

Sorveglianza sulla salute della popolazione nei pressi del termovalorizzatore di Torino (SPoTT): presentazione del programma di sorveglianza

Population health surveillance of the general population living near Turin (Northern Italy) incinerator (SPoTT): methodology of the study

Antonella Bena,¹ Monica Chiusolo,² Manuela Oreggia,¹ Ennio Cadum,² Elena Farina,¹ Loredana Musmeci,³ Enrico Procopio,⁴ Giuseppe Salamina,⁵ Gruppo di lavoro SPoTT*

¹ Servizio di epidemiologia, Azienda sanitaria locale TO3, Grugliasco (TO)

² Dipartimento di epidemiologia e salute ambientale, ARPA Piemonte, Grugliasco (TO)

³ Dipartimento ambiente e connessa prevenzione primaria, Istituto superiore di sanità, Roma

⁴ Servizio di igiene e sanità pubblica, Dipartimento di prevenzione, Azienda sanitaria locale TO3, Susa (TO)

⁵ Centro per il controllo delle malattie, Dipartimento di prevenzione, Azienda sanitaria locale TO1, Torino

Corrispondenza: Antonella Bena; antonella.bena@epi.piemonte.it

RIASSUNTO

Si intende qui descrivere il sistema di sorveglianza sugli effetti sulla salute (SPoTT) dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti l'inceneritore di Torino.

SPoTT ha 3 linee di attività:

1. monitoraggio epidemiologico degli effetti a breve termine attraverso analisi temporali e misura della correlazione tra livelli giornalieri di emissioni dell'impianto e andamento degli eventi individuati dagli archivi dei dimessi (SDO), di pronto soccorso e di mortalità; sono coinvolti i residenti nell'area di ricaduta delle emissioni nel periodo 2013-2018;

2. sorveglianza epidemiologica degli effetti a lungo termine, stimando tassi standardizzati di mortalità e morbosità; a ogni soggetto è attribuito il valore stimato di esposizione cumulato nel tempo caratteristico della residenza anagrafica; le informazioni sulla salute sono reperite dagli archivi SDO, di mortalità e dai certificati di assistenza al parto; sono studiati due decenni pre-post l'avvio dell'impianto: 2003-2012 e 2013-2022;

3. monitoraggio biologico con misurazione pre-post di metalli, PCDD/F, PCB, OH-IPA; sono coinvolti 196 residenti esposti e 196 di controllo di 35-69 anni, campionati a caso dalle anagrafi comunali; sono effettuate misure di funzionalità endocrina e respiratoria, pressione arteriosa, rischio cardiovascolare; l'esposizione cumulativa sarà stimata per ciascuna persona campionata integrando l'indirizzo di residenza, il tempo di permanenza in ciascun indirizzo e i dati ricavati dai modelli di ricaduta; sarà costituita una biobanca per future indagini di laboratorio; sono coinvolti anche 20 allevatori e i lavoratori dell'impianto.

Una quarta linea di attività, non descritta in questo articolo, riguarda il monitoraggio della salute dei lavoratori addetti all'impianto.

SPoTT è il primo studio in Italia su inceneritori e salute che adotta un disegno di studio longitudinale di adeguata potenza sia per i residenti sia per i lavoratori. I primi risultati sono attesi nel corso del 2016.

Parole chiave: inceneritore, biomonitoraggio, effetti a breve termine, esiti riproduttivi, mortalità e morbosità

ABSTRACT

We describe the surveillance system (called SPoTT) that was set up to monitor the possible adverse effects to the health of the resident population near a new waste incinerator in the city of Turin (Piedmont Region, Northern Italy).

SPoTT consists of 3 main work packages, all based on a longitudinal approach:

1. assessment of short-term respiratory and cardiovascular effects, using time-series analysis; it estimates the correlation between the incinerator daily emissions and the health outcomes identified from hospital discharges, first-aid, and mortality archives; subjects living in the fallout incinerator area in 2013-2018 are involved;

2. assessment of long-term effects, estimating standardised morbidity and mortality rates; cumulative exposure over time is estimated at the address of residence of every subject; health information are retrieved from mortality, hospital discharge, and delivery certificate database; two decades before and after the start of the incinerator activity are studied: 2003-2012 and 2013-2022;

3. human bio-monitoring: 196 residents in the fallout area and 196 residents far from it, aged 35-69 years, are randomly selected from the municipal registers; the cohort is monitored before the start-up of the plant and will be followed-up after 1 and 3 years, with measurements of blood pressure, respiratory function, cardiovascular hazard score, selected blood, and urine parameters including metals, PCDDs/Fs, PCBs, OH-PAH, hormones, and common medical health parameters; individual exposure to urban pollution and incinerator fallout of the participating subjects will be assessed through the use of maps and mathematical models; the same protocol is also applied for a group of 20 farmers and workers of the plant.

The goal of a fourth work package, not described in this paper, is to assess the health of plant workers.

SPoTT is the first study performed in Italy which adopt a longitudinal design of appropriate statistical power to assess health impacts of waste incinerator plant emissions. The initial results comparing the baseline to the first follow-up are expected in 2016.

Keywords: incinerator, bio-monitoring, short-term effects, reproductive outcomes, mortality and morbidity

*Gruppo di lavoro SPoTT: Servizio di epidemiologia, Azienda sanitaria locale TO3, Grugliasco (TO): Franca Foggetti; Dipartimento di epidemiologia e salute ambientale, ARPA Piemonte, Grugliasco (TO): Moreno Demaria, Martina Gandini, Simona Soldati; Servizio igiene e sanità pubblica, Dipartimento di prevenzione, Azienda sanitaria locale TO3, Susa (TO): Nicola Suma; Reparto di bioelementi e salute, Dipartimento ambiente e connessa prevenzione primaria, Istituto superiore di sanità, Roma: Alessandro Alimonti, Beatrice Bocca, Anna Pino; Reparto di chimica tossicologica, Dipartimento ambiente e connessa prevenzione primaria, Istituto superiore di sanità, Roma: Elena De Felip, Anna Laura Iameli; Struttura rischio industriale e igiene industriale, Dipartimento rischio industriale ed energia, ARPA Piemonte, Grugliasco (TO): Marco Fontana

Keypoints

- Gli studi sugli effetti sulla salute degli inceneritori non sono conclusivi: si riferiscono in buona parte a impianti vecchi, la valutazione dell'esposizione è spesso povera, la potenza scarsa, non sono disponibili informazioni su confondenti anche molto rilevanti.
- Il biomonitoraggio umano può fornire un contributo importante negli studi epidemiologici sugli inceneritori.
- SPoTT è il primo studio in Italia su inceneritori e salute con un disegno pre-post di adeguata potenza e un gruppo di controllo.
- Sono affiancate linee di studio epidemiologico e di monitoraggio biologico che affrontano lo stato di salute complessivo della popolazione e dei lavoratori.

INTRODUZIONE

Nel processo di combustione degli inceneritori si possono generare emissioni contenenti microinquinanti organici quali policlorodibenzodiossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF), policlorobifenili (PCB), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli.

La direttiva europea 2000/76/CE ha stabilito misure intese a prevenire o ridurre l'inquinamento dell'atmosfera, dell'acqua e del terreno provocato dall'incenerimento dei rifiuti e i relativi rischi per la salute umana. Tali misure hanno imposto l'ottenimento di un'autorizzazione per l'esercizio e limiti per le emissioni di taluni inquinanti. La conseguente introduzione di moderni sistemi di abbattimento¹ ha comportato una notevole riduzione delle emissioni di diossine e metalli rispetto ai vecchi impianti e un incremento trascurabile di sostanze inquinanti rispetto ai livelli di fondo² o rispetto ad altre fonti presenti.³ Alcuni lavori recenti di monitoraggio dei suoli in prossimità di inceneritori⁴ confermano la diminuzione drastica di emissioni di diossine dagli impianti moderni.

Gli studi epidemiologici volti a valutare gli effetti che gli inceneritori hanno sulla salute risentono della complessa esposizione ambientale cui la popolazione è soggetta; la compresenza di numerose fonti emissive rende difficile separare il contributo specifico degli inceneritori. La revisione di Porta⁵ segnala una limitata evidenza di rischio aumentato per diverse sedi tumorali (fegato, stomaco, colon retto, polmone, linfomi non Hodgkin, sarcomi dei tessuti molli) e per alcune tipologie di anomalie congenite. La recente revisione di Ashworth⁶ conclude che le prove dell'esistenza di effetti avversi per gli esiti del concepimento sono deboli. Lo studio di Candela⁷ segnala un aumento dei nati pretermine. Golini⁸ segnala un effetto dell'esposizione all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori del Lazio sulle patologie respiratorie dei residenti maschi. Questi studi, tuttavia, hanno alcuni limiti: si riferiscono

perlopiù a impianti vecchi, la valutazione dell'esposizione è spesso povera, le analisi sono a livello ecologico (senza controllo del confondimento individuale), riferite a pochi individui, non sono disponibili informazioni su confondenti anche rilevanti.

Sono stati condotti anche diversi studi con misure di *bio-marker* di esposizione. In sintesi, i risultati riguardanti i residenti indicano che non vi è una relazione significativa tra l'esposizione alle emissioni da inceneritore e i livelli di biomarcatori chimici misurati nell'uomo in matrici quali sangue, urine, latte materno, tessuto adiposo, capelli o tessuto autoptico. Le sostanze chimiche maggiormente considerate sono le diossine (PCDD/F): le occasionali differenze nei livelli dei singoli congeneri rilevate tra i gruppi messi a confronto, quasi mai significative, sono attribuite a inceneritori di vecchia generazione e legate al consumo di prodotti locali.⁹ Studi condotti su impianti nuovi non mostrano differenze nei livelli di PCDD/F e PCB tra gruppi di esposizione.¹⁰ I livelli dei metalli sono all'interno dei *range* di riferimento osservati in aree non interessate dalle emissioni di inceneritori.¹¹⁻¹³

Il termovalorizzatore di Torino sorge su un'area di circa 100.000 m² in una zona industriale ai confini con la tangenziale. Un'area cittadina, quindi, già fortemente sottoposta a pressioni ambientali industriali e da traffico veicolare. Si tratta di un impianto che incenerisce rifiuti urbani (RSU) a valle della raccolta differenziata e rifiuti speciali assimilabili agli urbani (RSA), trasformando il calore prodotto dalla combustione in energia elettrica e termica. I rifiuti vengono gestiti su tre linee gemelle e indipendenti per un carico totale autorizzato di 421.000 t/anno. Nella valutazione di impatto ambientale si disciplina che il costruttore deve definire un «piano di sorveglianza sanitaria e di conoscenza della variazione dello stato di salute della popolazione residente», con messa a disposizione di finanziamenti specifici. Data la complessità e rilevanza di tale prescrizione, la Provincia di Torino ha deciso di affidare la progettazione e la conduzione delle azioni ai soggetti pubblici competenti per territorio.

Ad aprile 2013 è iniziata l'attività di test sulle linee 1 e 2. A giugno e luglio 2013 le attività sono state interrotte per permettere l'esecuzione dei prelievi previsti dallo studio di biomonitoraggio del programma Sorveglianza sulla salute della popolazione nei pressi del termovalorizzatore di Torino (SPoTT). La fase di avvio è ripresa ad agosto 2013. L'inceneritore è entrato a regime a luglio 2014.

L'obiettivo generale del programma SPoTT è valutare gli effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti l'inceneritore. Sono previste 3 linee di attività valutate preliminarmente e in itinere da un Comitato tecnico scientifico istituito appositamente dalla Provincia:

- monitoraggio epidemiologico degli effetti a breve termine;
- sorveglianza epidemiologica degli effetti a lungo termine;
- monitoraggio biologico mediante misura di *biomarker* di esposizione.

Una quarta linea di attività, non descritta in questo articolo, riguarda il monitoraggio della salute dei lavoratori addetti all'impianto.

MATERIALI E METODI

MONITORAGGIO EPIDEMIOLOGICO

DEGLI EFFETTI A BREVE TERMINE

Per valutare l'esistenza di effetti a breve termine sarà utilizzato l'approccio metodologico di serie temporale usato negli studi più recenti sull'inquinamento atmosferico urbano.¹⁴

L'area attorno all'inceneritore è stata suddivisa in 5 zone sulla base dei dati previsionali delle deposizioni secche di metalli pesanti del termovalorizzatore (figura 1).

La popolazione in studio comprende tutti i residenti nel periodo 01.09.2013-31.08.2018 nell'area di ricaduta con valori potenzialmente superiori a 0,007 mg/m²/anno (comuni di Rivalta, Beinasco, Grugliasco, Orbassano e Torino). La numerosità della popolazione in studio è di circa 100.000 soggetti. Attraverso procedure di *record linkage* tra registri anagrafici e archivi regionali di dimissione ospedaliera (SDO), di accesso al pronto soccorso e di mortalità saranno ricavate le informazioni riguardanti gli eventi acuti per patologie respiratorie e cardiovascolari prese in considerazione negli studi degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico¹⁵ (tabella 1). L'analisi dei ricoveri e degli accessi al pronto soccorso assicura un numero sufficientemente elevato di eventi; nell'analisi della mortalità dovrà essere verificata la potenza statistica. La popolazione monitorata copre tutte le fasce di età e sarà pertanto possibile studiare l'effetto degli inquinanti nei sottogruppi di popolazione potenzialmente più a rischio: soggetti anziani (≥65 anni), bambini (0-14 anni) e adulti (≥35 anni).

L'areale di ricaduta è servita da diverse centraline, tra cui una cabina di monitoraggio della qualità dell'aria nel punto di potenziale massima ricaduta delle emissioni localizzato nel comune di Beinasco. Gli inquinanti misurati che saranno oggetto dell'analisi di correlazione principale sono il biossido di azoto (NO₂) e le polveri (PM₁₀ e PM_{2,5}).

L'esposizione individuale all'inquinamento urbano sarà calcolata mediante l'utilizzo di mappe e modelli matematici. Il modello permetterà di ottenere dati con risoluzione 1 km² x 1 km².

Lo studio prevede la conduzione di analisi di serie temporali, con misura della correlazione tra livelli giornalieri di emissioni dell'inceneritore (misurate sia come emissioni del camino sia come concentrazioni rilevate nell'area di residenza)

ESITI	MORTALITÀ	RICOVERI
MALATTIE DEL SISTEMA CIRCOLATORIO (390-459)	x	x
Malattie cardiache (390-429)	x	x
Eventi coronarici acuti (IMA: 410; angina instabile: 411; complicanze della sindrome coronarica in d. principale* con 410 o 411 in d. secondaria)	x	x
Altre malattie ischemiche (413-414)	DV	DV
Disturbi della conduzione (426) e aritmie (427)	x	x
Scompenso cardiaco (428)	x	x
Malattie cerebrovascolari (430-438)	x	x
Ictus emorragico (430-431)	DV	DV
Ictus ischemico (434, 436)	x	x
MALATTIE RESPIRATORIE (460-519)	x	x
Infezioni delle vie respiratorie (464-466, 480-487)	x	x
Bronchite (466)		DV
Polmonite e infuenza (480-487)	x	x
BPCO (490-492, 494, 496)	x	x
Asma (493)	DV	x
DIABETE COMPLICATO (250.1-250.9)	x	x

DV: da valutare in relazione alla numerosità degli eventi / to be evaluated according to the number of events
 * Complicanze dell'IMA / AMI complications: 427.1 tachicardia parossistica ventricolare / paroxysmal ventricular tachycardia; 427.41 fibrillazione ventricolare / ventricular fibrillation; 427.42 flutter ventricolare / ventricular flutter; 427.5 arresto cardiaco / heart failure; 428.1 insufficienza del cuore sinistro (scompenso cardiaco sinistro) / left cardiac decompensation; 429.5 rottura di corda tendinea / rupture of mitral chord tendineae; 429.6 rottura di muscolo papillare / rupture of papillary muscle; 429.71 difetto settale acquisito / acquired septal defect; 429.79 altri postumi di infarto miocardico non classificati altrove (trombo murale acquisito successivo a infarto miocardico) / other sequelae of myocardial infarction non otherwise classified (acquired mural thrombus after myocardial infarction); 429.81 altre alterazioni del muscolo papillare / other papillary muscle impairments; 518.4 edema polmonare acuto, non specificato / non-specified acute pulmonary oedema; 780.2 sincope e collasso / syncope and collapse; 785.51 shock cardiogeno / cardiogenic shock; 414.10 aneurisma cardiaco (parete) / cardiac aneurysm (wall); 423.0 emopericardio / haemopericardium.

Tabella 1. Effetti a breve termine monitorati da SPoTT (codici ICD9-10).
Table 1. Short-term effects monitored by SPoTT (ICD9-10 codes).

e andamento giornaliero degli eventi sanitari a breve termine (da 1 a 5 giorni di distanza). Sarà effettuato un confronto con l'andamento negli altri quartieri di Torino in relazione alle concentrazioni giornaliere degli inquinanti in atmosfera selezionati. L'analisi delle serie giornaliere sarà condotta applicando la modellistica consueta in questo tipo di studi.¹⁶ Sarà effettuata un'analisi preliminare dei rischi per il quinquennio 2008-2012 precedente all'avvio del termovalorizzatore. Per ciascun anno dal 2013 al 2018 saranno condotte analisi di serie temporali i cui risultati saranno confrontati con quelli del periodo di riferimento 2008-2012. L'eventuale più elevato rischio statisticamente significativo di eventi sanitari nei residenti nelle aree di maggiore ricaduta prossime all'inceneritore deporrà per un effetto significativo a breve termine delle emissioni dell'inceneritore.

SORVEGLIANZA EPIDEMIOLOGICA

DEGLI EFFETTI A LUNGO TERMINE

Obiettivo di questa linea di attività è monitorare alcuni esiti di salute riconducibili a possibili effetti a lungo termine nella popolazione esposta alle emissioni dell'inceneritore di Torino.

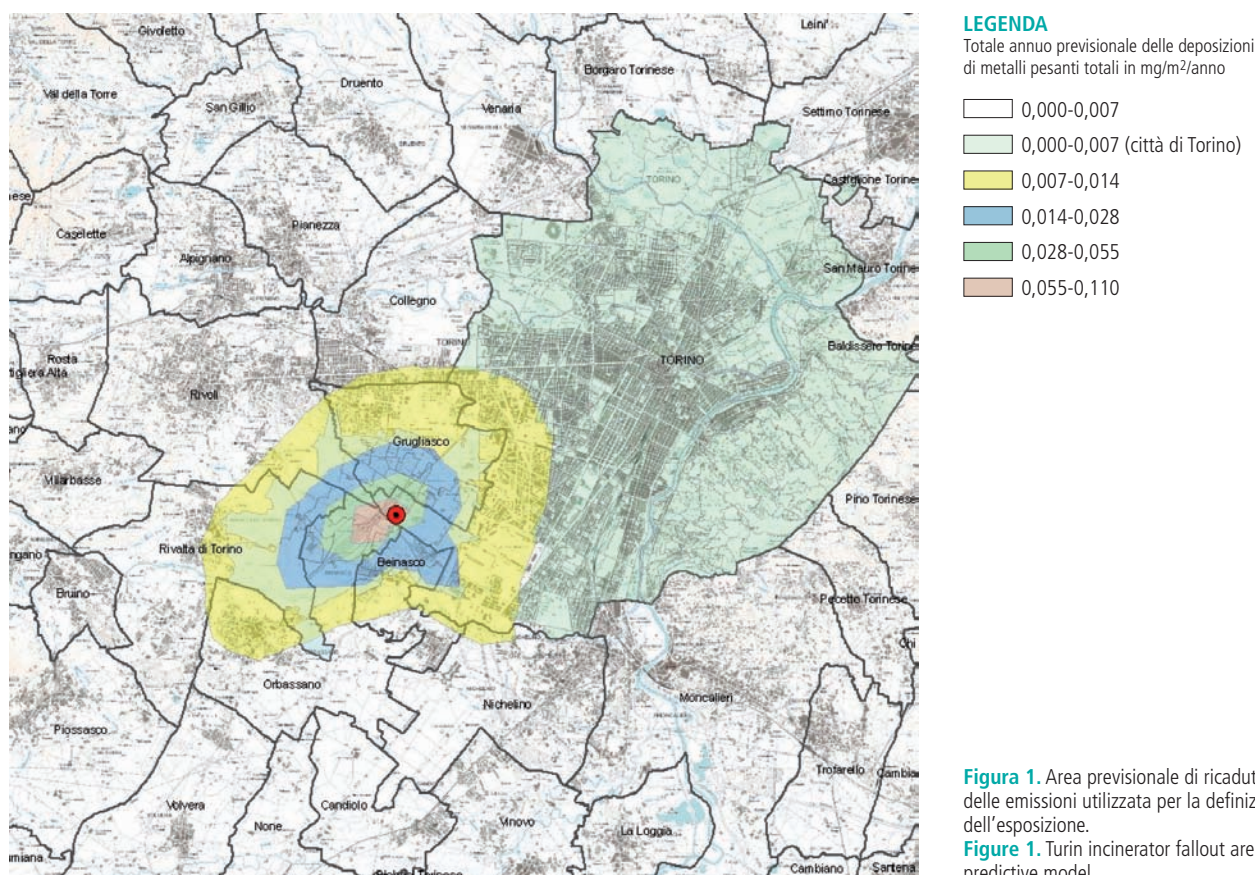


Figura 1. Area previsionale di ricaduta delle emissioni utilizzata per la definizione dell'esposizione.
Figure 1. Turin incinerator fallout area: predictive model.

Sarà costituita una coorte aperta comprendente la popolazione residente per almeno 12 mesi dal 01.01.2003 nei 5 comuni maggiormente interessati dall'area di ricaduta del termovalorizzatore (figura 1). Per ogni soggetto saranno recuperate le informazioni presenti negli archivi regionali SDO, mortalità, certificati di assistenza al parto (CedAP). Complessivamente il periodo in studio si estende dal 2003 al 2022 ed è diviso in 2 sottoperiodi decennali, prima e dopo l'entrata in funzione dell'inceneritore (01.01.2003-31.12.2012 e 01.09.2013-31.08.2022). Qui di seguito vengono esposti i principali esiti sanitari che saranno studiati.

Esiti riproduttivi (comprese le malformazioni congenite)

La popolazione in studio sarà costituita da tutti i nati nel periodo in studio da madri che al momento del parto risiedono da almeno 12 mesi in uno dei 5 comuni interessati dall'area di ricaduta del termovalorizzatore. Nei comuni in studio il numero di nuovi nati/anno è circa pari a 9.000. L'elenco dei nati, la data di nascita e l'indirizzo saranno forniti dalle anagrafi comunali. Ogni madre sarà georeferenziata con software ARCGIS.

Attraverso procedure di *record linkage* con le SDO e i CedAP saranno ricavate le informazioni sullo stato di salute del neonato, il parto, il decorso della gravidanza, le condi-

zioni di salute della madre, nonché alcune variabili sociodemografiche (età, titolo di studio, stato civile e occupazione della madre). Le informazioni sulle malformazioni congenite saranno derivate dai dati di mortalità e dalle SDO.

Gli esiti avversi della gravidanza che verranno analizzati sono: il numero di parti gemellari (*multiple birth*), il rapporto tra il numero di nati maschi e il numero totale di nati (*sex ratio*), il numero di nati con età gestazionale inferiore a 37 settimane (*preterm birth*), il numero di nati a termine con peso inferiore a 2.500 g (*low birth weight*), il numero di neonati piccoli per l'età gestazionale, ossia di peso in grammi inferiore o uguale al 10° percentile previsto per la settimana di gravidanza alla nascita e il sesso del neonato (*small for gestational age*), il numero di aborti spontanei, le malformazioni congenite (tutte le malformazioni, i difetti del tubo neurale, i difetti orofacciali, i difetti del tratto urinario, i difetti della parete addominale, i difetti gastrointestinali e i difetti cardiovascolari).⁵

A ogni neonato arruolato sarà attribuito il valore stimato di esposizione caratteristico della residenza alla nascita, assumendo pertanto che tale residenza abbia effettivamente costituito l'abitazione materna durante tutta la gravidanza. Come per lo studio degli effetti a breve termine, sono state scelte in via iniziale le deposizioni secche di metalli

pesanti al suolo come tracciante dell'esposizione all'inceneritore (figura 1). Tale definizione dell'esposizione a lungo termine deve essere verificata in relazione alle ricadute effettive misurate e alla disponibilità di dati misurati dai sistemi di misura automatica al camino (SME), necessari per la modellistica di ricaduta degli inquinanti. Calcolando i contributi mensili alle emissioni sarà possibile attribuire valori di esposizione per periodi temporali differenti e ricostruire così una più accurata esposizione di 9 mesi per i periodi di gravidanza.

Lo studio prevede la conduzione di analisi spaziali, con confronto dell'incidenza degli eventi in studio entro l'area indagata tra i diversi livelli di esposizione. Per ogni esito in studio saranno calcolati i rapporti standardizzati di prevalenza alla nascita utilizzando come riferimento per il calcolo dei valori attesi i tassi annuali degli eventi occorsi nella popolazione della provincia di Torino e della regione Piemonte nello stesso periodo in studio. L'associazione tra esposizione ed eventi avversi sarà stimata attraverso il calcolo degli *odds ratio* applicando modelli di regressione logistica multivariata correggendo per le covariate materne, tra cui le esposizioni occupazionali, il titolo di studio e il livello socioeconomico misurato tramite l'indice di deprivazione.¹⁷ Non sarà possibile valutare l'esposizione individuale da fumo di tabacco, abitudini alimentari e alcol dal momento che l'archivio CEDAP non possiede tali informazioni.

L'eventuale maggiore rischio statisticamente significativo di eventi sanitari nel periodo successivo all'entrata in funzione dell'impianto deporrà per un effetto significativo a lungo termine delle emissioni dell'inceneritore.

Mortalità e ricoveri ospedalieri

La coorte in studio è costituita da tutti coloro che hanno risieduto per almeno 12 mesi in uno dei 5 comuni interessati dall'area di ricaduta del termovalorizzatore a partire dal 01.01.2003. Annualmente saranno verificati i nuovi eventi di emigrazione o immigrazione con aggiornamento della coorte. Attraverso procedure di *record linkage* con gli archivi SDO e di mortalità saranno eseguiti, con aggiornamento annuale, i follow-up di mortalità e ricovero. Il periodo di follow-up sarà esteso fino al 31.08.2022. Saranno selezionati i primi ricoveri di ogni soggetto per la causa in esame considerando sia i codici principali sia quelli secondari o terziari; la verifica dei ricoveri pregressi sarà effettuata anche nei due anni precedenti alla data di arruolamen-

to della coorte. Saranno indagati i grandi gruppi di cause di morte e le cause specifiche più frequenti o per le quali esiste in letteratura una segnalazione di possibile associazione con l'esposizione a inceneritori^{5,18} (tabella 2).

Le anagrafi dei Comuni interessati forniranno l'elenco e l'indirizzo completo dei residenti. A ciascuna residenza saranno attribuite le coordinate geografiche con software ARCGIS e la sezione di censimento di residenza all'inizio del periodo in studio. A ogni residente arruolato nella coorte sarà attribuito il valore stimato di esposizione cumulato nel tempo caratteristico della residenza anagrafica, assumendo pertanto che tale residenza abbia effettivamente costituito l'abitazione durante il periodo in studio. Si userà un modello di *land use regression* per legare le informazioni dell'inquinamento da traffico a ogni singolo indirizzo, come previsto dalla metodica sviluppata per lo studio ESCAPE.¹⁹

Lo studio prevede la conduzione di analisi spaziali, con confronto dell'incidenza degli eventi in studio entro l'area indagata tra i diversi livelli di esposizione. Saranno calcolati i rapporti standardizzati di mortalità e morbosità per età e periodo di calendario, stratificati per genere, utilizzando come riferimento per il calcolo dei valori attesi i tassi annuali degli eventi occorsi nella popolazione della regione Piemonte nello stesso periodo in studio. Sarà condotta un'analisi multivariata applicando modelli di regressione di Poisson e/o Cox, con i quali saranno stimati i ri-

METALLI ^a	IDROSSI IPA ^a	DIOSSENE (PCDD/F) ^b	POLICLOROBIFENILI DIOXIN-LIKE (PCB _{dl}) ^b
antimonio	2-idrossifluorene (2-OH-FLU)	2,3,7,8-T ₄ CDD	T4CB-77
arsenico	3-idrossifluorene (3-OH-FLU)	1,2,3,7,8-P ₅ CDD	T4CB-81
berillio	9-idrossifluorene (9-OH-FLU)	1,2,3,4,7,8-H ₆ CDD	P5CB-126
cadmio	1-idrossinaftalene (1-OH-NAP)	1,2,3,6,7,8-H ₆ CDD	H6CB-169
cobalto	2-idrossinaftalene (2-OH-NAP)	1,2,3,7,8,9-H ₆ CDD	P5CB-105
cromo	1-idrossifenantrene (1-OH-PHE)	1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDD	P5CB-114
iridio	2-idrossifenantrene (2-OH-PHE)	O ₈ CDD	P5CB-118
manganese	3-idrossifenantrene (3-OH-PHE)	2,3,7,8-T ₄ CDF	P5CB-123
mercurio	4-idrossifenantrene (4-OH-PHE)	1,2,3,7,8-P ₅ CDF	H6CB-156
nicel	9-idrossifenantrene (9-OH-PHE)	2,3,4,7,8-P ₅ CDF	H6CB-157
palladio	1-idrossipirene (1-OH-PYR)	1,2,3,4,7,8-H ₆ CDF	H6CB-167
piombo ^b		1,2,3,6,7,8-H ₆ CDF	H7CB-189
platino		1,2,3,7,8,9-H ₆ CDF	
rame		2,3,4,6,7,8-H ₆ CDF	
rodio		1,2,3,4,6,7,8-H ₇ CDF	
stagno		1,2,3,4,7,8,9-H ₇ CDF	
tallio		O ₈ CDF	
vanadio			
zinco			

^a indicatori valutati nelle urine / markers evaluated through urine exams.

^b indicatori valutati nel sangue / markers evaluated through blood exams.

Tabella 2. Metalli, OH-IPA e congeneri di diossine e policlorobifenili dioxin-like (PCB_{dl}) da determinare

Table 2. Metals, OH-PAH, PCDD, and PCB_{dl} investigated.

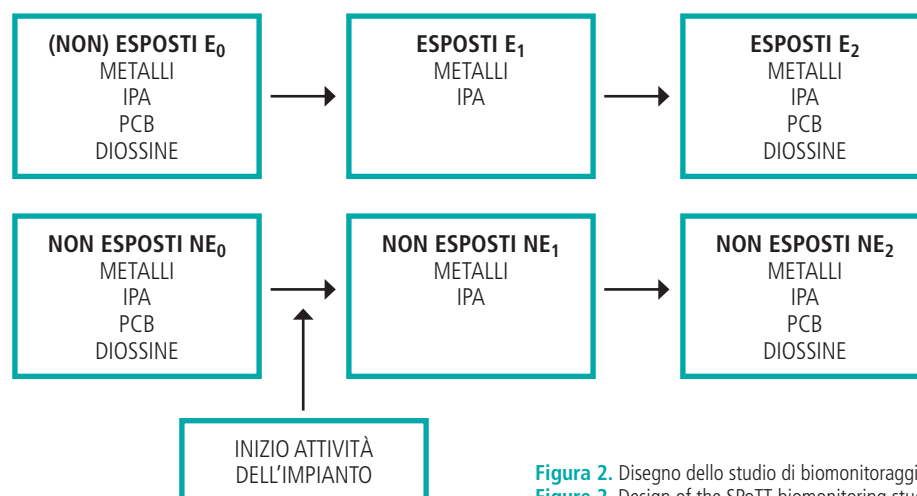


Figura 2. Disegno dello studio di biomonitoraggio del programma SPoTT.
Figure 2. Design of the SPoTT biomonitoring study.

schi relativi e i loro IC95% aggiustati per i confondenti disponibili a livello individuale di origine anagrafica: età, sesso, stato civile, livello di istruzione e variabili socio-economiche. Si tenterà di recuperare le esposizioni occupazionali tramite *record linkage* con gli archivi dell'INPS. L'eventuale maggiore rischio statisticamente significativo di eventi sanitari nei due sottoperiodi di analisi, prima e dopo l'entrata in funzione dell'impianto, deporrà per un effetto significativo a lungo termine delle emissioni dell'inceneritore.

MONITORAGGIO BIOLOGICO MEDIANTE MISURA DI BIOMARKER DI ESPOSIZIONE (BMU)

L'obiettivo di questa linea di attività è di valutare le modifiche di alcuni indicatori di esposizione a sostanze tossiche nella popolazione residente vicino all'inceneritore dopo la sua entrata in funzione. La valutazione verrà effettuata con un modello pre-post che prevede una misurazione prima dell'entrata in funzione del termovalorizzatore (T0) e due follow-up: dopo un anno (T1) e dopo tre anni (T2) dall'entrata in funzione dell'impianto. Ad oggi sono terminati i prelievi della fase T1.

Il protocollo ha previsto di selezionare 392 soggetti in età compresa tra 35 e 69 anni, residenti da almeno 5 anni nelle aree in studio (figura 1): 196 residenti nell'area con deposizioni <0,007 mg/m²/anno (zona di controllo); 196 residenti nell'area con deposizioni >0,014 mg/m²/anno (zona di esposizione).

I soggetti sono stati campionati in modo casuale dalle anagrafi comunali, stratificando per sesso e creando classi quinquennali d'età. La numerosità campionaria è stata calcolata in base a precise stime di potenza.²⁰ Sono, inoltre, stati selezionati 20 allevatori che, per la tendenza a consumare i prodotti del proprio lavoro, possono essere considerati a maggior esposizione potenziale.

In tabella 2 è riportato l'elenco degli indicatori di esposizione valutati. La scelta si è basata su criteri di letteratura e sulla valutazione dei dati ambientali: i metalli di cui si prescrive il monitoraggio nell'autorizzazione integrata ambientale più altri indicatori di inquinamento a traffico veicolare (iridio, palladio, platino, rodio) o di emissioni industriali (berillio); alcuni metaboliti idrossilati dei principali IPA; 17 congeneri di PCDD/F; PCB *dioxin-like* e *non dioxin-like*.

Per l'elevato costo di ogni singola determinazione si è previsto di effettuare la ricerca di PCDD/F e PCB sul 25% dei residenti campionati e limitatamente a tre classi d'età (35-39; 40-44; 45-49 anni), per un totale di 100 determinazioni (50 tra gli esposti e 50 tra i controlli), omogeneamente distribuite per sesso ed età. Il prelievo è stato proposto ai residenti man mano che si presentavano in ambulatorio e fino a esaurimento delle numerosità richieste per ogni strato, e agli allevatori.

In considerazione dei tempi di emivita e di bioaccumulo di tali inquinanti, le determinazioni di diossine e PCB sono state previste ai tempi T0 e T2 (figura 2).

Le misurazioni di metalli e IPA sono effettuate su urina, mentre quelle di diossine e PCB su siero. Le modalità di prelievo e i metodi di analisi chimica utilizzati sono dettagliati in Appendice (vedi materiale aggiuntivo on-line). Su tutti i soggetti sono effettuati esami di laboratorio (tabella 3) allo scopo di valutare lo stato di salute generale e possibili indicatori di tossicità (per esempio, diossine e PCB possono determinare alterazioni della funzionalità endocrina). Una quota dei prelievi ematico e urinario è riservata in una biobanca per future indagini di laboratorio. I campioni saranno conservati per 30 anni presso l'Istituto superiore di sanità.

La funzionalità respiratoria viene determinata tramite spirometria eseguita con uno spirometro portatile Jaeger a turbina. Si è deciso di rilevare i principali parametri di

SANGUE	URINE
EMATOCHIMICA GENERALE	ESAME URINE STANDARD COMPLETO
emocromo con formula	Na+ urine
glicemia	K+ urine
emoglobina glicosilata	albuminuria
Na+	creatininuria
K+	INDICATORE DI ABITUDINE AL FUMO
bilirubina totale, diretta e indiretta	cotina
GOT, GPT, gGT	
colesterolo totale	
colesterolo HDL	
trigliceridi	
FUNZIONALITÀ RENALE	
creatinina	
azotemia	
acido urico	
fosforo	
FUNZIONALITÀ ENDOCRINA	
FT3	
FT4	
TSH	
cortisolo	
ACTH	

Tabella 3. Elenco degli esami di laboratorio per valutare lo stato generale di salute, il rischio cardiovascolare e la funzionalità renale.

Table 3. Laboratory exams for the general health status examination, cardiovascular risk assessment, renal and endocrine functionality assessment.

funzionalità respiratoria (FVC, FEV1, FEV1/VC, flussi ai piccoli volumi), seguendo le linee guida ATS/ERS.²¹

Le informazioni su abitudini e caratteristiche individuali (storia professionale, stili di vita, dieta e anamnesi), potenzialmente correlate a un'esposizione a metalli, IPA, PCB e PCDD/F, sono raccolte mediante questionario contenente domande validate in precedenti studi e somministrato da personale addestrato ad hoc. Un secondo questionario, autocompilato, approfondisce la dieta seguita dai soggetti nei giorni immediatamente precedenti al prelievo di sangue e alla raccolta delle urine. L'esposizione a fumo è valutata attraverso misura della cotinina urinaria.

I valori di glicemia, colesterolo e pressione arteriosa, l'abitudine al fumo e la familiarità rilevata tramite questionario consentono di calcolare il rischio di eventi cardio-cerebrovascolari nei successivi 10 anni.

Al momento dell'arruolamento i soggetti campionati ricevono una nota informativa con gli obiettivi dello studio, le modalità di svolgimento e il trattamento dei dati personali. A ogni partecipante viene richiesto il consenso informato scritto, che potrà essere ritirato in qualunque momento. Per le aliquote di urine e sangue destinate alla biobanca viene richiesto specifico consenso informato sia per la conservazione sia per l'esecuzione di esami attualmente non previsti.

Il trattamento dei dati è effettuato nel rispetto della vigente normativa italiana sulla privacy. SPoTT ha ricevuto l'approvazione del comitato etico competente per territorio.

DISCUSSIONE

Le revisioni di letteratura che hanno affrontato il tema "inceneritori e salute" suggeriscono la necessità di condurre studi che sviluppino l'uso di biomarcatori individuali di esposizione, con una migliore caratterizzazione dell'esposizione e dei confondenti e con una numerosità di osservazioni sufficiente ad assicurare un'adeguata potenza.^{5,22} L'Organizzazione mondiale della sanità riconosce come priorità i programmi di biomonitoraggio umano, utili dal momento che i livelli di esposizione sono sempre più bassi e possono comportare effetti sulla salute anche molto lontani nel tempo. Raccomanda, inoltre, l'integrazione tra le attività di monitoraggio e sorveglianza, le azioni di sanità pubblica e di comunicazione, all'interno di un processo partecipato che coinvolge amministratori e cittadini.²³ Il programma SPoTT, partendo da questi suggerimenti, ha progettato un ampio studio longitudinale che comprende linee di studio osservazionali e di biomonitoraggio sia sui residenti sia sui lavoratori.

Per la prima volta sarà effettuato uno studio sugli effetti a breve termine degli inceneritori di rifiuti solidi urbani, anche per rispondere a uno dei maggiori timori della popolazione: l'effetto immediato sulla salute delle emissioni a camino. Saranno, inoltre, indagati gli effetti sugli esiti del concepimento associati alla residenza nei pressi di impianti di incenerimento.^{6,7}

In entrambi gli studi osservazionali la numerosità degli eventi assicura una sufficiente potenza statistica, soprattutto nell'analisi degli effetti a lungo termine, ma anche nell'analisi degli effetti a breve termine sull'accesso al pronto soccorso e sui ricoveri urgenti.

La linea di attività riguardante il BMU è stata disegnata in modo da superare i principali limiti degli studi longitudinali disponibili in letteratura: sono individuati due campioni casuali di residenti stratificati per zona di esposizione, sesso ed età; sono coinvolti anche i lavoratori dell'impianto e un piccolo gruppo di allevatori; è definito un ampio questionario per la caratterizzazione dei confondenti. Si sottolineano alcuni punti particolarmente positivi nel programma SPoTT:

- la misurazione degli inquinanti in un gruppo di controllo, rendendo disponibili valori di riferimento della popolazione in studio, consentirà una migliore interpretazione dei risultati nel gruppo di esposti;

- la misurazione di indicatori di funzionalità endocrina, poco studiati nonostante la relazione con PCB e diossine;^{24,25}

■ la misurazione della funzionalità respiratoria e dei principali parametri generali di salute, compreso il calcolo del rischio di eventi cardiovascolari, il cui legame con le emissioni di inceneritori è raramente studiato;^{8,22,26}

■ la focalizzazione sullo stato di salute complessivo della popolazione di un'area cittadina già fortemente sottoposta a pressioni ambientali industriali e da traffico veicolare: il punteggio del rischio cardiovascolare sarà utilizzato come strumento di promozione della salute in medicina generale; tra l'altro gli esami di funzionalità renale, il sodio nelle urine delle 24h e la stima del rischio cardiovascolare sono obiettivi in comune con la *health examination survey* (HES) nazionale "Cuore", coordinata dall'Istituto superiore di sanità,²⁷ a cui la città di Torino ha già contribuito con un campione di 200 soggetti.

Nell'ambito della comunicazione del rischio per gli studi di BMU, la letteratura suggerisce di utilizzare strategie moderne accanto a quelle di tipo più tradizionale.²⁸ In linea con tali raccomandazioni, SPoTT ha adottato un pia-

no di comunicazione che prevede di affiancare a strumenti tradizionali (sito web, incontri con i soggetti coinvolti e con i medici di base) alcune scelte innovative tra cui la valutazione della percezione del rischio e il mantenimento di un dialogo costante con il territorio (istituzioni e cittadini) tramite un comitato locale di controllo.

SPoTT è il primo studio in Italia, e uno tra i pochi in Europa, che si pone l'obiettivo di valutare gli effetti sulla salute dell'esposizione a emissioni di impianti di incenerimento con un disegno longitudinale di adeguata potenza, sia nei residenti sia nei lavoratori. I primi risultati, dopo l'entrata in funzione dell'impianto, sono attesi per il 2016.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Finanziamenti: lo studio è reso possibile grazie a un finanziamento messo a disposizione dalla Provincia di Torino, che non ha alcun ruolo nel disegno dello studio, nell'interpretazione dei risultati o nella stesura dell'articolo.

Ringraziamenti: si ringraziano Silvia Candela, Francesco Forestiere e Benedetto Terracini, membri del Comitato tecnico-scientifico che ha affiancato il programma.

BIBLIOGRAFIA

- Lonati G, Cernuschi S, Giugliano M, Grosso M. Health risk analysis of PCDD/F emissions from MSW incineration: comparison of probabilistic and deterministic approaches. *Chemosphere* 2007;67(9):S334-43.
- Caserini S, Cernuschi S, Giugliano M, Grosso M, Lonati G, Mattaini P. Air and soil dioxin levels at three sites in Italy in proximity to MSW incineration plants. *Chemosphere* 2004;54(9):1279-87.
- Meneses M, Schuhmacher M, Domingo JL. Health risk assessment of emissions of dioxins and furans from a municipal waste incinerator: comparison with other emission sources. *Environ Int* 2004;30(4):481-89.
- Schumacher M, Domingo JL. Long-term study of environmental levels of dioxins and furans in the vicinity of a municipal solid waste incinerator. *Environ Int* 2006;32(3):397-404.
- Porta D, Milani S, Lazzarino Al, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009;8:60.
- Ashworth DC, Elliott P, Toledano MB. Waste incineration and adverse birth and neonatal outcomes: a systematic review. *Environ Int* 2014;69:120-32.
- Candela S, Ranzi A, Bonvicini L et al. Air pollution from incinerators and reproductive outcomes: a multisite study. *Epidemiology* 2013;24(6):863-70.
- Golini MN, Ancona C, Badaloni C et al. Morbidity in a population living close to urban waste incinerator plants in Lazio Region (Central Italy): a retrospective cohort study using a before-after design. *Epidemiol Prev* 2014;38(5):323-34.
- Fierens S, Mairesse H, Heilier JF et al. Impact of iron and steel industry and waste incinerators on human exposure to dioxins, PCBs, and heavy metals: results of a cross-sectional study in Belgium. *J Toxicol Environ Health A* 2007;70(3-4):222-26.
- Parera J, Serra-Prat M, Palomera E et al. Biological monitoring of PCDD/Fs and PCBs in the City of Mataró. A population-based cohort study (1995-2012). *Sci Total Environ* 2013;461-462: 612-17.
- Mari M, Nadal M, Schuhmacher M, Barberia E, Garcia F, Domingo JL. Human exposure to metals: levels in autopsy tissues of individuals living near a hazardous waste incinerator. *Biol Trace Elem Res* 2014;159(1-3):15-21.
- Zubero MB, Aurekoetxea JJ, Ibarluzea JM, Arenaza MJ, Rodríguez C, Sáenz JR. Heavy metal levels (Pb, Cd, Cr and Hg) in the adult general population near an urban solid waste incinerator. *Sci Total Environ* 2010;408(20):4468-74.
- Gonzalez CA, Kogevinas M, Gadea E et al. Biomonitoring 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(4):259-67.
- Cadum E, Berti G, Biggeri A et al. The results of EpiAir and the national and international literature. *Epidemiol Prev* 2009;33(6) Suppl 1:113-19;123-43.
- Berti G, Galassi C, Faustini A, Forastiere F. EpiAir Inquinamento atmosferico e salute sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione. *Epidemiol Prev* 2009;33(6) Suppl 1:1-144.
- Stafoggia M, Colais P, Serinelli M; Gruppo collaborativo EPIAIR. I metodi di analisi statistica per la valutazione degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico nel progetto EPIAIR. *Epidemiol Prev* 2009;33(6) Suppl 1:53-63.
- Caranci N, Biggeri A, Grisotto L, Pacelli B, Spadea T, Costa G. L'indice di deprivazione italiano a livello di sezione di censimento: definizione, descrizione e associazione con la mortalità. *Epidemiol Prev* 2010;34(4):167-76.
- Pirastu R, Comba P. SENTIERI Project analyzed mortality of 5.5 million Italians in polluted sites. *Epidemiol Prev* 2011;35(5-6) Suppl 2:108-09.
- Eeftens M, Beelen R, de Hoogh K et al. Development of Land Use Regression models for PM(2.5), PM(2.5) absorbance, PM(10) and PM(coarse) in 20 European study areas; results of the ESCAPE project. *Environ Sci Technol* 2012;46(20):11195-205.
- Bena A, Oreggia M, Farina E et al. Biomonitoring and exposure assessment of the general population living near an Italian incinerator: methodology of SPoTT study. Sottomesso a *Environ Monit Assess*.
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005;26(2):319-38.
- Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita* 2004;40(1):101-15.
- World Health Organization. *Population health and waste management: scientific data and policy options. Report from a WHO workshop*. Rome, Italy, 29-30 March 2007.
- Osium N, Karmaus W, Kruse H, Witten J. Exposure to polychlorinated biphenyls and levels of thyroid hormones in children. *Environ Health Perspect* 1999;107(10):843-49.
- Staessen JA, Nawrot T, Hond ED et al. Renal function, cytogenetic measurements, and sexual development in adolescents in relation to environmental pollutants: a feasibility study of biomarkers. *Lancet* 2001;357(9269):1660-69.
- Kim YM, Kim JW, Lee HJ. Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci Total Environ* 2011;409(11):2019-28.
- Giampaoli S, Vanuzzo D, Palmieri L et al. Progetto CUORE. Epidemiologia e prevenzione delle malattie cardio-cerebrovascolari. Protocollo e manuale delle operazioni dell'Osservatorio Epidemiologico Cardiovascolare/Health Examination Survey 2008-2011. *Rapporti ISTISAN* 2010;10/33. Disponibile all'indirizzo: http://www.cuore.iss.it/fattori/pdf/manualeOEC_2009_03_30.pdf
- Keune H, Morrens B, Loots I. Risk communication and human biomonitoring: which practical lessons from the Belgian experience are of use for the EU perspective? *Environ Health* 2008;7 Suppl 1: S11.