

Impianti di incenerimento e salute umana

Giuseppe Primavera
Pediatra di famiglia, ACP Trinacria

Abstract

Waste Incinerator plants and human health

Scientific knowledge regarding the effects of solid waste incinerator plants on the health of a population living nearby is revised. These effects due to both inhalation of combustion products and to the use of contaminated water and food are described in epidemiological studies referring to old incinerator plants during the 1970's and 1980's. The main problem studied at the time regarded cancer. A recent WHO report concludes by saying that at the moment there are no reasonable evidences or conclusion which can be used by policy makers. Many questions are still open, as the role of ultrafine particulate and of persistent polluting substances. A new generation of scientific studies, based on biomarkers could give more accurate answers both to exposed populations and doctors.

Quaderni acp 2008; 15(5): 196-199

Key words Incinerators. Adverse effects. Biomonitoring

Vengono riviste le attuali conoscenze scientifiche sugli effetti sulla salute delle popolazioni residenti nelle vicinanze di impianti di incenerimento. Tali effetti, dovuti alla inalazione di inquinanti prodotti nei processi di combustione e al consumo di acqua e cibo contaminato, sono descritti in studi epidemiologici riferibili per lo più a impianti di vecchia generazione, attivi negli anni '70 e '80. L'esito sanitario maggiormente studiato è stato il rischio di cancro. Pur ammettendo l'esistenza di una ragionevole evidenza di effetti avversi per la salute causati dai vecchi impianti, un recente rapporto del WHO conclude che tale evidenza è inadeguata a trarre conclusioni che possano essere utilizzate dai decisori politici. Molti interrogativi restano aperti, come il ruolo del particolato ultrafine e degli inquinanti persistenti. Una nuova generazione di studi, basati sui biomarcatori di esposizione, potrebbe sopperire alla inadeguatezza degli studi epidemiologici e dare risposte alle preoccupazioni delle popolazioni esposte e dei medici.

Parole chiave Inceneritori. Effetti avversi. Biomonitoraggio

Il problema dello smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU), venuto alla luce in tutta la sua gravità a Napoli, ha riportato alla ribalta la scelta controversa degli inceneritori come soluzione definitiva del problema. Gli impianti di incenerimento sono presenti in tutto il mondo industrializzato; alcuni Stati come il Giappone vi fanno ricorso in modo massiccio, bruciando circa il 60% dei rifiuti, la media nella CE è del 20%. In Italia (2005) vengono inceneriti circa il 12% dei rifiuti, ma gli impianti sono distribuiti in gran parte nel Nord. L'emergenza campana, la crescente produzione pro-capite di rifiuti e la difficoltà delle amministrazioni locali a gestire in maniera virtuosa una corretta filiera dei rifiuti fanno sì che la soluzione dell'incenerimento venga vista da molti come il sistema più

comodo per liberarcene; la presenza degli inceneritori è però vista con sospetto dalle popolazioni, e con preoccupazione da una parte della comunità scientifica, che ne teme i potenziali effetti dannosi per la salute.

Cos'è un inceneritore?

I "termovalorizzatori" sono di fatto degli inceneritori di rifiuti in grado di sfruttare il loro potere calorico per generare calore e produrre energia elettrica. Costituiscono fonti di emissioni estremamente eterogenee di sostanze chimiche di diversa pericolosità, per il semplice motivo che il loro combustibile, i rifiuti solidi urbani (RSU), specie se non accuratamente selezionato, è quanto mai eterogeneo. Per ogni tonnellata di RSU inceneriti si ottengono [1]:

Ceneri (kg/t RSU)	200-300
Ceneri volanti (kg/t RSU)	10-30
Residui trattamento fumi (kg/t RSU)	20-40
Fanghi di depurazione (kg/t RSU)	0,14-1,2
Fumi da trattare (Nm ³ /t RSU)	5000-7000

Le loro emissioni comprendono:

- ▶ gas a effetto serra, prodotti della combustione completa del carbonio e dell'azoto (ossidi di carbonio, ossidi di azoto e di zolfo), prodotti della combustione incompleta di sostanze chimiche organiche (benzene, diossine, furani, idrocarburi policiclici aromatici, composti organici volatili);
- ▶ metalli (arsenico, berillio, cadmio, cromo, nichel, mercurio, piombo);
- ▶ particolato (insieme di particelle di varie dimensioni).

Molte di queste sostanze (*tabella*) sono state classificate dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeni certi (gruppo 1), probabili (gruppo 2a) o possibili (gruppo 2b) [2].

Sintesi delle conoscenze sugli effetti sulla salute

La maggioranza degli studi epidemiologici pubblicati ha studiato gli effetti delle emissioni degli inceneritori di vecchia generazione, per lo più attivi negli anni '70 e '80. Tali studi retrospettivi hanno spesso avuto limitazioni, includendo possibili bias e fattori confondenti (presenza di altre fonti di inquinamento ambientale attuali e passate oltre agli inceneritori), che ne rendono difficile l'interpretazione. In mancanza di misure dirette dell'esposizione, la distanza dal sito inquinante è spesso stata scelta come proxy dell'esposizione. Molti studi inoltre hanno identificato le popolazioni a rischio secondo modelli a cerchi concentrici che non hanno tenuto conto dei fattori meteorologici e delle caratteristiche

Per corrispondenza:
Giuseppe Primavera
e-mail: beppeprimavera@virgilio.it

TABELLA: EFFETTI CANCEROGENI DELLE SOSTANZE EMESSE DA UN INCENERITORE SECONDO LA IARC

Agente	Grado di evidenza IARC	Effetto cancerogeno
Arsenico	1	Pelle, polmoni, fegato, vescica, rene, colon
Berillio	1	Polmone
Cadmio	1	Polmone, prostata
Cromo	1	Polmone
Nichel	1	Polmone
Mercurio	2b	Polmone, pancreas, colon, prostata, encefalo, rene
Piombo	2b	Polmone, vescica, rene, apparato gastroenterico
Benzene	1	Leucemia
Idrocarburi policiclici	2b	Fegato, polmone, leucemia
Cloroformio	2b	Vescica, rene, encefalo, linfoma
Clorofenoli	2b	Sarcomi tessuti molli, linfomi Hodgkin e non Hodgkin
Tricloroetilene	2a	Fegato, linfomi non Hodgkin
TCDD	1	Linfomi, sarcomi non Hodgkin

dell'impianto (altezza del camino, velocità di efflusso). Molti studi, interessando piccole comunità, non avevano la potenza statistica sufficiente a dimostrare un rapporto causa-effetto.

Numerose indagini epidemiologiche sono state condotte in Italia, offrendo esempi diversi di richieste e di approcci di valutazione del rischio di questi impianti per la salute pubblica: da risposte a preoccupazioni manifestate dalla comunità residente a indagini successive alla segnalazione di apparenti cluster di determinate patologie. Tra questi segnaliamo lo studio caso-controllo condotto nell'area di Trieste, in cui nella sottoarea industriale interessata dalla presenza dell'inceneritore il rischio di tumore al polmone era aumentato di 2,6 volte (IC 95%: 1,3-5,1) [3]. Lo studio caso-controllo sui sarcomi dei tessuti molli nell'area mantovana interessata da un inceneritore di rifiuti industriali, in cui l'OR associato con la residenza entro 2 km intorno all'inceneritore è risultato di 31,4 (IC 95%: 5,6-176,1) [4]. Anche lo studio caso-controllo di Zambon, condotto nell'area industriale di Venezia, concludeva che il rischio di sviluppare un sarcoma era 3,3 volte maggiore (IC 95%: 1,24-8,76) tra i soggetti con esposizione più lunga e più alti livelli di esposizione [5]. Altri studi condotti in Francia e in Italia hanno mostrato una aumentata incidenza di linfomi non-Hodgkin nella popolazione residente nelle vicinanze di

impianti di incenerimento, in conseguenza dell'inquinamento da diossine [6-7]. Per quanto riguarda le neoplasie infantili, gli studi di Knox hanno messo in evidenza che i bambini nati entro 5 km da un inceneritore avevano un rischio relativo raddoppiato di sviluppare tumori o leucemie, anche se l'effetto specifico degli inceneritori era difficilmente separabile da quello degli altri impianti industriali [8].

Una delle rassegne più complete degli studi epidemiologici sugli inceneritori pubblicati tra il 1987 e il 2003 è quella di Franchini et al. [2], che hanno individuato 46 indagini; 32 studi hanno riguardato la salute delle popolazioni residenti in aree vicine agli impianti, 11 sono stati condotti su lavoratori addetti agli impianti, 2 su popolazione residente e lavoratori; in 14 studi si è anche ricercata la presenza di biomarcatori di esposizione e sostanze ad effetto mutageno in liquidi biologici. La maggior parte degli studi condotti per indagare la relazione col cancro ha osservato incrementi significativi per due neoplasie rare, i sarcomi dei tessuti molli e i linfomi non-Hodgkin e, con minore riproducibilità, per neoplasie a carico del polmone, laringe e fegato (vedi *tabella*). In altri studi sono stati riscontrati: aumento della patologia respiratoria non tumorale, riduzione degli ormoni tiroidei nei bambini, aumento di talune malformazioni come difetti del

tubo neurale, malformazioni cardiache, ipospadia, eventi sfavorevoli della sfera riproduttiva come aborto spontaneo, parti gemellari, basso peso alla nascita, alterazioni della sex-ratio con una proporzione più alta di nati femmine [9-12]. Tali effetti non neoplastici sarebbero da ascrivere soprattutto al particolato, agli ossidi di azoto e alle diossine (e più in generale agli *endocrine disruptors*). Metalli pesanti (cadmio, arsenico, cromo, nichel) e diossine rappresentano le due categorie più note e studiate di inquinamento prodotto da inceneritori, che risultano essere la seconda fonte di emissione di diossine dopo le acciaierie, come ribadito da una recente revisione [13]. Nello studio Enhance Health condotto a Coriano (Rimini) e appena concluso, all'aumentare del livello di esposizione a metalli pesanti, scelti come tracciante dell'inquinamento da inceneritore, si è osservato nelle donne un aumento della mortalità per tutti i tumori (RR 1,54; IC 95%: 1,15-2,08), tumore dello stomaco (RR 2,56; IC 95%: 1,04-6,28), del colon-retto (RR 2,47; IC 95%: 1,00-6,10), della mammella (RR 2,16; IC95%: 1,10-4,27) [14]. Inoltre, nel livello più elevato di metalli pesanti si è registrato un aumento statisticamente significativo di mortalità per sarcoma dei tessuti molli (RR 10,97; IC 95%: 1,14-105,7) per la coorte di tutti i residenti.

L'interpretazione di questa letteratura non è semplice. Numerosi studi, come già detto, soffrono di limitazioni e fattori confondenti. Pertanto, pur ammettendo l'esistenza di una ragionevole evidenza di effetti avversi per la salute causati, però, dai vecchi impianti, un recente rapporto del WHO conclude che tale evidenza è inadeguata a trarre conclusioni che possano essere utilizzate dai decisori politici [15]. Viene anche fatto rilevare che negli ultimi anni c'è stato un cambiamento in senso restrittivo delle normative UE in tema di emissioni, e un miglioramento tecnologico dei nuovi impianti per mezzo di nuovi sistemi di filtraggio che hanno notevolmente abbattuto le emissioni di gas acidi, diossine e metalli pesanti. L'adozione di tali tecnologie, secondo il rapporto, ha reso meno probabile la comparsa di esiti misurabili sulla salute delle popolazioni residenti nelle vicinanze di impianti di incenerimento di nuova generazione. A questo

scopo vengono citati studi epidemiologici condotti a Barcellona, Lisbona e Madeira [16].

La pericolosità dei vecchi impianti rispetto ai nuovi

Negli ultimi anni, oltre alle emissioni di diossine e metalli, l'attenzione dei ricercatori si è concentrata sul ruolo del particolato fine e ultrafine [17]. Gli inceneritori di ultima generazione, per ridurre i processi di combustione incompleta, che producono composti organici pericolosi, utilizzano altissime temperature, che riducono il particolato grossolano (PM 10) ma incrementano la componente fine (PM 2,5, particelle di diametro < 2,5 μm) e ultrafine (PM 0,1 o nanoparticolato, diametro < 0,1 μm). Gli attuali sistemi di abbattimento (filtri a manica, precipitatori elettrostatici, *scrubber*) non riescono a catturare efficacemente il particolato ultrafine, che viene trasportato anche per lunghissime distanze dal vento e penetra fino agli alveoli polmonari da dove, superando rapidamente l'epitelio, arriva al circolo sanguigno.

Nella rassegna di Cormier vengono spiegati i processi che nella camera di combustione dell'inceneritore portano all'aggregazione di metalli pesanti, idrocarburi clorurati e radicali liberi sul particolato ultrafine, e i possibili meccanismi del danno alla salute [18]. Tuttavia, le conoscenze degli effetti clinici del particolato ultrafine emesso dagli inceneritori sono ancora scarse, mentre sono consistenti quelle sull'inquinamento atmosferico prodotto da altre fonti (soprattutto il traffico veicolare, responsabile di circa il 50% delle emissioni inquinanti atmosferiche).

Le particelle ultrafini sono in grado di determinare una risposta infiammatoria acuta nel polmone, causando diminuita crescita polmonare nei bambini, esacerbazione di asma e COLD, aumentata ospedalizzazione per malattie respiratorie nei bambini [19-20]. Sono state inoltre riportate relazioni statisticamente significative tra eventi cardiovascolari acuti ed esposizione a particolato fine; è stato calcolato che ogni incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM 2,5 determina un aumento di mortalità per cause generiche del 6%, per patologie cardiovascolari del 12%, per cancro del polmone del 14% [21]. Inoltre, la capacità del particolato di veicolare fino al nucleo radicali liberi e

metalli pesanti è ritenuta responsabile di effetti genotossici, che possono colpire il DNA del singolo individuo (mutazioni delle cellule somatiche) o il DNA della progenie (mutazioni delle cellule germinali) o entrambi [22]. Mutazioni citotossiche e genotossiche, attivando oncogeni o bloccando geni soppressori, possono portare al cancro [23].

Bisogna anche considerare l'impatto indiretto sulla salute dei processi di combustione, attraverso il loro contributo al cambiamento climatico prodotto dai gas a effetto serra emessi, e il problema dello smaltimento delle ceneri, da considerare rifiuti speciali che richiedono appositi siti di stoccaggio. Le ceneri del noto inceneritore di Brescia vengono portate in Germania dove vengono smaltite in vecchie miniere di salgemma.

Nuovi metodi di studio

Risulta comunque chiara la difficoltà degli studi di epidemiologia descrittiva nel raffrontare popolazioni esposte ad altre egualmente esposte a molteplici fonti di inquinamento. Un significativo contributo alla definizione dell'esposizione e quindi allo studio del rapporto tra esposizione ed effetto può venire dagli studi di biomonitoraggio delle popolazioni residenti e degli addetti agli impianti mediante biomarcatori di esposizione a diossine, PCB e metalli pesanti (nel sangue, urine, latte materno, e nei capelli) e indicatori di alterazioni biochimiche e funzionali (funzionalità epatica, disturbi endocrini nei bambini, qualità dello sperma, espressione genica, addotti al DNA) [24]. A questi si affiancano le misure dei livelli ambientali dei principali inquinanti (nell'aria, acqua, suolo, all'interno ed esterno degli impianti) che concorrono a determinare il carico corporeo di un individuo adulto (*body burden*) e la dose totale giornaliera (*daily intake*). Sembra comunque che le misurazioni indirette (nel sangue, latte, capelli) diano una stima più fedele del livello di esposizione rispetto alle misure dirette effettuate sull'ambiente e sugli alimenti. Il problema rimane molto complesso, perché sono poco conosciuti gli effetti dell'esposizione di fondo a sostanze genotossiche come le diossine e quelli della suscettibilità individuale, che può essere valutata attraverso marcatori di predisposizione genetica [25].

Potrebbe fare maggiore chiarezza il progetto *Monitor*, promosso dall'Emilia-Romagna in collaborazione tra ARPA, esperti ASL, Università e Istituti di ricerca, per valutare l'impatto ambientale e sanitario dei suoi 8 inceneritori [26]. Sono state standardizzate le modalità di monitoraggio ambientale (emissioni ai camini, qualità dell'aria, mappa di ricaduta degli inquinanti, composizione del particolato fine e ultrafine) e sanitario (mortalità, incidenza dei tumori, effetti riproduttivi e tossicologici). I risultati del progetto, che si concluderà nel dicembre 2009, dovrebbero fornire indicazioni:

- ▶ alla Pubblica Amministrazione, per la programmazione del territorio e l'eventuale mitigazione degli effetti dell'impatto degli impianti esistenti;
- ▶ ad ASL e ARPA, per rendere più efficace la loro attività di controllo e tutela della salute pubblica;
- ▶ alle associazioni dei cittadini, preoccupati per la presenza degli inceneritori;
- ▶ al mondo scientifico, per le metodologie impiegate e l'ampiezza della popolazione studiata.

Conclusioni

L'incenerimento non può essere considerato l'unica soluzione del problema rifiuti, come viene affermato da alcuni, poiché trasforma rifiuti potenzialmente innocui come quelli domestici in gas a effetto serra, particolato e ceneri che richiedono discariche speciali, secondo il principio di Lavoisier per cui in natura nulla si crea e nulla si distrugge, con effetti sulla salute difficilmente misurabili con gli attuali mezzi. Occorre portare avanti la ricerca su sistemi alternativi, alcuni già attivi, e puntare decisamente sulla gestione ecosostenibile dei rifiuti basata sulle 4 r: riduzione, riuso, riciclo, recupero energetico. ♦

La ricerca è stata eseguita con sole risorse pubbliche. Vi è pertanto assenza di conflitto di interesse.

Bibliografia

- [1] Saracco G. Le migliori tecnologie per l'incenerimento e il controllo delle emissioni. Arpa Piemonte, 29-30 nov. 2007; www.arpa.piemonte.it.
- [2] Franchini M, Rial M, Buiatti F, et al. Health effects of exposure to waste incinerator emissions:

a review of epidemiological studies. *Ann Ist Sup San* 2004;40:101-15.

[3] Barbone F, Bovenzi M, Cavallieri F, et al. Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy. *Am J Epidemiol* 1995;141:1161-9.

[4] Comba P, Ascoli V, Belli S. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med* 2003 Sep;60:680-3.

[5] Zambon P, Ricci P, Bovo E, et al. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study. *Environ Health* 2007;6:19.

[6] Floret N. A municipal solid waste incinerator as the single dominant point source of PCDD/Fs in an area of increased non-Hodgkin lymphoma incidence. *Chemosphere* 2007;68(8):1419-26.

[7] Biggeri A, Catelan D. Mortality for non-Hodgkin lymphoma and soft tissue sarcoma in the surrounding area of an urban waste incinerator. *Campi Bisenzio (Tuscany, Italy) 1981-2001 Epidem Prev* 2005;29:156-9.

[8] Knox E. Childhood cancer, birthplaces, incinerators and landfill sites. *Int J Epidemiol* 2000;29:391-7.

[9] Osius N, Karmaus W, Kruse H et al. Exposure to PCB and levels of thyroid hormones in children. *Environ Health Perspect* 1999;107:843.

[10] Dolk H, Vrijheid W, Armstrong B, et al. Risk of congenital anomalies near hazardous waste land-

fill sites in Europe EUROHAZCON study. *Lancet* 1998;352:423-7.

[11] Lloyd OL, Lloyd MM, Williams FL, et al. Twinning in human populations and in cattle exposed to air pollution from incinerator. *Br J Ind Med* 1998;45:556-60.

[12] Williams FL, Lawson AB, Lloyd OL, et al. Low sex ratios of births in areas at risk from air pollution from incinerators. *Int J Epidemiol* 1992;21:311-9.

[13] Shibamoto T, Yasuhara A, Katami T. Dioxin formation from waste incineration. *Rev Environ Contam Toxicol* 2007;190:1-41.

[14] Valutazione dello stato di salute della popolazione residente nell'area di Coriano (Forlì); http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_documento/rifiuti/inceneritori/enh_relazione_finale.

[15] Population health and waste management: scientific data and policy options; www.euro.who.int.

[16] Gonzales CA, Kogevinas M, Gadea E. Bio-monitoring study of people living near or working at a municipal solid-waste incinerator before and after two years of operation. *Arch Environ Health* 2000;55:259-67.

[17] Linzalone N, Bianchi F. Inceneritori: non solo diossine e metalli pesanti, anche polveri fini e ultrafini. *Epidemiol Prev* 2007;1:62-6.

[18] Cormier SA, Lomnicki S, Backes W, et al. Origin and health impacts of emissions of toxic by-

products and fine particles from combustion and thermal treatment of hazardous wastes and materials. *Environ Health Perspect* 2006;114:810-7.

[19] Gauderman WJ, Vora H, McConnell R., et al. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age; a cohort study. *Lancet* 2007;369:571-7.

[20] Barnett AG, Williams GM, Schwartz J. Air pollution and child respiratory health. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;171:1272-8.

[21] Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287:1132-41.

[22] Dellinger B, Prior WA, Cueto R, et al. Role of free radicals in the toxicity of airborne fine particulate matter. *Chem Res Toxicol* 2001;14:1371-7.

[23] Vineis P, Husgafvel-Pursiainen K. Air pollution and cancer: biomarker studies in human populations. *Carcinogenesis* 2005;26:1846-55.

[24] Leem JH, Hong YC, Lee KH, et al. Health survey on workers and residents near the municipal waste and industrial waste incinerators in Korea. *Ind Health* 2003;41:181-8.

[25] Bianchi F, Franchini M, Linzalone N. Salute in cenere? In: Dossier inceneritori, Rivista SNOP 2006;67:20-4.

[26] http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale_619.asp.

NO COMMENT

Se lo dice l'assessore

A Bologna alla Conferenza nazionale sulle cure primarie l'assessore alla sanità regionale ha detto il sistema dell'assistenza sanitaria territoriale è ancora talmente evanescente che non abbiamo neppure gli strumenti per valutarlo. Insomma la seconda gamba del SSN zoppica un po'.

Il precursore

Una buona valutazione la propose Thomas Sydenham (1624-1689): "l'arrivo di un buon clown esercita sulla salute di una città una influenza benefica superiore a quella di venti asini carichi di medicine".

Closer to nature: che volete di più?

Un sistema innovativo per introdurre il biberon senza turbare il neonato è

Close to nature. Tettarella in morbido silicone progettata per riprodurre le caratteristiche del seno materno.

Assume rapidamente la temperatura del latte. Ha una elasticità naturale che consente allungamento e flessione. Ha dimensioni simili a quella dell'areola materna (sic!). Valvola anticolicca supersensibile (sic!). Il biberon ha due formati: da 150 e 260 ml con tettarella a flusso lento, medio e veloce. È compatto e permette di tenere il neonato verso di sé proprio come nell'allattamento materno.

Nessuna notizia sulla capacità di eccitazione sessuale

Conflitto di interesse sconfitto in 6 mosse

Una società scientifica italiana ha proposto 6 punti di "trasparenza e serietà scientifica" per la organizzazione di congressi pediatrici nazionali e internazionali.

- Almeno 6 ore di attività formativa giornaliera con rilevazione della frequenza in aula.

- Ottenere l'accreditamento ECM.

- Vi deve essere, specialmente in quelli che si svolgono all'estero, il coinvolgimento della pediatria locale (*).

- I partecipanti devono essere iscritti alle società scientifiche che li organizzano.

- È opportuno un compenso ragionevole per i relatori.

- Nel caso in cui si crei qualche controversia si dovrà fare ricorso al consiglio dei saggi della SIP che sono gli ultimi 3 past-president.

(*) Il pensiero corre ai congressi nelle oasi del Sahara