

# Acciaieria con forno elettrico

Celestino Panizza\*

## ABSTRACT

Le acciaierie con forno elettrico, sono una tecnologia relativamente diffusa in alcune aree del territorio nazionale, dedicata al recupero di rottame di ferro che le Direttive Europee considerano, a tutti gli effetti, rifiuti e rappresenta l'esempio paradigmatico delle problematiche di impatto sulla salute dei processi di recupero mediante fusione di rottame di metalli ferrosi e non ferrosi.

Mentre gli studi epidemiologici occupazionali hanno documentato gli effetti sulla salute dei lavoratori, gli studi sulla salute delle popolazioni residenti nei pressi di questi impianti sono limitati. La natura e l'entità delle emissioni in aria ed i rifiuti prodotti tuttavia contengono rilevanti quantità di composti (diossine, PCB, IPA, metalli pesanti) riconosciuti cancerogeni e che rappresentano un rischio anche per la popolazione generale.

## INTRODUZIONE

L'acciaieria elettrica si fonda sul recupero dei rottami ferrosi attraverso la rifusione mediante forno elettrico ad arco voltaico.

Attualmente circa il 60% della produzione di acciaio in Italia avviene mediante fusione di rottame con forno elettrico il restante mediante siderurgia primaria<sup>1</sup>.

L'acciaieria elettrica viene qui considerata come esempio al quale possono essere ricondotti altri impianti di rifusione di rottame che presentano problematiche sanitarie analoghe come la fusione di rottami di rame, ottone, alluminio. Il Regolamento (CE) N. 304/2009 include i processi di recupero del ferro e loro leghe e di recupero di metalli non ferrosi fra quelli che smaltiscono o recuperano rifiuti contaminati da inquinanti organici persistenti (POPS) e come tali devono rispettare i limiti di emissione fissati per gli inceneritori di rifiuti.

La filiera del recupero e riciclo del rottame di ferro presenta una serie di punti critici in relazione alle emissioni inquinanti: i luoghi di conferimento, stoccaggio e pretrattamento del rottame; i parchi rottame, con eventuali mulini di frantumazione; i forni fusori; i rifiuti solidi prodotti. Al processo di fusione è spesso associata la lavorazione di laminazione del metallo per la produzione di semilavorati di ferro per la commercializzazione.

L'acciaieria elettrica tipica attuale, produce circa 100 t di acciaio/ora, con tempi di fusione nel forno di 1 ora e 24 colate/giorno.

## Materiali e metodi

Per caratterizzare il rischio cancerogeno dell'acciaieria elettrica sono stati raccolti dati sulla presenza di composti cancerogeni nelle emissioni.

Per reperire gli articoli di interesse è stata consultata la database di PUBMED con parole chiave "iron foundry", "steel foundry", "cancer", "neoplasms", "human health", "health effects" e reperiti rapporti e studi o articoli di casi di studio di siti sede di impianti siderurgici.

## Caratterizzazione delle emissioni

Nei cicli produttivi tipici della fusione secondaria di ferro ed acciaio con presenti numerosi cancerogeni. Nella *tabella n. 1* è riportata la classificazione di cancerogenicità dei principali composti riscontrabili nella fusione di metalli secondo la I.A.R.C. e la C.E.

L'impatto sull'ambiente esterno avviene per effetto di dispersione di polveri o fumi non trattenute dai sistemi di abbattimento o per la produzione di rifiuti.

Un'acciaieria elettrica si contraddistingue per il tipo di rifiuti che produce per le importanti immissioni in atmosfera: la produzione di una tonnellata di acciaio dà origine a 2000 kg polveri/ora e quindi la produzione di polveri dai sistemi di abbattimento fumi, in un forno elettrico oscilli tra 10 e 20 kg per tonnellata di acciaio prodotto (la stima più verosimile è di almeno 280.000 t/anno in Italia)<sup>1</sup>.

Le polveri dei sistemi di abbattimento sono da trattarsi come rifiuti pericolosi ("inertizzazione" e collocazione in discariche adeguate). La *tabella n. 2* ne indica la composizione tipica. Invece le scorie che risultano dalla fusione sino all'entrata in vigore del D. Lgs. 22/97 il problema dello "smaltimento" delle scorie d'acciaieria era essenzialmente di natura "quantitativa" e "paesaggistica" in quanto tali rifiuti venivano scaricati, per lo più, in prossimità degli impianti siderurgici occupando grandi spazi e deturpando il paesaggio. Non era considerata la loro potenziale pericolosità per la presenza di metalli e

\* Medico del Lavoro A.S.L. Brescia - celestino.panizza@asl.brescia.it

**GRANDI IMPIANTI E RISCHIO  
ONCOLOGICO**

**TABELLA 1  
PROFILO DI RISCHIO\* CANCEROGENO DI NATURA CHIMICA**

Inquinanti	Componenti	Classificazione	Categoria CE
METALLI	Cromo e composti esavalenti	1	1,2
	cadmio e composti	1	2
	nicel e composti	1	1,3
	Arsenico e composti	1	1
	piombo (composti)	2A	3
	Berillio, be composti, be ossidi	1	2
SILICE	quarzo, tridimite, cristobalite	1	-
FIBRE	ceramiche refrattarie	2B	2
	Amianto	1	1
Composti ORGANOCLORURATI	Policlorodibenzofurani	2B	2
	Policlorobifenili	2A	-
	tetraclorodibenzo- <i>para</i> -diossina	1	-
	Esaclorobenzene	2B	2
IPA	benzo(a)antracene	2A	2
	benzo(a)pirene	2A	2
	dibenzo(a,h)antracene	2A	2
	benzo(b)fluorantene	2B	2
	benzo(j)fluorantene	2B	2
	benzo(k)fluorantene	2B	2
ESAUSTI DIESEL	polveri e fumi (IPA)	2A	-

\* principali sostanze, preparati o miscele classificati cancerogeni e mutageni presenti nel tipico ciclo produttivo dei comparti ACCIAIERIA ELETTRICA di rottame in categoria 1 e 2 CE e in gruppo 1 e 2A IARC (revisione 2004)

composti organo clorurati. La *tabella n. 3* riporta alcuni dati sulla composizione delle scorie nelle quali è significativa la presenza di metalli pesanti alcuni con riconosciuto potere cancerogeno.

Un ulteriore elemento che caratterizza il rischio è costituito dalla formazione di composti organoclorurati. I PCDD/F (policloro-diossine e furani) si formano come sottoprodotti in numerosi processi chimici, nonché in quasi tutti i processi di combustione in presenza di precursori contenenti carbonio, ossigeno, idrogeno ed alogeni.

Altro aspetto è quello dei PCB (Policlorobifenili) in quanto il rottame, costituito in particolare dai veicoli fuori uso in entrata nei mulini di frantumazione, contiene apparecchi (condensatori, trasformatori, altri contenitori di oli minerali) contaminati da PCB la cui ma- cinazione in impianti

sussidiari all'acciaieria ha originato numerosi casi di inquinamento dei suoli.

Un'indagine condotta su cinque acciaierie del bresciano<sup>2</sup> sulle polveri offre una dimensione abbastanza precisa delle quantità di microinquinanti organici prodotte da questi impianti, destinate ad essere disperse nell'ambiente (*tabella n. 4*).

Le emissioni di diossine e PCB dovuti alla combustione di rottame/rifiuto contaminato da vernici, plastiche, oli sono elevate anche in confronto con il limite di emissione per gli inceneritori di rifiuti pari a 0,1 ng Teq/Nm<sup>3</sup> per PCDD/F, limite come detto, che vale anche per le acciaierie dal 2009.

In generale il contributo di un'acciaieria alle emissioni di diossina è molto rilevante al pari delle emissioni per tonnellata di prodotto di impianti di fusione secondaria di alluminio e superiore a quella di altri metalli (*tabella n. 5*).

## GRANDI IMPIANTI E RISCHIO ONCOLOGICO

### LA RADIOATTIVITA'

A partire dagli inizi degli anni '90 eventi di contaminazione radioattiva, legati direttamente al ciclo dei rottami, hanno cominciato a verificarsi con una certa frequenza e, comunque, tali da costituire un campanello d'allarme per le autorità competenti. La casistica relativa al riciclo di rottami, nazionale ed internazionale, consente una più precisa comprensione dell'estensione del fenomeno e delle possibili conseguenze sull'ambiente e sull'uomo. Si segnalano (1998) un totale di 53 fusioni incidentali in un periodo di circa 16 anni, 30 delle quali avvenute negli USA e le altre 23 nel resto del mondo; risultano invece molto più numerosi i casi di radiocontaminazione (circa 300 eventi nei soli USA) in cui non si è giunti alla fusione della sorgente individuata.

Gli isotopi radioattivi più frequentemente presenti sono rispettivamente: Cesio 137, Cobalto 60, Radio 226, Torio, Americio 241; le industrie maggiormente coinvolte risultano essere quelle dell'acciaio, dell'alluminio, dell'oro

- rame - piombo.

**TABELLA 2**  
**INTERVALLO DI COMPOSIZIONE**  
**(% IN PESO) POLVERI**  
**ABBATTIMENTO FUMI (10-20 kg/T)**

Fe	24 – 50
Mn	2.3 – 6.2
Zn	8 – 35
Pb	0.4 – 6.2
Cu	0.3
Ni	0.02 – 0.5
Al	0.05 – 1.4
Cd	0.02 – 0.05
Hg	0.002 – 0.05
Ca	1.3 – 10
Si	0.6 -1.9
Mg	0.3 – 2.7

**TABELLA 3**  
**INTERVALLO DI COMPOSIZIONE SCORIE FORNO ELETTRICO (100 kg/T)**

	Concentrazione (mg/kg)	%
Silicio (SiO <sub>2</sub> )		15,4
Calcio ossido (CaO)		40,7
Magnesio Ossido (MgO)		6,9
Alluminio ossido (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		9,2
Ferro ossido (FeO)		10,5
Manganese ossido (MnO)		7,0
Manganese ossido (MnO)		1,5
Arsenico (As)	<1	
Mercurio (Hg)	<0,5	
Nichel (Ni)	214,7	
Piombo (Pb)	201,7	
Rame solubile (Cu)	15,4	

## GRANDI IMPIANTI E RISCHIO ONCOLOGICO

**TABELLA 4**  
**CONCENTRAZIONI DI DIOSSINE, PCB ED HCB**  
**(ESACLOROBENZENE) NELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA DA**

	Intervallo	Media
PCDD/ ng WHO Teq(*)/Nm <sup>3</sup>	0,10 - 0,93	0,52
PCB ng/Nm <sup>3</sup>	5 – 1151	578
HCB ng/Nm <sup>3</sup>	27-126	76,4

\* Tossicità equivalente (WHO Teq) la tossicità dei congeneri diossine e, quando indicato, PCB rapportata al congenere maggiormente tossico 3,4,7,8 tetracloro- dibenzodiossina.

**TABELLA 5**  
**STIMA DELLE EMISSIONI NAZIONALI IN ATMOSFERA DI PCDD, PCDF,**  
**PCB, HCB E IPA DA IMPIANTI METALLURGICI SECONDARI**

	Acciai (EAF) (media)	Car shredder (range)	Alluminio (media)	Trattamento Tornitura alluminio (range)	Leghe rame (media)	Trattamento Tornitura rame (range)	Piombo (range)
PCDD/F (g/I-Teq/ anno)	73,4	0,04-011	61	0,03-017	2,5	0,49-0,98	0,7-0,9
PCDD/F / PCB (g/WHO -)	89,9	0,28-0,65	73	0,05-0,23	3,1	0,57-1,1	1,1-1,4

### Studi sul rapporto acciaierie e tumori

#### Monografia IARC

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel 1987<sup>3</sup> ha classificato come cancerogeno certo per l'uomo (gruppo 1) l'occupazione svolta nella fusione dell'acciaio e del ferro rivalutando il precedente giudizio espresso nel 1984<sup>4</sup> che aveva classificato tale processo lavorativo come probabile cancerogeno (gruppo 2A) con limitata evidenza per il tumore del polmone.

### Studi occupazionali

La grande maggioranza degli studi<sup>5-40</sup> di coorte e gli studi

caso-controllo, successivi al 1987, ha evidenziato un eccesso significativo di mortalità e rischi relativi elevati per tumore polmonare e riguardano sia il ciclo integrale di produzione di ghisa ed acciaio sia la fusione secondaria del metallo. Dove sono state raccolte adeguate informazioni conclude per lo scarso (o nullo) ruolo confondente del fumo di tabacco, in particolare per gli studi che hanno evidenziato eccessi di rischio importanti. Buona parte degli studi sono coerenti nel segnalare che gli eccessi di mortalità, nonché i rischi relativi elevati, per tumore del polmone sono di proporzioni crescenti con l'aumentare della durata dell'attività lavorativa a rischio e con l'espo-

sizione combinata a diverse sostanze chimiche. Recentemente<sup>41</sup>, in addetti ad acciaieria elettrica, è stato riscontrato un aumento di numero di copie di DNA mitocondriale (RMtDNAcn) correlato ad esposizione a PM10 e PM1. Il RMtDNAcn è un marker di danno e malfunzionamento mitocondriale dovuto a stress ossidativo. Lo stesso gruppo di ricerca ha riscontrato<sup>42</sup> la diminuzione della metilazione globale del DNA e delle sequenze Alu e LINE-1, correlato con le concentrazioni di PM10. Queste modificazioni sono implicate nelle alterazioni di espressione genica e nella elevata instabilità genomica.

#### **Studi su popolazione**

È stato pubblicato uno studio di popolazione residente nei dintorni di due fonderie di acciaio<sup>43</sup>. Lo studio datato è tuttavia significativo. Confronta la mortalità per tumori

primitivi dell'apparato respiratorio della popolazione residente nei pressi delle fonderie con la mortalità della popolazione scozzese. Gli autori concludono con la conferma dell'ipotesi che l'inquinamento di metalli è associata ai casi di tumore: viene osservato un gradiente tra zone ad alto rischio e zone a basso rischio anche dopo standardizzazione per classe sociale ed raggiunge la significatività statistica per le donne per cui difficilmente l'effetto è spiegabile con la maggiore abitudine al fumo e l'occupazione dei residenti nelle aree a maggiore inquinamento.

Più in generale sono stati documentati effetti sulla salute in residenti nei pressi di impianti di produzione primaria dell'acciaio da minerale (a ciclo integrale) a Taranto<sup>44,45</sup>, Genova<sup>46,47</sup> a Piombino<sup>48</sup>. Altri studi di popolazione hanno evidenziato l'associazione tra residenza e impianti industriali tra cui fonderie di acciaio e LNH<sup>48</sup>.

#### **BIBLIOGRAFIA**

1. APAT - Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia - Rapporti 38/2003
2. Min. dell'Ambiente e della Tutela del territorio, ENEA, AIB – Valutazione delle emissioni di inquinanti organici persistenti da parte dell'industria metallurgica secondaria. 2003
3. IARC Polynuclear Aromatic Compounds, Part 3, Industrial Exposures in Aluminium Production, Coal Gasification, Coke Production, and Iron and Steel Founding -Monographs Vol.34
4. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs - Volumes 1 to 42 Supplement 7 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/suppl7/suppl7.pdf>

#### **STUDI OCCUPAZIONALI**

5. Adzersen KH, Becker N, Steindorf K et al. Cancer mortality in a cohort of male german iron foundry workers. *Am J Ind Med*, 2003; 43: 295-305
6. Ahn YS, Park RM, Stayner L, Kang SK et al. Cancer morbidity in iron and steel workers in Korea. *Am J Ind Med*, 2006; 49: 647-657
7. Andjelkovich DA, Mathew RM, Richardson RB et al. Mortality of iron foundry workers: I. Overall Findings. *JOM*, 1990; 32 (6): 529-540

---

## GRANDI IMPIANTI E RISCHIO ONCOLOGICO

8. Andjelkovich DA, Mathew RM, Yu RC et al. Mortality of iron foundry workers: II. Analysis by work area. *JOM*, 1992; 34 (4): 391-401
9. Andjelkovich DA, Shy CM, Brown MH et al. Mortality of iron foundry workers: III. Lung cancer case-control study. *JOM*, 1994; 36 (12): 1301-1309
10. Becher H, Jedrychowski W, Flak E et al. Lung cancer, smoking, and employment in foundries. *Scand J Work Environ Health*, 1989; 15: 38-42
11. Blot WJ, Brown LM, Pottern LM et al. Lung cancer among long-term steel workers. *American Journal of epidemiology*, 1983; 117 (6): 706-716
12. Finkelstein MM, Wilk N. Investigation of a lung cancer cluster in the melt shop of an Ontario steel producer. *Am J Ind Med*, 1990; 17 (4): 483-91
13. Finkelstein MM, Boulard M, Wilk N. Increased risk of lung cancer in the melting department of a second Ontario steel manufacturer. *Am J Ind Med*, 1991; 19 (2): 183-94
14. Finkelstein MM. Lung cancer among steelworkers in Ontario. *Am J Ind Med*, 1994 ; 26 : 549-557
15. Firth HM, Elwood JM, Cox B, Herbison GP. Historical cohort study of a New Zealand foundry and heavy engine-ering plant. *Occup Environ Med* 1999;56:134-138
16. Fletcher AC, Ades A. Lung cancer mortality in a cohort of English foundry workers. *Scand J Work Environ Health*, 1984; 10 (1): 7-16
17. Gibson ES, Martin RH, Lockington JN. Lung cancer mortality in a steel foundry. *J Occup Med* 1977; 19(12):807-12
18. Hauptmann M, Pohlabein H, Lubin JH et al. The exposure-time-reponse relationship between occupational exposure and lung cancer in two German case-control studies. *Am J Ind Med* 2002; 41:89-97
19. Hoshuyama T, Pan G, Tanaka C et al. Mortality of iron-steel workers in Anshan, China : a retrospective cohort study. *Int J Occup Environ Health*, 2006; 12: 193-202
20. Koskela RS, Hernberg S, Karava R et al. A mortality study of foundry workers. *Scan J Work Environ Health*, 1976; 2 (1): 73-89
21. Jockel KH, Ahrens W, Wichmann HE et al. Occupational and environmental hazards associated with lung cancer. *Int J Epidemiol* 1992;21(2):202-13
22. Lloyd JW, Lundin FE, Redmond CK et al. Long term mortality study of steelworkers. IV. Mortality by work area. *J Occup Med*, 1970; 12: 151-7
23. Moulin JJ, Portefaix P, Wild P et al. Mortality study among workers producing ferroalloys and stainless steel in France. *Br J Ind Med*, 1990; 47: 537-543

---

## GRANDI IMPIANTI E RISCHIO ONCOLOGICO

24. Moulin JJ, Wild P, Mantout B et al. Mortality from lung cancer and cardiovascular diseases among stainless-steel producing workers. *Cancer Causes and Control*, 1993; 4: 75-81
25. Moulin JJ, Lafontaine M, Mantout B et al. La mortalité par cancers broncho-pulmonaires parmi les salariés de deux usines siderurgiques. *Rec Epidem et Santé Publ*, 1995; 43 : 107-121
26. Moulin JJ, Clavel T, Roy D et al. Risk of lung cancer in workers producing stainless steel and metallic alloys. *Int Arch Occup Environ Health*, 2000; 73: 171-180
27. Neuberger M, Kundi M, Haider M et al. Cancer mortality of dust workers and controls. Results of a prospective study. In: *Prevention of Occupational Cancer-International Symposium (Occupational Safety & Health Series N. 46)*; Geneva, International Labour Office, 1982: 235-241
28. Palmer WG, Scott WD. Lung cancer in foundry workers: a review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1981; 42: 329-340
29. Park RM, Ahn YS, Stayner LT et al. Mortality of iron and steel workers in Korea. *Am J Ind Med*, 2005; 48: 194-204
30. Radford EP. Cancer mortality in the steel industry. *Ann NY Acad Sci* 1976; 271: 228-33
31. Redmond CK, Wigand HS, Rockette HE et al. Long term mortality experience of steel workers. 1981, NIOSH publication N. 81-120
32. Rodriguez V, Tardon A, Kogevinas M et al. Lung cancer risk in iron and steel foundry workers : a nested case control study in Asturias, Spain. *Am J Ind Med*, 2000; 38: 644-650
33. Sherson D. Cancer incidence among foundry workers in Denmark. *Arch Environ Health* 1991;46(2)75-81
34. Silverstein M, Maizlish N, Park R et al. Mortality among ferrous foundry workers. *Am J Ind Med*, 1986; 10 (1): 27-43
35. Sorahan T, Cooke MA. Cancer mortality in a cohort of United Kingdom steel foundry workers: 1946-85. *Br J Ind Med*, 1989; 46 (2): 74-81
36. Sorahan T, Faux AM, Cooke MA. Mortality among a cohort of United Kingdom steel foundry workers with special reference to cancers of the stomach and lung, 1946-90. *Occup Environ Med*, 1994; 51: 316-322
37. Tola S. Epidemiology of lung cancer in foundries. *J Toxicol Environ Health* 1980;6 (5-6):1195-200
38. Xu Z, Pan GW, Liu LM et al. Cancer risks among iron and steel workers in Anshan, China, Part I: proportional mortality ratio analysis. *Am J Ind Med*, 1996; 30: 1-6
39. Xu Z, Brown LM, Pan GW et al. Cancer risks among iron and steel workers in Anshan, China, Part II: case-control studies of lung and stomach cancer. *Am J Ind Med*, 1996; 30: 7-15

---

## GRANDI IMPIANTI E RISCHIO ONCOLOGICO

40. Wu-Williams AH, Blot WJ, Dai XD et al. Occupation and lung cancer risk among women in Northern China. *Am J Ind Med* 1993;24:67-79
41. Hou L. et al. Airborne particulate matter and mitochondrial damage: a cross-sectional study. *Environmental Health* 2010, 9:48
42. Tarantini L. et al. Effects of Particulate Matter on Genomic DNA Methylation Content and iNOS Promoter Methylation. *Environ Health Perspect* 2009, 117:217-222
43. Smith GH, et al. Respiratory cancer and air pollution from iron foundries in a Scottish town: an epidemiological and environmental study *Brit.J.Ind.Me.*1987;44:795-802
44. Vivia G. e all. – La valutazione della qualità dell'aria in una zona urbana-industriale: il caso Taranto. *Epidemiol.Prev* 2005 29(5-6)
45. Nichilo G. e all. – Dati di mortalità e incidenza per neoplasie dell'apparato emolinfopoietico nell'area a rischio di Taranto ed analisi di incidenza e mortalità nel quartiere Tamburini. *Relazione XII Riunione annuale Associazione Italia Registri Tumori – Mantova 2008*
46. Valerio F., Stella A. Daminelli E. – Identificazione delle fonti di emissione di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e benzene: l'esperienza di Genova- Cornigliano. *Epidemiol.Prev* 2005 29(5-6)
47. Casella C. e all. – Stato di salute dei residenti nei pressi di un'acciaieria. *Epidemiol.Prev* 2005 29(5-6)
48. Chellini E. e all. – Studio geografico sulla mortalità per tumore del polmone nei residenti a Piombino attorno alla locale cokeria. *Epidemiol.Prev* 2005 29(5-6)
49. Johnson K.C. et al. Residential Proximity to Industrial Plants and Non-Hodgkin Lymphoma *Epidemiology* 2003,14:6