettrolitico;
  - pulizia dall'olio della soluzione alcalina (ad es. con sistemi di pulizia meccanica, membrane, ecc.) e suo riciclo nella sezione di sgrassaggio.

Tale tecnica è applicabile ai nuovi impianti, mentre l'applicazione su impianti esistenti è condizionata dalla disponibilità di spazio.

- Raccolta delle acque derivanti dallo sgrassaggio e loro invio all'impianto di trattamento delle acque di processo.
- Adozione di vasche di sgrassaggio coperte con estrazione e depurazione dell'aria estratta tramite scrubber o demister.
- Adozione di rulli strizzatori per ridurre il trascinarsi della soluzione sgrassante tra le varie sezioni.

### **2. Trattamento termico**

- Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx).  
I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx.  
I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione.  
Il preriscaldamento dell'aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l'efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di NOx al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:

Temperatura di preriscaldamento aria comburente	NO <sub>x</sub> (mg/Nmc) – 3% O <sub>2</sub>
< 200 °C	< 400
300 °C	fino a 450
400 °C	fino a 600
500 °C	fino a 800
700 °C	fino a 1500
800 °C	fino a 2300
900 °C	fino a 3500
1000 °C	fino a 5300

- Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche per il recupero del calore:
  - recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente.  
 I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente.  
 Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.  
 I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.  
 Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).  
 Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici.  
 I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi);
  - recupero del calore dei fumi di combustione per la produzione di vapore nel caso di fabbisogno per l'impianto di zincatura a caldo;
  - preriscaldamento del nastro.

Tali tecniche possono essere previste in fase progettuale su nuovi impianti mentre su impianti esistenti la loro adozione può essere effettuata nel caso di sostanziali ammodernamenti e ove tecnicamente ed economicamente fattibile.

### 3. Immersione del nastro nel bagno fuso (Zincatura)

- Raccolta dei residui contenenti zinco (scoria, ecc.) e loro riciclo nell'industria dei metalli non ferrosi.

Ad esempio parte dello zinco consumato finisce nella scoria che si forma sulla superficie del bagno fuso; tale scoria viene rimossa manualmente in quanto influenza negativamente la qualità del rivestimento del nastro.

### 4. Galvannealing

- Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx).

I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx.

I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione.

Il preriscaldamento dell'aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l'efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.

Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:

- emissioni convogliate di NOx al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:

Temperatura di preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) – 3% O <sub>2</sub>
< 200 °C	< 400
300 °C	fino a 450
400 °C	fino a 600
500 °C	fino a 800
700 °C	fino a 1500
800 °C	fino a 2300
900 °C	fino a 3500
1000 °C	fino a 5300

- Recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente.

I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore

continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.

I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.

Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).

Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici.

I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi).

Tali tecniche possono essere previste in fase progettuale su nuovi impianti mentre su impianti esistenti la loro adozione può essere effettuata nel caso di sostanziali ammodernamenti e ove tecnicamente ed economicamente fattibile.

## 5. Post-trattamenti

- Adozione, per il trattamento di oliatura del nastro, di una delle seguenti tecniche:
  - copertura della macchina di oliatura del nastro;
  - oliatura elettrostatica.
- Adozione delle seguenti tecniche per i trattamenti di passivazione e fosfatazione:
  - copertura dei bagni di processo;
  - riciclo della soluzione di passivazione del nastro d'acciaio zincato.  
La soluzione esausta viene di volta in volta scaricata ed inviata al sistema di depurazione acque o conferita all'esterno per il suo trattamento;
  - riciclo della soluzione di fosfatazione del nastro d'acciaio zincato.  
La soluzione esausta viene di volta in volta scaricata ed inviata al sistema di depurazione acque o conferita all'esterno per il suo trattamento;
    - utilizzo di rulli strizzatori per evitare i trascinamenti delle soluzioni nelle sezioni successive, con perdita di sostanze chimiche.

## 6. Finitura

- Raccolta delle acque derivanti dalla skinpassatura ad umido e loro invio all'impianto di trattamento delle acque di processo.

## 7. Trattamento acque

- Adozione di sistema separato delle acque di raffreddamento ed operanti, ove possibile, in circuito chiuso con raffreddamento in torri evaporative o altri sistemi.
- Trattamento delle acque di processo derivanti dall'impianto di zincatura a caldo ed eventualmente derivanti anche da altre attività, utilizzando un'opportuna combinazione di stadi di sedimentazione, filtrazione e/o flottazione, precipitazione, flocculazione o altre combinazioni di pari efficienza.  
La frazione oleosa derivante dal trattamento dovrebbe essere, per quanto possibile, riutilizzata (ad es. combustione).

Le prestazioni raggiungibili in condizioni normali dagli impianti di trattamento delle acque di processo sono le seguenti:

- concentrazioni allo scarico dopo trattamento:
  - solidi sospesi:  $\leq 20$  mg/l
  - Fe:  $\leq 10$  mg/l
  - Zn:  $\leq 2$  mg/l
  - Ni:  $\leq 0.2$  mg/l
  - Cr<sub>tot</sub>:  $\leq 0.2$  mg/l
  - Pb :  $\leq 0.5$  mg/l
  - Sn:  $\leq 2$  mg/l

Su impianti esistenti di trattamento acque di tipo continuo con livelli di zinco allo scarico  $\leq 4$  mg/l, potrebbe essere adottato il trattamento batch.

## 2. Zincatura a caldo continua dei fili d'acciaio a basso tenore di carbonio

Il processo di rivestimento a caldo dei fili di acciaio realizza in modo continuo le varie fasi riconducibili alla zincatura generale.

I fili trafilati, infatti, passano nelle varie sezioni di trattamento, preparazione e zincatura con tempi di permanenza calcolati giustamente per raggiungere i risultati voluti.

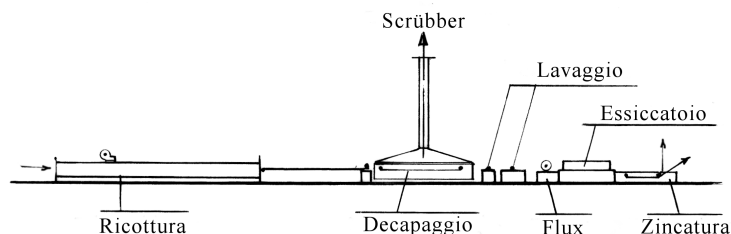
I metalli adatti per i rivestimenti a caldo sono quelli che hanno il punto di fusione abbastanza basso per evitare modificazioni termiche nella base di acciaio.

La grande maggioranza dei rivestimenti applicati a caldo è costituita da zinco.

Altri rivestimenti come il Galfan (Zn 95% + Al 5%) hanno una importanza marginale per la scarsa diffusione dei processi relativi.

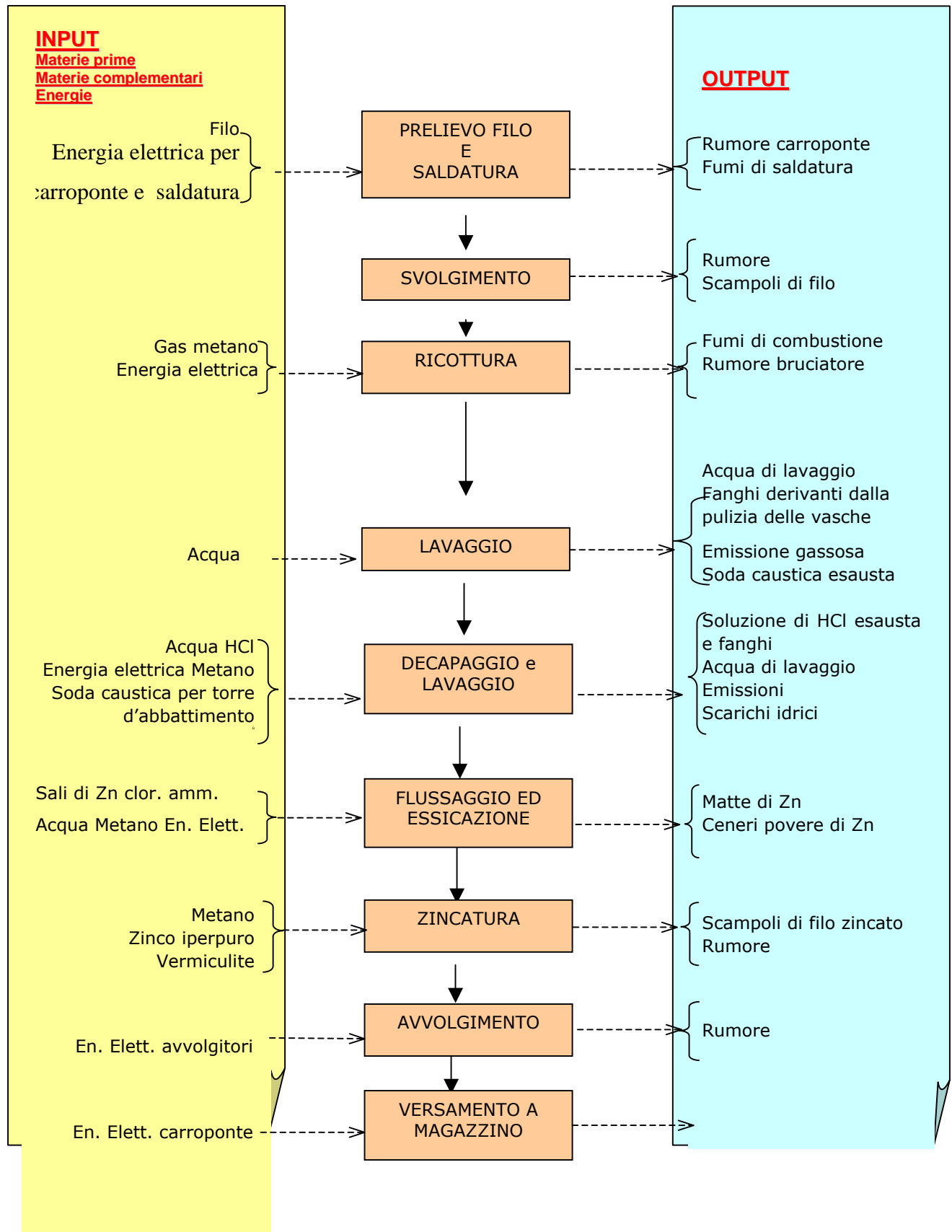
Gli impianti di zincatura continua dei fili comprendono le seguenti fasi:

- Ricottura
- Decapaggio
- Lavaggio
- Flux
- Zincatura
- Raffreddamento e finitura



I maggiori problemi ambientali che riguardano questo sub-settore sono emissioni in aria, rifiuti e acque esauste, immissioni in aria e consumo energetico dei forni, residui che contengono zinco (Vedi schema a blocchi All. 1). I risultati chiave per quanto riguarda la BAT per le diverse sezioni e le diverse emissioni ambientali della zincatura a caldo, sono ricapitolate nella tabella 1. Tutte le emissioni sono espresse come valori medi giornalieri. Le emissioni in aria sono basate su condizioni standard di 273 K, 101,3 KPa e gas secco. Gli scarichi di acqua sono indicati come valore medio giornaliero del flusso-campione composito di 24 ore.

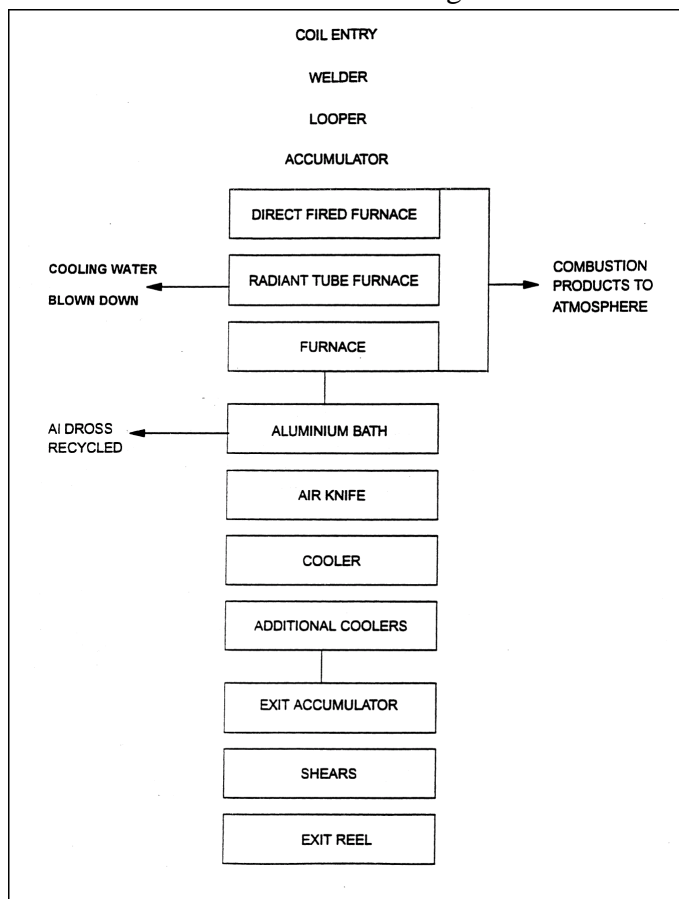
## ANALISI DEGLI ASPETTI AMBIENTALI PER FASI DI PROCESSO



### 3. Alluminiatura a caldo continua dei nastri di acciaio

#### A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, scarichi, residui)

Nella alluminiatura a caldo continua, il nastro d'acciaio laminato a freddo viene rivestito tramite immersione in un bagno fuso di una lega a base di alluminio, mantenuto ad una temperatura di circa 650°C. Tale processo è molto simile al processo di zincatura a caldo continua; pertanto l'alluminiatura può essere realizzata sullo stesso impianto in cui si realizza la zincatura effettuando alcuni interventi sulla linea, ad esempio sostituendo la vasca del bagno fuso e regolando il forno in modo tale che il nastro esca dalla fase di trattamento termico alla temperatura idonea per la successiva immersione nel bagno fuso di alluminiatura.



#### *Configurazione tipica di un processo di alluminiatura a caldo continua di nastri d'acciaio*

Data l'affinità dell'alluminio con l'ossigeno è estremamente importante prevenire la formazione di uno strato di ossido sul nastro che può limitare la qualità del rivestimento. Si può prevenire la formazione di ossido ad esempio facendo passare il nastro all'interno del forno in un'atmosfera inerte, oppure iniettando idrogeno nel bagno fuso o immergendo nello stesso barre di grafite che reagiscono con l'eventuale ossido formatosi sulla superficie del nastro.

I nastri rivestiti possono essere sottoposti a post-trattamenti per prevenire la formazione di danni superficiali (ad es. ruggine bianca). Ad esempio la passivazione è un post-trattamento che impartisce al nastro rivestito un'ulteriore protezione contro la corrosione e consiste nell'applicare al nastro d'acciaio rivestito, tramite spruzzatura, una soluzione contenente acidi cromatici.

Il processo di alluminiatura a caldo continua di nastri di acciaio laminati a freddo è simile a quello di zincatura a caldo continua; pertanto le migliori tecniche disponibili sono le stesse di quelle riportate per gli impianti di zincatura a caldo continua.

## 4.6 Fonderia

Nel Settore della Fonderia, molte sono le fasi produttive rilevanti per gli aspetti ambientali che coinvolgono, sia da un punto di vista del consumo di risorse, sia in termini di ricadute sull'ambiente (emissioni in aria, acqua e produzione di rifiuti)

Le tecniche riportate per la protezione dell'ambiente e per i risparmi energetici sono fornite con riferimento alle singole fasi del processo produttivo.

Le fasi che vengono considerate sono:

*stoccaggio e manipolazione delle materie prime*

*fusione e trattamento del metallo*

*formatura e fabbricazione di anime, compreso la preparazione delle sabbie colate*

*Finitura dei getti*

*trattamento delle acque reflue*

Nelle pagine che seguono sono descritte sinteticamente, le varie tecniche da considerare nella determinazione delle BAT con indicazione delle relative prestazioni ambientali associate, il campo di applicabilità ed eventuali note di chiarimento.

### A) Aspetti tecnici, tecnologici ed ambientali (consumi, emissioni, rifiuti)

#### 1. *Stoccaggio e manipolazione delle materie prime*

Vengono analizzate le fasi di manipolazione e di stoccaggio delle materie prime per la fusione e per la preparazione delle forme.

Gli aspetti rilevanti da un punto di vista ambientale sono legati alle varie modalità di stoccaggio e di movimentazione dei materiali metallici ferrosi, coke, terre e sabbie, leganti e additivi per la formatura.

#### 2. *fusione e trattamento del metallo*

Vengono esaminate le varie tecniche di fusione e di trattamento del metallo, individuando i flussi in entrata e in uscita. Vengono fornite le indicazioni in merito alle tecniche disponibili per la riduzione delle emissioni prodotte in tali fasi.

#### Forni Cubilotti

Flussi in entrata (input)	Flussi in uscita (output)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materiali ferrosi (ghisa in pani, rottami di acciaio e di ghisa, ritorni interni, ...)</li><li>• Ferroleghie e metalli alliganti</li><li>• Flussi (castina, scarificanti, desolforanti, ...)</li><li>• Energia (coke, gas, olio combustibile, elettricità)</li><li>• ossigeno</li><li>• Acqua di raffreddamento</li><li>• acqua</li><li>• refrattari</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lega metallica fusa (ghisa )</li><li>• Emissioni in atmosfera</li><li>• scorie</li><li>• Rifiuti di refrattario</li></ul>

### Forni ad arco elettrico

Flussi in entrata (input)	Flussi in uscita (output)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materiali ferrosi (ghisa in pani, rottami di acciaio e di ghisa, torniture, ritorni interni,.)</li><li>• Ferroleghie e metalli alliganti</li><li>• Flussi (castina, scarificanti, ...)</li><li>• Energia (elettricità, gas, olio combustibile)</li><li>• Ossigeno</li><li>• Elettrodi</li><li>• Acqua di raffreddamento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lega metallica fusa (acciaio )</li><li>• Emissioni in atmosfera</li><li>• Scorie (CaO; SiO<sub>2</sub> , MgO)</li><li>• Rifiuti di refrattario</li></ul>

### Forni ad induzione a crogiolo

Flussi in entrata (input)	Flussi in uscita (output)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materiali ferrosi (ghisa in pani, rottami di acciaio e di ghisa, torniture, ritorni interni,.)</li><li>• Ferroleghie e metalli alliganti</li><li>• Materiali carburanti e flussi (scarificanti, .)</li><li>• Energia elettrica</li><li>• Acqua di raffreddamento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lega metallica fusa (ghisa, acciaio)</li><li>• emissioni in atmosfera</li><li>• scorie</li><li>• Rifiuti di refrattario</li></ul>

### Forni rotativi

Flussi in entrata (input)	Flussi in uscita (output)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materiali ferrosi (ghisa in pani, rottami di acciaio e di ghisa, torniture, ritorni interni, ...)</li><li>• Ferroleghie e metalli alliganti</li><li>• Agenti carburanti e flussi (scarificanti, desolforanti, ...)</li><li>• Energia (gas, olio combustibile, elettricità)</li><li>• ossigeno</li><li>• Acqua di raffreddamento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lega metallica fusa (ghisa )</li><li>• emissioni in atmosfera</li><li>• scorie</li><li>• Rifiuti di refrattario</li></ul>

## Convertitore AOD

Flussi in entrata (input)	Flussi in uscita (output)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciaio liquido</li> <li>• Ferroleghie e metalli alliganti</li> <li>• flussi (scarificanti, desolforanti, ...)</li> <li>• Energia (gas, elettricità)</li> <li>• ossigeno</li> <li>• Gas inerti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciaio liquido</li> <li>• emissioni in atmosfera</li> <li>• scorie</li> <li>• Rifiuti di refrattario</li> </ul>

### **3. *formatura e fabbricazione di anime, compreso la preparazione delle sabbie***

Nella fase di formatura, le principali emissioni sono dovute alle operazioni di miscelazione della sabbia con i vari agglomeranti e/o additivi. Oltre alla polvere, dovuta alla presenza di sabbia, la natura delle emissioni è legata al tipo di legante e catalizzatori utilizzati.

### **4. *colata, raffreddamento e sterratura***

Le principali emissioni che si hanno in aria durante queste fasi sono legate alle sostanze rilasciate dai leganti chimici costituenti la forma, per effetto della pirolisi del metallo.

La tabella che segue fornisce una valutazione qualitativa delle principali emissioni correlate ai diversi tipi di leganti.

Sistema e tipo di legante	Emissioni durante la produzione di getti (colata)	Commenti
<b>Terra a verde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Argilla</li> <li>• Nero minerale (o equivalenti)</li> <li>• Acqua</li> </ul>	Materiale particellare – fuliggine dalla combustione del nero minerale CO, CO <sub>2</sub> SOV	Odori potenziali legati al contenuto di zolfo del nero minerale
<b>A guscio (shell)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resina fenolo-formaldeide (tipo novolacca)</li> </ul>	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> Fenolo, cresolo, xilenolo Ammoniaca, aldeidi, benzene	odore significativo; possono essere necessari trattamenti, sebbene la dispersione può essere sufficiente.
<b>Alcalino – fenolico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resina a base di resole, fenolica alcalina – formaldeide <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indurimento con gas</li> <li>2. autoindurente</li> </ol> </li> </ul>	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> Formaldeide Fenolo, cresolo, xilenolo Composti aromatici	L'odore può rappresentare un problema
<b>Fenolico-uretano</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. indurimento con gas (cold box)</li> <li>2. autoindurente (fenolico uretano no-bake)</li> </ol>	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> Formaldeide Fenolo, cresolo, xilenolo Composti aromatici Anilina, naftalene, ammoniaca	L'odore può rappresentare un problema

<b>Furanico</b> Resine a base di: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fenolo</li> <li>• Urea</li> <li>• Alcol furfurilico</li> <li>• formaldeide</li> </ul>	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> Fenolo, cresolo, xilenolo Formaldeide Composti aromatici SO <sub>2</sub> , ammoniaca, anilina	Occasionalmente, l'odore può rappresentare un problema
<b>Hot box (cassa d'anima calda)</b> Resine a base di: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fenolo</li> <li>• Urea</li> <li>• Alcol furfurilico</li> <li>• formaldeide</li> </ul>	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> Fenolo, cresolo, xilenolo Formaldeide Composti aromatici Ammoniaca, anilina	
<b>Sabbia-olio</b> Olio di lino e destrine	Materiale particellare – fuliggine dovuta alla combustione incompleta del carbonio della resina CO, CO <sub>2</sub> Butadiene Acroleina, chetoni	L'odore può essere un problema
<b>Processi con CO<sub>2</sub></b> Silicato di sodio	CO, CO <sub>2</sub>	
<b>Silicati con esteri</b> Silicato di sodio	CO, CO <sub>2</sub> Alcani, acetone, acido acetico Acroleina	

## 5. *Finitura dei getti*

Fra le operazioni di finitura che vengono effettuate sui getti, la eliminazione dei dispositivi di colata e di alimentazione dei getti (materozze, attacchi di colata, ecc), la pulitura dei getti (granigliatura), l'eliminazione e la riparazione dei getti di acciaio (sbriciatura e saldatura) ed infine l'eliminazione di bave (sbavatura/molatura) possono dare origine ad emissioni di fumi/polveri.

## 6. *Trattamento delle acque reflue*

Nelle fonderie, la quantità di acqua di processo scaricata è bassa, ed è legata, ove presenti, soprattutto alle acque provenienti dai sistemi di depolverazione (soprattutto i wet scrubber) e di pulizia dei gas di scarico.

Molte acque vengono utilizzate come acque di raffreddamento, generalmente all'interno di circuiti a recupero.

## B) Migliori tecniche e tecnologie disponibili

### 1. *Stoccaggio e manipolazione delle materie prime*

Le BAT in questo caso riguardano: la gestione degli stoccaggi, la manipolazione dei diversi tipi di materiali, la minimizzazione del consumo di materie prime con i recuperi e riciclaggi dei residui.

Le BAT in particolare riguardano:

- Adottare stoccaggi separati dei vari materiali in ingresso, prevenendo deterioramenti e pericoli
- Stoccaggio dei rottami e dei ritorni interni su di superfici impermeabili e dotate di sistemi di raccolta e trattamento del percolato. In alternativa lo stoccaggio può avvenire in aree coperte.
- Riutilizzo interno dei bocconi e dei ritorni.
- Stoccare separatamente i vari tipi di residui e rifiuti, in modo da favorirne il corretto riutilizzo, riciclo o smaltimento.
- Utilizzo di materiali alla rinfusa o contenitori riciclabili.
- Utilizzo di modelli di simulazione, modalità di gestione e procedure per aumentare la resa dei metalli e per ottimizzare i flussi di materiali.

## **2. Fusione e trattamento del metallo**

### Fusione della ghisa al cubilotto

Le BAT riguardano:

- Utilizzo di due ranghi di ugelli per il cubilotto a vento freddo
- Utilizzo di vento arricchito con O<sub>2</sub> nella misura del 1 – 4 % circa
- In relazione al fabbisogno delle linee di colata può essere opportuno lavorare in duplex con un forno di attesa. Questa pratica consente di adottare lunghe campagne evitando interruzioni di marcia.
- Depurare i gas emessi adottando in sequenza la raccolta, il raffreddamento e la depolverazione con sistemi a secco o ad umido. I livelli di emissione associati a queste BAT sono indicati nella tabella seguenti.
- Adottare una buona pratica fusoria
- Impiegare coke di qualità conosciuta e controllata
- Utilizzo della post combustione dei gas per i Cubilotti a vento freddo, e recupero del calore per usi interni; utilizzo di una camera di combustione separata per quelli a vento caldo, recuperando il calore per preriscaldare il vento e/o per altri usi interni.
- Valutare la possibilità di estendere il recupero del calore anche ai forni di attesa operanti in duplex.
- Prevenire la formazione di diossina attraverso misure primarie (interventi sul processo), o secondarie (tecniche di trattamento delle emissioni). Le tecniche specifiche di trattamento delle emissioni di diossina non trovano ancora una pratica applicazione nel settore delle fonderie.
- Impiego di sistemi di depurazione ad umido nella fusione con marcia a scoria basica ( $((\text{CaO \%} + \text{MgO \%}) / \text{SiO}_2 \% > 2)$ ).

I residui prodotti dalla fusione al cubilotto comprendono: polveri, scorie, sfridi di coke.

Le BAT per la loro gestione comprendono oltre alla loro minimizzazione, anche il pre-trattamento (granulazione o frantumazione) delle scorie per un riutilizzo esterno, ed il riciclo degli sfridi di coke all'interno del forno.

### Fusione al forno elettrico ad arco di acciaio e ghisa.

Per questo tipo di forno le BAT sono:

- Applicare affidabili sistemi di controllo di processo, per contenere i tempi di fusione e di trattamento.
- Utilizzare pratiche di *schiumatura* delle scorie (iniezione di ossigeno e polvere di carbone nella scoria alla fine della fusione)
- Captare i fumi in emissione con tecniche ad alta efficienza
- Raffreddare i fumi in uscita ed abbattere le polveri utilizzando filtri a tessuto.

#### Fusione al forno elettrico ad induzione di acciaio e ghisa.

Per questo tipo di forno le BAT sono:

- Usare rottami e ritorni puliti evitando ruggine, sporcizia e sabbia .
- Impiego di energia elettrica a media frequenza
- Pesare la carica
- Dove applicabile, recuperare il calore
- Captare i gas di scarico utilizzando tecniche idonee ottimizzandone la captazione durante tutte le fasi del ciclo operativo .

#### Fusione della ghisa al forno rotativo.

Le BAT sono:

- Adottare misure per aumentare l'efficienza del forno (regime del bruciatore, posizione del bruciatore, carica, composizione del metallo, temperature)
- Impiego di bruciatore ad ossigeno.
- Captare i fumi in uscita del forno, utilizzare la post-combustione, raffreddare e depolverare con filtri a tessuto.
- Prevenire la formazione di diossina attraverso misure primarie (interventi sul processo), o secondarie (tecniche di trattamento delle emissioni). Le tecniche specifiche di trattamento delle emissioni di diossina non trovano ancora una pratica applicazione nel settore delle fonderie.

#### Trattamento del metallo

Nel caso di utilizzo di un convertitore AOD, per l'affinazione dell'acciaio, le BAT sono:

- Estrarre e raccogliere i fumi mediante una cappa a calotta.

Nella produzione della ghisa sferoidale, le BAT consistono nel:

- Adottare una tecnica di sferoidizzazione senza sviluppo di gas. In alternativa catturare i fumi di MgO utilizzando un coperchio o una copertura con dispositivi di estrazione o una cappa mobile.
- Depolverare le emissioni usando filtri a maniche, rendendo possibile il riutilizzo delle polveri di MgO.

### **3. *Formatura e fabbricazione di anime, compresa la preparazione delle sabbie***

#### **Tecniche di produzione getti con forma persa.**

In questo paragrafo sono incluse le tecniche di realizzazione delle forme e delle anime con l'impiego di leganti inorganici argillosi ( formatura a verde) e di leganti chimici.

Gli elementi BAT sono presentati , oltre che per le citate fasi produttive di formatura, anche per le successive operazioni di colata, raffreddamento e distaffatura, alle quali esse sono interconnesse.

#### Formatura in terra a verde

La preparazione della terra a verde consiste nel miscelare la sabbia base con additivi e leganti in appositi mescolatori, in normale atmosfera o sotto vuoto.

Entrambi i metodi sono considerati BAT; i mescolatori sotto vuoto, trovano un utilizzo in impianti in cui la capacità produttiva della sabbia sia superiore alle 60 t/h.

Le BAT per gli impianti di preparazione della terra a verde consistono in:

- Chiudere tutte le unità operative dell'impianti di lavorazione delle terre (griglia vibrante, depolveratori della sabbia, raffreddatori, unità di miscelazione), e depolverare le emissioni, in accordo con i livelli di emissione associate alle BAT, riportate nelle tabelle seguenti; se sussistono idonee condizioni di mercato, le polveri di abbattimento possono trovare un riutilizzo all'estero. Per quanto riguarda le parti fini aspirate nelle diverse postazioni del ciclo di lavorazione e di recupero (distaffatura, dosaggio e movimentazione), le BAT sono rappresentate dalle tecniche che ne consentono il reimpiego nel circuito delle terre, in percentuale maggiore del 50%.
- Utilizzare tecniche di recupero delle terre. Le aggiunte di sabbia nuova dipende dalla quantità di anime presenti e dalla loro compatibilità con le tecniche di recupero impiegate. Per le sole terre a verde, la percentuale di recupero raggiungibile è del 98%. Sistemi con elevate percentuali di anime con leganti incompatibili con il sistema di recupero, possono raggiungere percentuali di riutilizzo fra il 90 e il 94%.

## Formatura chimica

Vengono utilizzati vari tipi di leganti, ciascuno con specifiche proprietà ed applicabilità. Tutti sono da considerarsi BAT se vengono impiegati secondo le buone pratiche discusse inerenti i controlli di processo e le tecniche di captazione delle emissioni per minimizzarne i livelli.

I livelli di emissione associati alle BAT, sono riportati nelle successive tabelle.

Per la preparazione di sabbie con agglomeranti chimici, le BAT consistono in :

- Minimizzare l'utilizzo di resine e leganti, utilizzando sistemi di controllo del processo (manuali o automatici), e di controllo della miscelazione. Per le produzioni di serie con frequenti cambi dei parametri produttivi, le BAT consistono nell'utilizzare sistemi di archiviazione elettronica dei parametri produttivi.
- Captazione delle emissioni dalle aree di produzione, di movimentazione e di stoccaggio delle anime prima della distribuzione.
- Utilizzo di intonaci refrattari a base di  $H_2O$ , in sostituzione degli intonaci con solvente ad alcol, per la verniciatura di forme ed anime nelle fonderie con produzioni di media e grande serie.

L'utilizzo di vernici ad alcol rappresentano una BAT nel caso di:

- produzioni di forme ed anime complesse e di grandi dimensione
- utilizzo di sistemi con sabbia e silicato di sodio
- produzione di getti in magnesio
- produzione di getti in acciaio al manganese, con vernici a base di  $MgO$

entrambe le predette tecniche di verniciatura rappresentano delle BAT, per le fonderie con produzioni di piccole serie di getti e per le fonderie con produzioni su commessa. In queste tipologie di fonderie, lo sviluppo di tecniche con vernici ad acqua è legato alla disponibilità di sistemi di essiccazione a microonde o altre tecniche di essiccazione.

Quando vengono utilizzate vernici ad alcol, le BAT sono rappresentate dall'utilizzo di sistemi di captazione delle emissioni prodotte, fissi o mobili, fatta eccezione per le fonderie con produzione di grossi getti con formatura "in campo", ove le cappe non possono essere utilizzate.

In aggiunta, nel caso di produzione di anime con sistemi a base di resine fenoliche-poliuretaniche indurite con ammina, le BAT prevedono:

- abbattimento delle emissioni prodotte utilizzando idonei sistemi quali: assorbimento su carbone attivo, abbattitori chimici (scrubber), post combustione, biofiltrazione.
- Il recupero delle ammine dalle soluzioni esauste di abbattimento degli impianti chimici, per quantità che consentano l'operazione in termini economici
- Utilizzo di resine formulate con solventi a base aromatica o a base vegetale

Le BAT hanno come obiettivo la minimizzazione della quantità di sabbia avviata alla discarica, utilizzando sistemi di rigenerazione e/o di riutilizzo. Nel caso di rigenerazione, si applicano le seguenti condizioni:

- Per le sabbie con leganti con indurimento a freddo (i.e. sabbie con resina furanica), utilizzo di sistemi di recupero di tipo meccanico, ad eccezione dei sistemi con silicato di sodio. La resa del processo di recupero, è del 75-80 %.
- La sabbia con silicato è rigenerata utilizzando trattamenti termici e pneumatici. La resa del recupero è compresa fra 45 e 85 %. Deve essere ridotto l'utilizzo di esteri a lenta reazione

- Sabbie derivanti da processi in cassa d'anima fredda (cold box), SO<sub>2</sub>, cassa d'anima calda (hot box) e Croning, e miscele di sabbie con leganti organici, vengono rigenerate utilizzando una delle seguenti tecniche: rigenerazione meccanica a freddo (i.e. sistemi ad abrasione, sistemi ad impatto, sistemi pneumatici) o rigenerazione termica. La percentuale di recupero raggiungibile (resa), dipende dalla quantità di anime utilizzate. La sabbia rigenerata può essere riutilizzata per la produzione di anime in misura compresa fra il 40 e il 100 %.
- Miscele di terra a verde e sabbie con leganti organici, vengono rigenerate utilizzando processi di recupero meccanico-termico-meccanico, spogliatura per abrasione o pneumatica. La sabbia recuperata può essere riutilizzata per la produzione di anime nella misura dal 40 al 100%, e per la produzione di forme nella misura dal 90 al 100%.
- Monitorare la qualità e la composizione delle sabbie rigenerate
- Recuperare le sabbie all'interno del ciclo delle sabbie, solo in sistemi compatibili. Sabbie non compatibili sono tenute separate, per altri tipi di riutilizzo

#### **4. Colata, raffreddamento e distaffatura**

Le fasi di colata, raffreddamento e di distaffatura, producono emissioni di polveri, SOV ed altri composti organici. In queste fasi le BAT sono:

- Nelle linee di produzioni di serie, aspirare le emissioni prodotte durante la colata e racchiudere le linee di raffreddamento
- Racchiudere le postazioni di distaffatura/serratura, e trattare le emissioni utilizzando cicloni, associati a sistemi di depolverazione ad umido o a secco.
- Per le produzioni di grossi getti, colati "in campo" o "in fossa", ove il lay out non consente di installare cappe per aspirazione localizzata, realizzare una adeguata ventilazione generale

#### **Tecniche di produzione getti colati in forma permanente.**

Queste tecniche prevedono la colata della lega liquida in una forma metallica (stampo, conchiglia) dalle quali il getto è estratto dopo solidificazione per procedere alle eventuali successive fasi di lavorazione (finitura). In alcuni processi, trovano un limitato utilizzo anime con leganti chimici, e precisamente: nella colata per gravità in conchiglia, nella colata per centrifugazione o nella colata a bassa pressione. Le BAT sono:

- captare le emissioni prodotte nella fase di colata ed eventualmente trattarle con sistemi ad umido o a secco

Le BAT per la preparazione delle anime, sono del tutto analoghe a quelle già esaminate al punto precedente; mentre differiscono, oltre ad avere quantità minori di sabbie di scarto, le BAT per la distaffatura ed il trattamento della sabbia dopo colata. Le BAT per la sabbia usata, nei processi di formatura in forma permanente, sono:

- Racchiudere le unità di eliminazione delle anime e trattare le emissioni utilizzando sistemi di depolverazione ad umido o a secco .
- Se esiste un mercato locale, avviare le sabbie esauste al riciclaggio

#### **5. Finitura dei getti**

Le BAT riguardano la captazione ed il trattamento mediante l'impiego di sistemi a secco o ad umido, delle emissioni prodotte nelle fasi di taglio dei dispositivi di colata, di granigliatura e sbavatura dei getti.

Per i trattamenti termici le BAT riguardano:

- l'utilizzo di combustibili puliti nei forni di trattamento
- la gestione automatizzata dei forni e del controllo dei bruciatori

## **6. *Trattamento delle acque reflue.***

Le BAT riguardano:

- La separazione delle diverse tipologie di acque reflue,
- Raccogliere le acque e utilizzare sistemi di separazione degli oli, prima dello scarico
- Massimizzare i ricircoli interni delle acque di processo, ed il loro riutilizzo multiplo
- Trattamento utilizzando opportune tecniche, di tutte le acque dei processi di depurazione delle emissioni e, in generale, di tutte le acque reflue.

## **5. Migliori tecniche per la prevenzione integrata dall'inquinamento in Italia**

### **5.1 Generalità**

Per l'individuazione delle BAT per la prevenzione dell'inquinamento in Italia sono stati seguiti gli stessi criteri validi per i BREF (punto 4.1), approfondendo il concetto di tecnica "Migliore" e "Disponibile".

In questo senso si è prestata più attenzione soprattutto alle BAT che si sono concretamente affermate e per la loro efficacia e per la loro diffusione; in particolar modo sono stati presi in considerazione gli aspetti tecnici e progettuali, per poter effettuare delle modifiche sugli impianti esistenti, tenendo presente anche la portata degli investimenti e la sostenibilità economica.

Con questa attenzione si è ritenuto di non proporre alcune BAT (per es. l'aspirazione dei gas di cokeria da entrambi i lati), mentre ne sono state aggiunte delle altre che non sono presenti nel BREF (come l'utilizzo della filtropressa per il trattamento dei fanghi d'altoforno ed il trattamento delle acque di condensazione nel trattamento metallurgico dell'acciaio).

Pur con queste considerazioni aggiuntive, l'elenco delle BAT indicato per l'Italia non si discosta sostanzialmente da quello dei BREF.

Nell'indicazione delle prestazioni, dove possibile, è stato riportato soltanto il limite superiore, stanti le incertezze che sugli impianti esistenti sono determinate dalla tipologia di macchina, dalla gestione e dalla manutenzione; graficamente è stata utilizzata la forma tabellare che ben si presta alla presentazione d'una Linea Guida.

<b>5.2</b>	<b>IL CICLO INTEGRATO</b>
------------	---------------------------

<b>5.2.1 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA</b>	<b>COKERIE</b>
<b>DESCRIZIONE</b>	<b>NOTE</b>

**1. Preparazione della miscela di carbon fossile**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurare il giusto livello di umidificazione del carbon fossile.</li> <li>– Captazione delle emissioni generate durante la frantumazione e/o vagliatura del carbon fossile e depolverazione mediante filtro a tessuto.</li> </ul>	
--	--

**2. Caricamento della miscela di carbon fossile nelle batterie di forni a coke**

Utilizzo di una delle seguenti tecniche:
--

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caricamento “smokeless” con sistema che realizza una connessione a tenuta tra la macchina caricatrice ed il forno da caricare. Il caricamento del forno avviene con svuotamento simultaneo delle tramogge; la connessione a tenuta riguarda sia l'accoppiamento tra le tramogge fisse della caricatrice ed il forno da caricare, che il sistema di distribuzione del carbon fossile all'interno delle celle (ad es.: adozione di coclea, ecc...).</li> <li>Durante l'operazione di caricamento, il forno viene messo in depressione attraverso l'eiezione di vapore o acqua nel gomito del tubo di sviluppo, in modo da assicurare l'estrazione dei gas di caricamento dal forno.</li> <li>Il livellamento del carbon fossile all'interno del forno è effettuato per mezzo dell'asta spianante presente sulla macchina sfornatrice; il canale gas formatosi tra il pelo libero del carbon fossile e la volta del forno consente il deflusso dei gas di distillazione.</li> </ul>	<p>Questo sistema permette di mantenere i gas di caricamento all'interno del forno per essere trattati al sistema di trattamento del gas di cokeria.</p>
---	--

<p>– Caricamento con macchina caricatrice e “jumper pipe”.  Il caricamento del carbon fossile avviene con macchina caricatrice e l’aspirazione dei gas di caricamento viene realizzata da entrambi i lati del forno. Da una parte mediante il tubo di sviluppo e dall’altro mediante un “jumper pipe” di collegamento del forno in caricamento con un forno adiacente.  Le emissioni sono ridotte per effetto della ripartizione dell’aspirazione dei gas di caricamento sui due lati della batteria.  Il livellamento del carbon fossile all’interno del forno è effettuato per mezzo dell’asta spianante presente sulla macchina sfornatrice; il canale formatosi tra il pelo libero del carbon fossile e la volta del forno consente il deflusso dei gas di distillazione.</p>	<p>L’adozione di questo sistema è più compatibile con le nuove batterie di trattamento del gas di cokeria.  Questo sistema necessita di ulteriori bocchette sul piano di carica della batteria, oltre a quelle già presenti per il caricamento e per il tubo di sviluppo, per realizzare di volta in volta il sistema di collegamento “jumper pipe” tra forni vicini. Si ha quindi un ulteriore punto di possibile emissione durante la fase di cokefazione in caso di imperfetta tenuta tra gli accoppiamenti, in particolar modo sulle batterie esistenti.</p>
---	--

### 3. Cokefazione

Utilizzo di una combinazione delle seguenti tecniche:	
<p>– Adozione di:</p> <p>a) porte a tenuta elastica su forni di altezza <math>&gt; 5</math> m;</p> <p>b) porte a tenuta rigida e ben manuntenute su forni di altezza <math>\leq 5</math> m;</p>	<p>Percentuale di porte con emissioni visibili sul totale delle porte installate:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq 5\%</math> su nuovi impianti;</li> <li>• <math>\leq 10\%</math> su impianti esistenti</li> </ul>
– Adozione di tubi di sviluppo dotati di coperchi a tenuta idraulica.	Percentuale di coperchi dei tubi di sviluppo con emissioni visibili sul totale dei coperchi installati: $\leq 1\%$
– Sigillatura dei coperchi di carica con malta liquida o con altro materiale idoneo.	Percentuale di coperchi di carica con emissioni visibili sul totale di coperchi installati: $\leq 1\%$
– Adozione di sportelletti di spianamento dotati di sistemi di chiusura a tenuta.	Percentuale di sportelletti con emissioni visibili sul totale di sportelletti installati: $\leq 5\%$
– Pulizia di porte e telai, dei coperchi e delle bocchette di carica, dei tubi di	

sviluppo.	
– Prevenzione delle perdite tra camera di distillazione e camera di combustione attraverso la regolarità delle operazioni di cokefazione e la riparazione delle rotture del materiale refrattario.	
– Buon mantenimento del canale gas all'interno del forno per il veicolamento dei gas di distillazione verso il tubo di sviluppo mediante: a) adeguato livellamento del carbon fossile tramite l'asta spianante durante la fase di caricamento del carbon fossile; b) periodico degrafitaggio della volta del forno e pulizia del tubo di sviluppo meccanicamente o con aria compressa.	
– Accurata manutenzione di forni, porte, telai, tubi di sviluppo, bocchette di carica e altre apparecchiature.	
– Utilizzo di gas coke desolfurato	Le tecniche di desolforazione sono riportate nella fase di processo: trattamento gas di cokeria
– Utilizzo di tecniche low-NOx tramite la combustione a stadi nella costruzione di nuove batterie di forni a coke.	Concentrazione di NOx nei fumi di combustione di una nuova/moderna cokeria: $\leq 770 \text{ mg/Nmc}$  Questa tecnica nasce integrata con il processo, e risolve il problema all'origine. Il sistema è strutturalmente legato al tipo di batteria e non può essere oggetto di implementazione su batterie esistenti se non già dotate di tale tipo di combustione.

#### 4. Sfornamento del coke

Utilizzo della seguente tecnica:

<ul style="list-style-type: none"><li>– Sistema di captazione dei fumi generati nel punto di trasferimento del coke dal forno di distillazione al carro di spegnimento con convogliamento, dell'aeriforme captato dalla macchina guida coke e dal carro di spegnimento ad un sistema di depolverazione con un filtro a tessuto collocato a terra.</li></ul>	<p>Emissioni convogliate di polveri dopo depolverazione: <math>\leq 5 \text{ g/t coke}</math>.</p> <p>Sugli impianti esistenti va ricercata una soluzione che si adatti all'impiantistica esistente, tenendo comunque presente che la mancanza di spazio è un elemento che è comunque vincolante per l'implementazione di tale tipo di tecnica.</p>
---	---

### 5. Spegnimento del coke

Utilizzo della seguente tecnica:

<ul style="list-style-type: none"><li>– Spegnimento ad umido in un'apposita torre al di sotto della quale viene posizionato il carro di spegnimento con il coke incandescente estratto dal forno. Sul coke viene convogliato un getto d'acqua che in parte evapora determinando un flusso di vapore acqueo che fuoriesce dalla sommità della torre. Questa deve essere dotata sulla sommità di setti per il trattenimento del particolato eventualmente trascinato dal flusso di vapore acqueo.</li></ul> <p>Va evitato l'utilizzo di acqua con un rilevante carico organico, quale ad esempio l'effluente grezzo derivante dal trattamento del gas di cokeria.</p>	<p>Emissione di particolato con il flusso di vapore acqueo in uscita dalla torre di spegnimento: <math>\leq 50 \text{ g/t coke}</math></p>
---	--

### 6. Trattamento del gas di cokeria

Utilizzo della seguente tecnica:

<p>– Sistema di trattamento del gas di cokeria grezzo in uscita dai forni di distillazione dotato di sistema di desolforazione secondo uno dei seguenti processi:</p> <p>a) <u>Processi ad assorbimento</u></p> <p>b) <u>Processi ossidativi</u></p>	<p>Contenuto di <math>H_2S</math> nel gas coke desolforato con “<u>processi ad assorbimento</u>”: <math>\leq 1 \text{ g } H_2S/Nmc</math></p> <p>Contenuto di <math>H_2S</math> nel gas coke desolforato con “<u>processi ossidativi</u>”: <math>\leq 0,5 \text{ g } H_2S/Nmc</math></p> <p>La realizzazione di un complesso sistema di desolforazione del gas di cokeria da inserire nel contesto dell'impiantistica esistente comporta il superamento di numerose difficoltà connesse alla natura dei processi tecnologici ed alla complessità della realizzazione con associati problemi legati alla necessaria ristrutturazione dell'impiantistica esistente.</p> <p>I processi ossidativi anche se permettono di ottenere una concentrazione residuale di <math>H_2S</math> nel gas di cokeria più bassa rispetto ai processi ad assorbimento, determinano però l'utilizzo e la formazione di sostanze tossiche che necessitano di essere trattate e/o smaltite con evidenti effetti negativi sotto il profilo della prevenzione dall'inquinamento.</p>
<p>– Adozione delle seguenti tecniche per la tenuta negli impianti di trattamento del gas di cokeria:</p> <p>a) utilizzo di pompe a tenuta;</p> <p>b) collettamento degli sfiati dei serbatoi con convogliamento nel gas di cokeria oppure effettuando la combustione dei gas di sfogo;</p> <p>c) minimizzazione del numero di flangie utilizzando, ove possibile, connessioni saldate.</p>	
<p>– Pre-trattamento delle acque di scarico mediante lo stripping dell'ammoniaca utilizzando alcali.</p> <p>In particolare l'ammoniaca viene rimossa in colonne di distillazione la cui efficienza di rimozione dipende dal vapore e dagli alcali addizionati al</p>	<p>Concentrazione di ammoniaca teoricamente raggiungibile nelle acque di stripping: <math>20 \text{ mg/l}</math></p> <p>Tenendo presente che sono previsti trattamenti successivi di</p>

<p>sistema (ad es. NaOH), oltre che dal tipo di colonna. Normalmente l'effluente derivante dallo stripping dell'ammoniaca non contiene catrame, ma se questo è significativamente presente, risulterebbe necessaria la sua rimozione per evitare effetti negativi sul funzionamento dello stadio di trattamento biologico.</p>	<p>nitrificazione-denitrificazione, lo stripping dell'ammoniaca non deve essere così spinto dovendo comunque raggiungere il punto di miglior equilibrio con il successivo stadio di trattamento biologico.</p>
<p>– Trattamento biologico integrato con stadio di nitrificazione e denitrificazione. La tecnica biologica più comunemente applicata per il trattamento dei reflui di cokeria è il trattamento biologico aerobico con fanghi attivi e con stadio di nitrificazione - denitrificazione .</p> <p><u>Sistema aerobico a fanghi attivi</u> Nel sistema aerobico a fanghi attivi, i contaminanti biodegradabili sono degradati biologicamente a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e i minerali e i componenti non degradabili, sono rimossi dalla fase acquosa mediante parziale adsorbimento sui fanghi attivi. In pratica, la maggior parte dei contaminanti come fenoli, cianuri e idrocarburi aromatici, sono degradati biologicamente e i metalli pesanti e altri composti non degradabili sono parzialmente rimossi per adsorbimento sui fanghi attivi.</p> <p><u>Nitrificazione</u> Il sistema di trattamento aerobico a fanghi attivi può essere preso come punto di partenza per lo stadio di nitrificazione. I batteri nitrificanti trasformano l'ammonio in nitrato.</p> <p><u>Denitrificazione</u> Per ottenere basse concentrazioni di tutti i composti contenenti azoto è necessario un ulteriore trattamento anaerobico. Sono possibili diverse varianti di impianto, ma buoni risultati possono essere ottenuti con il cosiddetto trattamento di pre-denitrificazione(DN)– nitrificazione(N).</p>	<p>Valori raggiungibili allo scarico di un impianto di trattamento biologico integrato con nitrificazione- denitrificazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rimozione COD: <math>\geq 90\%</math>;</li> <li>• Solfuri: <math>\leq 0,1</math> mg/l;</li> <li>• IPA (6 Bornef): <math>\leq 0,05</math> mg/l</li> <li>• CN- : <math>\leq 0,1</math> mg/l;</li> <li>• Fenoli : <math>\leq 0,5</math> mg/l</li> <li>• Somma di NH<sub>4</sub>-,NO<sub>3</sub>-,NO<sub>2</sub>: <math>\leq 30</math> mgN/l;</li> <li>• Solidi sospesi: <math>\leq 40</math> mg/l</li> </ul>

<p>Nel sistema pre-DN/N, il sistema a fanghi attivi aerobico viene usato come punto di partenza . Prima che il relfuo sia aerato, viene aggiunta l'acqua ricca di nitrati derivante dallo stadio di nitrificazione. In condizioni anaerobiche, i batteri usano, come fonte di ossigeno per la degradazione del carbonio organico, l'ossigeno dei nitrati. L'azoto del nitrato viene quindi trasformato in azoto gassoso.</p>	
--	--

## 7. Trattamento del coke

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assicurare il giusto livello di umidificazione del coke.</li> <li>– Captazione delle emissioni generate durante la frantumazione e/o vagliatura del coke e depolverazione mediante filtro a tessuto.</li> </ul>	
--	--

5.2.2 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA	AGGLOMERATO
DESCRIZIONE	NOTE

1. Omogeneizzazione e miscelazione delle materiali

<ul style="list-style-type: none"> <li>Assicurare il giusto livello di umidificazione dei materiali inviati all'omogeneizzazione per limitare le eventuali emissioni che possono generarsi durante la manipolazione, il trasferimento e la preparazione del cumulo di omogeneizzato.</li> <li>Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che possono generarsi durante la miscelazione dei materiali e/o frantumazione del coke, con relativa depolverazione mediante elettrofiltro. Possono essere adottati, a seconda delle necessità e delle condizioni di lay-out impiantistici, sistemi di captazione e depolverazione centralizzati che possano asservire sia la suddetta fase di processo che quella di vagliatura dell'agglomerato.</li> </ul>	
--	--

2. Sinterizzazione

<ul style="list-style-type: none"> <li>Adozione di una delle seguenti tecniche per la depolverazione dei fumi dal processo di agglomerazione: <ul style="list-style-type: none"> <li>precipitatori elettrostatici tecnologicamente avanzati quali: <ul style="list-style-type: none"> <li>gli elettrofiltri MEEP (Moving Electrode Electrostatic Precipitator), dotati di una serie di placche captatrici mobili e che vengono continuamente pulite meccanicamente mediante l'azione di spazzole rotanti; ciò permette di rimuovere efficacemente lo strato di polvere che si deposita sulla superficie delle placche di captazione, migliorando in tal modo l'effetto del</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>Nella quasi totalità degli impianti di agglomerazione europei l'abbattimento delle emissioni è realizzato con precipitatori elettrostatici.</p> <p>I precipitatori tecnologicamente avanzati possono essere sostitutivi degli elettrofiltri tradizionali, oppure essere installati, ove possibile, a valle di questi ultimi, ottenendo in quest'ultimo</p>
---	---

<p>campo elettrico e quindi l'efficienza di abbattimento;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• gli elettrofiltri con sistema di alimentazione energetica pulsante. Il picco di tensione è più alto con una energizzazione pulsante e si ha quindi una migliore carica delle particelle di polvere con positivi effetti sull'efficienza di abbattimento;</li> <li>• gli elettrofiltri che operano ad alto voltaggio (70–200 KV). Ciò è possibile attraverso una più ampia spaziatura tra le placche captatrici. Un più elevato campo elettrico determina un miglioramento dell'efficienza di abbattimento.</li> </ul> <p>Con l'iniezione a monte degli elettrofiltri di polvere di carbone e/o altri additivi è possibile ridurre anche le emissioni di PCDD/F. In particolare le PCDD/F allo stato gassoso sono adsorbite sulla polvere di carbone e/o altro e vengono poi abbattute negli elettrofiltri. Le polveri derivanti dall'ultimo campo di depolverazione elettrostatica non dovrebbero essere riciclate nell'impianto di agglomerazione per ridurre le emissioni di metalli pesanti;</p>	<p>caso un più elevato rendimento di abbattimento complessivo. In alternativa, nel caso di impianti esistenti, la tecnica MEEP può essere installata sull'ultimo campo di un elettrofiltro tradizionale. Il tipo di soluzione che può essere adottata dipende dalla situazione impiantistica e di lay-out specifica del sito. Particolare attenzione deve essere posta nel caso dell'adozione della tecnica di iniezione di polvere di carbone e/o altri additivi per la riduzione delle emissioni di PCDD/F, per evitare rischi di incendio.</p> <p>Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di polveri : <math>\leq 50</math> mg/Nmc;</li> <li>– concentrazione di PCDD/F : <math>\leq 0,5</math> ng TEQ/Nmc (con iniezione di carbone e/o additivi)</li> </ul>
<p>– preabbattimento con precipitatori elettrostatici tradizionali, più filtro a tessuto.</p> <p>Con l'iniezione a monte del filtro a tessuto di polvere di carbone e/o altri additivi è possibile ridurre anche le emissioni di PCDD/F. In particolare le PCDD/F allo stato gassoso sono adsorbite sulla polvere di carbone e/o altro e vengono poi abbattute nel filtro a tessuto.</p> <p>L'additivazione di calce in ingresso al filtro a tessuto consentirebbe di ridurre le emissioni di metalli pesanti;</p>	<p>L'applicazione di filtri a tessuto per la depolverazione dei fumi di agglomerazione è una tecnica raramente applicata per l'elevata abrasività delle polveri, per effetti di impaccamento delle maniche filtranti per la presenza di alcali, per l'elevata perdita di carico che i filtri a tessuto determinano con conseguente significativo aumento dei consumi energetici anche in relazione agli elevati volumi di gas da trattare, per problemi di lay-out particolarmente rilevanti nel caso di impianti esistenti. I filtri a tessuto necessitano di essere esclusi dalla filtrazione in fase di avviamento e fermate impianti, ove in particolare la temperatura fumi è più bassa del dew-point.</p> <p>Particolare attenzione deve essere posta nel caso di adozione della tecnica di iniezione di polvere di carbone e/o altri additivi</p>

	<p>per la riduzione delle emissioni di PCDD/F, per evitare rischi di incendio.</p> <p>Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di polveri : <math>\leq 20</math> mg/Nmc</li> <li>– concentrazione di PCDD/F : <math>\leq 0,5</math> ng TEQ/Nmc (con iniezione di carbone e/o additivi)</li> </ul>
<p>– preabbattimento con precipitatori elettrostatici tradizionali o cicloni, più sistema di abbattimento ad umido (Airfine o Wetfine). In particolare i fumi di agglomerazione in uscita dal sistema di preabbattimento mediante elettrofiltro o ciclone, vengono inviati ad uno stadio di quenching con acqua in modo da avere un aeriforme freddo e saturo. In uscita dallo stadio di quenching i fumi possono essere avviati ad un sistema “Fine Scrubber System” basato sull’iniezione congiunta ad alta pressione di getti di acqua ed aria nella corrente gassosa, oppure ad un sistema di “Wet Electrostatic Precipitator” in cui le particelle caricate elettricamente vengono attratte dagli elettrodi e rimosse dagli stessi mediante spruzzi di acqua. Le acque derivanti dalla depurazione ad umido, che contengono i cloruri di metalli solubili in acqua, devono essere trattate e per quanto possibile riciclate.</p>	<p>L’applicazione di sistemi di abbattimento ad umido per la depolverazione dei fumi di agglomerazione è una tecnica raramente applicata, ed è limitata a impianti di minore capacità e con volumi ridotti di fumi da trattare. Inoltre il sistema di abbattimento ad umido determina un significativo aumento dei consumi di energia e dà origine a dei reflui che richiedono un loro trattamento con un impatto ambientale aggiuntivo.</p> <p>Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni normali, dopo abbattimento, sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di polveri : <math>\leq 50</math> mg/Nmc;</li> <li>– concentrazione in PCDD/F: <math>\leq 0,4</math> ngTEQ/Nmc.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ricircolo dei fumi di processo sulla macchina di agglomerazione se la qualità dell'agglomerato prodotto e la produttività dell'impianto non vengono influenzate. In linea di principio i fumi di agglomerazione, dopo depolverazione possono essere parzialmente riciclati sulla macchina di agglomerazione ed in parte evacuati in atmosfera. Il riciclo potrebbe avvenire anche per settori. I fumi riciclati in pratica vanno a sostituire parte dell'aria che attraversa il letto di agglomerazione, con l'effetto di ridurre i volumi di fumi scaricati in atmosfera (riduzione di ca. 40-50%) e di determinare conseguentemente un beneficio sul flusso di massa degli inquinanti emessi (polveri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ecc...).</li> </ul> <p>Tale tecnica potrebbe anche essere considerata una forma di recupero energetico, considerando comunque che l'entità del recupero è contrastata dai maggiori consumi necessari per il riciclo dei fumi.</p>	<p>Il ricircolo dei fumi di processo può essere adottato su nuovi impianti dove, in fase progettuale, potrebbe essere possibile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– superare i problemi di lay-out;</li> <li>– ottimizzare il sistema di recupero in modo da rendere apprezzabile l'entità del recupero energetico;</li> <li>– adottare le più idonee misure di contenimento atte a limitare la possibile dispersione di fumi contenenti monossido di carbonio nell'ambiente di lavoro con rischi di avvelenamento del personale addetto, cosa che invece non è possibile assicurare nel caso di impianti esistenti;</li> <li>– contenere i costi realizzativi che per un sistema di tale tipo risulterebbero proibitivi in particolar modo per gli impianti esistenti.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione del contenuto di idrocarburi volatili nella miscela di agglomerazione evitando l'uso di antracite ed utilizzando solo carbon coke come combustibile nel processo di sinterizzazione, nonché dosando il contenuto di polveri e scaglie oleose riciclate nella miscela di agglomerazione. Inoltre una riduzione del contenuto di idrocarburi nelle scaglie di laminazione potrebbe essere ottenuto attraverso un'accurata manutenzione delle tenute, guarnizioni, pompe, ecc... degli impianti di laminazione.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizzo di minerali di ferro e coke con un ridotto contenuto di zolfo, per la limitazione delle emissioni di SO<sub>2</sub> presenti nei fumi di processo</li> </ul>	<p>Questa tecnica è integrata con il processo e risolve il problema all'origine. Le emissioni convogliate in atmosfera raggiungibili in condizioni normali sono le seguenti: concentrazione di SO<sub>2</sub>: <math>\leq 500</math> mg/Nmc</p>

### 3. Raffreddamento e trattamento agglomerato

<ul style="list-style-type: none"><li>Recupero del calore sensibile dei fumi derivanti dal raffreddamento agglomerato. Il calore recuperato può essere utilizzato, a seconda delle necessità e possibilità impiantistiche, per la produzione di vapore, oppure per il preriscaldamento dell'aria comburente nel fornello di accensione, oppure per il preriscaldamento dei materiali. Nel caso di produzione di vapore, i fumi caldi captati nella zona di ingresso nel raffreddatore rotante, vengono depolverati in separatori ciclonici e quindi inviati in una caldaia per la produzione di vapore. In uscita dalla caldaia, i fumi a più bassa temperatura, in parte vengono riciclati ed in parte sono convogliati in atmosfera.</li></ul>	<p>Il ricircolo dei fumi di processo può essere adottato su nuovi impianti dove, in fase progettuale, potrebbe essere possibile:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– superare i problemi di lay-out;</li><li>– ottimizzare il sistema di recupero in modo da rendere apprezzabile l'entità di risparmio energetico;</li><li>– contenere i costi realizzativi che per un sistema di tale tipo sono in genere molto elevati.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri che possono generarsi durante la frantumazione e vagliatura dell'agglomerato con relativa depolverazione mediante elettrofiltro. Possono essere adottati, a seconda delle necessità e delle condizioni di lay-out impiantistici, sistemi di captazione e depolverazione centralizzati che possano asservire sia la suddetta fase di processo che quella di miscelazione dei materiali in carica.</li></ul>	

### 4. Gestione residui

<p>Per quanto possibile dovrebbe essere adottata:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– la minimizzazione della produzione dei rifiuti;</li><li>– il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili tra cui principalmente le polveri derivanti dalle depolverazioni a secco, i residui contenenti ferro e carbonio come ad esempio polverino d'altoforno, fanghi dai sistemi di trattamento ad umido, scaglie di laminazione, ecc...;</li><li>– lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.</li></ul>	
--	--

5.2.3 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA		ALTOFORNO
DESCRIZIONE	NOTE	

#### 1. Caricamento materiali

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adozione di sistemi di captazione delle emissioni di polveri della vagliatura materiali della stock-house e loro depolverazione mediante abbattimento ad umido o filtri a tessuto. Nel caso di depolverazione con sistemi ad umido, il trattamento delle acque reflue può essere effettuato congiuntamente con il trattamento delle acque derivanti dalla depurazione ad umido del gas di altoforno.</li> </ul>	
--	--

#### 2. Generazione del vento caldo

<p>Nella produzione di vento caldo a mezzo cowpers si può ottimizzare l'efficienza energetica nei seguenti modi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Recupero del calore sensibile dei fumi con preriscaldamento dell'aria comburente e/o del combustibile alimentato ai cowpers.</li> <li>– Impiego di idonei bruciatori e controllo del processo di riscaldamento.</li> </ul>	<p>Il recupero energetico non è economicamente e tecnicamente applicabile in generale sugli impianti esistenti e se la temperatura dei fumi è troppo bassa (&lt; 250 °C).</p> <p>Il preriscaldamento dell'aria e/o del combustibile alimentato ai cowpers determina in ogni caso un aumento della formazione di NOx.</p> <p>Emissioni con i fumi di combustione dei cowpers:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– polveri: <math>\leq 10 \text{ mg/Nmc (3\% O}_2\text{)}</math></li> <li>– NOx: <math>\leq 350 \text{ mg/Nmc (3\% O}_2\text{)}</math></li> </ul>
--	--

### **3. Processo di riduzione in altoforno**

<p>– Iniezione diretta di agenti riducenti in altoforno. In particolare l'iniezione di idrocarburi come ad esempio: carbon fossile polverizzato o granulare, olio combustibile, residui oleosi, catrame, residui plastici, gas naturale, permette la sostituzione di parte del coke utilizzato in altoforno, con conseguente effetto di riduzione delle emissioni e dei consumi energetici associati alla produzione di coke.</p> <p>L'agente riducente maggiormente utilizzato, ed iniettato a livello tubiere, è il carbon fossile polverizzato, opportunamente preparato attraverso processi di macinazione ed essiccamento (P.C.I. – Powdered Coal Injection).</p>	<p>Il coke è un componente insostituibile nel processo di produzione della ghisa in altoforno per cui la sua parziale sostituzione con agenti riducenti non può essere eccessivamente spinta e comunque non può superare determinati livelli.</p> <p>Il livello provato di iniezione di carbon fossile polverizzato in altoforno è di 180 Kg/t ghisa; tuttavia è da tenere presente che tale livello di iniezione è strettamente legato alla marcia dell'altoforno, alla stabilità del processo, alla qualità dei materiali alimentati, nonché alla qualità della ghisa e loppa prodotti.</p>
<p>– Recupero del gas di altoforno attraverso un sistema di collettori di raccolta posizionati nella parte alta, in prossimità della bocca, con relativo sistema di sicurezza per le eventuali sovrappressioni che possono verificarsi all'interno dell'altoforno.</p>	<p>Il recupero energetico è molto significativo, per le alte portate di gas (1200-2000 Nmc/t di ghisa), e può aggirarsi sui 5 GJ/t di ghisa.</p>
<p>– Depolverazione del gas di altoforno recuperato mediante un preabbattimento delle polveri grossolane con sistema a secco di separazione (<i>sacca a polvere</i>) e successivo trattamento di depurazione ad umido o, più raramente, con elettrofiltri.</p>	
<p>– Adozione sistema di recupero energetico della pressione di bocca dell'altoforno mediante turbina ad espansione collegata a un turboalternatore per la produzione di energia elettrica.</p>	<p>Questa tecnica può essere applicata su nuovi altoforni che operano con un'elevata pressione di bocca e con sistemi di depurazione gas opportunamente dimensionati con una ridotta perdita di carico. Su impianti esistenti non sempre sussistono i suddetti prerequisiti e quelli di realizzabilità (disponibilità del lay-out, vantaggio del recupero, ecc...).</p>

<p>Trattamento delle acque reflue derivanti dalla depurazione ad umido del gas di altoforno, con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– riciclo, per quanto possibile, delle acque trattate;</li> <li>– coagulazione e sedimentazione dei solidi sospesi.</li> </ul> <p>Riciclaggio dei fanghi precipitati, per quanto possibile, all'impianto di agglomerazione e/o bricchettaggio. Questi fanghi sono caratterizzati da presenza di zinco che è di ostacolo al processo in altoforno.</p> <p>Se la parte di fanghi non riciclabile ha una distribuzione granulometrica tale da permettere una separazione rappresentativa delle particelle fini (più ricche in zinco) da quelle più grossolane (più povere di zinco), può essere operata l'idrociclonatura dei fanghi. La frazione più grossolana può quindi essere avviata a riciclo mentre la frazione fine viene inviata in discarica.</p> <p>Per fanghi ad elevato contenuto di umidità può essere operata la disidratazione mediante letti di essiccamento o attraverso filtrazione meccanica (ad esempio: filtro pressa, filtro a tamburo sottovuoto, filtro centrifugo, ecc...).</p>	<p>Concentrazione di solidi sospesi dopo trattamento:</p> $\leq 50 \text{ mg/l (media giornaliera)}$ <p>Per la tipologia di fanghi prodotti non sempre è adottabile il processo di idrociclonatura in quanto non si otterrebbe un ragionevole e vantaggioso effetto di separazione, e quindi un significativo incremento della quantità di fanghi da poter riciclare.</p>
--	---

#### **4. Colaggio ghisa e loppa**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adozione di sistema di captazione delle emissioni che si generano dalle operazioni di colaggio della ghisa e della loppa e loro relativa depolverazione mediante filtro a tessuto o elettrofiltro.</li> </ul>	<p>Emissione convogliata di polveri dopo abbattimento:</p> $\leq 15 \text{ mg/Nmc}$
<p>Riduzione delle emissioni durante la colata nelle rigole. Si può raggiungere questo obiettivo con le seguenti attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– adozione di materiale refrattario non legato con catrame per il rivestimento delle rigole;</li> <li>– copertura delle rigole;</li> <li>– adozione di un sistema di inertizzazione dei prodotti</li> </ul>	<p>La copertura delle rigole può essere adottata laddove la tipologia di ghisa prodotta lo consenta; infatti per alcune campagne di ghisa caratterizzate da maggiore viscosità (con conseguente difficoltà di deflusso nelle rigole), si rende necessario disporre di canali aperti per poter intervenire meccanicamente al fine di agevolare il deflusso del materiale.</p>

<p>fusi con azoto per la riduzione della formazione dei fumi durante le operazioni di colaggio, in alternativa alla installazione di sistemi di captazione e depolverazione, nel caso in cui il design dell'impianto permette la sua adozione e se vi è una sufficiente disponibilità di azoto. La captazione e depolverazione delle emissioni dal foro di colata resta comunque necessaria.</p>	<p>L'insufflaggio di azoto che si diffonde nell'ambiente di lavoro può determinare problemi di sicurezza per il personale (problemi di asfissia) per cui l'eventuale adozione di tale tecnica necessita di misure aggiuntive tese ad assicurare un'adeguata ventilazione degli ambienti di lavoro ed il loro monitoraggio.</p>
--	--

### **5. Trattamento loppa**

<p>– Adozione di sistema di granulazione della loppa con raffreddamento ad acqua di mare se a circuito aperto o ad acqua dolce con relativo riciclo.</p> <p>– Condensazione dei vapori di granulazione della loppa, nel caso vi siano problemi di odori.</p>	<p>La condensazione è applicabile soprattutto nella realizzazione di nuovi altiforni; negli stabilimenti esistenti, problemi di lay-out, di compatibilità con l'impiantistica esistente ed elevati costi di realizzazione, rendono in genere impraticabile la realizzazione dell'intervento, i cui benefici devono essere valutati anche in relazione ai consumi energetici richiesti dal circuito dell'acqua ed alle emissioni conseguenti alla produzione di energia.</p>
--	---

### **6. Gestione dei residui**

<p>Per quanto possibile si consiglia di adottare:</p> <p>– la minimizzazione della produzione dei rifiuti;</p> <p>– il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili tra cui principalmente le polveri derivanti dalle depolverazioni a secco, i fanghi derivanti dai sistemi di abbattimento ad umido, ecc...,tal quali e/o tramite bricchettaggio; il riutilizzo della loppa (ad es.: in cemenzeria, per la costruzione di strade, ecc...);</p> <p>– lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.</p>	
---	--

5.2.4 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA	ACCIAIERIE AD OSSIGENO E COLATE CONTINUE
DESCRIZIONE	NOTE

1. Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa

<p>– Adozione di un sistema di captazione delle emissioni determinate:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nella fase di versamento della ghisa dal carro siluro alla siviera;</li> <li>• nella fase di trattamento della ghisa (desolforazione e scorifica).</li> </ul> <p>e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto o elettrofiltro.</p>	<p>Emissioni convogliate di polveri dopo abbattimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq 15</math> mg/Nmc con filtro a tessuto;</li> <li>• <math>\leq 30</math> mg/Nmc con elettrofiltro.</li> </ul>
---	--

2. Affinazione della ghisa

<p>– Adozione di un sistema di aspirazione dei gas di acciaieria che si sviluppino durante il processo di affinazione in convertitore ed applicazione di una delle seguenti tecniche per il recupero di energia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ combustione soppressa con recupero del gas di acciaieria, depolverazione, stoccaggio in gasometro e suo riutilizzo come combustibile. Nella combustione soppressa il recupero del gas è relativo alla parte centrale della fase di soffiaggio ossigeno in convertitore, quando più alta è la percentuale di ossido di carbonio nel gas. Il gas che si sviluppa durante la fase iniziale e la fase finale del processo di affinazione in convertitore, per la durata di pochi minuti, non viene recuperato ma combusto in torcia. Tale sistema consente anche il recupero del calore sensibile ceduto dal raffreddamento del gas ed il suo utilizzo per la produzione di vapore;</li> <li>▪ combustione del gas di acciaieria con relativa generazione di vapore.</li> </ul>	<p>La combustione del gas di acciaieria è adottata negli impianti esistenti, nei casi in cui non è fattibile il recupero e l'utilizzo del gas di acciaieria, o non vi è convenienza dal punto di vista energetico.</p>
---	--

<p>– Depolverazione del gas di acciaieria aspirato mediante lavatori venturi ad umido o elettrofiltri a secco.</p>	<p>In linea di principio, nel caso di adozione della combustione soppressa, i sistemi di depolverazione sono dimensionati per un minor flusso volumetrico di gas da trattare.</p>
<p>– Chiusura del foro di ingresso della lancia ossigeno durante il soffiaggio o insufflaggio di gas inerte per limitare l'eventuale dispersione di gas e particolato.</p>	
<p>– Adozione di un sistema di captazione delle emissioni durante le fasi di carica del convertitore e di spillaggio acciaio; conseguente depolverazione dei fumi captati mediante l'utilizzo di filtri a tessuto o elettrofiltri a secco, oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di abbattimento.</p>	<p>Emissioni convogliate di polveri dopo abbattimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq 15 \text{ mg/Nmc}</math> con filtro a tessuto;</li> <li>• <math>\leq 30 \text{ mg/Nmc}</math> con elettrofiltro</li> </ul> <p>A seconda delle necessità ed in relazione ai lay-out impiantistici, possono essere adottati sistemi di captazione e depolverazione centralizzati che asservano più fasi di processo (carica e spillaggio convertitore, versamento della ghisa da carro siluro alla siviera; trattamento ghisa, trattamenti acciaio).</p>
<p>– Ricircolo delle acque utilizzate dal sistema di depolverazione ad umido del gas di acciaieria; ciò presuppone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ un sistema di trattamento delle acque di lavaggio, come la coagulazione e la sedimentazione dei solidi sospesi;</li> <li>▪ nei sistemi a combustione soppressa, un più elevato livello di ricircolo può essere ottenuto attraverso l'iniezione di CO<sub>2</sub> nelle acque, prima dello stadio di sedimentazione, per favorire la precipitazione dei carbonati.</li> </ul>	<p>Concentrazione di solidi sospesi: 20 mg/l</p>

### 3. Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio

<p>– Adozione della captazione delle emissioni che si generano durante i processi di trattamento metallurgico secondario dell'acciaio e conseguente depolverazione dei fumi captati mediante filtro a tessuto oppure con qualsiasi altra tecnica che abbia lo stesso livello di efficienza di</p>	<p>Concentrazione di polveri dopo abbattimento con filtro a tessuto: <math>\leq 15 \text{ mg/Nmc}</math></p>
---	--

abbattimento.	
– Trattamento delle acque derivanti dai condensatori del vapore per il vuoto ai sistemi RH mediante filtrazione e raffreddamento in torri, con riciclo delle acque per quanto è possibile.	

#### 4. Colaggio acciaio

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trattamento delle acque derivanti dai raffreddamenti diretti in colata continua mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sistema di coagulazione e sedimentazione dei solidi sospesi;</li> <li>▪ sistema di rimozione dell'olio;</li> <li>▪ riciclo delle acque di lavaggio per quanto è possibile.</li> </ul> </li> </ul>	
---	--

#### 5. Gestione dei residui

<p>Per quanto possibile si consiglia di adottare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– la minimizzazione della produzione dei rifiuti;</li> <li>– il riciclaggio dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili, tra cui principalmente il materiale ferroso, le scorie di acciaieria, le polveri derivanti dalle depolverazioni a secco, i fanghi derivanti dai sistemi di depolverazione ad umido del gas di acciaieria, le polveri derivanti dalla depolverazione con elettrofiltri a secco del gas di acciaieria tramite bricchettaggio, ecc... Riguardo al recupero di queste polveri, le bricchette vengono riutilizzate nella carica del convertitore e/o in altoforno. Invece del bricchettaggio, per particolari condizioni operative ed ove possibile può essere adottato un processo di pellettizzazione.</li> <li>– lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.</li> </ul>	
--	--

5.2.5 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE STOCCAGGIO E MANIPOLAZIONE DI MATERIE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA PRIME, PRODOTTI INTERMEDI E AUSILIARI	
DESCRIZIONE	NOTE

### 1. Stoccaggio materiali solidi

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Stoccaggio in cumuli a cielo aperto</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>– formazione di cumuli in modo tale da limitare l'esposizione all'effetto del vento come ad esempio: cumuli ad asse longitudinale parallelo alla direzione del vento prevalente, cumuli di maggiori dimensioni rispetto a più cumuli di minore capacità, cumuli conici o troncoconici che abbiano idonee proporzioni in modo da limitare la superficie esposta;</li> <li>– spruzzaggio di una soluzione di filmante sulla superficie dei cumuli di materiale che possono presentare un'elevata tendenza allo spolveramento in modo da creare un film superficiale di aggregazione delle particelle di materiale resistente all'azione del vento;</li> <li>– umidificazione della superficie dei cumuli di materiale, non sottoposti all'azione della filmatura;</li> </ul> </li> </ul>	<p>Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tale misura sono principalmente: la sfavorevole posizione del sito, la presenza di infrastrutture come strade, ferrovie, strutture, ecc.. che non possono essere modificate, l'indisponibilità del lay-out, la necessità di formazione di cumuli diversi sia per le diverse tipologie e qualità dei materiali che per assicurare la costante alimentazione degli impianti, la pendenza dei cumuli è quella assunta naturalmente dal materiale, ecc....</p> <p>La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva principalmente da possibili effetti di danneggiamento del materiale sottoposto all'azione dell'agente filmante o da necessità di continua movimentazione del materiale.</p> <p>Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tale misura sono ad esempio la deteriorabilità del materiale con l'umidità, la mancanza di risorse idriche, ecc... Inoltre tale misura non viene ad essere applicata in caso di clima piovoso e/o freddo.</p>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>– copertura dei cumuli con teli o inerbimento della superficie dei cumuli, solo nel caso di stoccaggi per periodi molto lunghi in cui il materiale non viene ad essere movimentato;</li> <li>– sospensione, se possibile, dell'attività di messa a parco e ripresa del materiale in caso di forte vento;</li> <li>– adozione di sistemi protettivi dall'azione del vento come recinzioni, reti protettive, piantumazione di alberi, adozione di colline artificiali, muri di contenimento.</li> </ul>	<p>La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.</p> <p>Le principali limitazioni che possono non rendere possibile l'applicazione di tali misure derivano da problemi di lay-out, presenza di infrastrutture che non possono essere modificate, limitazioni della capacità di stoccaggio.</p>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Stoccaggio in sili o in sistemi coperti</u></li> <li>– lo stoccaggio in sili può essere applicato quando la quantità di materiale da stoccare non è elevata o nel caso di stoccaggio di materiali che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici. Per la limitazione delle emissioni che possono derivare nella fase di riempimento e/o ripresa del materiale dai sili può essere operata l'umidificazione prima dell'insilaggio e/o allo scarico. Tale tecnica è generalmente applicabile agli impianti esistenti dove maggiori sono i problemi di lay-out. In alternativa e ove possibile, possono essere adottati sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo di sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.</li> </ul>	<p>Tali tecniche di stoccaggio non sempre sono applicabili per motivi tecnici, logistici e/o economici.</p>
--	---

<p>– per lo stoccaggio di materiali in quantità non elevata e che possono deteriorarsi sotto l'azione degli agenti atmosferici, possono essere adottati sistemi di stoccaggio coperti che sono in genere costituiti da tettoie, capannoni, cupole.</p>	
--	--

## **2. Trasferimento e manipolazione materiali solidi**

Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche:

<p>– adozione, ove possibile, di sistemi di trasporto continuo, come l'utilizzo di nastri trasportatori, in alternativa al trasporto discontinuo (ad esempio a mezzo pala, camion, ecc.. ). Il tipo di sistema di convogliamento dipende dal tipo di materiale trasportato, dalla situazione logistica e deve essere valutato caso per caso.</p> <p>Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali poco o moderatamente polverosi e/o umidificabili, quali ad esempio i minerali di ferro, i carbon fossili, il calcare in pezzatura, il coke, l'agglomerato, ecc..., possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali con una delle seguenti tecniche o una appropriata combinazione delle stesse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– sistemi di protezione dall'azione del vento;</li> <li>– umidificazione o nebulizzazione d'acqua nei punti di trasferimento del materiale;</li> <li>– pulizia del nastro mediante raschiatori o altro idoneo sistema.</li> </ul> <p>Nel caso di utilizzo di sistemi di trasporto continuo, per materiali molto polverosi e non umidificabili, quali ad esempio la calce, il carbon fossile polverizzato secco, ecc... possono essere applicati nastri trasportatori convenzionali protetti e adozione, ove possibile, nei punti di trasferimento del materiale di sistemi di captazione e depolverazione. Il tipo e la necessità del sistema di depolverazione deve essere valutato caso per caso.</p>	<p>Per gli impianti esistenti l'applicazione di sistemi di trasporto continuo non è sempre possibile per motivi di lay-out, tecnici e/o economici, trattandosi di una tecnica notevolmente costosa.</p>
---	---

<p>Per nuovi stabilimenti che necessitano del trasporto continuo di materiali molto polverosi e non umidificabili, possono essere applicati sistemi di trasporto chiusi o sistemi che racchiudono il materiale trasportato all'interno del nastro (ad esempio nastri tubolari), la cui adozione comunque necessita di complesse infrastrutture in particolar modo nel caso in cui è necessario coprire lunghe distanze;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nel caso di utilizzo di pale meccaniche deve essere per quanto possibile ridotta l'altezza di caduta del materiale scegliendo la migliore posizione durante il carico dei mezzi di trasporto;</li> <li>– sospensione, se possibile, dell'attività di carico e scarico effettuata all'esterno in caso di forte vento (&gt;20 m/s);</li> <li>– adozione di un'adeguata velocità dei mezzi di trasporto in modo da limitare il possibile sollevamento della polvere durante l'attraversamento di strade, piste, ecc...;</li> <li>– adozione, ove possibile, di strade asfaltate che possono essere facilmente pulite con idonei sistemi di pulizia (spazzatrici, ecc...);</li> <li>– adozione, ove possibile, della pulizia delle ruote dei mezzi con acqua, in modo da limitare l'eventuale sollevamento di polvere durante la movimentazione su strada;</li> <li>– minimizzazione dell'altezza di caduta libera e della velocità di carico e scarico di materiali molto polverosi adottando ad esempio: deflettori, sistemi di regolazione di uscita del materiale, scivoli, tramogge, tubi in cascata, ecc...;</li> <li>– adozione di un sistema di spruzzaggio di acqua per prevenire la formazione di polvere durante le attività di carico e scarico di materiali molto polverosi. Lo spruzzaggio di acqua può essere effettuato attraverso</li> </ul>	<p>La principale limitazione che può non rendere possibile l'applicazione di tale misura deriva da effetti dannosi agli impianti per la interruzione dell'attività e/o per la mancata alimentazione delle materie prime.</p>
--	--

<p>l'utilizzo di sistemi fissi o mobili. Per materiali che non possono essere umidificati può essere adottato un sistema di nebulizzazione di acqua o lo spruzzaggio di acqua con additivi;</p> <p>– nel caso di scarico materiali con benna il materiale deve essere rilasciato nella tramoggia e la benna deve stazionare per il tempo sufficiente alla scarica. La zona di scarico in tramoggia, può essere dotata di un sistema di spruzzaggio di acqua da attivare all'occorrenza;</p> <p>Per le nuove benne dovrebbero essere applicate le seguenti proprietà:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– idonea forma geometrica;</li> <li>– idonea capacità e volume di carico;</li> <li>– idonea superficie interna che limiti l'adesione del materiale;</li> <li>– buona capacità di chiusura.</li> </ul> <p>Nello scarico dei materiali da navi, oltre all'utilizzo di scaricatori dotati di benne, possono essere adottati scaricatori continui in cui il materiale viene estratto dalle stive della nave a mezzo di un elevatore flessibile che convoglia il materiale direttamente sul nastro convogliatore di trasferimento.</p>	
---	--

5.3 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA	ACCIAIERIA ELETTRICA
DESCRIZIONE	NOTE

#### Movimentazione rottami

<ul style="list-style-type: none"> <li>Pulizia e umidificazione piazzali materiale</li> </ul>	
---	--

#### Movimentazione additivi

<ul style="list-style-type: none"> <li>Pulizia piazzali</li> <li>Adozione di sistemi di stoccaggio e trasporto con aspirazione e sistemi di abbattimento delle polveri</li> </ul>	
---	--

#### Carica del forno fusorio (EAF) - Fusione - Scorifica e spillaggio

<ul style="list-style-type: none"> <li>E' considerata BAT il controllo della qualità del materiale in ingresso.</li> <li>Aspirazione delle polveri sia primarie che secondarie, tramite uno dei seguenti sistemi: <ul style="list-style-type: none"> <li>combinazione di estrazione dei fumi direttamente dal 4° o 2° foro del forno ed una cappa opportunamente dimensionata atta a raccogliere quanto sfuggito al primo sistema;</li> <li>dog-house e cappa;</li> <li>dog-house ed aspirazione dal 4° foro;</li> <li>sistema di aspirazione totale applicato all'edificio complessivo relativo all'acciaieria.</li> </ul> </li> </ul>	<p>La costruzione di sistemi di aspirazione totali applicati all'edificio complessivo richiede ulteriori installazioni di notevole entità per assicurare l'abbattimento delle polveri. I costi per gli operatori sono elevati e bisogna tenere conto che impianti di questo tipo se arrivano ad una riduzione delle emissioni diffuse all'esterno possono comportare effetti indesiderati negli ambienti di lavoro. Come conseguenza occorre un'accurata valutazione dei costi-benefici.</p> <p>Queste tecniche possono consentire di ottenere un'efficienza di aspirazione delle polveri primarie e secondarie pari al 98%.</p>
---	--

• Abbattimento a secco con filtro a maniche delle polveri captate.	Emissione convogliata di polveri dopo abbattimento: $\leq 15 \text{ mg/Nmc}$ (media giornaliera) per impianti esistenti
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione dei composti organoclorurati (PCDD/F e PCB in particolare) con l'uso di appropriati sistemi di post-combustione seguiti da un rapido raffreddamento oppure con insufflazione di polvere di lignite o di altri agenti adsorbenti (carbone attivo ecc): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ottimizzazione della post-combustione. A causa della rilevanza de novo synthesis di PCDD/F è importante che il raffreddamento dei fumi consenta un rapido attraversamento della fascia di temperatura caratteristica di questo fenomeno; questo può essere ottenuto ad esempio con una torre di quenching o mediante altri sistemi che garantiscano un rapido raffreddamento degli esausti.</li> <li>– Iniezione di polvere di lignite o di altri agenti adsorbenti nel condotto fumi prima dei filtri a maniche. La polvere di lignite viene poi separata dal gas esausto nei filtri a maniche e smaltita con le polveri abbattute.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Le emissioni in atmosfera raggiungibili in condizioni ottimali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di PCDD/F: <math>\leq 0,5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3</math></li> </ul> <p>L'iniezione di polvere di lignite determina rischi di incendi per cui particolare attenzione deve essere posta nel caso di adozione di tale tecnica.</p>
• Sistema ad acqua a circuito chiuso per il raffreddamento del forno	

### **Trattamenti di metallurgia secondaria**

– Adozione di un sistema di aspirazione localizzato, in generale con convogliamento dell'aeriforme alla linea fumi del forno EAF	
--	--

### **Colata continua o in fossa dell'acciaio**

<ul style="list-style-type: none"><li>• Trattamento dell'acqua usata per il raffreddamento sia delle apparecchiature che del prodotto in uscita dalle colate continue, con riciclo per quanto possibile delle acque trattate. Il sistema di trattamento acque può essere comune a quello degli impianti per la laminazione. Il consumo di acqua è limitato al reintegro delle perdite per evaporazione, smaltimento fanghi, etc.</li><li>• Impiego di polveri di copertura e/o coperchi sopra le siviere acciaio.</li></ul>	
---	--

### **Riscaldamento siviere**

<ul style="list-style-type: none"><li>• Adozione, ove possibile, di un sistema di aspirazione dei fumi di primo riscaldamento delle siviere con convogliamento all'impianto di trattamento dei fumi EAF o ad appositi impianti di trattamento.</li></ul>	
--	--

### **Movimentazione, trattamento e stoccaggio scoria**

<ul style="list-style-type: none"><li>– Pulizia ed umidificazione dei piazzali durante la movimentazione della scoria</li></ul>	
---	--

### **Gestione residui**

<p>Per quanto possibile dovrebbe essere adottata:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– la riduzione della quantità di rifiuti solidi;</li><li>– il riciclaggio, per quanto possibile, dei residui e dei sottoprodotti riutilizzabili tra cui principalmente le polveri e le scorie di acciaieria;</li><li>– lo smaltimento in idonea discarica dei residui non riciclabili.</li></ul>	<p>Per quanto riguarda la scoria proveniente direttamente dal forno elettrico, dopo la deferrizzazione, può essere riutilizzata per le sue buone caratteristiche meccaniche e resistenza agli agenti atmosferici.</p> <p>La tecnica consigliata per il recupero è quella prevista nel decreto sul riutilizzo dei rifiuti non pericolosi. Nell'applicazione di questa tecnica deve però essere revisionata la prova di eluizione prevista per il recupero di massa.</p>
--	--

5.4 MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DALL'INQUINAMENTO IN ITALIA	LAMINAZIONE A CALDO
DESCRIZIONE	NOTE

1. Condizionamento semilavorato

<p>– Adozione delle seguenti tecniche alla scarfatura tramite macchinario fisso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sistema di captazione delle emissioni e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto o mediante elettrofiltro a secco o ad umido (nel caso di fumi molto umidi) .</li> <li>▪ trattamento delle acque derivanti dalla filtrazione ad umido per la separazione dei solidi.</li> </ul>	<p>Tali tecniche sono applicabili ai nuovi impianti con macchinario fisso e non sono applicabili per operazioni manuali di scarfatura.</p> <p>Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di polveri dopo abbattimento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• con filtro a tessuto: <math>\leq 20</math> mg/Nmc</li> <li>• con elettrofiltro: <math>\leq 50</math> mg/Nmc</li> </ul> </li> </ul>
<p>– Adozione di sistema di captazione delle emissioni che si verificano durante la molatura tramite sistema fisso e conseguente depolverazione dell'aeriforme captato mediante filtro a tessuto.</p>	<p>Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazione di polveri dopo abbattimento: <math>\leq 20</math> mg/Nmc</li> </ul> <p>Tale tecnica è applicabile ai nuovi impianti con macchinario fisso e non è applicabile per operazioni manuali di molatura.</p>

## 2. Riscaldamento del semilavorato

Per i nuovi forni di riscaldamento, in fase progettuale, possono essere considerate una combinazione delle seguenti tecniche:

– Adozione di idonee misure costruttive volte ad incrementare la durata del materiale refrattario, riducendone la possibilità di danneggiamento.	
– Adozione, per i forni a marcia discontinua, di refrattari a bassa massa termica in modo da ridurre le perdite legate all'accumulo di energia ed i tempi necessari per l'avviamento del forno.	
– Riduzione delle sezioni di passaggio dei materiali in ingresso ed in uscita dal forno (riduzione apertura porte, adozione di porte multi-segmento, etc), in modo da ridurre le perdite energetiche dovute alla fuoriuscita dei fumi e l'ingresso di aria esterna nel forno.	La riduzione dell'apertura porte, ossia il mantenimento di una minima apertura delle porte necessaria per il caricamento del materiale da riscaldare, può essere operata anche sugli impianti esistenti.
– Adozione di misure (ad es. supporti a bassa dissipazione di temperatura detti "cavalieri", guide inclinate nei forni a longheroni, sistemi di compensazione) per ridurre fenomeni di raffreddamento localizzato sulla base del materiale in riscaldamento (skid marks), dovuti al contatto del materiale stesso con i sistemi di supporto all'interno del forno.	

<p>– Adozione di un sistema di controllo della combustione.</p> <p>In particolare, il controllo del rapporto aria/combustibile è necessario per regolare la qualità della combustione, poiché assicura la stabilità della fiamma ed una combustione completa. Inoltre più il rapporto aria/combustibile è vicino a quello stechiometrico, più il combustibile è sfruttato in modo efficiente e più sono basse le perdite energetiche nei fumi.</p>	<p>Un sistema di controllo della combustione può essere applicabile anche agli impianti esistenti.</p>
<p>– Scelta del tipo di combustibile per il riscaldamento dei forni (in funzione della disponibilità) ai fini della riduzione delle emissioni di SO<sub>2</sub>.</p> <p>In un ciclo integrato possono essere utilizzati i gas di recupero siderurgici (gas di cokeria, gas di altoforno, gas di acciaieria), a volte miscelati con gas naturale. Nel caso di utilizzo del gas di cokeria, quest'ultimo può essere sottoposto, ove possibile, ad un processo di desolforazione presso gli impianti di produzione (cokerie).</p> <p>I combustibili liquidi sono in particolare utilizzati in caso di indisponibilità dei combustibili gassosi.</p>	<p>A seconda del combustibile utilizzato, le emissioni convogliate raggiungibili di SO<sub>2</sub> al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gas naturale: SO<sub>2</sub> ≤ 100 mg/Nmc</li> <li>– Miscele di gas di recupero siderurgici con gas naturale: SO<sub>2</sub> ≤ 400 mg/Nmc</li> <li>– Gas di recupero siderurgici (Gas coke desolforato, gas di altoforno e gas di acciaieria): SO<sub>2</sub> ≤ 800 mg/Nmc</li> <li>– Olio combustibile (S ≤ 1%): SO<sub>2</sub> ≤ 1700 mg/Nmc</li> </ul>
<p>– Adozione di bruciatori radianti sulla volta del forno, che per effetto della veloce dissipazione dell'energia, producono livelli emissivi di NOx più bassi.</p>	

<p>– Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx).</p> <p>I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx.</p> <p>I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione.</p> <p>Il preriscaldamento dell'aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l'efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.</p>	<p>Le prestazioni raggiungibili con tale tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>emissioni convogliate di NOx al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:</li> </ul> <table data-bbox="1442 411 1861 751"> <thead> <tr> <th>T preriscaldamento aria comburente</th><th>NOx (mg/Nmc) (O<sub>2</sub> 3%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 200 °C</td><td>&lt; 400</td></tr> <tr> <td>300 °C</td><td>fino a 450</td></tr> <tr> <td>400 °C</td><td>fino a 600</td></tr> <tr> <td>500 °C</td><td>fino a 800</td></tr> <tr> <td>700 °C</td><td>fino a 1500</td></tr> <tr> <td>800 °C</td><td>fino a 2300</td></tr> <tr> <td>900 °C</td><td>fino a 3500</td></tr> <tr> <td>1000 °C</td><td>fino a 5300</td></tr> </tbody> </table> <p>Sugli impianti esistenti risulterebbe possibile convertire i bruciatori convenzionali in bruciatori a basso NOx modificando i diffusori.</p> <p>I forni di riscaldamento non funzionano in condizioni stabili durante l'avviamento e lo spegnimento; durante queste fasi, i livelli emissivi possono aumentare, così come pure quando i bruciatori operano a portate inferiori a quelle di targa (in funzione dell'apporto calorico richiesto).</p>	T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)	< 200 °C	< 400	300 °C	fino a 450	400 °C	fino a 600	500 °C	fino a 800	700 °C	fino a 1500	800 °C	fino a 2300	900 °C	fino a 3500	1000 °C	fino a 5300
T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)																		
< 200 °C	< 400																		
300 °C	fino a 450																		
400 °C	fino a 600																		
500 °C	fino a 800																		
700 °C	fino a 1500																		
800 °C	fino a 2300																		
900 °C	fino a 3500																		
1000 °C	fino a 5300																		

<p>– Recupero del calore dei fumi di combustione per preriscaldare all'interno dei forni continui, attraverso una zona di preriscaldamento, il materiale caricato nei forni.</p> <p>In fase progettuale, può essere prevista all'interno del forno una zona di preriscaldamento del materiale caricato, in modo da assicurare un adeguato recupero di calore dai fumi di combustione.</p>	
---	--

<p>– Recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente.</p> <p>I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente.</p> <p>Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.</p> <p>I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.</p> <p>Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).</p> <p>In alternativa e ove vi è la necessità di vapore per il laminatoio a caldo, può essere possibile che il calore recuperato dai fumi di combustione sia utilizzato per la produzione di vapore o altro.</p>	<p>I sistemi rigenerativi possono essere in particolare utilizzati in forni discontinui, in quanto generalmente non sono dotati di una zona di preriscaldamento.</p> <p>Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici.</p> <p>I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi).</p>
<p>– Adozione della carica calda o della laminazione diretta.</p> <p>In tal modo può essere sfruttato il contenuto termico residuo dei prodotti semilavorati provenienti dalla colata continua, caricandoli ancora caldi nei forni di riscaldamento, riducendo i tempi di stoccaggio del materiale.</p> <p>La laminazione diretta, rispetto alla carica calda, prevede temperature di infornamento più elevate.</p>	<p>L'applicabilità di queste tecniche è possibile per i nuovi stabilimenti in quanto è strettamente legata al layout degli impianti, dal momento che è necessario che la colata continua ed i forni di riscaldamento siano vicini.</p> <p>Inoltre queste tecniche possono essere applicate solo se la qualità superficiale è tale da non richiedere il condizionamento del semilavorato e solo se i programmi produttivi tra la colata continua e l'impianto di laminazione a caldo possono essere adeguatamente coordinati.</p>

### 3. Discagliatura

<p>– Riduzione dei consumi di acqua tramite l'utilizzo di sensori che determinano quando il materiale entra o esce dall'impianto di discagliatura; in questo modo le valvole dell'acqua vengono aperte quando è effettivamente necessario ed il volume d'acqua è quindi adattato alla necessità.</p>	
--	--

### 4. Laminazione

<p>– Adozione di una delle seguenti tecniche per ridurre le perdite energetiche durante il trasporto del materiale dal treno sbozzatore al treno finitore:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ utilizzo del Coil Box (e del Coil Recovery Fornace). Nel Coil Box, il prodotto intermedio che esce dal treno sbozzatore viene avvolto in un coil, che successivamente viene posizionato su un dispositivo di svolgimento, svolto ed inviato al treno finitore. Nel caso di brevi rallentamenti della linea a valle del Coil Box, il coil può rimanere in attesa per un tempo maggiore; inoltre nel caso di interruzioni lunghe il coil può essere conservato nei cosiddetti forni di recupero del calore “Coil Recovery Furnace”, dove viene ripristinata la temperatura di laminazione.</li></ul>	<p>L'utilizzo del Coil Box, che consente una distribuzione di temperatura lungo la barra di trasferimento più uniforme e che implica l'utilizzo di carichi minori per la laminazione al treno finitore, determina tuttavia un fabbisogno aggiuntivo di energia legato alle fasi di avvolgimento e svolgimento del coil e di riscaldamento nel Coil Recovery Furnace. La riduzione dei consumi energetici è minore nel confronto con impianti di laminazione in cui il tempo di esposizione all'aria della barra di trasferimento non è elevato.</p> <p>L'utilizzo del Coil Box può portare ad un peggioramento della qualità del prodotto per effetto di un aumento dei difetti superficiali ed inoltre possono esserci effetti di riduzione della capacità produttiva del laminatoio.</p> <p>Questa tecnica può essere applicata ai laminatoi semicontinui per la produzione nastri e se le condizioni impiantistiche e di prodotto lo permettono.</p>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ utilizzo degli scudi termici sulle tavole di trasferimento. La tavola a rulli di trasferimento dal treno sbozzatore al treno finitore può essere equipaggiata ove possibile con scudi termici per ridurre le perdite di temperatura del materiale mentre è trasportato e per diminuire la differenza di temperatura tra la testa e la coda del materiale in ingresso al treno finitore.</li> </ul>	<p>Gli scudi termici comportano un rischio più elevato di difetti superficiali, in quanto viene favorita la formazione di scaglie a seguito della temperatura più elevata a cui viene mantenuta la barra di trasferimento; inoltre gli scudi termici comportano costi di gestione molto elevati, in quanto possono essere danneggiati facilmente dalle barre di trasferimento incurvate.</p> <p>Inoltre per gli impianti esistenti l'utilizzo di scudi termici non risulterebbe possibile in quanto le tavole a rulli esistenti potrebbero non sopportare le maggiori temperature ed inoltre la riduzione dei consumi energetici non giustifica gli elevati costi di installazione e gestione.</p> <p>L'utilizzo di scudi termici non è possibile ove sono richieste, per motivi metallurgici, temperature più basse al treno finitore.</p>
<p>– Adozione di una delle tecniche seguenti, per la riduzione delle emissioni di polveri durante la laminazione nel treno finitore:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ spruzzaggio d'acqua alle gabbie finitrici con trattamento delle acque al sistema di depurazione delle acque di laminazione. Tale sistema permette di abbattere alla fonte le eventuali emissioni di particolato.</li> <li>▪ sistema di captazione dell'aeriforme alle gabbie del treno finitore (in particolare le ultime gabbie) con depolverazione tramite filtri a tessuto. Per aeriformi particolarmente umidi, in alternativa ai filtri a tessuto, può essere adottato un sistema di abbattimento ad umido.</li> </ul>	<p>Nei laminatoi che operano a bassa velocità e/o con aree superficiali del prodotto ridotte, le emissioni sono già limitate, e quindi non è necessaria l'adozione di tali sistemi di abbattimento.</p> <p>Le prestazioni raggiungibili con tali tecniche in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera: <math>\leq 20 \text{ mg/Nmc}</math></li> </ul>
<p>– Adozione di un sistema di captazione e depolverazione mediante filtri a tessuto per la riduzione delle emissioni di polveri che possono derivare dalla spianatura dei nastri.</p>	<p>Le prestazioni raggiungibili con tale tipo di tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• emissioni convogliate di polveri al camino di convogliamento in atmosfera: <math>\leq 20 \text{ mg/Nmc}</math></li> </ul>

<p>– Adozione delle seguenti tecniche relative alla tornerie cilindri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ utilizzo di sgrassatori a base d'acqua, fin quando è tecnicamente accettabile in funzione del grado di pulizia richiesto; nel caso di utilizzo di solventi organici, sono da preferire quelli privi di cloro;</li> <li>▪ trattamento, ove possibile, dei fanghi di molatura tramite separazione magnetica, per recuperare le particelle metalliche e consentirne il successivo avvio a riciclo/recupero;</li> <li>▪ smaltimento appropriato dei rifiuti derivanti dalle lavorazioni (ad es. grasso rimosso dai cuscinetti, mole consumate, residui di molatura, cilindri di laminazione consumati, etc.);</li> <li>▪ trattamento degli effluenti liquidi (provenienti dai raffreddamenti, dagli sgrassaggi, dalla molatura) negli impianti di trattamento dell'acqua previsti per la laminazione a caldo.</li> </ul>	
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adozione delle seguenti tecniche relative al trattamento acque: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ riduzione del consumo e dello scarico dell'acqua utilizzando, per quanto possibile, circuiti a ricircolo</li> <li>▪ trattamento delle acque di processo contenenti scaglie ed olio e riduzione dell'inquinamento negli effluenti utilizzando una combinazione appropriata di singole unità di trattamento, come ad esempio fosse scaglie, vasche di sedimentazione, filtri, torri di raffreddamento.</li> </ul> </li>   <li>▪ adozione delle seguenti misure per prevenire l'inquinamento delle acque da parte di idrocarburi: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) accurata manutenzione di tenute, guarnizioni, pompe, ecc...;</li> <li>b) utilizzo di idonei cuscinetti per i cilindri di lavoro e di appoggio ed adozione di indicatori di perdite sulle linee di lubrificazione.</li> <li>c) raccolta e trattamento delle acque di drenaggio;</li> </ul> </li> <li>▪ riciclo nel processo siderurgico o vendita per altri riutilizzi delle scaglie di laminazione derivanti dagli impianti di trattamento dell'acqua;</li> <li>▪ disidratazione ed idoneo smaltimento dei fanghi oleosi;</li> <li>▪ utilizzo di sistemi di raffreddamento ad acqua separati e funzionanti in circuiti chiusi.</li> </ul>	<p>Rapporti di ricircolo <math>\geq 95\%</math> sono raggiungibili</p> <p>Le prestazioni raggiungibili in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazioni allo scarico dopo trattamento: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ solidi sospesi: <math>\leq 20</math> mg/l</li> <li>▪ olio: <math>\leq 5</math> mg/l</li> <li>▪ Fe: <math>\leq 10</math> mg/l</li> <li>▪ Cr<sub>tot</sub>: <math>\leq 0.5</math> mg/l</li> <li>▪ Ni: <math>\leq 0.5</math> mg/l</li> <li>▪ Zn: <math>\leq 2</math> mg/l</li> </ul> </li> </ul>
--	--

Dato il notevole sviluppo dell'ultimo ventennio, la zincatura generale a caldo in Italia ha acquisito delle peculiarità impiantistiche e tecnologiche che non hanno trovato riscontro in altri Paesi europei. Questo ha fatto sì che il Nostro Paese diventasse il primo produttore europeo (statistiche dell'EGGA – European General Galvanizers Association, aggiornate al 2003) con un numero di impianti dimezzato rispetto al secondo produttore, la Germania. L'uso intensivo degli impianti e l'attenzione per l'ottimizzazione delle variabili di processo, in relazione all'incremento di produttività, delineano un quadro specifico delle BAT applicabili in Italia nell'ambito di quelle segnalate a livello comunitario, come è possibile rilevare dopo le opportune considerazioni che si riportano di seguito.

1. Sgrassaggio:

La quasi totalità degli impianti in Italia è dotata di una o due vasche di sgrassaggio. Esistono casi in cui, per impianti di ridotte dimensioni e per carenza di spazio, lo sgrassaggio è effettuato insieme al decapaggio mediante l'utilizzo di prodotti idonei.

L'efficienza dello sgrassaggio è strettamente legata al contatto del pezzo con le soluzioni, contatto che può essere favorito dalla movimentazione dei pezzi; un adeguato effetto di movimentazione relativa dei pezzi da zincare rispetto alla soluzione sgrassante, può essere ottenuto attivando, anche manualmente, le gru a ponte onde ottenere un movimento dei bilancini di tipo alternato “su - giù”, una o più volte durante il tempo di permanenza dei pezzi nel bagno. In alternativa è possibile l'applicazione alle vasche di sistemi rotatori con eccentrici agenti sui bilancini. Occorre bilanciare e ponderare opportunamente l'applicazione di queste tecniche dal momento che esse causano un incremento delle emissioni di vapori dalle vasche.

Non è invece consigliabile, per migliorare l'efficienza dello sgrassaggio, l'utilizzo di sistemi ultrasonici, data la vasta gamma, e per le dimensioni e per la varietà delle forme geometriche, dei manufatti trattati in zincatura generale; così come non è attuabile lo sgrassaggio a cascata, per la limitazione della produttività dell'impianto ed il notevole consumo aggiuntivo di acqua.

Per la pulizia delle soluzioni sgrassanti non risultano praticabili le separazioni per centrifuga; le quantità relative di fluido sono, infatti, molto basse e non giustificano l'impegno economico per l'installazione d'un impianto ad hoc; il costo d'esercizio è particolarmente elevato per i consumi energetici, peraltro responsabili di impatto ambientale.

Altrettanto non proponibili sono le tecniche di pulizia mediante membrane o per ultrafiltrazione; le membrane appropriate agli specifici bagni di sgrassaggio devono ancora essere sviluppate per permetterne l'applicazione nella zincatura generale a caldo.

Lo sgrassaggio biologico non è applicabile per le elevate produttività degli impianti italiani: non è, infatti, possibile garantire il mantenimento delle condizioni equilibrate necessarie per la vita e l'attività dei batteri. Non essendo possibile determinare condizioni di efficienza costante, il sistema potrebbe non essere efficace e comportare il trascinamento di materiale organico e grasso fino alla vasca di zincatura, con le conseguenti complicazioni e sul piano ambientale (aumento delle emissioni) e sul piano economico, per le misure da adottare. Non si hanno esempi di applicazione di questo processo alla zincatura generale in Italia; anche nel resto d'Europa è stato scarsamente sperimentato.

## 2. Decapaggio e strippaggio

Il decapaggio viene, in genere, operato con vasche aperte statiche con acido cloridrico entro i range operativi evidenziati in fig. A.

Si è già osservato che un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione; la conoscenza dei cambiamenti nel bagno consente di attivare procedure di esercizio opportune, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio; i valori ottimali sono presentati in fig.B.

Possono anche essere usate apparecchiature che operano al di fuori di tali range, con bagni di HCl riscaldati o a più alta concentrazione. Questi impianti solo di recente sono stati installati in poche zincherie in Italia ed in Europa. Resta ancora da stabilire il livello di resistenza agli agenti fortemente corrosivi delle strutture metalliche dei tunnel e delle cabine.

Il recupero per evaporazione è, in genere, troppo complesso ed antieconomico da gestire per la dimensione delle zincherie, che sono classificabili tutte come piccole aziende. Può essere realizzato, più agevolmente all'esterno delle aziende di zincatura, conferendo l'acido a recuperatori autorizzati che possono discriminare tra questa ed altre tecniche di recupero e di riutilizzo.

Il recupero per estrazione liquido-liquido non è praticabile su piccola scala. Comporta l'utilizzo di sostanze pericolose quali i solventi e relativa generazione di rifiuti ed emissioni.

In alcuni casi l'acido esausto può essere affidato ad aziende specializzate nel riciclo e riutilizzo, dopo adeguato trattamento, in impianti di depurazione delle acque a ciclo inorganico come neutralizzanti, flocculanti ed agenti di precipitazione in altri processi. Sistemi esterni come il recupero tramite letto fluido – roasting (pirolisi) sono ormai in disuso. Essi infatti possono essere applicati solo ai liquidi che contengono ferro ma non zinco. Sebbene qualche fonte riporti che per contenuti al massimo di 2-3 g/l di zinco nell'alimentazione il processo risulta ancora praticabile, sembra che il problema dello zinco nell'alimentazione non sia stato risolto. Ciò rende necessario un pretrattamento per la rimozione dello zinco. Lo spray roasting non è attualmente applicato alla rigenerazione dell'acido proveniente dalla zincatura a caldo, dal momento che esso non è praticabile su piccola scala. Nello specifico, il roasting risulta troppo costoso e insoddisfacente in quanto a purezza dell'ossido di Fe ricavato e non può essere considerato BAT.

La rimozione del ferro dai bagni di decapaggio e strippaggio combinati, tramite  $\text{NH}_3$  ed  $\text{H}_2\text{O}_2$  con il susseguente riuso come soluzione flussante, non è praticabile in situ. Le soluzioni di decapaggio sono in notevole eccesso rispetto al flussaggio e le soluzioni derivanti dal processo sarebbero troppo diluite e richiederebbero l'impiego di evaporatori. Inoltre gli altri inquinanti presenti nelle soluzioni esauste, non eliminate con questo processo di rigenerazione, disturberebbero il processo negli stadi successivi. Possibile l'applicazione della tecnica da parte di aziende specializzate, cui le zincherie conferiscano il sotto-prodotto per il successivo trattamento.

Il trattamento con  $\text{NH}_3$  ed  $\text{H}_2\text{O}_2$  può essere utilizzato nel caso di vasche esclusivamente dedicate allo strippaggio per il riutilizzo del liquido come soluzione flussante.

La rimozione dello zinco dall'acido per scambio ionico (sprang) non è affidabile e non esistono testimonianze di esperienze positive. Le soluzioni sono troppo sporche per poter garantire il funzionamento dello scambio ionico e le resine di solito utilizzate sono a rischio intasamento.

L'utilizzo di liquidi di decapaggio esausti per la produzione di flussanti è possibile solo parzialmente in situ. E' più frequente l'applicazione della tecnica da parte di aziende specializzate, cui le zincherie conferiscano il sotto-prodotto per il successivo trattamento.

### 3. Lavaggio

Tipicamente negli impianti italiani è previsto il lavaggio tra decapaggio e flussaggio. Si può evitare il lavaggio nei casi in cui sia prevista la rigenerazione continua o semi-continua del flusso.

Di solito con il lavaggio mono-vasca tutta l'acqua utilizzata può essere adoperata interamente per il rabbocco delle vasche di decapaggio. I sistemi di lavaggio in cascata provocano un consumo maggiore di acqua, il che può dare luogo a scarichi contaminati da sottoporre a trattamento. Inoltre essi comportano un rallentamento della produzione che è insostenibile per la maggior parte dei layout impiantistici possibili. Per i ritmi produttivi degli impianti italiani, nel nostro Paese, tali effetti sono più evidenti, per cui l'uso del sistema in cascata non può essere considerato BAT.

### 4. Flussaggio

La concentrazione dei sali di flussaggio può essere mantenuta costante con periodiche aggiunte.

La soluzione flussante può essere trattata in situ mediante aerazione (che favorisce la precipitazione del ferro) e decantazione con rimozione di fanghi ricchi di ferro. Talvolta si ricorre a trattamenti in continuo che utilizzano  $H_2O_2$  per l'ossidazione del cloruro di ferro e la precipitazione del ferro idrossido. Il controllo del pH è ottenuto attraverso l'utilizzo di  $NH_3$ . Il sistema comporta la produzione di fanghi la cui composizione dipende dalle condizioni di flussaggio adottate nell'impianto secondo la tipologia del prodotto da zincare.

Più costoso, in termini di esercizio del bagno e di spesa energetica è il processo di rimozione del ferro per ossidazione elettrolitica; non esiste alcuna esperienza di utilizzo in Italia.

Altrettanto costoso e con le difficoltà di inserimento in una zincheria già esistente, è il sistema di separazione per scambio ionico.

L'alternativa al trattamento in situ è il conferimento dell'esausto (ricco di cloruro di ferro) a società specializzate che rigenerano all'esterno la soluzione flussante. I sali della soluzione flussante esausto, separati dal ferro, possono essere riutilizzati per la produzione di agenti flussanti.

## 5. Immersione nello zinco fuso

Per gli impianti esistenti le condizioni di layout possono impedire l'adozione della cabina. In genere si usano portate di estrazione diverse a seconda delle soluzioni impiantistiche adottate, ma come ordine di grandezza di riferimento è possibile indicare una portata di circa  $2000 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$  di superficie di zinco fuso esposta in vasca nel caso della cabina.

Sono possibili diverse soluzioni di progetto per adattarsi agli spazi e alle disposizioni delle altre vasche dell'impianto.

Le estrazioni a bordo vasca in combinazione avvengono per mezzo di cappe laterali a bagno aperto; Le portate sono molto variabili e dipendono dalle condizioni di layout e dalle caratteristiche geometriche della vasca. Le aspirazioni richieste dipendono in maniera più che lineare dalla larghezza della vasca. Le portate in gioco sono dell'ordine di ca.  $4000 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$  di superficie di zinco fuso esposta in vasca.

In entrambi i casi si può prevedere un abbattimento dei fumi o tramite filtri a manica o scrubber. L'emissione di particolato è  $< 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ , più facile da raggiungere con i filtri a manica.

In genere le misure di estrazione garantiscono che le emissioni fugitive siano trascurabili rispetto alle emissioni puntuali. Le performance riscontrate negli impianti esistenti dipendono dalle caratteristiche proprie di ogni sito industriale in relazione alle condizioni di ventosità del posto, la convezione determinata dal layout impiantistico o dalle caratteristiche geometriche del capannone ospitante l'impianto, e la concentrazione alla quale, per le esigenze produttive, viene tenuta la vasca di flussaggio.

Non è possibile fornire tabelle di composizione delle emissioni affidabili. Le condizioni variano drasticamente da impianto ad impianto. Il momento di massima emissione dalle vasche di zincatura si ha durante l'immersione dei pezzi. Lo sviluppo dei fumi in ordine alla quantità ed alla composizione dipende in maniera critica dalla composizione e concentrazione dell'agente di flussante che si ossida a contatto con lo zinco fuso. Queste variabili sono dipendenti dalla tipologia del prodotto da zincare. Anche il layout stesso dell'impianto, la produttività dell'impianto (intesa come numero di immersioni realizzate all'ora), la tipologia e le caratteristiche geometriche del prodotto influenzano notevolmente la captazione ed il relativo contenuto, che non risulta costante nel tempo.

La presenza di diossina nelle polveri provenienti dall'abbattimento dei fumi provenienti dalla vasca di zincatura, si verifica episodicamente, quando lo sgrassaggio dei pezzi risulta insufficiente e i residui di oli e grassi vengono portati per trascinamento nella vasca di zincatura.

A meno di situazioni occasionali di cattivo funzionamento dell'impianto, un processo correttamente eseguito non dà luogo alla formazione di diossina delle polveri dei filtri a manica.

Sono disponibili tecniche per la minimizzazione della produzione dei sotto-prodotti da zincatura quali matte, schiumature (ceneri) e schizzi di zinco. Esse vengono riportate nel seguito.

DESCRIZIONE	NOTE
-------------	------

### 1. Sgrassaggio di bagni aperti

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di uno <i>step</i> di sgrassaggio, a meno che i manufatti non siano completamente privi di grasso, cosa molto rara nella zincatura conto terzi.</li> <li>• <u>Gestione ottimizzata del bagno</u> Attraverso il monitoraggio costante di parametri del bagno, come temperatura e concentrazione dell'agente di grassaggio, si ottiene l'ottimizzazione di questa fase di processo con semplici misure generali.</li> <li>• <u>Manutenzione e pulizia dei bagni di sgrassaggio aperti</u> Nello sgrassaggio alcalino l'emulsione che si forma è instabile, l'olio e il grasso si conglomerano e formano uno strato galleggiante sulla superficie nelle aree dove non c'è movimento del bagno di sgrassaggio. Questo agglomerato può essere separato e rimosso attraverso schiumarole, tubi di drenaggio per lo scarico, raschi, ecc. Per mezzo di tali misure, utilizzando semplicemente la gravità (tempo di separazione: un paio d'ore) la vita dei bagni di sgrassaggio può essere prolungata da 2 a 4 volte. I fanghi rimossi contengono oli, grassi, agenti di sgrassaggio, scaglie, ruggine, polvere, ecc. e vengono di solito smaltiti.</li> </ul>	<p>L'efficienza dello sgrassaggio può essere migliorata incrementando il contatto tra il liquido e il manufatto, per esempio muovendo il manufatto o muovendo la soluzione (movimentazione effettuata con il carroponte o con strumentazioni idonee, oppure agitazione della soluzione durante l'immersione dei pezzi).</p> <p>Le misure descritte per prolungare la vita dei bagni di sgrassaggio sono anche applicabili ai bagni di sgrassaggio acidi ma, a causa della formazione di emulsioni più stabili, l'efficienza risulta ridotta.</p> <p>Durate maggiori in esercizio dei bagni da 2 a 4 volte.</p>
--	--

## 2. Decapaggio e Strippaggio

<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Controllo dei parametri del bagno aperto (temperatura e concentrazione)</u>  Il contenuto di HCl nella fase gassosa al di sopra di un bagno di decapaggio dipende dalla temperatura e dalla concentrazione. Le emissioni dai bagni di decapaggio sono al di sotto di <math>10\text{mg}/\text{Nm}^3</math> quando la coppia di valori (temperatura e concentrazione) è nell'area al di sotto della retta in fig. A.  Se si effettua un controllo accurato dei parametri di processo (temperatura e concentrazione), con condizioni operative nei limiti stabiliti in fig. A, i sistemi di estrazione della fase vapore e le successive tecniche di abbattimento diventano sovrabbondanti. Le aspirazioni e conseguenti abbattimenti possono essere richiesti quando non è possibile operare nelle zone del diagramma di fig. A o quando le condizioni di ventilazione naturale lo richiedano.</li><li>• <u>Controllo ed esercizio ottimizzati del bagno aperto</u>  L'efficienza del decapaggio, e quindi il tempo necessario per il decapaggio, cambia lungo la durata del bagno. Man mano che il bagno invecchia, la concentrazione del ferro aumenta ed è necessario meno acido libero per mantenere la stessa velocità di decapaggio dell'inizio. È infatti necessaria la presenza di ioni <math>\text{Fe}^{2+}</math> in quantità dipendenti dall'acidità libera per ottenere l'ottimizzazione dell'attività decapante del bagno (fig.B.). Un attento monitoraggio dei parametri del bagno (concentrazione dell'acido, contenuto di ferro, ecc.) può aiutare nell'ottimizzazione dell'operazione attraverso la conoscenza dei cambiamenti nel bagno e permettere procedure di esercizio diverse, come la riduzione del tempo di decapaggio per evitare il sovra-decapaggio.</li></ul>	<p>Si può ottenere un consumo di acido fresco (al 33w%) fino a 10 – 15 kg/ton di acciaio zincato.</p>
--	---

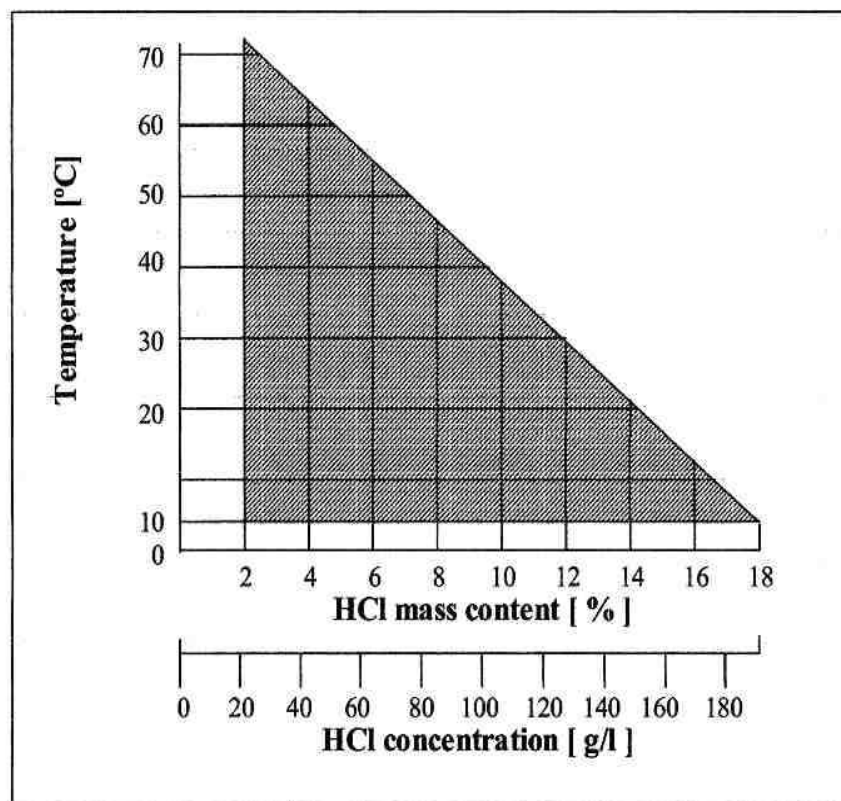


Fig. A Curva limite per l'esercizio dei bagni di decapaggio aperti

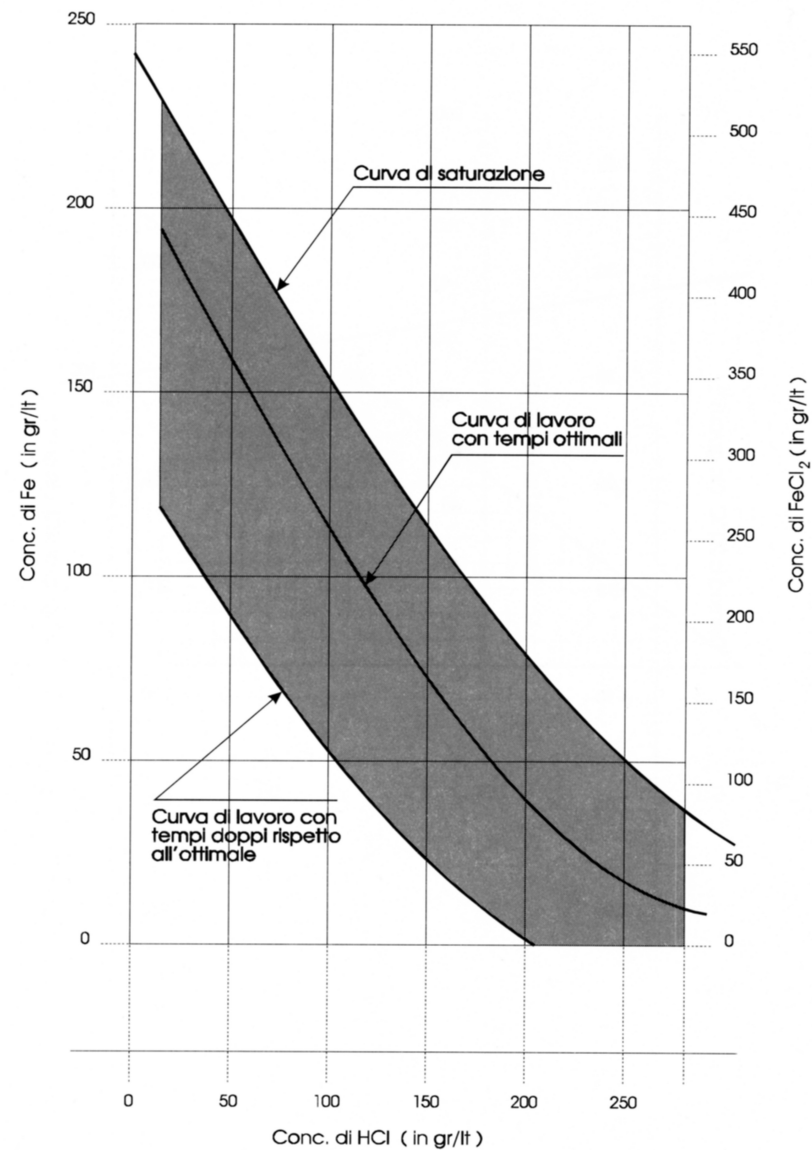


Fig. B Concentrazione di Fe — FeCl<sub>2</sub> — HCl per il controllo dell'attività del bagno di decapaggio

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Sezione di pre-trattamento chiusa con bagni riscaldati e/o concentrati: estrazione e abbattimento</u> Se si richiedono operazioni al di fuori dell'intervallo di esercizio stabilito dall'area rappresentata in fig.A., ad es. se vengono usati bagni di HCl riscaldati o a più alta concentrazione, l'installazione di un'unità di estrazione ed il trattamento dell'aria estratta sono considerati BAT (ad es. tramite scrubber).  Consiste nella creazione di un tunnel che racchiude le vasche di processo. Un adeguata aspirazione convoglia le emissioni all' abbattitore, in genere uno scrubber.</li> <li>• <u>Minimizzazione dell'acido esausto attraverso l'uso degli inibitori di decapaggio</u> Per proteggere dal sovra-decapaggio le parti di manufatto che sono già pulite e metalliche, si aggiungono alla soluzione di decapaggio gli inibitori di decapaggio. Gli inibitori possono ridurre la perdita di materiale dai manufatti anche del 98% e possono ridurre il consumo di acido. Comunque, questi inibitori organici possono avere un'influenza negativa sui successivi processi di riciclo dell'acido per cui si richiede attenzione alla scelta ed alla concentrazione adottata.</li> <li>• <u>Rigenerazione esterna dei liquidi di decapaggio</u> Le soluzioni esauste di acido cloridrico vanno a società specializzate ed autorizzate alla neutralizzazione e smaltimento. Questa soluzione è consigliata come BAT perché il trattamento delle soluzioni esauste di decapaggio è antieconomico e troppo complesso per una zincheria per poter essere gestito in situ.</li> </ul>	<p>Il livello associato di emissione di HCl è pari a 2-30 mg/Nm<sup>3</sup> in uscita dagli scrubber.</p> <p>Lo scrubber è una torre di lavaggio in cui, si abbatte la concentrazione di acido nell'aeriforme inquinato tramite il contatto (con elevata superficie specifica) con l'acqua. La soluzione blandamente acida che si genera viene riciclata come fluido di processo.</p> <p>Perdita dai manufatti ridotta fino al 98%.</p> <p>Riduzione stimata del consumo di acido 10-20%</p> <p>Il sistema è attualmente utilizzato dalla quasi totalità delle aziende di zincatura italiane.</p>
---	---

- Possono essere utilizzati anche sistemi di recupero per evaporazione ed estrazione liquido-liquido.
- In alcuni casi l'acido esausto può essere affidato ad aziende specializzate nel riciclo e riutilizzo in impianti di depurazione delle acque a ciclo inorganico come neutralizzanti, flocculanti ed agenti di precipitazione.
- Vasche separate di decapaggio e strippaggio  
Una misura primaria per ridurre l'impatto ambientale dato dal decapaggio e dallo strippaggio è costituita dall'esercizio di vasche separate di trattamento, poiché gli acidi misti (ad alto contenuto sia di ferro che di zinco) provocano problemi nella rigenerazione o nel riutilizzo. Dal momento che non vi sono trattamenti adeguati per gli acidi misti, il decapaggio separato dallo strippaggio e il riutilizzo dei liquidi di strippaggio esausti (interno ed esterno, ad es. per il recupero dei flussanti) sono considerati come BAT sia per i nuovi impianti che per quelli già esistenti.
- Qualora non fosse possibile separare il decapaggio dallo strippaggio, ad es. per mancanza di spazio per installare un'altra vasca, il riutilizzo degli acidi misti per la produzione di flussante, tramite conferimento ad operatori esterni, è considerato come BAT.
- Rigenerazione dell'acido e utilizzo dei sali residui per la produzione di flussanti  
L'acido cloridrico esausto da decapaggio e strippaggio combinati con alte concentrazioni di zinco e ferro può essere processato e recuperato come bagno di flussaggio. Dopo l'ossidazione con perossido di idrogeno e neutralizzazione con ammoniaca si separa il fango di idrossido di ferro. Il liquido rimanente contiene alte concentrazioni di cloruro di zinco e cloruro di ammonio e può essere riutilizzato come soluzione flussante.

Quando le dimensioni aziendali lo consentano alcune delle operazioni di rigenerazione possono essere gestite all'interno della zincheria.

### 3. Lavaggio:

<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Installazione di una vasca di lavaggio tra decapaggio e flussaggio</u></li></ul> <p>Dopo il decapaggio, i manufatti in acciaio sono risciacquati in una vasca di lavaggio statica.</p> <p>Il lavaggio è effettuato per evitare il trascinamento all'interno del bagno di flussaggio sia di liquido di decapaggio, che altera il pH, sia di ioni <math>\text{Fe}^{++}</math>, che inquinano la soluzione flussante.</p> <p>Si può evitare il lavaggio nei casi in cui sia prevista la rigenerazione continua o semi-continua del flusso.</p>	<p>Con una gestione accurata e la pratica operativa tutta l'acqua del lavaggio, contaminata dall'acido, può essere riutilizzata nella sezione di decapaggio dell'impianto di zincatura.</p>
--	---

### 4. Flussaggio:

<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Controllo del flussaggio</u></li></ul> <p>La concentrazione dei sali di flussaggio può essere mantenuta costante con periodiche aggiunte. Il trascinamento del ferro dai bagni di decapaggio, che provoca inquinamento del flussante, può essere minimizzato mediante l'attesa di un tempo opportuno (dipendente dalla forma geometrica e dallo stato superficiale dei pezzi) di gocciolamento al di sopra delle vasche di decapaggio.</p> <p>L'uso ponderato di agenti di flussaggio a fumi ridotti ed il corretto bilanciamento del flussante (quanto a contenuto di cloruro di ammonio), assieme ad una gestione ottimizzata del decapaggio e flussaggio, contribuiscono a ridurre l'emissione dalla vasca di zincatura. Le concentrazioni ottimali devono essere scelte sulla base della tipologia e dello spessore medi del materiale zincato, della lega utilizzata nel bagno di zincatura e degli altri parametri di esercizio dell'impianto.</p>	
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Rigenerazione continua o semi-continua del bagno di flussaggio</u>  La soluzione flussante può essere trattata in situ mediante aerazione (che favorisce la precipitazione del ferro) e decantazione con rimozione di fanghi ricchi di ferro. Talvolta si ricorre a trattamenti in continuo che utilizzano <math>H_2O_2</math> per l'ossidazione del cloruro di ferro e la precipitazione del ferro idrossido. Il controllo del pH è ottenuto attraverso l'utilizzo di <math>NH_3</math>. Il sistema comporta la produzione di fanghi la cui composizione dipende dalle condizioni di flussaggio adottate nell'impianto secondo la tipologia del prodotto da zincare.</li> <li>• Equivalentemente, un lavaggio accurato dei manufatti dopo il decapaggio, in assenza di un impianto di rigenerazione del flussante, comporta una maggiore durata di servizio delle vasche, ritardandone l'alterazione.</li> <li>• <u>Rigenerazione esterna del flussante</u>  L'alternativa al trattamento in situ è il conferimento dell'esausto (ricco di cloruro di ferro) a società specializzate che rigenerano all'esterno la soluzione flussante. I sali della soluzione flussante esausto, separati dal ferro, possono essere riutilizzati per la produzione di agenti flussanti.</li> </ul>	
--	--

## 5. Immersione nello zinco

<ul style="list-style-type: none"> <li> <p><u>Cattura delle emissioni</u></p> <p>La cattura delle emissioni tramite cabina o tramite estrazione a bordo vasca, seguito da abbattimento della polvere (tramite filtri a manica o <i>scrubber</i> ad umido).</p> <p>Per gli impianti con cabina, in genere, si usano portate di estrazione diverse a seconda delle soluzioni impiantistiche adottate, ma come ordine di grandezza di riferimento è possibile indicare una portata di circa <math>2000 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}</math> di superficie di zinco fuso in vasca.</p> <p>Le estrazioni a bordo vasca in combinazione avvengono per mezzo di cappe laterali a bagno aperto.</p> </li> <li> <p>Riutilizzo interno o esterno della polvere raccolta nei filtri a manica per la produzione di flussanti. Poiché questa polvere può raramente contenere diossina a bassa concentrazione, per problemi nell'impianto (manufatti zincati precedentemente non ben sgrassati), solo i processi di recupero che rendono gli agenti flussanti liberi da diossina sono considerati BAT.</p> </li> <li> <p><u>Recupero di calore dai gas combusti provenienti dal forno di zincatura</u></p> <p>Sebbene le opportunità di risparmio di energia dal trasferimento di calore dai gas combusti dalle vasche di zincatura siano limitate, a causa dei bassi volumi e delle relativamente basse temperature (<math>450^\circ\text{C}</math>), è buona norma recuperare il calore da questa fonte per riscaldare o l'acqua usata altrove nell'impianto, o l'aria per l'essiccazione.</p> </li> </ul>	<p>Per gli impianti esistenti le condizioni di layout possono impedire l'adozione della cabina.</p> <p>Il livello di polvere emessa in atmosfera dopo l'abbattimento, associato con queste due tecniche, è <math>&lt;5 \text{ mg/Nm}^3</math>.</p> <p>Le portate in gioco sono dell'ordine di <math>4000 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}</math> ca. di superficie di zinco fuso in vasca.</p> <p>La polvere è composta soprattutto da cloruro di ammonio e cloruro di zinco (agente flussante). Il riciclaggio potrebbe essere limitato dalla presenza di olio e grasso (ne è richiesta una quantità inferiore al 3%).</p> <p>Riduzione del consumo di energia tra 15 e 45 kWh per tonnellata di acciaio nero trattato.</p>
---	--

<p>Sistemi di scambiatori a tubo e mantello possono essere impiegati per recuperare calore dai fumi di combustione, da trasferire alle soluzioni di flussaggio e sgrassaggio, sovente riscaldate per mantenere la giusta solubilità ed attività degli agenti chimici. Sono disponibili diverse soluzioni tecniche. Per il recupero di calore destinato all'essiccatore i fumi vengono fatti passare per il forno di essiccazione prima di essere inviati al camino.</p> <p>Il recupero di calore dai fumi di combustione costituisce, comunque, solo una quota del calore necessario per le operazioni suddette, per cui l'impianto di zincatura necessita della presenza di bruciatori addizionali seppure di modesta portata.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Efficienza e Controllo del Forno di Riscaldamento</u> Le perdite di calore dal gas di combustione possono essere ridotte con l'ottimizzazione del processo di combustione, diminuendo l'ingresso dell'aria nell'alloggiamento del forno. L'operazione a bassa temperatura del processo di zincatura implica che vi siano limitate opportunità per risparmiare energia tramite la riduzione delle perdite. Quando la vasca si trova a riposo con lo zinco fuso, la riduzione di perdite di calore può essere ottenuta utilizzando coperture isolanti che si estendono al di sopra della parte superiore del forno.</li> </ul>	<p>Questa tecnica non è applicabile su sistemi con due bruciatori (vasche piccole) perché non vi è abbastanza calore disponibile. I sistemi di recupero sono installati molto spesso su sistemi di 4 o 6 bruciatori.</p> <p>L'efficienza del forno è anche influenzata dal sistema di controllo. Maggiore efficienza si ha con sistemi di controllo che adeguano meglio l'immissione di calore alla richiesta di calore.</p>
--	--

- Recupero dei sottoprodotti contenenti zinco

Per tutti i sottoprodotti contenenti zinco prodotti nella vasca di zincatura (matte, zinco duro, spruzzi, schizzi e schiumature povere di zinco), sono considerate tecniche BAT:

- l'immagazzinamento separato
- la protezione da pioggia e vento
- il riutilizzo nell'industria dei metalli non ferrosi o in altri settori per il recupero delle sostanze utili che essi contengono

- Recupero di zinco dalle schiumature di zinco (o ceneri)

Le schiumature (o ceneri) prodotte dalla zincatura a caldo contengono una fase metallica costituita da granella di zinco mista a ossidi e cloruri. Durante la lavorazione si può minimizzare il contenuto di zinco metallico attraverso pratiche comuni di schiumatura prima dell'estrazione dei pezzi dalla vasca.

Il tenore di zinco metallico nelle schiumature è ca. 60-65% e può essere interamente riciclato: I grani di zinco possono essere separati dalla cenere di zinco, fusi e reinseriti nella vasca di zincatura. L'operazione di vagliatura, per lo più esterna, viene realizzata di solito da aziende specializzate al recupero dei metalli.

La rimanente schiumatura a base di ossido di zinco viene raffinata ulteriormente in industrie esterne specializzate.

Il grado di recupero ottenuto è pari a ca. 60-70%.

- Riduzione della produzione di matte di zinco

Le seguenti misure riducono la formazione di matte di zinco:

- Adeguati lavaggi dopo il decapaggio o rigenerazione continua del flusso
- Utilizzo bilanciato di agenti flussanti non eccedenti nella concentrazione di cloruro di ammonio, che hanno un basso effetto decapante (rimozione del ferro).

- Riduzione della produzione di spruzzi di zinco

Le seguenti misure riducono la formazione di spruzzi:

- Adeguata essiccazione dopo il bagno di flussaggio
- Pulizia delle aree intorno alle vasche di zincatura per ottenere zinco riciclabile, contenente il minimo di impurità.

**1. Nastri d'acciaio laminati a freddo**

**1. Sgrassaggio**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione dei reflui derivanti dallo sgrassaggio alcalino mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>– l'utilizzo della soluzione sgrassante in cascata, nel caso in cui lo sgrassaggio alcalino è direttamente connesso con lo stadio di pulitura elettrolitica. In particolare si ha che la soluzione alcalina utilizzata nello sgrassaggio elettrolitico può essere ricircolata nello stadio contiguo di sgrassaggio non elettrolitico;</li> <li>– pulizia dall'olio della soluzione alcalina (ad es. con sistemi di pulizia meccanica) e suo riciclo nella sezione di sgrassaggio.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Tale tecnica è applicabile ai nuovi impianti, mentre l'applicazione su impianti esistenti è condizionata dalla disponibilità di spazio.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raccolta delle acque derivanti dallo sgrassaggio e loro invio all'impianto di trattamento delle acque di processo.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adozione di vasche di sgrassaggio coperte con estrazione e depurazione dell'aria estratta tramite scrubber o demister.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adozione di rulli strizzatori per ridurre il trascinamento della soluzione sgrassante tra le varie sezioni.</li> </ul>	

## 2. Trattamento termico

<ul style="list-style-type: none"> <li>Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx). I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx. I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione. Il preriscaldamento dell'aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l'efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.</li> </ul>	<p>Le prestazioni raggiungibili con tale tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>emissioni convogliate di NOx al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:</li> </ul> <table data-bbox="1420 469 1839 804"> <thead> <tr> <th>T preriscaldamento aria comburente</th><th>NOx (mg/Nmc) (O<sub>2</sub> 3%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 200 °C</td><td>&lt; 400</td></tr> <tr> <td>300 °C</td><td>fino a 450</td></tr> <tr> <td>400 °C</td><td>fino a 600</td></tr> <tr> <td>500 °C</td><td>fino a 800</td></tr> <tr> <td>700 °C</td><td>fino a 1500</td></tr> <tr> <td>800 °C</td><td>fino a 2300</td></tr> <tr> <td>900 °C</td><td>fino a 3500</td></tr> <tr> <td>1000 °C</td><td>fino a 5300</td></tr> </tbody> </table>	T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)	< 200 °C	< 400	300 °C	fino a 450	400 °C	fino a 600	500 °C	fino a 800	700 °C	fino a 1500	800 °C	fino a 2300	900 °C	fino a 3500	1000 °C	fino a 5300
T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)																		
< 200 °C	< 400																		
300 °C	fino a 450																		
400 °C	fino a 600																		
500 °C	fino a 800																		
700 °C	fino a 1500																		
800 °C	fino a 2300																		
900 °C	fino a 3500																		
1000 °C	fino a 5300																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Adozione di una o una combinazione delle seguenti tecniche per il recupero del calore: <ul style="list-style-type: none"> <li>recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente. I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente. Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Tali tecniche possono essere previste in fase progettuale su nuovi impianti mentre su impianti esistenti la loro adozione può essere effettuata nel caso di sostanziali ammodernamenti e ove tecnicamente ed economicamente fattibile.</p>																		

<p>I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi.</p> <p>Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– recupero del calore dei fumi di combustione per la produzione di vapore nel caso di fabbisogno per l'impianto di zincatura a caldo;</li> <li>– preriscaldamento del nastro.</li> </ul>	<p>Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici. I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi).</p>
--	---

### 3. Immersione del nastro nel bagno fuso (Zincatura)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raccolta dei residui contenenti zinco (scoria, ecc.) e loro riciclo nell'industria dei metalli non ferrosi.</li> </ul> <p>Ad esempio parte dello zinco consumato finisce nella scoria che si forma sulla superficie del bagno fuso; tale scoria viene rimossa manualmente in quanto influenza negativamente la qualità del rivestimento del nastro.</p>	
--	--

#### 4. Galvannealing

<ul style="list-style-type: none"> <li>Adozione di bruciatori a basso NOx (low-NOx). I bruciatori low-NOx sono progettati per ridurre il livello delle emissioni di NOx. I principali criteri di progettazione su cui tali bruciatori si basano sono: riduzione della temperatura di picco della fiamma, riduzione del tempo di permanenza nella zona ad alta temperatura e riduzione della disponibilità di ossigeno nella zona di combustione.  Il preriscaldamento dell'aria comburente, che è una tecnica applicata, ove possibile, per aumentare l'efficienza energetica dei forni (e quindi per abbassare il consumo di combustibile e le emissioni degli altri inquinanti di un processo di combustione), comporta concentrazioni di NOx più elevate nelle emissioni dei forni che ne sono dotati.</li> </ul>	<p>Le prestazioni raggiungibili con tale tecnica in condizioni normali sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>emissioni convogliate di NOx al camino di convogliamento in atmosfera dei fumi di combustione, in funzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comburente:</li> </ul> <table data-bbox="1429 507 1848 842"> <thead> <tr> <th>T preriscaldamento aria comburente</th><th>NOx (mg/Nmc) (O<sub>2</sub> 3%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 200 °C</td><td>&lt; 400</td></tr> <tr> <td>300 °C</td><td>fino a 450</td></tr> <tr> <td>400 °C</td><td>fino a 600</td></tr> <tr> <td>500 °C</td><td>fino a 800</td></tr> <tr> <td>700 °C</td><td>fino a 1500</td></tr> <tr> <td>800 °C</td><td>fino a 2300</td></tr> <tr> <td>900 °C</td><td>fino a 3500</td></tr> <tr> <td>1000 °C</td><td>fino a 5300</td></tr> </tbody> </table>	T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)	< 200 °C	< 400	300 °C	fino a 450	400 °C	fino a 600	500 °C	fino a 800	700 °C	fino a 1500	800 °C	fino a 2300	900 °C	fino a 3500	1000 °C	fino a 5300
T preriscaldamento aria comburente	NOx (mg/Nmc) (O <sub>2</sub> 3%)																		
< 200 °C	< 400																		
300 °C	fino a 450																		
400 °C	fino a 600																		
500 °C	fino a 800																		
700 °C	fino a 1500																		
800 °C	fino a 2300																		
900 °C	fino a 3500																		
1000 °C	fino a 5300																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Recupero del calore dei fumi di combustione mediante sistemi recuperativi o sistemi rigenerativi per preriscaldare l'aria comburente. I sistemi recuperativi sono costituiti da scambiatori di calore, installati prima dell'immissione in atmosfera dei fumi di combustione, che consentono il trasferimento del calore continuamente dei fumi caldi all'aria comburente in ingresso, o da bruciatori che hanno questi scambiatori già incorporati singolarmente. Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente fino a 600°C. I sistemi rigenerativi sono costituiti da due scambiatori di calore (rigeneratori) contenenti, ad esempio, materiale ceramico: mentre un rigeneratore viene riscaldato per contatto diretto con i fumi caldi della combustione, l'altro ancora caldo riscalda l'aria comburente. Dopo un certo periodo il processo è invertito scambiando i flussi. Con questi sistemi si possono ottenere temperature di preriscaldamento dell'aria comburente più elevate (superiori a 600°C).</li> </ul>	<p>Tali tecniche possono essere previste in fase progettuale su nuovi impianti mentre su impianti esistenti la loro adozione può essere effettuata nel caso di sostanziali ammodernamenti e ove tecnicamente ed economicamente fattibile.</p> <p>Un problema dei sistemi rigenerativi è la sensibilità alla polvere, che, se generata in notevoli quantità dal processo di combustione, può provocare la precoce sostituzione dei riempimenti ceramici. I costi di investimento sono elevati (sistema di rigenerazione e bruciatori più costosi)</p>																		

## 5. Post-trattamenti

<ul style="list-style-type: none"><li>• Adozione, per il trattamento di oliatura del nastro, di una delle seguenti tecniche:<ul style="list-style-type: none"><li>– copertura della macchina di oliatura del nastro;</li><li>– oliatura elettrostatica.</li></ul></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Adozione delle seguenti tecniche per i trattamenti di passivazione e fosfatazione:<ul style="list-style-type: none"><li>– copertura dei bagni di processo;</li><li>– riciclo della soluzione di passivazione del nastro d'acciaio zincato. La soluzione esausta viene di volta in volta scaricata ed inviata al sistema di depurazione acque o conferita all'esterno per il suo trattamento;</li><li>– riciclo della soluzione di fosfatazione del nastro d'acciaio zincato. La soluzione esausta viene di volta in volta scaricata ed inviata al sistema di depurazione acque o conferita all'esterno per il suo trattamento;</li><li>– utilizzo di rulli strizzatori per evitare i trascinamenti delle soluzioni nelle sezioni successive, con perdita di sostanze chimiche.</li></ul></li></ul>	

## 6. Finitura

<ul style="list-style-type: none"><li>• Raccolta delle acque derivanti dalla skinpassatura ad umido e loro invio all'impianto di trattamento delle acque di processo.</li></ul>	
---	--

## 7. Trattamento acque

<ul style="list-style-type: none"><li>• Adozione di sistema separato delle acque di raffreddamento ed operanti, ove possibile, in circuito chiuso con raffreddamento in torri evaporative o altri sistemi.</li></ul>	
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>Trattamento delle acque di processo derivanti dall'impianto di zincatura a caldo ed eventualmente derivanti anche da altre attività, utilizzando un'opportuna combinazione di stadi di sedimentazione, filtrazione e/o flottazione, precipitazione, flocculazione o altre combinazioni di pari efficienza. La frazione oleosa derivante dal trattamento dovrebbe essere, per quanto possibile, riutilizzata (ad es. combustione).</li> </ul>	<p>Le prestazioni raggiungibili in condizioni normali dagli impianti di trattamento delle acque di processo della zincatura a caldo sono le seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– concentrazioni allo scarico dopo trattamento: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ solidi sospesi: <math>\leq 20</math> mg/l</li> <li>▪ Fe: <math>\leq 10</math> mg/l</li> <li>▪ Zn: <math>\leq 2</math> mg/l</li> <li>▪ Ni: <math>\leq 0.2</math> mg/l</li> <li>▪ Cr<sub>tot</sub>: <math>\leq 0.2</math> mg/l</li> <li>▪ Pb : <math>\leq 0.5</math> mg/l</li> <li>▪ Sn: <math>\leq 2</math> mg/l</li> </ul> </li> </ul> <p>Su impianti esistenti di trattamento acque di tipo continuo con livelli di zinco allo scarico <math>\leq 4</math> mg/l, potrebbe essere adottato il trattamento batch.</p>
---	--

## 2. Fili d'acciaio

### 1. Ricottura

<ul style="list-style-type: none"> <li>Buone misurazioni e regolazioni interne.</li> </ul>	CO < 100 mg/Nm <sup>3</sup> TOC < 100 mg/Nm <sup>3</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Forni ad alta convezione con rendimenti elevati e buona trasmissione di calore.</li> <li>Riciclo acqua dei raffreddamenti.</li> </ul>	

## 2. Decapaggio

<ul style="list-style-type: none"><li>• Apparecchiatura in dotazione o apparecchiatura di misura nella aspirante e depurazione dell'aria estratta.</li><li>• Decapaggio a cascata per nuovi impianti con capacità al di sopra di 15000 ton/anno per linea.</li><li>• Ricupero della frazione acida libera.</li><li>• Riutilizzazione di acido esaurito come materia prima secondaria.</li></ul>	HCl 2 – 30 mg/Nm <sup>3</sup>
---	-------------------------------

## 3. Lavaggio

<ul style="list-style-type: none"><li>• Lavaggio a cascata, possibilmente congiuntamente ad altri metodi per minimizzare il consumo dell'acqua, per tutte le installazioni nuove e tutti i grandi impianti (&gt; 15000 ton/anno).</li><li>• Trattamento di acque di rifiuto per trattamento fisico-chimico (neutralizzazione, flocculazione, ecc.).</li></ul>	<div>SS: &lt; 20 mg/l</div> <div>Zn: &lt; 2 mg/l</div> <div>Cr<sub>tot</sub>: &lt;0,2 mg/l</div> <div>Sn: &lt; 2 mg/l</div> <div>Fe: &lt; 10 mg/l</div> <div>Ni: &lt; 0,2 mg/l</div> <div>Pb: &lt; 0,5 mg/l</div>
---	---

## 4. Flussaggio

<ul style="list-style-type: none"><li>• Buona conduzione dei requisiti di efficienza e funzionalità con speciale attenzione alla riduzione del residuo di ferro e alla manutenzione del bagno.</li><li>• Rigenerazione dei bagni.</li><li>• Riutilizzo esterno della soluzione di flussaggio esausta.</li><li>• Ricupero gas di combustione.</li></ul>	NH <sub>4</sub> : < 30 mg/Nm <sup>3</sup>
--	---

5. **Zincatura a caldo**

<ul style="list-style-type: none"><li>Buona conduzione delle misurazioni e delle regolazioni.</li></ul>	Polvere: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Zn: < 10 mg/Nm <sup>3</sup>
---	---

6. **Raffreddamento e Finitura**

<ul style="list-style-type: none"><li>Raffreddamento acque (dopo la vasca di zincatura). Ciclo chiuso o riutilizzo di questa acqua relativamente pura come acqua per altre applicazioni.</li><li>Scarti contenenti zinco. Immagazzinaggio e protezione da pioggia e da vento e riutilizzazione separata nell'industria dei metalli.</li></ul>	
---	--

Altri valori non espressi si possono desumere dalle BAT per la zincatura generale, per quanto in analogia di processo.

Vengono di seguito rappresentate le tecniche, i livelli di emissione e di consumo ad esse associate, considerati compatibili con la definizione di BAT in senso generale.

Le tecniche ed i livelli di emissioni ad esse associate, sono state verificate attraverso un processo iterativo che include i seguenti passaggi:

- Identificazione dei temi ambientali chiave per le fonderie
  - Esame delle tecniche più rilevanti da correlare con questi temi
  - Identificazione delle migliori prestazioni ambientali, sulla base dei dati disponibili da UE o da altre fonti
  - Esame delle condizioni (costi, condizioni al contorno, modi di implementazione ) sotto le quali questi livelli di prestazioni si possono raggiungere
  - Selezione delle BAT e dei livelli di emissioni e/o consumi associati per il settore, definiti in accordo con le indicazioni della Direttiva

Dove vengono presentate le BAT con i livelli di emissione o di consumi associati, questi sono da intendersi come il possibile risultato dell'applicazione nel settore delle Fonderie di metalli ferrosi, delle tecniche descritte, tenendo presente il bilancio dei costi-benefici inerenti la definizione delle BAT stesse.

Va sottolineato, per una corretta interpretazione ed utilizzo del documento, che le BAT generali indicate in questo capitolo, sono da vedere come punti di riferimento per la valutazione delle prestazioni di impianti esistenti o per quelli nuovi senza escludere la possibilità di ottenere risultati migliori.

In ogni caso, va sottolineato che il documento sulle BAT non fissa alcun standard impegnativo o limite legale; i valori riportati hanno il significato di fornire informazioni guida per l'industria, per gli Stati e per il pubblico sulle performance circa i livelli di emissione e di consumi registrabili utilizzando quella determinata tecnica, nelle condizioni indicate.

Gli appropriati valori limite per ogni singolo caso sono da determinarsi tenendo conto degli obiettivi della Direttiva IPPC e delle condizioni locali. L'industria di fonderia è un settore differenziato; i vari elementi delle BAT devono essere adattati ai differenti tipi di installazioni.

La fonderia sostanzialmente è costituita da un'area fusoria e da un area di formatura dei getti, entrambi con il loro flusso di approvvigionamento; per i getti prodotti con sistemi di formatura a perdere, tale catena di approvvigionamenti comprende tutte le attività relative alla realizzazione delle forme e di fabbricazione delle anime.

Nelle citate aree una distinzione deve essere fatta in relazione, rispettivamente, al tipo di metallo fuso, ferroso o non ferroso, ed in merito al tipo di formatura, in forma permanente o in forma a perdere.

Ciascuna fonderia può essere considerata come una combinazione di tecniche fusorie e di sistemi di formatura.

Le BAT sono, pertanto, presentate suddividendole fra quelle applicabili alla fonderia in generale e con riferimento a ciascun specifico tipo di fonderia.

### **BAT Generali per tutti i tipi di fonderie.**

Alcuni tipi di BAT sono generali ed applicabili a tutti i tipi di fonderie senza considerare i processi praticati ed i prodotti realizzati. Essi riguardano il flusso delle materie prime, le operazioni di finitura, il rumore, le acque reflue, la gestione ambientale e le dismissioni dei siti produttivi:

DESCRIZIONE	NOTE
-------------	------

#### **Gestione dei flussi di materiali**

Adottare stoccaggi separati dei vari materiali in ingresso, prevenendo deterioramenti e pericoli	Le BAT in questo caso riguardano: la gestione degli stoccaggi, la manipolazione dei diversi tipi di materiali, la minimizzazione del consumo di materie prime con i recuperi e riciclaggi dei residui.
Stoccaggio dei rottami e dei ritorni interni su di superfici impermeabili e dotate di sistemi di raccolta e trattamento del percolato. In alternativa lo stoccaggio può avvenire in aree coperte.	
Riutilizzo interno dei boccamì e dei ritorni	
Stoccare separatamente i vari tipi di residui e rifiuti, in modo da favorirne il corretto riutilizzo, riciclo o smaltimento	
Utilizzo di materiali alla rinfusa o contenitori riciclabili	
Utilizzo di modelli di simulazione, modalità di gestione e procedure per aumentare la resa dei metalli e per ottimizzare i flussi di materiali.	

#### **Finitura dei getti**

captazione ed il trattamento mediante l'impiego di sistemi a secco o ad umido, delle emissioni prodotte nelle fasi di taglio dei dispositivi di colata, di granigliatura e sbavatura dei getti.	I livelli di emissione associati alle BAT per queste operazioni sono: polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
utilizzo di combustibili puliti nei forni di trattamento	
gestione automatizzata dei forni di Trattamento Termico e del controllo dei bruciatori	
captazione ed evacuazione dei gas esausti prodotti nelle varie fasi della finitura	

#### **Acque di scarico**

separazione delle diverse tipologie di acque reflue	
Massimizzare i ricircoli interni delle acque di processo, ed il loro riutilizzo multiplo.	

trattamento utilizzando opportune tecniche, di tutte le acque dei processi di depurazione delle emissioni e, in generale, di tutte le acque reflue	
--	--

## **BAT PER LA FUSIONE DEI METALLI FERROSI**

### **Criteri di scelta del forno fusorio**

<p>La scelta del forno fusorio si basa su criteri economici e tecnici</p> <p>Per la fusione dell'acciaio si utilizzano sia forni elettrici ad arco (EAF ) che in forni ad induzione ( IF ) con criteri di scelta basati su ragioni tecniche ( es : capacità, tipologia di acciaio, ecc.). Grazie alla notevole capacità di affinazione, EAF permette la fusione di materiali di recupero di bassa qualità, che rappresenta un vantaggio in termini di riciclo, ma che richiedono un appropriato trattamento delle emissioni attraverso un sistema di depurazione, come verrà descritto in seguito. Per la fusione della ghisa si possono impiegare: il cubilotto, i forni elettrici ad arco, ad induzione ed i forni rotativi.</p> <p>Per ciascun tipo di forno sono definite specifiche BAT</p>
--

### **Fusione della ghisa al cubilotto**

In relazione al fabbisogno delle linee di colata può essere opportuno lavorare in duplex con un forno di attesa.	Questa pratica consente di evitare continue interruzioni nella marcia del cubilotto, ottimizzando i consumi energetici
Depurare i gas emessi adottando in sequenza il convogliamento, il raffreddamento e la depolverazione con sistemi a secco o ad umido	<p>Livelli di emissione associati alle BAT sono:</p> <p><b><u>Cubilotti a vento freddo</u></b></p> <p>Polveri: <math>\leq 20 \text{ mg/Nm}^3</math>  <math>\text{SO}_2</math> : <math>\leq 400 \text{ mg/Nm}^3</math>  <math>\text{NO}_x</math> : <math>\leq 70 \text{ mg/Nm}^3</math>  <math>\text{VOC (NM)}</math> : <math>\leq 20 \text{ mg/Nm}^3</math></p> <p><b><u>Cubilotti a vento caldo</u></b></p> <p>Polveri: <math>\leq 20 \text{ mg/Nm}^3</math></p>
Utilizzo di vento arricchito con O <sub>2</sub> nella misura del 1 – 4 % circa	
Adottare una buona pratica fusoria	
Impiegare coke di qualità conosciuta e controllata	
Utilizzo della post combustione dei gas per i Cubilotti a vento freddo, e recupero del calore per usi interni	
utilizzo di una camera di post combustione separata per i cubilotti a vento caldo, recuperando il calore per preriscaldare il vento e/o per altri usi interni.	
Valutare la possibilità di estendere il recupero del calore anche ai forni di attesa operanti in duplex	
Impiego di sistemi di depurazione delle emissioni ad umido nella fusione con marcia a scoria basica ((CaO % + MgO % ) / SiO <sub>2</sub> % > 2 ).	

Prevenire la formazione di diossina, attraverso misure primarie (interventi sul processo), o secondarie (tecniche di trattamento delle emissioni). <b>N.B.</b> Le tecniche specifiche di trattamento delle emissioni di diossina, non trovano una pratica applicazione nel settore delle fonderie.	CO : $\leq 1000 \text{ mg/Nm}^3$ SO <sub>2</sub> : $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$ NO <sub>x</sub> : $\leq 200 \text{ mg/Nm}^3$
Pretrattamento delle scorie (granulazione, frantumazione), per favorire riutilizzi esterni	Riduzione delle quantità di rifiuti da smaltire
Riutilizzo dei residui di coke (parzialmente bruciato), all'interno del forno	

### **Fusione di acciaio e ghisa al forno elettrico ad arco.**

Applicare affidabili sistemi di controllo di processo, per contenere i tempi di fusione e di trattamento del metallo fuso	Livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$ CO : $\leq 200 \text{ mg/Nm}^3$ NO <sub>x</sub> : $\leq 50 \text{ mg/Nm}^3$
Utilizzare pratiche di <i>schiumatura</i> delle scorie (iniezione di ossigeno e polvere di carbone nella scoria alla fine della fusione)	
Captazione dei fumi in emissione con tecniche ad alta efficienza	
Raffreddare i fumi in uscita ed abbattere le polveri utilizzando filtri a tessuto	

### **Fusione di acciaio e ghisa al forno elettrico ad induzione**

Impiego di energia elettrica a media frequenza per i nuovi impianti	Razionalizzazione dei consumi energetici, riduzione di emissioni e della quantità di scorie
Dove applicabile, recuperare il calore	
Usare rottami e ritorni puliti evitando ruggine, sporcizia e sabbia	
Captare i gas di scarico utilizzando tecniche idonee ad ottimizzare la captazione degli effluenti, durante tutte le fasi del ciclo operativo del forno.	I livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
Utilizzo, ove necessario per ottenere i livelli di emissione associati alle BAT indicati, di sistemi di depurazione delle emissioni a secco	

### **Fusione della ghisa al forno rotativo**

Adottare misure per aumentare l'efficienza del forno (regime del bruciatore, posizione del bruciatore, carica, composizione del metallo, temperature)	Aumento della resa termica e riduzione delle emissioni
Impiego di bruciatore ad ossigeno	
Captare i fumi in uscita del forno, utilizzare la post-combustione, raffreddare e depolverare con filtri a tessuto	Livelli di emissione associati alle BAT sono:

Prevenire la formazione di diossina, attraverso misure primarie (interventi sul processo), o secondarie (tecniche di trattamento delle emissioni). <b>N.B.</b> Le tecniche specifiche di trattamento delle emissioni di diossina, non trovano una pratica applicazione nel settore delle fonderie.	Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$ CO : $\leq 30 \text{ mg/Nm}^3$ NOx : $\leq 250 \text{ mg/Nm}^3$ SO <sub>2</sub> : $\leq 130 \text{ mg/Nm}^3$
---	--

### **Trattamento del metallo**

Nel caso di utilizzo di un convertitore AOD, per l'affinazione dell'acciaio, le BAT sono:	Livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estrarre e raccogliere i fumi mediante una cappa a calotta</li> </ul>	
Nella produzione della ghisa sferoidale, le BAT consistono nel:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Adottare una tecnica di sferoidizzazione senza sviluppo di gas. In alternativa catturare i fumi di MgO utilizzando un coperchio o una copertura con dispositivi di estrazione o una cappa mobile</li> <li>Depolverare le emissioni prodotte dal trattamento, usando filtri a maniche, rendendo possibile l'eventuale riutilizzo delle polveri di MgO(se esiste un mercato locale).</li> </ul>	

## **TECNICHE DI PRODUZIONE GETTI CON FORMA PERSA.**

In questa parte del documento, sono riportate le tecniche di realizzazione delle forme e delle anime con l'impiego di sabbia agglomerata con leganti inorganici argillosi (formatura a verde) e con leganti chimici.

Gli elementi BAT sono presentati, oltre che per le citate fasi produttive di formatura, anche per le successive operazioni di colata, raffreddamento e distaffatura, alle quali esse sono interconnesse.

### **Formatura in terra a verde**

La preparazione della terra a verde consiste nel miscelare la sabbia base con additivi e leganti in appositi mescolatori, in normale atmosfera o sotto vuoto.

Entrambi i metodi sono considerati BAT; i mescolatori sotto vuoto, trovano un utilizzo in impianti in cui la capacità produttiva della sabbia sia superiore alle 60 t/h.

Le BAT per gli impianti di preparazione della terra a verde sono le seguenti:

Chiudere tutte le unità operative dell'impianti di lavorazione delle terre (griglia vibrante, depolveratori della sabbia, raffreddatori, unità di miscelazione), e depolverare le emissioni, in accordo con i livelli di emissione associate alle BAT; se sussistono idonee condizioni di mercato, le polveri di abbattimento possono trovare un riutilizzo all'estero. Per quanto riguarda le parti fini aspirate nelle diverse postazioni del ciclo di lavorazione e di recupero (distaffatura, dosaggio e movimentazione), le BAT sono rappresentate dalle tecniche che ne consentono il reimpiego nel circuito delle terre, in percentuale maggiore del 50%.	Livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
Utilizzare tecniche di recupero delle terre. Le aggiunte di sabbia nuova dipende dalla quantità di anime presenti e dalla loro compatibilità con le tecniche di recupero impiegate. Per le sole terre a verde, la percentuale di recupero raggiungibile è del 98%. Sistemi con elevate percentuali di anime con leganti incompatibili con il sistema di recupero, possono raggiungere percentuali di riutilizzo fra il 90 e il 94%	

### **Formatura chimica**

Vengono utilizzati vari tipi di leganti, ciascuno con specifiche proprietà ed applicabilità. Tutti sono da considerarsi BAT se vengono impiegati secondo le buone pratiche discusse inerenti i controlli di processo e le tecniche di captazione delle emissioni per minimizzarne i livelli.

Per la preparazione di sabbie con agglomeranti chimici, le BAT consistono in

Minimizzare l'utilizzo di resine e leganti, utilizzando sistemi di controllo del processo (manuali o automatici), e di controllo della miscelazione. Per le produzioni di serie con frequenti cambi dei parametri produttivi, le BAT consistono nell'utilizzare sistemi di archiviazione elettronica dei parametri produttivi.	
Captazione delle emissioni dalle aree di produzione, di movimentazione e di stoccaggio delle anime prima della distribuzione.	Livelli di emissione associati alle BAT sono:

<p>Utilizzo di intonaci refrattari a base di H<sub>2</sub>O, in sostituzione degli intonaci con solvente ad alcol, per la verniciatura di forme ed anime nelle fonderie con produzioni di media e grande serie. L'utilizzo di vernici ad alcol rappresentano una BAT nel caso di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produzioni di forme ed anime complesse e di grandi dimensione.</li> <li>• utilizzo di sistemi con sabbia e silicato di sodio</li> <li>• produzione di getti in magnesio</li> <li>• produzione di getti in acciaio al manganese, con vernici a base di MgO</li> </ul> <p>entrambe le predette tecniche di verniciatura rappresentano delle BAT, per le fonderie con produzioni di piccole serie di getti e per le fonderie con produzioni su commessa. In queste tipologie di fonderie, lo sviluppo di tecniche con vernici ad acqua è legato alla disponibilità di sistemi di essiccazione a microonde o altre tecniche di essiccazione.</p> <p>Quando vengono utilizzate vernici ad alcol, le BAT sono rappresentate dall'utilizzo di sistemi di captazione delle emissioni prodotte, fissi o mobili, fatta eccezione per le fonderie con produzione di grossi getti con formatura "in campo", ove le cappe non possono essere utilizzate. In aggiunta, nel caso di produzione di anime con sistemi a base di resine fenoliche-poliuretaniche indurite con ammina, le BAT prevedono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• abbattimento delle emissioni prodotte utilizzando idonei sistemi quali: assorbimento su carbone attivo, abbattitori chimici (scrubber), post combustione, biofiltrazione.</li> <li>• Il recupero delle ammine dalle soluzioni esauste di abbattimento degli impianti chimici, per quantità che consentano l'operazione in termini economici</li> <li>• Utilizzo di resine formulate con solventi a base aromatica o a base vegetale</li> </ul>	<p>Polveri: <math>\leq 20 \text{ mg/Nm}^3</math>  Ammine: <math>\leq 5 \text{ mg/Nm}^3</math></p>
<p>Le BAT hanno come obiettivo la minimizzazione della quantità di sabbia avviata alla discarica, utilizzando sistemi di rigenerazione e/o di riutilizzo. Nel caso di rigenerazione, si applicano le seguenti condizioni:</p>	<p>Recuperare le sabbie all'interno del ciclo delle sabbie, solo in sistemi compatibili. Sabbie non compatibili sono tenute separate, per altri tipi di riutilizzo</p>
<p>Per le sabbie con leganti con indurimento a freddo (i.e. sabbie con resina furanica), utilizzo di sistemi di recupero di tipo meccanico, ad eccezione dei sistemi con silicato di sodio. La resa del processo di recupero, è del 75-80 %.</p>	
<p>La sabbia con silicato è rigenerata utilizzando trattamenti termici e pneumatici. La resa del recupero è compresa fra 45 e 85 %. Deve essere ridotto l'utilizzo di esteri a lenta reazione</p>	

Sabbie derivanti da processi in cassa d'anima fredda (cold box), SO <sub>2</sub> , cassa d'anima calda (hot box) e Croning, e miscele di sabbie con leganti organici, vengono rigenerate utilizzando una delle seguenti tecniche: rigenerazione meccanica a freddo (i.e. sistemi ad abrasione, sistemi ad impatto, sistemi pneumatici) o rigenerazione termica. La percentuale di recupero raggiungibile (resa), dipende dalla quantità di anime utilizzate. La sabbia rigenerata può essere riutilizzata per la produzione di anime in misura compresa fra il 40 e il 100 %.	Livelli di emissione associati alle BAT per le attività di recupero sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$ Nox : $\leq 150 \text{ mg/Nm}^3$ (recupero termico) SO <sub>2</sub> : $\leq 120 \text{ mg/Nm}^3$ (recupero termico)
Miscele di terra a verde e sabbie con leganti organici, vengono rigenerate utilizzando processi di recupero meccanico-termico-meccanico, □ fogliatura per abrasione o pneumatica. La sabbia recuperata può essere riutilizzata per la produzione di anime nella misura dal 40 al 100%, e per la produzione di forme nella misura dal 90 al 100%.	
Monitorare la qualità e la composizione delle sabbie rigenerate	

### **Colata, raffreddamento e distaffatura**

Le fasi di colata, raffreddamento e di distaffatura, producono emissioni di polveri, SOV ed altri composti organici. In queste fasi le BAT sono

Nelle linee di produzione di serie, aspirare le emissioni prodotte durante la colata e racchiudere le linee di raffreddamento, captare le emissioni prodotte Racchiudere le postazioni di distaffatura/serratura, e trattare le emissioni utilizzando cicloni, associati a sistemi di depolverazione ad umido o a secco	Livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
Per le produzioni di grossi getti, colati "in campo" o "in fossa", ove il lay out non consente di installare cappe per aspirazione localizzata, realizzare una adeguata ventilazione generale.	

### **TECNICHE DI PRODUZIONE GETTI COLATI IN FORMA PERMANENTE**

Queste tecniche prevedono la colata della lega liquida in una forma metallica (stampo, conchiglia) dalle quali il getto è estratto dopo solidificazione per procedere alle eventuali successive fasi di lavorazione (finitura). In alcuni processi, trovano un limitato utilizzo anime con leganti chimici, e precisamente: nella colata per gravità in conchiglia, nella colata per centrifugazione o nella colata a bassa pressione.

Le BAT per la produzione di getti con forma permanente prevedono:

captare le emissioni prodotte nella fase di colata ed eventualmente trattarle con sistemi ad umido o a secco	Livelli di emissione associati alle BAT sono: Polveri: $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$
Recuperare/riciclare gli eventuali residui di forma e/o anime presenti	

## 6. Approfondimenti

Le informazioni che possono essere desunte dall'analisi dei BREF non si esauriscono nell'elencazione delle BAT; in essi è infatti reperibile una considerevole quantità di dati inerenti alle produzioni ed agli impatti ambientali, nonché di indicazioni sulle tendenze tecnologiche e gli sviluppi del settore.

Questa disponibilità di informazioni si presta ad effettuare delle considerazioni più generali sui problemi ambientali del settore, che al di là dello studio d'un singolo impianto, possono arricchire l'analisi delle tematiche sulle BAT, anche se non sono strettamente legate alle Linee Guida.

In quest'ottica si è ritenuto interessante riportare in questo capitolo alcune considerazioni generali inerenti gli aspetti del rumore, dei rifiuti solidi e dei monitoraggi.

### 6.1 Considerazioni sul rumore

Nelle considerazioni generali introduttive il BREF mette in evidenza la difficoltà di controllare l'inquinamento da rumore e da vibrazioni; a differenza delle emissioni in atmosfera, del trattamento delle acque e della produzione di rifiuti solidi, per i quali si hanno tecnologie ed informazioni adeguate per effettuarne il controllo e la gestione, per il rumore non sono ancora sufficienti le conoscenze ed i metodi per minimizzarlo.

La complessità di questa tematica può essere messa in evidenza con la rappresentazione del fenomeno riportata di seguito.

Qualsiasi configurazione di rumore riscontrabile nella realtà, dalla più semplice alla più complessa, è riconducibile allo schema illustrato nella Fig.1 che costituisce un utile riferimento sia per rappresentare in modo semplificato il fenomeno fisico, sia soprattutto per stabilire in modo esaustivo ed organico i criteri mediante i quali si può ridurre il livello sonoro immesso in un ambiente.

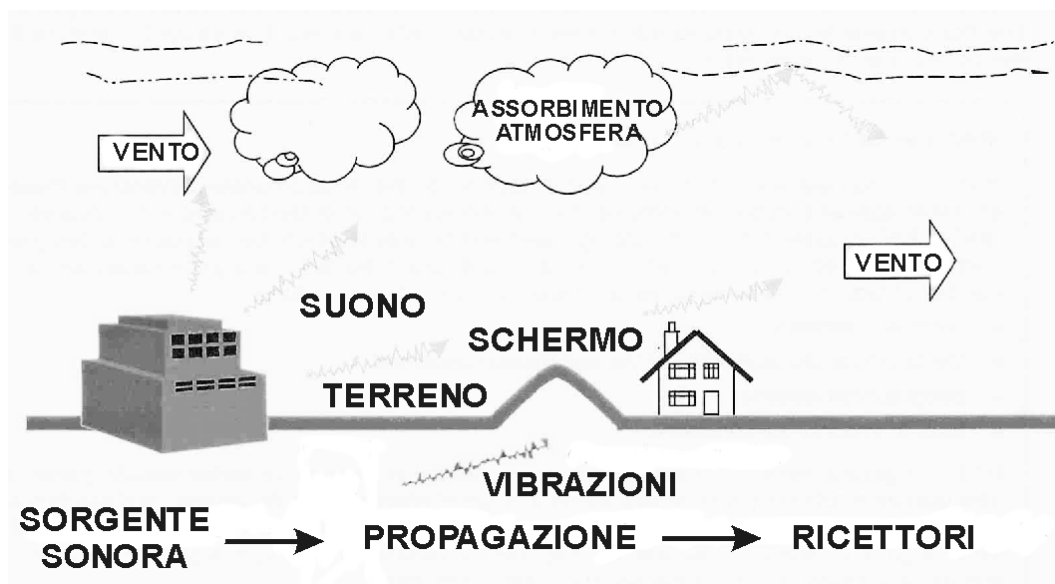


Fig.1

Evidentemente, i primi interventi da effettuare sono quelli sulla sorgente sonora; questo tipo di interventi sono da privilegiare rispetto a quelli realizzati in prossimità dei ricettori in quanto agiscono sulle cause e sono acusticamente più efficaci, mentre gli interventi sui ricettori agiscono sugli effetti,

sono meno efficaci e meno accettati dai ricettori stessi. L'efficienza degli interventi è tanto maggiore quanto più la loro attuazione è prevista già nella progettazione dei macchinari e nella pianificazione dei processi; di contro, la bonifica acustica di macchine, attrezzature, impianti, processi di lavorazione (cioè dei punti di generazione) assai spesso è il risultato dell'applicazione di procedure e criteri molto approssimativi, derivanti da una insufficiente conoscenza delle tecnologie disponibili e/o da luoghi comuni, esperienze parziali.

Modifiche successive possono essere difficilmente realizzabili, anche perché alterano la funzionalità della macchina e/o del processo, sono costose e acusticamente meno efficaci; inoltre è difficile trovare una strategia comune per impianti che, pur effettuando lo stesso tipo di produzione, hanno una distribuzione spaziale (lay-out) di processi e conseguenti sorgenti molto diverse tra loro.

E' questo complesso di difficoltà che non consente di avere delle BAT per il rumore in un quadro di riferimento certo ed esaustivo.

Ciononostante, dove è stato possibile, sono state riportate anche per il rumore le indicazioni di alcune BAT.

Oltre alla sorgente sonora, ulteriori interventi a tutela dal rumore, possono essere effettuati prendendo in considerazione le vie di trasmissione e propagazione e le condizioni di ricezione del rumore stesso, soprattutto nel caso di impianti esistenti.

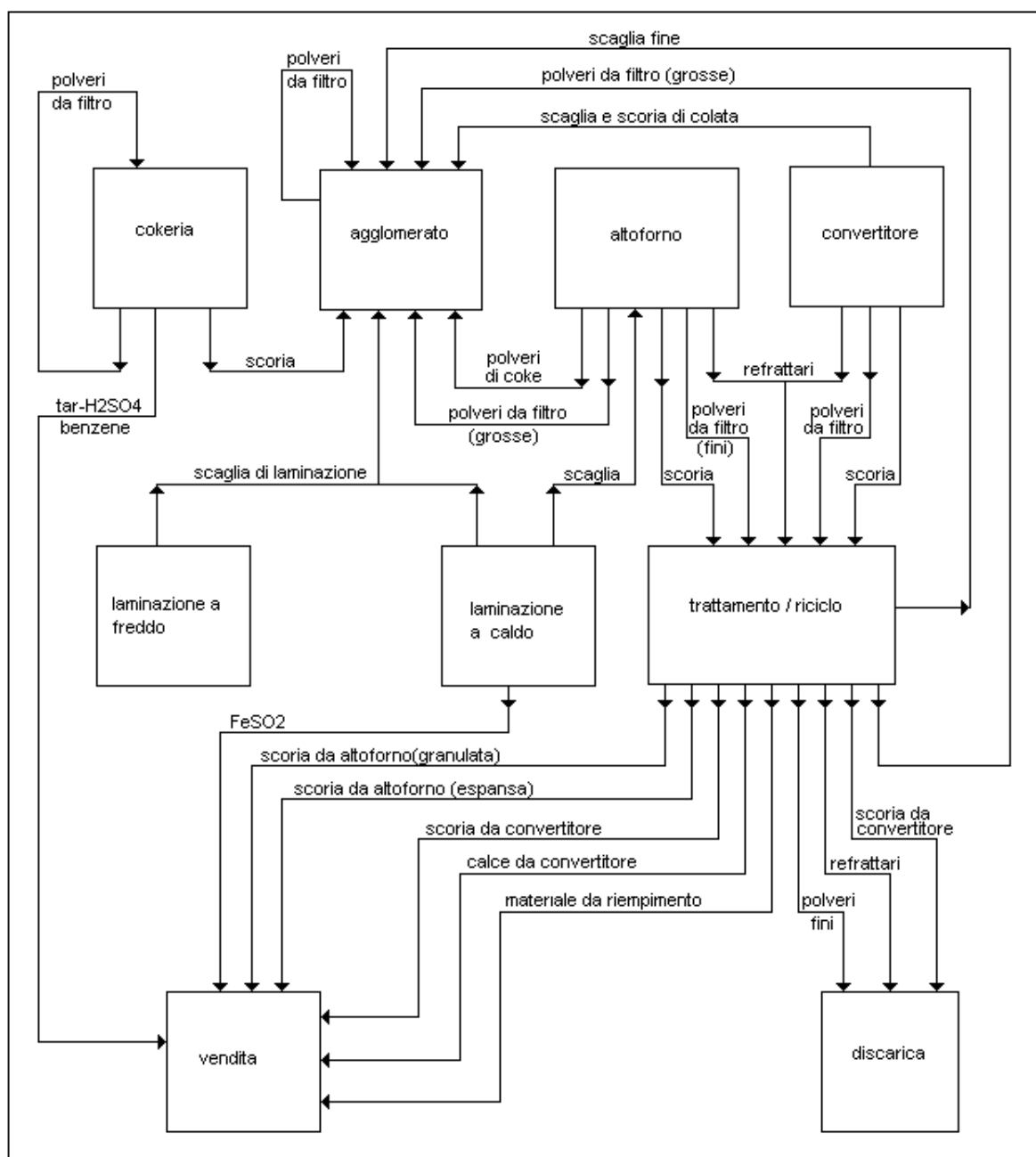
Evidentemente, in questo caso, la tematica fuoriesce dal sito aziendale, per coinvolgere l'ambiente esterno e le differenti condizioni di propagazione e ricezione. La valutazione di metodi per la minimizzazione del rumore, in questo contesto, non attiene più ad un BREF di settore, ma può essere il risultato anche di uno studio più generale che non prenda in considerazione la sorgente sonora.

Indicazioni in tal senso possono essere individuate nei riferimenti normativi specifici per il settore industriale, come quelli riportati nel capitolo 1; ma validi suggerimenti sugli interventi di risanamento, i criteri di progettazione e la valutazione delle priorità di intervento possono essere mutuati da normative di altri settori; in particolare si segnala il decreto del Ministero dell'Ambiente del 29-11-2000 ("Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore") ed i suoi Allegati, che trattano del contenimento e dell'abbattimento delle immissioni rumorose derivanti dai sistemi pubblici di trasporto e relative infrastrutture.

## **6.2 Rifiuti solidi e sottoprodotti**

Tra i rifiuti solidi ed i sottoprodotti del settore siderurgico, le quantità di riutilizzo e di riciclo hanno subito un notevole incremento nel recente passato, ma tuttora considerevoli quantità sono disposte in discarica.

La **figura 1** indica i tipici flussi di materia nella gestione dei residui e dei sottoprodotti in un'acciaieria a ciclo integrale.



Come indicazione generale, si può dire che quando le polveri, i fanghi e le scaglie di laminazione hanno un contenuto in ferro od in carbone abbastanza alto (normalmente >50 %), queste possono essere riciclate nell'impianto di agglomerazione e considerate come materie prime. Anche materiali con alto contenuto di calcare possono essere riciclati, riducendo quindi l'apporto diretto di calcare; attualmente, tutti gli impianti di agglomerazione oggi operanti riciclano polveri, fanghi e scorie di laminazione, con una percentuale di alimentazione compresa tra il 10/20 %.

Accertato, quindi, che l'impianto di agglomerazione, accanto al proprio processo di sinterizzazione, gioca anche l'importante ruolo di riciclare gran parte dei residui per i quali non esiste un'alternativa differente, si può affermare che esso può essere considerato come il "digestore di un'acciaieria a ciclo integrale".

Soltanto una piccola parte, intorno al 16%, di tutte le quantità di residuo prodotte finisce poi in discarica. Tra queste ci sono le polveri fini raccolte nell'impianto di trattamento del gas d'altoforno (BF gas), gli inerti, le polveri fini raccolte negli impianti di trattamento dei fumi dell'acciaieria e, in alcuni casi, i cloruri alcalini ed i cloruri di metalli pesanti presenti nell'ultimo stadio dei precipitatori elettrostatici che trattano i fumi del letto di agglomerazione.

Nella **tabella 1** sono riportati i valori medi delle quantità di rifiuti prodotti in un centro siderurgico a ciclo integrale, nonché i valori medi (anche in %) delle quantità smaltite in discarica; per avere la possibilità di confrontare ed elaborare i dati, le quantità sono state tutte riferite alla tonnellata di acciaio liquido (LS), utilizzando i fattori di conversione usuali (940 kg di ghisa/t LS).

La presenza di range di valori così vasti si giustifica con le diverse realtà impiantistiche nei paesi UE; impianti progettati negli anni sessanta si affiancano ad impianti recentissimi più orientati al recupero e al riciclo.

Rifiuti-residui-sottoprodotti	Quantità Specifiche kg/t LS	Quantità in <i>Discarica</i> (%) kg/t LS	
<b><u>Impianto d'agglomerazione</u></b>	0,9-15	?	?
*polveri			
<b><u>Cokerie</u></b>	-	-	-
<b>Altoforni</b>			
*polveri dai fumi di colata	0,5-1,5	?	?
	6-16	-	-
*polveri dal trattamento gas	3-5	100	3-5
*fanghi dal trattamento gas	200-280	2	4-5,6
*scoria	14-25	100	14-25
*refrattari dismessi			
<b>Impianto di desolforazione</b>	9-18	41	4-8
<b>Acciaieria ad ossigeno</b>			
*polverigrosse dal trattamento gas	3-12	12	0,4-1,4
	9-15	42	3,8-6,3
*polveri fini dal trattamento gas	99	26	26
*scoria da convertitore	34	9	3
*scorie da siviera, mixer, tundish	11	?	?
*scorie da metallurgia secondaria	6	76	4,6
*refrattari dismessi			
<b><i>totale</i></b>	395,4-537,5		62,8-84,9
<b><i>Acciaieria Elettrica</i></b>			
*Scorie per la produzione di			
*acciai al carbonio	129	69	89
*acciai basso legati	109	59	64
*acciai alto legati e inossidabili	161	34	55
*polveri dal trattamento fumi	15	63	9,5
<b><i>Colata Continua</i></b>	4-6	-	-

**Tab.1.3: Quantità specifiche medie di rifiuti prodotti e disposti in discarica**  
 (-) quantità trascurabile      (?) non determinata e comunque non significativa

Per quanto modesta sia la percentuale dei residui disposti in discarica (16%), le quantità in gioco sono ancora significative, come è facile constatare anche con riferimento all'industria italiana; prendendo in esame la produzione d'acciaio del 1998, che ammonta a 25.782.272 tonnellate, di cui 14.301.255 prodotte in acciaieria elettrica, e considerando che quest'ultimo si suddivide per il 68% in acciai al carbonio e per il restante 32% ugualmente ripartito fra gli acciai basso ed alto legati, l'applicazione della tabella 1.3 porta alla dismissione in discarica di 2,0-2,25 Mt, range in cui ricade il valore fornito dalle rilevazioni del MUD (2,2).

Nell'analisi della tabella si possono distinguere i contributi provenienti da un'alta produzione specifica con bassa percentuale in discarica (per es. la scoria d'altoforno), dai contributi provenienti da una

bassa produzione specifica con alta percentuale in discarica (situazione tipica per i refrattari); evidentemente queste due situazioni, ai fini di ottimizzare il riciclo, vanno riguardate diversamente: nella prima è necessario diminuire la quantità del rifiuto, nella seconda occorre modificarne la qualità e renderlo più recuperabile.

Più critica è la situazione in cui la produzione specifica e la percentuale in discarica hanno entrambe un certo peso, come avviene per le scorie dell'acciaieria elettrica; in effetti la ricerca di maggiori recuperi in questo settore ha già portato a risultati molto lontani dai valori medi espressi in tabella.

Proseguendo nell'analisi dei singoli impianti, tra le BAT presentate, si possono cogliere delle utili indicazioni sulle azioni da intraprendere per migliorare le prestazioni di recupero e di riciclo. Per esempio, il trattamento delle polveri provenienti dai fumi, nelle acciaierie elettriche, trova sempre più spazio perché finalizzato al recupero dello zinco ed alla rimozione o al recupero di altri metalli pesanti (processo Waelz); anche il trattamento della scoria da fusione, in qualche impianto, ha ridotto di molto (al 10%) l'invio in discarica; mentre non si hanno significative informazioni, anche qualitative, sul materiale refrattario dismesso.

Dalla tab.1 abbiamo già osservato che il settore siderurgico italiano comporta annualmente la dismissione in discarica di 2,2 Mton di rifiuti solidi, dato in perfetto accordo con la consuntivazione dei dati MUD; questa corrispondenza del dato complessivo non si riscontra, invece, tra le singole voci; il BREF, infatti, indica come quantità più significative, le scorie non trasformate (400.000 ton) ed i refrattari inutilizzabili (340.000 ton) per la parte proveniente dall'acciaieria a ciclo integrale, le scorie da fusione (1140 ton) e le polveri da trattamento gas (135.000 ton) per la parte proveniente da acciaieria elettrica; i dati consuntivati da MUD danno, invece, rispettivamente: 710.000 ton per le scorie non trasformate, 150.000 ton per i refrattari, 300.000 ton per le scorie da fusione; 240.000 per le polveri da trattamento fumi, 170.000 per i fanghi; valori quindi sostanzialmente diversi, che si allineano nel totale per la presenza di una voce di rifiuti non determinati per ben 550.000 ton.

Le indicazioni riportate nella descrizione dei singoli impianti potrebbero essere d'aiuto anche per superare questa incertezza sulla conoscenza dei dati, consentendo di intervenire su quella percentuale di rifiuti che prende ancora la via della discarica.

## 6.3 Monitoraggi

### 6.3.1 Siderurgia

#### CONTROLLO DELLE EMISSIONI IN ARIA

I parametri caratteristici di ciascun processo produttivo sono controllati in linea al fine di ottenere i prodotti intermedi e finali con le caratteristiche qualitative idonee.

Il conseguimento delle caratteristiche idonee di qualità dei prodotti intermedi e finali è per alcuni versi correlato alla determinazione di un minor impatto ambientale. Conseguentemente le attività per il controllo della qualità del prodotto, determinano indirettamente un controllo anche dell'impatto ambientale derivante dai vari processi di trasformazione.

In associazione a quanto sopra risulta significativo anche il controllo periodico del corretto funzionamento dei sistemi di abbattimento e di quelli atti a limitare il fenomeno emissivo, la cui tipologia di intervento è differenziata a seconda del tipo di sistema (filtro a tessuto, elettrofiltro, filtro ad umido, ecc...).

Per quanto attiene il controllo delle emissioni convogliate in atmosfera sono di seguito riportati i parametri significativi e le frequenze di monitoraggio, nonché nel caso della cokeria i parametri e le relative frequenze per il controllo delle emissioni dagli elementi di tenuta delle batterie di forni a coke e dallo spegnimento ad umido del coke.

#### COKERIA

- Emissioni convogliate da:

- **Preparazione miscela di carbon fossili**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

- **Cokefazione (combustione)**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
SOx	Annuale
NOx	Annuale

- **Sfornamento del coke**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

- **Trattamento coke**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

- Emissioni da porte, coperchi di carica, coperchi dei tubi di sviluppo

PARAMETRI	FREQUENZA
Percentuale di porte e sportelletti con emissioni visibili	Semestrale
Percentuale di coperchi di carica con emissioni visibili	Semestrale
Percentuale di coperchi dei tubi di sviluppo con emissioni visibili	Semestrale

*Nota: La determinazione dei suddetti parametri consente di controllare le emissioni dai suddetti elementi di tenuta della cokeria, ai fini della limitazione degli inquinanti caratteristici, principalmente costituiti da IPA e benzene*

- Emissioni dalla torre di spegnimento ad umido del coke

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

*Nota: Determinazione con metodo VDI 2303 (Guideline for sampling and measurement of dust emission from wet quenching) delle emissioni di polveri trascinate con il vapore dalla torre di spegnimento ad umido del coke*

### **AGGLOMERATO**

- Emissioni convogliate da:
  - Omogeneizzazione e miscelazione materiali**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

- Sinterizzazione**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
SO <sub>x</sub>	Annuale
NO <sub>x</sub>	Annuale
CO	Annuale
Composti organici volatili non metanici (COVNM)	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale
IPA (DM 12/07/90 All.1, tab.1)	Annuale
PCDD/F (come TEQ)	Annuale

– Raffreddamento e trattamento agglomerato

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

**ALTOFORNO**

• Emissioni convogliate da:

– Caricamento materiali (stock-house)

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

– Generazione del vento caldo (Cowper)

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
SO <sub>x</sub>	Annuale
NO <sub>x</sub>	Annuale

– Processo di riduzione in altoforno (Preparazione carbon fossile polverizzato per P.C.I. (macinazione–essiccamento)

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
SO <sub>x</sub>	Annuale
NO <sub>x</sub>	Annuale

– Colaggio ghisa e loppa

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
SO <sub>x</sub>	Annuale

## **ACCIAIERIA AD OSSIGENO**

- Emissioni convogliate da:

- **Trasferimento e pretrattamento della ghisa fusa**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale

- **Affinazione della ghisa (Sistema con combustione del gas di acciaieria) (\*)**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
CO	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale

Nota: (\*) Nel sistema a combustione soppressa il gas di acciaieria viene recuperato

- **(Carica convertitore – Spillaggio acciaio)**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale

- **Trattamento metallurgico secondario dell'acciaio**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale

- **Colaggio acciaio**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

## **LAMINAZIONE A CALDO**

- Emissioni convogliate da:

- **Condizionamento del semilavorato**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

- **Riscaldamento del semilavorato**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
*SO <sub>x</sub>	Annuale
NO <sub>x</sub>	Annuale

- **Laminazione (Finitore – Spianatura)**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

\* Solamente per utilizzo di combustibili diversi da metano

## **ACCIAIERIA ELETTRICA**

- Emissioni convogliate da:

- **Carica-fusione-spillaggio EAF**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
NO <sub>x</sub>	Annuale
CO	Annuale
Composti organici volatili non metanici (COVNM)	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale
IPA (DM 12/07/90 All.1, tab.1)	Annuale
PCDD/F (come TEQ)	Annuale

- **Trattamenti di metallurgia secondaria**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale
Metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)	Annuale

- **Colata continua**

PARAMETRI	FREQUENZA
Polveri	Annuale

### 6.3.2 Fonderia

Nella tabella seguente vengono individuate le attività di monitoraggio necessarie a verificare la conformità degli impianti di produzione alle indicazioni delle BAT per il settore delle fonderie di metalli ferrosi.

Le singole indicazioni sono riferite alle varie fasi del processo produttivo ed agli specifici impianti e/o tecniche riportate nelle pagine precedenti del documento sulle linee guida per l'applicazione delle BAT al settore.

Se del caso, vengono riportate specifiche indicazioni sulle condizioni operative (fasi produttive, carico dell'impianto, ecc), alle quali il piano di monitoraggio deve riferirsi, per una corretta valutazione delle performance relative.

Con riferimento specifico agli impianti di depurazione delle emissioni, vengono riportate indicazioni relative a eventuali parametri di processo che è opportuno monitorare per verificarne il corretto funzionamento.

FASE PRODUTTIVA	IMPIANTO E/O PROCESSO	PARAMETRO	FREQUENZA
Fusione	Cubilotti a vento freddo (CBC)	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• Silice libera cristallina</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>)</li> <li>• Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• COVNM (come C totale)</li> <li>• Policlorodibenzodiossine e polidiclorobenzofurani (PCDD + PCDF) (totale espressi come TEQ)</li> </ul>	Annuale
Fusione	Cubilotto a vento caldo	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• Silice libera cristallina</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>)</li> <li>• Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• COVNM (come C totale)</li> <li>• Policlorodibenzodiossine e polidiclorobenzofurani (PCDD + PCDF) (totale espressi come TEQ)</li> </ul>	semestrale
			semestrale
			semestrale
			semestrale
			semestrale
			Annuale
	Camera post combustione	Temperatura	continuo

Fusione	Forno ad arco	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• Silice libera cristallina</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• COVNM (come C totale)</li> <li>• Policlorodibenzodiossine e polidiclorobenzofurani (PCDD + PCDF)</li> </ul> (totale espressi come TEQ)	Annuale
Fusione	Forno ad induzione	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• COVNM (come C totale)</li> </ul>	annuale
Fusione	Forno rotativo	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• Silice libera cristallina</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) <sup>(1)</sup></li> <li>• Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• COVNM (come C totale)</li> <li>• Policlorodibenzodiossine e polidiclorobenzofurani (PCDD + PCDF)</li> </ul> (totale espressi come TEQ)	Annuale
<sup>(1)</sup> Solo nel caso di utilizzo di combustibili contenenti S			
Trattamento del metallo	Aff.ne in convertitore AOD	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Metalli:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadmio</li> <li>- Nichel</li> <li>- Piombo</li> <li>- Arsenico</li> <li>- Rame</li> <li>- Cromo</li> <li>- zinco</li> </ul> </li> <li>• Monossido di carbonio</li> </ul>	Annuale

Trattamento del metallo	Sferoidizzazione GS	Emissioni: • Polveri totali • MgO	annuale
Formatura	Formatura “a verde”	Emissioni: • Polveri totali	annuale
	Ciclo recupero terre	Emissioni: • Polveri totali	annuale
	A guscio (shell molding)	Emissioni: • Polveri totali • Fenolo • Formaldeide • Ammoniaca	annuale
	Resine alcalino - fenoliche	Emissioni: • Fenolo • Formaldeide • Formiato di metile <sup>(2)</sup> • Esteri <sup>(3)</sup>	annuale
<sup>(2)</sup> processi con indurimento per gasaggio - <sup>(3)</sup> processi autoindurenti			
Formatura	Resine fenolico - uretaniche	Emissioni: • Fenolo • Isocianato (MDI) • ammina <sup>(2)</sup>	annuale
<sup>(2)</sup> processi con indurimento per gasaggio			
Formatura	Resine furaniche / fenoliche (catalizzatori acidi)	Emissioni: • Fenolo • Formaldeide • Alcol furfurilico • Idrogeno solforato	annuale
Formatura	Processi con resine termoidurenti (Hot box)	Emissioni: • Fenolo • Formaldeide • Alcol furfurilico • Ammoniaca	annuale
Verniciatura forme/anime	verniciatura	Emissioni: • SOV	annuale
Colata/raffreddamento	Formatura “a verde”	Emissioni:	annuale
		• Polveri totali	
		• Monossido di carbonio	
		• SOV	
Colata/raffreddamento	A guscio (shell molding)	Emissioni:	annuale
		• Polveri totali	
Colata/raffreddamento	A guscio (shell molding)	• Monossido di carbonio	annuale
		• Fenolo	
		• ammoniaca	
		• aldeidi	
		• benzene	
Colata/raffreddamento	Resine alcalino - fenoliche	• IPA	annuale
		Emissioni:	
		• Polveri totali	
		• Monossido di carbonio	
		• Fenolo	
		• Formaldeide	
Colata/raffreddamento		• SOV	annuale

Colata/raffreddamento	Resine fenoliche - uretaniche	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di azoto</li> <li>• Formaldeide</li> <li>• Fenolo</li> <li>• Ammoniaca</li> <li>• SOV</li> </ul>	annuale
Colata/raffreddamento	Resine furaniche / fenoliche (catalizzatori acidi)	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Formaldeide</li> <li>• Fenolo</li> <li>• Ammoniaca</li> <li>• Anidride solforosa</li> <li>• SOV</li> </ul>	annuale
Colata/raffreddamento	Processi con resine termoindurenti (Hot box)	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Ossidi di azoto</li> <li>• Formaldeide</li> <li>• Fenolo</li> <li>• SOV</li> <li>• Ammoniaca</li> </ul>	annuale
Colata/raffreddamento	Silicato / esteri	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monossido di carbonio</li> <li>• Acido acetico</li> <li>• Acetone</li> <li>• acroleina</li> </ul>	annuale
Distaffatura / sterratura	Distaffatura / sterratura	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> </ul>	annuale
	Recupero sabbie	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> <li>• SOV <sup>(4)</sup></li> </ul>	annuale
<sup>(4)</sup> Per processi di recupero a caldo			
Finitura	granigliatura	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> </ul>	annuale
	Sbavatura / molatura	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> </ul>	annuale
	Taglio materozze / attacchi	Emissioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polveri totali</li> </ul>	annuale

### Depurazione emissioni

varie	Filtro a tessuto	Pressione differenziale filtro Temperatura fumi	continuo
	Abbattitori chimici (scrubber)	PH soluzione di lavaggio	continuo
	Biofiltro - bioscrubber	COD soluzione di lavaggio	continuo

## **ALLEGATO (1)**

*Identificazione della normativa ambientale rilevante di settore – Riferimenti impiantistici*

### **Inquinamento atmosferico e contenimento delle emissioni inquinanti**

#### **D.P.C.M. 21 luglio 1989 (attuazione e interpretazione del Dpr 203/1988)**

“Atto di indirizzo e coordinamento alle Regioni, ai sensi dell'articolo 9 della legge 8 luglio 1986, n. 349, per l'attuazione e l'interpretazione del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, recante norme in materia di qualità dell'aria relativamente a specifici agenti inquinanti e di inquinamento prodotto da impianti industriali (G. U. n. 171 del 24 luglio 1989)”

Le cokerie, gli impianti integrati di produzione di ghisa e di acciaio greggio e gli impianti per la produzione e trasformazione dei metalli sono inclusi nell'allegato I e pertanto devono presentare la domanda di autorizzazione ai sensi degli articoli 12 o 17 del Dpr n. 203

#### **D.M. 12 luglio 1990**

“Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione (G.U. n. 176 del 30 luglio 1990, S.O.).”

Nell'allegato 2 (valori di emissione per specificate tipologie di impianti) vengono forniti i limiti di emissione i per i seguenti tipi di impianti:

- Impianti di distillazione a secco del carbone (cokerie) (par.14)
- Impianti per l'agglomerazione del minerale di ferro (par.15)
- Impianti per la produzione di ghisa (par.16)
- Impianti per la produzione d'acciaio per mezzo di convertitori, forni ad arco elettrici, e forni di fusione sotto vuoto (par.17)
- Fonderie di ghisa, d'acciaio (par.18)
- Forni di riscaldamento e per trattamenti termici, per impianti laminazione ed altre deformazioni plastiche (par.19)
- Impianti di zincatura a caldo (par.20)
- Impianti di trattamento di superfici metalliche con uso di acido nitrico (par.21)

Nell'allegato 1 sono specificati i limiti per gli inquinanti non citati nell'allegato 2;

L'allegato 4 riporta i metodi di campionamento, analisi e valutazione delle emissioni;

L'allegato 5 dà delle indicazioni su alcune tecnologie disponibili negli impianti di abbattimento

#### **D.P.R. 25 luglio 1991**

“Modifiche all'atto di indirizzo e coordinamento in materia di emissioni poco significative e di attività a ridotto inquinamento atmosferico, emanato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 21 luglio 1989 (G.U. n. 175 del 27 luglio 1991)”

Lo sgrassaggio superficiale dei metalli con consumo di solventi non superiore a 10 kg/g è una attività a ridotto inquinamento atmosferico

## **Decisione del consiglio del 4 aprile 2001**

“Approvazione, a nome della Comunità europea, del protocollo della convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza relativo ai metalli pesanti (2001/379/CE) (GUCE n. L 134/40 del 17/5/2001)”

Le parti contraenti il protocollo devono applicare le migliori tecniche disponibili (indicate nell'allegato III) agli impianti rientranti nelle categorie di “grandi fonti fisse”, elencate in allegato II, entro determinate scadenze.

Rientrano nell'allegato II, e quindi nelle suddette categorie di “grandi fonti fisse”, i seguenti impianti:

- Impianti di produzione di ghisa e acciaio
- Fonderie di metalli ferrosi
- Impianti di sinterizzazione o arrostitimento di minerale metallico

## **D.P.R. 26 ottobre 2001, n. 416**

“Regolamento recante norme per l'applicazione della tassa sulle emissioni di anidride solforosa e di ossidi di azoto, ai sensi dell'articolo 17, comma 29, della legge n. 449 del 1997. (G.U. n. 277 del 28 novembre 2001)”

Nell'articolo 1 si dice chiaramente che tra gli impianti di combustione che sono soggetti alla tassa sulle emissioni di anidride solforosa e di ossidi di azoto non sono comprese le batterie di forni per coke, cowper degli altoforni, forni di riscaldamento, forni di trattamento termico, ecc.

## **Proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 10 dicembre 2001<sup>(\*)</sup>**

“Istituisce una disciplina per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio. (Documento 501PC0581, fornito in data 10/12/2001)”

Il sistema di scambio di quote di emissione di gas serra (che verrebbe applicato inizialmente solo alla CO<sub>2</sub>) proposto nel documento verrebbe applicato alle categorie di attività elencate nell'allegato I; si tratta delle principali attività produttrici di gas a effetto serra, già disciplinate dalla direttiva IPPC. Tra le categorie di attività elencate in allegato I, ci sono quindi anche gli impianti destinati alla produzione di ghisa e acciaio, gli impianti per l'arrostitimento o la sinterizzazione dei minerali metallici e le cokerie.

La proposta consente agli Stati membri di far proprie le procedure di autorizzazione previste dalla direttiva IPPC, ma queste devono prevedere la concessione di un nuovo tipo di autorizzazione (l'autorizzazione di emettere gas a effetto serra) basata sulla presentazione di informazioni supplementari rispetto a quelli attualmente prescritte dalla direttiva IPPC.

## **V.I.A. e gestione integrata dell'inquinamento (IPPC)**

### ***Direttiva 337/85/CEE***

“Direttiva del Consiglio concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati (G.U.C.E. n. L 175 del 5 luglio 1985)”

Le acciaierie integrate di prima fusione della ghisa e dell'acciaio sono inclusi nell'allegato 1 della Direttiva e quindi tra i progetti che formano oggetto di una Valutazione di Impatto Ambientale; le cokerie e gli impianti per la trasformazione dei metalli sono inclusi nell'allegato 2 della Direttiva

e quindi tra i progetti che formano oggetto di una Valutazione di Impatto Ambientale, quando gli Stati membri ritengono che le loro caratteristiche lo richiedano.

#### **LEGGE 8 luglio 1986, n. 349**

“Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale (G.U. n. 162, 15 luglio 1986, S. O.)”

Nell'articolo 6, comma 2 si dichiara che in attesa dell'attuazione legislativa delle direttive comunitarie in materia di impatto ambientale, le norme tecniche e le categorie di opere in grado di produrre rilevanti modificazioni dell'ambiente sono individuate conformemente alla direttiva del Consiglio delle Comunità europee n. 85/337 del 27 giugno 1985.

#### **D.P.C.M. 27 dicembre 1988**

“Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 1988, n. 377 (G.U. n. 4 del 5 gennaio 1989).”

Sono riportate le norme per effettuare la valutazione di impatto ambientale per le acciaierie integrate di prima fusione della ghisa e dell'acciaio

#### **D.M. (Sanità) 5 settembre 1994**

“Elenco delle industrie insalubri di cui all'art. 216 del testo unico delle leggi sanitarie (G.U. n. 220 del 20 settembre 1994, S.O.)”

Nella Parte I– (Industrie Di Prima Classe), lettera B (prodotti e materiali) dell'allegato, vengono comprese la produzione di coke, ferro, ghisa, acciaio e le lavorazioni come tranciatura, forgiatura, laminazione a caldo e a freddo dei metalli.

#### **D.P.R. 12 aprile 1996**

“Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale (G.U. n. 210 del 7 settembre 1996)”

Gli impianti di arrostitimento o sinterizzazione di minerali metalliferi che superino 5.000 m<sup>2</sup> di superficie impegnata o 50.000 mc di volume, gli impianti di produzione di ghisa o acciaio (fusione primaria o secondaria) compresa la relativa colata continua di capacità superiore a 2,5 tonnellate all'ora, gli impianti destinati alla trasformazione di metalli ferrosi e le fonderie di metalli ferrosi con una capacità di produzione superiore a 20 tonnellate al giorno, sono inseriti nell'allegato B.

Sono pertanto assoggettati alla procedura di valutazione d'impatto ambientale i progetti di cui all'allegato B che ricadono, anche parzialmente, all'interno di aree naturali protette come definite dalla legge 6 dicembre 1991, n. 394.

### **Dir. 96/61/CE (IPPC)**

“Direttiva 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (GUCE n. L 257 del 10/10/1996)”

Nella direttiva compaiono le seguenti attività:

- Cokerie (punto 1.3)
- Impianti di arrostitimento o sinterizzazione di minerali metallici compresi i minerali solforati (punto 2.1)
- Impianti di produzione di ghisa o acciaio (fusione primaria o secondaria), compresa la relativa colata continua di capacità superiore a 2,5 tonnellate all'ora (punto 2.2)
- Impianti destinati alla trasformazione di metalli ferrosi mediante:
  - a) laminazione a caldo con una capacità superiore a 20 tonnellate di acciaio grezzo all'ora;
  - b) forgiatura con magli la cui energia di impatto supera 50 chilojoule per maglio e allorché la potenza calorifica è superiore a 20 MW;
  - c) applicazione di strati protettivi di metallo fuso con una capacità di trattamento superiore a 2 tonnellate di acciaio grezzo all'ora (punto 2.3)

### **Dir. CE 3 marzo 1997, n. 11<sup>(\*)</sup>**

“Modifiche della direttiva 85/337/CEE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati (G.U.C.E. n. L 73 del 14 marzo 1997)”

La Direttiva 337/85/CEE viene integrata anche con le procedure previste dalla direttiva 96/61/CE (IPPC).

### **D. lgs 4 agosto 1999, n. 372**

“Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento – IPPC (G.U. n. 252 del 26 ottobre 1999)”

Come nella direttiva IPPC, nel presente decreto compaiono le seguenti attività:

- Cokerie (punto 1.3)
- Impianti di arrostitimento o sinterizzazione di minerali metallici compresi i minerali solforati (punto 2.1)
- Impianti di produzione di ghisa o acciaio (fusione primaria o secondaria), compresa la relativa colata continua di capacità superiore a 2,5 tonnellate all'ora (punto 2.2)
- Impianti destinati alla trasformazione di metalli ferrosi mediante:
  - a) laminazione a caldo con una capacità superiore a 20 tonnellate di acciaio grezzo all'ora;
  - b) forgiatura con magli la cui energia di impatto supera 50 chilojoule per maglio e allorché la potenza calorifica è superiore a 20 MW;

c) applicazione di strati protettivi di metallo fuso con una capacità di trattamento superiore a 2 tonnellate di acciaio grezzo all'ora  
(punto 2.3)

Si tratta però dei soli impianti esistenti, dato il recepimento incompleto della direttiva

### **Decisione 2000/ 479/ CE del 17 luglio 2000 della Commissione**

“Attuazione del Registro europeo delle emissioni inquinanti (EPER) ai sensi dell’art. 15 della direttiva 96/ 61/ CE del Consiglio sulla prevenzione e la riduzione integrate dell’inquinamento (IPPC) (G.U.C.E. L 192 del 28 luglio 2000)”

Alle cokerie è assegnato il codice NOSE-P 104.08 ‘Cokerie’, che corrisponde al codice SNAP2 0104. All’industria della produzione dei materiali non ferrosi sono assegnati i codici NOSE-P 104.12 ‘Produzione primaria o secondaria di metalli e impianti di sinterizzazione (industria metallurgica che comporta processi di combustione)’ e 105.12 ‘Processi caratteristici nella fabbricazione di metalli e prodotti metallici (Industria metallurgica)’, che corrispondono ai codici SNAP2 0303 e 0403.

### **D.M. (ambiente) 26 aprile 2002**

“Modifiche al decreto ministeriale 23 novembre 2001 in materia di dati, formato e modalità della comunicazione di cui all’art.10 del decreto legislativo n. 372 del 1999 (G.U. n. 126 del 31 maggio 2002)”.

In base al DM, i gestori dei complessi IPPC comunicheranno all'APAT (ex ANPA) e alle autorità competenti annualmente dati qualitativi e quantitativi di un elenco definito di inquinanti presenti nei reflui gassosi ed acquosi dei loro impianti.

## **Emissioni e recupero di rifiuti**

### **D. lgs. 5 febbraio 1997, n. 22**

“Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio (G.U. n. 38 del 15 febbraio 1997, S.O.)”

Il decreto riporta in allegato A il Catalogo Europeo dei Rifiuti (che coincide con l’allegato alla decisione 94/3/CE), annoverando:

- nella categoria “Rifiuti inorganici provenienti da processi termici” (codice 10 00 00 ) i “Rifiuti dell’industria del ferro e dell’acciaio” (codice 10 02 00) e i “Rifiuti della fusione dei metalli ferrosi” (codice 10 09 00);
- nella categoria “Rifiuti inorganici contenenti metalli provenienti dal trattamento e ricopertura dei metalli” (codice 11 00 00) sono annoverati i “rifiuti liquidi e fanghi dal trattamento e ricopertura di metalli (ad esempio, processi galvanici, zincatura, decappaggio, incisione, fosfatazione, sgrassaggio con alcali)” (codice 11 01 00) e le “soluzioni acide di decapaggio” (codice 11 01 05)
- nella categoria “Rifiuti della raffinazione del petrolio, purificazione del gas naturale e

trattamento pirolitico del carbone” (codice 05 00 00) sono annoverati i “catrami acidi” (codice 05 06 01), i “catrami” (codice 05 06 03), l’ “asfalto” (codice 05 06 02) e i “rifiuti dalle torri di raffreddamento” (codice 05 06 04)

### **DM 5 febbraio 1998**

“Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del D.Lgs 5 febbraio 1997, n.22”

Nell’allegato I le industrie metallurgiche sono elencate tra le attività di recupero di numerose categorie di rifiuti non pericolosi (allegato I), tra cui rifiuti di ferro, acciaio e ghisa, rifiuti di metalli non ferrosi e loro leghe, ecc. Nello stesso allegato I sono forniti anche i valori limite e le prescrizioni per le emissioni convogliate in atmosfera delle attività di recupero dai rifiuti non pericolosi.

### ***Dec. CE 3 maggio 2000, n. 532***

“Decisione della Commissione che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all’articolo 1, lettera a), della direttiva 75/442/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti e la decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell’articolo 1, paragrafo 4, della direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi (G.U.C.E. n. L 226 del 6 settembre 2000)”

Nel nuovo C.E.R. (Catalogo Europeo dei Rifiuti) i “Rifiuti dell’industria del ferro e dell’acciaio” (codice 10 02 00), i “Rifiuti della fusione dei metalli ferrosi” (codice 10 09 00) e i “Rifiuti inorganici contenenti metalli provenienti dal trattamento e ricopertura dei metalli” (codice 11 00 00) mantengono lo stesso codice; nella categoria “Rifiuti della raffinazione del petrolio, purificazione del gas naturale e trattamento pirolitico del carbone” al posto dell’ “asfalto” (codice 05 06 02) compaiono i “rifiuti non specificati altrimenti” (codice 05 06 99).

## **Danno ambientale e rischi di incidenti rilevanti**

### **D.Lgs. 17 agosto 1999, n. 334**

“Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose”

Gli impianti siderurgici rientrano negli obblighi di questo decreto in modo articolato; per alcuni si applicano gli articoli 6 ed 8, per la presenza di sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate nell’allegato 1, fra le quali ce ne sono alcune presenti nelle cokerie e nelle fabbriche ad ossigeno; altri impianti rientrano nell’ambito dell’articolo 5, che prevede l’obbligo di misure preventive specifiche nell’ambito dell’applicazione del D.Lgs. 626/94 (fra questi ci sono la distillazione del carbone e la produzione di metalli per via elettrica).

N.B. I riferimenti normativi evidenziati (\*) non sono ancora vigenti in Italia