



**APAT**

Agenzia per la protezione  
dell'ambiente e per i servizi tecnici

# **Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia**

---

---

*Desidero ringraziare tutti coloro che con interesse ed entusiasmo hanno collaborato alla preparazione di questo documento sull'analisi del ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico. In particolare, desidero rivolgere un vivo ringraziamento all'Ing. Roberto Mussapi dell'APAT, alla dott.ssa Rosanna Laraia, al Prof. Mauro Cavallini ed alla Prof.ssa Carla Lupi dell'Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento ICMMPM, all'Ing. Daniela Pilone già ANPA ed oggi Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento ICMMPM, all'ing. Paolo Lombardi dell'APAT, alla D.ssa Gallini ed al Dott. Carasi dell'ASL di Brescia, ed infine all'Ing. Sandro Pescetelli della TEXECO srl, che con la sua grande esperienza nel campo ha contribuito significativamente alla stesura di questo volume.*

*Ing. Pietro Paolo Milella*

**APAT** – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici  
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma  
[www.apat.it](http://www.apat.it)

APAT, Rapporti 38/2003

ISBN 88-448-0112-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

**Elaborazione grafica**  
APAT

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli  
*Foto di copertina:* Center for Metals Production

**Coordinamento tipografico**  
APAT - Servizio di Supporto alla Direzione Generale  
Settore Editoria, Divulgazione e Grafica

**Impaginazione e stampa**  
I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odescalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare ottobre 2004

---

---

## Presentazione

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici ha programmato una serie di "studi ambientali" dei principali settori produttivi ed industriali nazionali. In questo ambito si inserisce questa prima pubblicazione relativa al comparto produttivo dell'acciaio ottenuto attraverso i forni fusori alimentati con energia elettrica, detto anche acciaio elettrico.

L'iniziativa si pone come una delle attività strategiche dell'APAT dal momento che essa è funzionale a più obiettivi.

Gli studi dei comparti produttivi, innanzi tutto, rappresentano un'alternativa ormai collaudata e consolidata, all'acquisizione di conoscenza basata sulla verifica ed il controllo delle singole aziende. Da questo punto di vista, la disponibilità di studi sui principali comparti produttivi, opportunamente aggiornati, contribuisce ad arricchire il sistema informativo ambientale di supporto al decisore istituzionale, alle ARPA responsabili sul territorio, ai revisori ambientali, all'applicazione della direttiva IPPC, strumento di promozione dell'innovazione tecnologica in campo ambientale attraverso le BAT (Best Available Techniques), per l'attuazione della quale esiste una convenzione tra l'APAT ed il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, all'analisi dei siti di interesse nazionale ed, infine, consente di confrontare i dati di produzione e le stime di emissioni con i dati che si rendono disponibili attraverso i sistemi di censimento e raccolta dati sulle emissioni di inquinanti previsti dalla normativa vigente (MUD, inventario delle emissioni in atmosfera, catasto rifiuti, ...).

In questo senso lo studio si caratterizza come uno strumento primario di prevenzione dell'inquinamento industriale, dal momento che rende espliciti e quantifica i principali fattori di pressione indotti sull'ambiente dal sistema produttivo nazionale, nonché pianifica tutte le possibili strategie ed interventi di miglioramento, inclusi i programmi d'ispezione e controllo, secondo quanto previsto dalla Raccomandazione 2001/331/CE che stabilisce i criteri minimi per le ispezioni ambientali.

Gli studi di comparto saranno infine integrati e completati da una fase applicativa condotta in ambito CTN, finalizzata ad estrarre, dai dati di base, una serie di indicatori che, attraverso una procedura di periodico aggiornamento, consentano:

- il monitoraggio delle pressioni ambientali in atto;
- la valutazione dell'efficacia delle ispezioni;
- la valutazione previsionale dello sviluppo e dell'impatto ambientale del settore.

Tali indicatori sono di natura:

- tecnica (consumo di risorse, fattori di emissioni aggregate...);
  - economica (investimenti, fatturati, consuntivi spese per ricerca e sviluppo...);
  - socio-politica (costo del lavoro, numero di addetti, costo specifico degli addetti,...).
-

Uno strumento così concepito permette non solo di arricchire ulteriormente la capacità di prevenzione dell'inquinamento connesso alle attività produttive nazionali, ma anche di offrire al decisore politico uno strumento operativo di valutazione degli interventi sui singoli settori nell'ottica dell'integrazione tra politiche ambientali e politiche industriali o sociali.

Ing. Giorgio Cesari  
Direttore Generale APAT

---

## Prefazione

Si giunge, con questo rapporto sul ciclo dell'acciaio, alla prima pubblicazione APAT sui cicli industriali.

Essa contribuisce ad arricchire il sistema informativo ambientale di supporto al decisore istituzionale, alle ARPA responsabili sul territorio, ai revisori ambientali ed all'applicazione della Direttiva IPPC, strumento di promozione dell'innovazione tecnologica in campo ambientale..

Le risposte più idonee ed efficaci nascono solo dalla conoscenza approfondita. Questo rapporto vuole essere uno strumento di conoscenza. Esso rappresenta il primo sguardo lanciato su di un sistema produttivo estremamente complesso ed in forte evoluzione. Saranno, dunque, necessari ulteriori e sistematici aggiornamenti.

Parleremo del ciclo dell'acciaio. Anticipando quella che sarebbe divenuta una tendenza mondiale, l'Italia ha da tempo spostato il baricentro della sua produzione d'acciaio dagli altiforni ai forni elettrici. Con i suoi 16 milioni di tonnellate di acciaio, cosiddetto elettrico, l'Italia è oggi il primo produttore in Europa ed il quarto al mondo, dopo Stati Uniti, Giappone e Cina. Questa dimensione produttiva è fonte, al tempo stesso, di ricchezza e preoccupazione.

Da un punto di vista ambientale, infatti, il forno fusorio si presenta come un gigantesco smaltitore di rifiuti speciali che riciclando rottame di ferro produce acciaio.

Le sue dimensioni sono davvero enormi. In Italia si riciclano ogni anno oltre 16.000.000 di tonnellate di rottame ferroso, di cui oltre 10 provengono dal mercato nazionale.

Tuttavia, il forno elettrico è anche un gigantesco distillatore nel quale tutti i composti, ed in particolare quelli a bassa temperatura di fusione, finiscono nei fumi.

Il problema nasce dal fatto che il rottame di ferro contiene di tutto, dallo zinco al cadmio, dal piombo all'arsenico, al mercurio etc., che finisce, dunque, nei fumi i quali, per tale ragione, non possono essere avviati direttamente al camino, ma devono essere filtrati ed abbattuti andando a costituire quella che è la polvere delle acciaierie elettriche.

Anche in questo caso le dimensioni sono gigantesche. Si calcola che il forno fusorio produca qualcosa come 15-20 kg di polveri per ogni tonnellata di acciaio prodotto.

Il risultato è che in Italia si genera, ogni anno, qualcosa come 300.000 tonnellate di polveri (inclusive di quelle provenienti dai convertitori degli altiforni, contenenti elementi pericolosi. L'elevato tenore di zinco e, negli acciai speciali, di nickel e cromo, elementi con un certo valore commerciale, ha reso conveniente l'uso di queste polveri come materie prime seconde. Nelle oltre 300.000 tonnellate di polveri sono contenute almeno 40-50.000 tonnellate di zinco recuperabile. Il processo di recupero dello zinco oggi largamente diffuso, si basa sul processo pirometallurgico del forno Waelz. In Italia esiste un impianto Waelz, a Pontenossa, che ricicla ogni anno circa 80.000 ton di polveri di

---

acciaieria elettrica. Le rimanenti 220.000 ton devono essere avviate alle discariche speciali.

Data la dimensione del problema ed il ruolo che il Paese deve avere come primo produttore europeo di acciaio elettrico, non era pensabile non interessarsi del problema anche da un punto di vista prettamente tecnologico-scientifico. È per questo che già dal 1996 l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, ANPA, ha avviato una collaborazione con il Dipartimento d'Ingegneria Chimica, dei Materiali, Metallurgia e Materie Prime dell'Università di Roma "La Sapienza", al fine di studiare un metodo innovativo di tipo idrometallurgico, alternativo a quello pirometallurgico, per il recupero, in particolare, dello zinco dalle polveri d'acciaieria elettrica.

Il metodo, mutuato dall'industria primaria dello zinco, è ormai stato ampiamente verificato in laboratorio, ma richiede la necessaria verifica di fattibilità, soprattutto economica, su scala industriale.

Nuovi problemi si aggiungono oggi a quelli antichi. Con oltre 4.000.000 di tonnellate di rottame importato ogni anno, l'Italia è anche il maggior importatore al mondo di rottame di ferro. Il controllo del rottame di ferro e, soprattutto, di quello importato si presenta particolarmente impegnativo. Il pericolo è che, come già accaduto, esso contenga sorgenti radioattive dimenticate quando non volutamente occultate. La loro fusione nel forno elettrico, assieme al rottame che le cela, risulta nella contaminazione dell'impianto e delle sue polveri.

Molto è stato già fatto in Italia per impedire che ciò accada, ma molto ancora si deve fare.

L'acciaio, dunque, rappresenta per un paese come l'Italia una sfida tecnologica ancora aperta. Non ho dubbi che il Paese e l'APAT sapranno affrontarla e risolverla con serietà, impegno e competenza.

Ing. Pietro Paolo Milella  
Responsabile del progetto

---

## INDICE

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE DEL SETTORE PRODUTTIVO .....</b>	<b>11</b>
1.1	PRODUZIONE E CONSUMI MONDIALI .....	11
1.2	PRODUZIONE E CONSUMI NEI PAESI UE .....	17
1.3	PRINCIPALI PRODUTTORI EUROPEI .....	28
1.4	PROFILO DELL'INDUSTRIA SIDERURGICA IN ITALIA .....	35
1.4.1	<i>Produzioni e consumi .....</i>	<i>35</i>
1.4.2	<i>Bilancio import/export .....</i>	<i>36</i>
1.4.3	<i>Analisi delle produzioni in Italia per prodotto .....</i>	<i>39</i>
1.4.4	<i>Analisi dei consumi in Italia per prodotto .....</i>	<i>56</i>
1.4.5	<i>Principali produttori italiani .....</i>	<i>58</i>
1.4.6	<i>Il profilo dei produttori italiani .....</i>	<i>69</i>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE ED ANALISI DEL CICLO PRODUTTIVO .....</b>	<b>75</b>
2.1	PRATICHE PRODUTTIVE .....	75
2.1.1	<i>Il ciclo integrale .....</i>	<i>77</i>
2.1.2	<i>Forno elettrico .....</i>	<i>79</i>
2.1.3	<i>Processi di riduzione diretta .....</i>	<i>82</i>
2.1.4	<i>La produzione di acciaio elettrico in Italia e nel mondo .....</i>	<i>83</i>
2.2	TECNOLOGIE COSTRUTTIVE DELLE ACCIAIERIE AD ARCO ELETTRICO ..	90
2.2.1	<i>Apparecchiature e lay-out .....</i>	<i>90</i>
2.2.2	<i>I refrattari .....</i>	<i>93</i>
2.2.3	<i>Gli elettrodi .....</i>	<i>94</i>
2.2.4	<i>Il raffreddamento .....</i>	<i>95</i>
2.2.5	<i>Captazione ed abbattimento fumi .....</i>	<i>97</i>
2.2.6	<i>Potenziamento dei trasformatori .....</i>	<i>101</i>
2.3	TECNOLOGIE DI PROCESSO .....	102
2.3.1	<i>Principi di esercizio del forno ad arco .....</i>	<i>102</i>
2.3.2	<i>Vari tipi di condotta dell'affinazione al forno elettrico .....</i>	<i>104</i>
2.3.3	<i>Preriscaldamento del rottame .....</i>	<i>106</i>
2.3.4	<i>Utilizzo di bruciatori ossicomcombustibile e di lancia ad ossigeno ....</i>	<i>107</i>
2.3.5	<i>Forno EBT .....</i>	<i>107</i>
2.3.6	<i>Impiego di scorie schiumose .....</i>	<i>108</i>
2.3.7	<i>Forni elettrici ad arco a corrente continua .....</i>	<i>109</i>
2.3.8	<i>Processo Consteel .....</i>	<i>109</i>
2.3.9	<i>Forno "Twin shell" .....</i>	<i>110</i>
2.3.10	<i>Forno a tino .....</i>	<i>111</i>
2.3.11	<i>Forno Contiarco .....</i>	<i>111</i>
2.3.12	<i>Forno Comelt .....</i>	<i>111</i>

---

---

2.3.13	Rottame e soluzioni alternative per la carica .....	112
2.3.14	Metallurgia secondaria in siviera .....	112
2.4	PRODUZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI RIFIUTI.....	114
2.4.1	Le scorie .....	114
2.4.2	Polveri provenienti dal sistema di trattamento dei fumi .....	116
2.4.3	Altri rifiuti .....	119
2.5	RECUPERO E SMALTIMENTO DEI RIFIUTI .....	120
2.5.1	Polveri provenienti dal sistema di trattamento dei fumi .....	120
2.5.2	Monitoraggio e controllo delle emissioni.....	121
2.6	BIBLIOGRAFIA .....	123
<b>3</b>	<b>FATTORI FISICI.....</b>	<b>125</b>
3.1	IL CICLO DELLE MATERIE PRIME.....	125
3.2	UTILIZZO DEI ROTTAMI NEI DIVERSI PROCESSI DI ACCIAIERIA .....	129
3.3	IL CICLO DEL ROTTAME IN ITALIA.....	131
3.3.1	Organizzazione del riciclaggio delle carcasse automobilistiche..	133
3.3.2	Ruolo del COBAT .....	137
3.3.3	Metodi di trattamento del rottame .....	139
3.4	BILANCIO DI MATERIA ED ENERGIA .....	142
3.5	L'IMPATTO AMBIENTALE .....	145
3.5.1	Le polveri.....	145
3.5.2	Diossine e furani .....	148
3.5.3	Controllo delle emissioni di PCDD/F.....	152
3.5.4	La radioattività .....	155
3.6	EVENTI DI CONTAMINAZIONE RADIOATTIVA IN ITALIA .....	165
3.6.1	Il caso di Brescia .....	165
3.6.2	Dogana di Chiasso Brogeda .....	168
3.6.3	Porti di Genova e La Spezia .....	169
3.6.4	Venezia .....	169
	ALLEGATO 1 .....	173
3.7	IL RUMORE .....	174
3.8	LA NORMATIVA.....	176
3.9	BIBLIOGRAFIA .....	181
<b>4</b>	<b>LE TECNICHE DI RICICLAGGIO DELLE POLVERI DI ACCIAIERIA .....</b>	<b>183</b>
4.1	CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE .....	183
4.1.1	Obbiettivi del trattamento.....	183
4.1.2	Scala di impianto - Localizzazione.....	187
4.1.3	Prodotti recuperati e loro destinazione .....	188
4.1.2	Processi .....	193
4.2	I PROCESSI PIROMETALLURGICI.....	196



---

4.2.1	Principi termodinamici .....	196
4.2.2	Classificazione dei processi pirometallurgici .....	205
4.2.3	Processi in fase solida .....	206
4.2.3.1	Forno rotativo .....	207
4.2.3.2	Rotary Hearth Furnace (RHF) .....	211
4.2.4	Processi in fase fusa .....	214
4.2.4.1	Processi al plasma .....	215
4.3	I PROCESSI IDROMETALLURGICI .....	216
4.3.1	I problemi della idrometallurgia dello zinco tradizionale .....	216
4.3.2	I processi di lisciviazione diretta .....	223
4.4	I PROCESSI MISTI .....	228
4.4.1	Generale .....	228
4.4.2	Processi misti .....	230
4.5	I PROCESSI DI INERTIZZAZIONE .....	232
4.5.1	Generale .....	232
4.5.2	Processi di inertizzazione a freddo .....	232
4.5.3	Processi di vetrificazione .....	233
4.6	LE TECNICHE E GLI IMPIANTI PIROMETALLURGI .....	233
4.6.1	Tecniche ed impianti consolidati .....	234
4.6.1.1	Processi pirometallurgici in fase fusa .....	236
4.6.1.2	Processi pirometallurgici in fase solida .....	256
4.6.2	Le tecniche e gli impianti in fase di sviluppo o valutazione .....	262
4.6.3	Tecniche "dormienti" .....	262
4.6.4	Tecniche abbandonate .....	265
4.7	LE TECNICHE E GLI IMPIANTI IDROMETALLURGICI .....	267
4.7.1	Le tecniche e gli impianti consolidati .....	267
4.7.1.1	Il processo ZINCEX .....	267
4.7.1.2	L'impianto EZINEX .....	271
4.7.2	Le tecniche ed i processi in via di sviluppo .....	277
4.7.2.1	- Processo UBC-Chaparral .....	277
4.7.2.2	- Processo SCEGI .....	281
4.7.2.3	- Processo ANPA - Università di Roma "La Sapienza" .....	282
4.7.2.4	- Processo MetWool .....	284
4.7.2.5	- Processo Enviropas .....	285
4.7.2.6	- Processo Cashman .....	285
4.7.2.7	- Processo Rezada .....	285
4.7.2.8	- Processo Terra Gaia .....	285
4.8	BIBLIOGRAFIA .....	286
<b>5</b>	<b>LA TECNICA E GLI IMPIANTI WAEZ</b> .....	<b>287</b>
5.1	IL PROCESSO WAEZ .....	287

---

---

5.1.1	Background .....	287
5.1.2	Caratterizzazione delle materie prime.....	288
5.1.2	Processo .....	291
5.1.4	Problematiche di conduzione del forno WAE LZ .....	296
5.1.5	Varianti di processo: marcia basica e marcia acida.....	299
5.1.6	Indici tecnologici .....	303
5.1.7	Le scorie WAE LZ.....	304
5.2	GLI IMPIANTI WAE LZ EUROPEI.....	309
5.2.1	Principali impianti .....	309
5.2.2	Scenario Europeo – Limiti di capacità.....	314