



Sorveglianza sulla salute della  
Popolazione nei pressi del  
Termovalorizzatore di  
Torino

## Programma SPoTT Rapporto n° 8

### **Biomonitoraggio della popolazione residente nell'area limitrofa all'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino**

Risultati sui livelli di bioaccumulo di metalli dopo tre anni dall'avvio  
dell'impianto

Giugno 2018

Rapporto a cura di

Antonella Bena<sup>1</sup>  
Martina Gandini<sup>1</sup>  
Cristiano Piccinelli<sup>1</sup>  
Elena Farina<sup>1</sup>  
Manuela Oreggia<sup>1</sup>  
Ennio Cadum<sup>2</sup>  
Alessandro Alimonti<sup>3</sup>  
Beatrice Bocca<sup>3</sup>  
Anna Pino<sup>3</sup>  
Flavia Ruggieri<sup>3</sup>  
Enrico Procopio<sup>4</sup>  
Giuseppe Salamina<sup>5</sup>  
Carmen Dirita<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Struttura Complessa a Direzione Universitaria Servizio Sovrazonale di Epidemiologia - ASL TO3

<sup>2</sup> Dipartimento Tematico di Epidemiologia e Salute Ambientale - ARPA Piemonte

<sup>3</sup> Istituto Superiore di Sanità - U.O. Esposizione Umana a Contaminanti Ambientali - Dipartimento Ambiente e Salute

<sup>4</sup> Struttura Complessa Servizio Igiene e Sanità Pubblica - ASL TO3

<sup>5</sup> Dipartimento della Prevenzione, Struttura Complessa Igiene e Sanità Pubblica - ASL Città di Torino

Il rapporto è condiviso nella metodologia, nei risultati e nei commenti dal Comitato Tecnico Scientifico del programma SPoTT:

Silvia Candela  
Francesco Forastiere  
Benedetto Terracini

Hanno collaborato alle diverse fasi descritte all'interno del presente Report:

*ASL TO3- S.C. a D. U. Servizio Sovrazonale di Epidemiologia*

Antonella Bena – Coordinatrice del Programma SPoTT  
Elena Farina  
Manuela Oreggia  
Martina Gandini  
Cristiano Piccinelli

*ASL TO3- Struttura Complessa Servizio Igiene e Sanità Pubblica*

Enrico Procopio  
Nicola Suma

*ASL TO1 (ora ASL Città di Torino)- Struttura Complessa Centro Controllo Malattie (ora SC ISP)*

Giuseppe Salamina  
Carmen Dirita

*ARPA Piemonte - Dipartimento Tematico di Epidemiologia e Salute Ambientale*

Ennio Cadum

*Istituto Superiore di Sanità, Dipartimento Ambiente e Salute, U.O. Esposizione Umana a Contaminanti Ambientali*

Alessandro Alimonti  
Beatrice Bocca  
Flavia Ruggieri  
Anna Pino

L'organizzazione logistica, i prelievi biologici e le interviste sono stati effettuati da:

*ASL TO1 – Poliambulatorio di Via Farinelli 25 “Presidio Valletta”, Torino*

Carmen Dirita  
Giulia Gambardella  
Annalisa Giobergia  
Agostino J. Nigretti  
Donatella Nivello  
Carmela Richichi  
Sara Sconfienza

*ASL TO3 – Poliambulatorio di Via Lanza, Grugliasco*

Gaetano Montalcino  
 Laura Buttera  
 Doriana Rigotti  
 Daniela Calandra  
 Renata Donnarummo  
 Elena Picone  
 Paola Raffaghelli  
 Cinzia Rodella  
 Giovannina Ruiu

Le analisi generali sui campioni biologici e la processazione della banca biologica sono state effettuate da:

*ASL TO1 - Laboratorio centrale dell'Ospedale Oftalmico*

Simona Cifoli  
 Paolo Contadin  
 Renata Murisciano  
 Maria Salvaggio  
 Maurizio Vana  
 Maura Zanellato

Le spirometrie sono state effettuate dalla *Scuola di Specializzazione in malattie dell'apparato respiratorio – Ospedale S. Luigi Gonzaga - Università di Torino.*

Mattia Chiesa  
 Carlotta Biglia  
 Giacomo Bonizzoni  
 Davide Dassetto  
 Luana Focaraccio  
 Elena Rindone

Si ringraziano i responsabili e il personale delle strutture che hanno collaborato alla realizzazione del programma:

Direzioni Generali, Sanitarie e Amministrative delle ASL TO1 e TO3  
 Dipartimento Integrato della Prevenzione dell'ASL TO1 e il Dipartimento della Prevenzione dell'ASL TO3  
 Struttura Complessa a Direzione Universitaria Servizio Sovrazonale di Epidemiologia - ASL TO3  
 Laboratorio Analisi Presidio Ospedaliero Oftalmico di Torino  
 Poliambulatorio di via Farinelli 25 "Presidio Valletta", Torino  
 SC Logistica ed SC Gestione e Amministrazione Risorse Umane dell'ASL TO1  
 Distretti Sanitari di Collegno dell'ASL TO3

# Indice

<b>Sintesi dell’ottavo rapporto di studio.....</b>	<b>5</b>
<b>Introduzione.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Il Contesto .....</b>	<b>9</b>
1.1. L’impianto.....	9
1.2. Il programma SPoTT .....	9
1.3. Obiettivo del report 8 .....	10
<b>2. Materiali e Metodi.....</b>	<b>12</b>
2.1. Disegno dello studio.....	12
2.2. Campionamento .....	13
2.3. Campione effettivo e misurazione dei parametri .....	14
2.3.1. <i>Adesione allo studio campionario</i> .....	15
2.3.2. <i>Validità interna dello studio campionario</i> .....	16
2.4. Metalli in studio .....	16
2.5. Metodi di analisi chimica.....	17
2.6. Metodi statistici.....	18
<b>3. Risultati del biomonitoraggio nei residenti .....</b>	<b>21</b>
3.1. Risultati dei metalli dopo 3 anni (T2) .....	21
3.1.1. <i>Confronto con valori guida</i> .....	30
3.2. Confronti dei risultati dei metalli al T2 con il baseline (T0) e il primo controllo (T1) .....	31
3.2.1. <i>Confronto con esposizioni ambientali.</i> .....	35
<b>4. Biomonitoraggio dei metalli negli allevatori .....</b>	<b>40</b>
4.1. Risultati dei metalli dopo 3 anni (T2) .....	40
4.2. Confronti dei risultati dei metalli al T2 con il baseline (T0) e il primo controllo (T1) .....	42
<b>5. Discussione .....</b>	<b>46</b>
<b>6. Conclusioni.....</b>	<b>49</b>
<b>7. Bibliografia.....</b>	<b>51</b>

## Sintesi dell'ottavo rapporto di studio

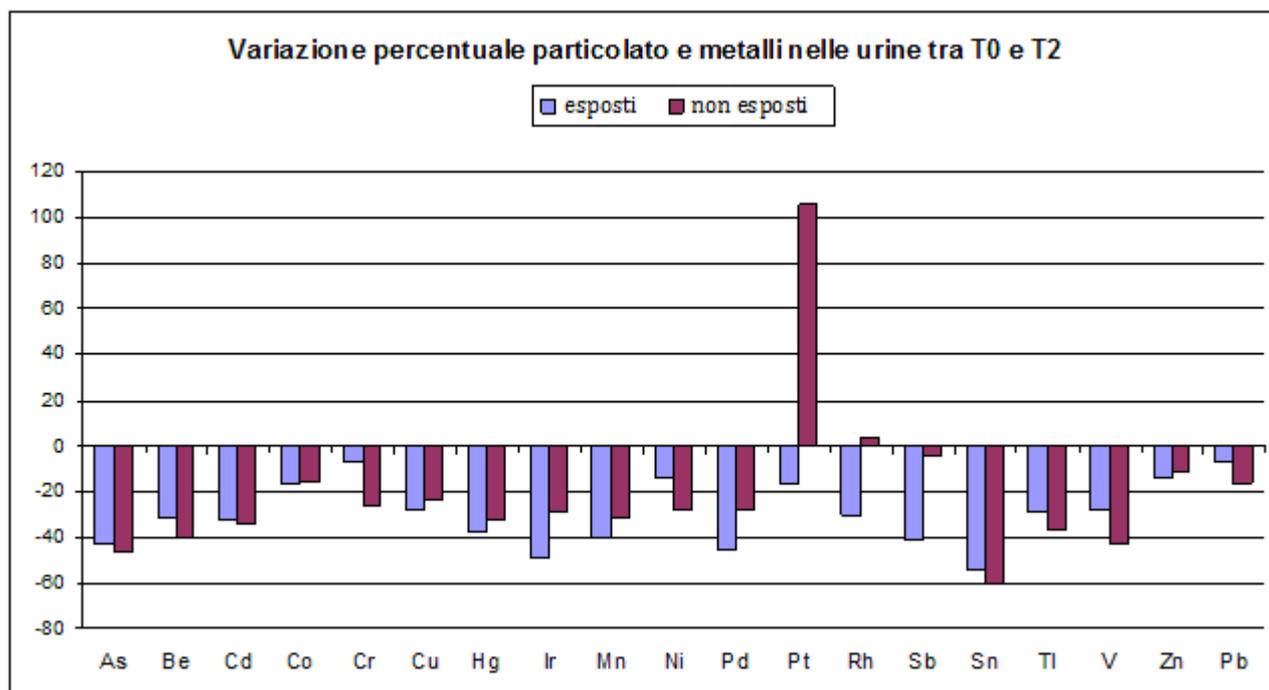
Lo studio di biomonitoraggio condotto sulla popolazione generale ha come obiettivo il riconoscimento di eventuali contaminazioni da sostanze tossiche, riferibili alle emissioni del termovalbrizzatore di Torino. È stata considerata una serie di indicatori biologici di esposizione raccolti in un campione di residenti rappresentativo della popolazione dell'area metropolitana torinese. I risultati di tali indicatori sono stati comparati per area e per periodo temporale (prima e dopo l'entrata in funzione dell'inceneritore).

L'ottavo report SPoTT presenta i risultati delle determinazioni di 18 metalli nelle urine, e del piombo nel sangue, della popolazione residente e degli allevatori, dopo tre anni dall'entrata in funzione dell'impianto (T2) e suddivisi per le due aree di esposizione (esposti e non esposti). Tali risultati sono stati messi a confronto con quelli delle analisi precedenti, condotte prima dell'avvio (T0) e dopo un anno (T1).

Per quanto concerne il confronto tra i due gruppi di popolazione, sono emerse alcune differenze al T2 tra campione residente nei pressi dell'impianto e campione residente lontano dall'area di massima ricaduta; in particolare gli esposti presentano concentrazioni più alte di berillio, cromo e vanadio, mentre sono risultate più basse quelle di rodio, palladio e platino e antimonio.

Complessivamente, le concentrazioni dei metalli misurate al T2 sono largamente inferiori rispetto ai valori di riferimento individuati dai principali enti internazionali e sono comparabili, se non inferiori, a precedenti esperienze di biomonitoraggio documentate a livello nazionale e internazionale. Ventiquattro soggetti mostrano valori di uno o più metalli superiori ai valori di riferimento: per ognuno di essi sono in corso approfondimenti su altri fattori di esposizione (stili di vita, esposizione occupazionale, etc.) sulla base delle informazioni contenute nei questionari che rilevano caratteristiche e abitudini dei partecipanti allo studio.

Analizzando l'andamento nel tempo, si è osservata una riduzione significativa delle concentrazioni dei metalli nella popolazione in studio al T2 rispetto alle concentrazioni misurate al T0 per entrambe le aree di esposizione (vedi figura sottostante). Solo il platino e il rodio sembrano presentare una tendenza all'aumento, e solo nei soggetti che vivono nell'area di minor ricaduta (non esposizione). Tali metalli sono principalmente associati alle emissioni veicolari. Occorre, infatti, ricordare che l'area metropolitana di Torino è caratterizzata da un volume molto elevato di traffico che rappresenta una fonte di emissione localizzata rilevante per tutta la popolazione SpOTT.



Dato che molti metalli si trovano adsorbiti sul particolato atmosferico, si è deciso di indagare una possibile relazione tra esposizione ambientale e metalli. Ad ogni soggetto è stato associato il valore medio di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> del periodo esattamente precedente la sua data di raccolta delle urine ed è stata calcolata la correlazione con le concentrazioni dei metalli urinari. Per il calcolo sono stati utilizzati i dati del T0, T1 e T2 insieme senza stratificare per zona di esposizione. I risultati delle correlazioni con il valore medio di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> dei 180 giorni antecedenti suggeriscono che, pur restando rilevante la quota assunta attraverso altre fonti di esposizione (es. dieta, fumo ecc), la via inalatoria possa contribuire in maniera non trascurabile.

Anche per gli allevatori, sia nel confronto temporale sia rispetto ai valori limite sopracitati, si osservano risultati analoghi a quelli dei residenti.

In conclusione, per quanto riguarda il quesito principale di sanità pubblica per cui è stato condotto lo studio, i risultati suggeriscono che le variazioni nelle concentrazioni urinarie ed ematiche di metalli riscontrate nella popolazione residente non sono associate all'attività dell'impianto in quanto, in entrambi i gruppi di popolazione, vi è una tendenza alla diminuzione dei valori dei metalli delle urine del T2 rispetto al T0. Tale diminuzione risulta maggiore negli esposti, o paragonabile tra le due aree per tutti i metalli in studio; ciò depone anche per una mancanza di associazione con l'area di ricaduta delle emissioni.

Molti dei soggetti che presentavano al T0 valori di uno o più metalli maggiori del Valore Limite (VL), non si confermano come tali né al T1 né al T2 (per gli stessi metalli), tranne poche eccezioni per platino e cobalto, per i quali sono state ipotizzate possibili cause individuali di esposizione attraverso l'esame del questionario individuale. Altri valori elevati al T2 potrebbero essere attribuibili a esposizioni lavorative, a terapie farmacologiche o ad alcuni alimenti consumati, nonostante le indicazioni fornite, nei giorni antecedenti il prelievo.

In generale, è comunque possibile evidenziare che anche in questa terza fase, tutti i metalli sono per lo più sovrapponibili (e per Manganese, Cobalto e Nichel anche inferiori) ai valori di riferimento internazionali (GERES, tedesco e NHANES, statunitense).

In base ai risultati presentati in questo rapporto, il Gruppo di Lavoro SPoTT, in accordo con il Comitato Tecnico Scientifico, ritiene che sia utile mantenere in futuro un'attività di biomonitoraggio sui cittadini residenti intorno all'impianto, con l'obiettivo di valutare possibili modifiche di indicatori di esposizione a metalli. L'impianto sorge infatti in un'area con forti pressioni ambientali ed elevati livelli di inquinamento atmosferico per i quali l'Italia ha ricevuto un procedimento di infrazione dalla Comunità Europea. L'impianto, inoltre, va inevitabilmente incontro a obsolescenza e questo potrebbe comportare problemi di sanità pubblica che a tutt'oggi non si registrano. Il disegno di studio più adeguato prevede di programmare almeno un altro controllo riguardante tutta la batteria di metalli oggetto del presente report sugli stessi soggetti già coinvolti. SPoTT ha progettato il più ampio e completo programma italiano di biomonitoraggio sui residenti in prossimità di un impianto di incenerimento di rifiuti solidi urbani: la prosecuzione delle attività di sorveglianza è in grado di fornire risposte utili non solo alle comunità locali ma anche ad altre aree del paese.

## Introduzione

Il presente rapporto è l'ottavo del programma SPoTT, avviato nel 2013 con l'obiettivo di sorvegliare la salute dei residenti e dei lavoratori impegnati nell'impianto di incenerimento dei rifiuti di Torino. Lo scopo è quello di monitorare e individuare eventuali effetti sulla salute e fornire indicazioni per la prevenzione. La linea di attività riguardante il biomonitoraggio umano ha incluso, tra le sostanze di interesse prioritario, i metalli. Il presente rapporto illustra i risultati relativi alle misurazioni dei metalli urinari effettuate a distanza di tre anni dall'avvio dell'inceneritore e le confronta con quelle effettuate dopo un anno dall'avvio e prima dell'avvio. Dopo una breve descrizione delle sostanze di interesse e dei metodi, analitici e statistici, utilizzati, i capitoli 3, 4, 5 e 6 presentano e commentano i risultati riguardanti residenti e allevatori. I risultati riguardanti i lavoratori dell'impianto sono già stati pubblicati in un report specifico disponibile sul sito del programma ([http://www.dors.it/spott\\_home.php](http://www.dors.it/spott_home.php)).

Un gruppo di autori si è fatto carico della redazione del report, mentre nelle prime pagine è riportato l'elenco di tutti gli operatori che hanno contribuito alla realizzazione delle diverse attività, cui va il riconoscimento generale per l'impegno e la professionalità con cui hanno partecipato al progetto.

Tutti i materiali, condivisi nella metodologia, nelle procedure e negli esiti dal Comitato Tecnico Scientifico, sono disponibili sul sito web creato per il programma ([www.dors.it/spott](http://www.dors.it/spott)).

Data la delicatezza dei temi affrontati e la complessità delle azioni messe in campo, il programma SPoTT si è dotato di uno specifico piano di comunicazione nel cui ambito si colloca questo rapporto. È possibile porre ulteriori domande di chiarimento all'indirizzo e-mail [rdl@epi.piemonte.it](mailto:rdl@epi.piemonte.it).



# 1. Il Contesto

## 1.1. L'impianto

Costruito tra il 2010 e il 2013 in località Gerbido, il termovalorizzatore di Torino è un impianto che incenerisce rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata e rifiuti speciali assimilabili agli urbani, trasformando il calore prodotto dalla combustione, in energia elettrica e termica. L'impianto è stato autorizzato per ricevere rifiuti da tutta la provincia di Torino e da diverse regioni per un totale massimo di 421 mila tonnellate all'anno. Nel luglio 2015, il termovalorizzatore del Gerbido ha ottenuto dalla Città metropolitana la possibilità di aumentare la sua capacità fino a 490 mila tonnellate annue.

L'impianto si compone di un forno a griglia mobile a valle di tre linee gemelle ed indipendenti di conferimento rifiuti, con le uniche sezioni comuni relative allo stoccaggio/alimentazione ed alla conversione energetica (turbina e generatore). Esso dispone, inoltre, di un sistema di monitoraggio indipendente delle emissioni, costantemente sorvegliato da ARPA Piemonte in remoto.

L'impianto è entrato formalmente in attività a pieno regime il 1° maggio 2014, dopo una fase di test e collaudo prestazionale durata circa un anno.

## 1.2. Il programma SPoTT

SPoTT (acronimo per *Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino*) è un sistema di sorveglianza con l'obiettivo generale di valutare potenziali effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore di Torino. E' attuato da ASL TO1 (ora Asl Città di Torino) e ASL TO3 in collaborazione con ARPA Piemonte e Istituto Superiore di Sanità su mandato specifico della Provincia di Torino. L'organismo tecnico che regola le attività di SPoTT è il Gruppo di Lavoro il cui coordinamento è in capo alla dott.ssa Antonella Bena del Servizio Sovrazonale di Epidemiologia dell'ASL TO3.

Un **Comitato tecnico scientifico** ha funzione sia di garante delle metodologie e della pianificazione delle varie linee progettuali, sia di validazione dei risultati.

Il programma è organizzato in 4 linee progettuali (Bena et al 2016) che riguardano la popolazione residente e i lavoratori dell'impianto di incenerimento. Ognuna di esse è affidata, per competenza, a gruppi di specialisti appartenenti ai diversi Enti che compongono il Gruppo di Lavoro. Le 4 linee di attività sono:

- monitoraggio epidemiologico degli effetti a breve termine sulla salute della popolazione residente nell'area di ricaduta delle emissioni dell'impianto;
- sorveglianza epidemiologica degli effetti a lungo termine sulla salute della popolazione residente nell'area di ricaduta delle emissioni dell'impianto;
- monitoraggio biologico mediante misura di biomarcatori di esposizione (tema del presente rapporto);
- monitoraggio della salute dei lavoratori addetti all'impianto di termovalorizzazione del Gerbido

Conformemente a quanto richiesto dalla normativa vigente in tema di studi epidemiologici, al fine di tutelare i diritti, la sicurezza e il benessere delle persone coinvolte e di fornire pubblica garanzia di tale tutela, SPoTT è stato valutato e approvato dal Comitato Etico dell'AOU San Luigi Gonzaga di Orbassano.

### **1.3. Obiettivo del report 8**

Lo studio di biomonitoraggio condotto sulla popolazione generale ha come obiettivo principale il riconoscimento di eventuali indicatori di esposizione riferibili alle emissioni dell'inceneritore di Torino. Sono stati misurati:

1. metalli pesanti nelle urine e, per la sola determinazione del Pb, nel sangue;
2. policlorobifenili totali, diossino-simili (PCBdl) e non diossino-simili (PCBndl) e diossine (PCDD/PCDF) nel sangue;
3. metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nelle urine.

In un campione di residenti, rappresentativo della popolazione dell'area metropolitana torinese, tali indicatori sono comparati per area e per periodo temporale di esposizione (prima e dopo l'entrata in funzione dell'inceneritore). La fase T2 costituisce la fase conclusiva del programma SPoTT e prevede la valutazione di laboratorio degli stessi indicatori di esposizione indagati nella fase T0 e T1.

Nel presente rapporto sono presentati i risultati delle determinazioni dei metalli nelle urine dopo tre anni dall'entrata in funzione dell'impianto ed un confronto con i dati precedenti. L'obiettivo specifico del report 8 è di verificare se vi sono state variazioni significative delle concentrazioni di metalli a tre anni di distanza, confrontando in particolare i trend tra le due aree di esposizione. Le restanti analisi, mirate a valutare le concentrazioni di PCB, diossine, IPA, ed una illustrazione dello stato di salute generale, saranno presentate in successivi report.



## 2. Materiali e Metodi

### 2.1. Disegno dello studio

Il disegno di studio è ibrido, con confronto del campione di popolazione selezionato (396 soggetti al T0) sia temporale sia spaziale, in tre periodi temporali (prima, dopo un anno e dopo tre anni dall'entrata in funzione dell'impianto) e in due aree di residenza (all'interno dell'area di ricaduta previsionale - definita dalle deposizioni previsionali secche dei metalli - ed esternamente da quest'area).

Il campione, complessivamente, costituisce una coorte di popolazione seguita nel tempo con determinazioni ripetute dei parametri in studio e confronto sia temporale sia spaziale.

La coorte è stata divisa nei due bracci tradizionali di questo tipo di studio: esposti e non esposti. Lo studio è pertanto di tipo comparativo tra residenti nell'area previsionale di ricaduta delle emissioni del termovalorizzatore (gruppo di esposti) e residenti in altra area (gruppo dei non esposti o gruppo di controllo).

Il disegno di coorte utilizzato è schematizzato nella figura 1.

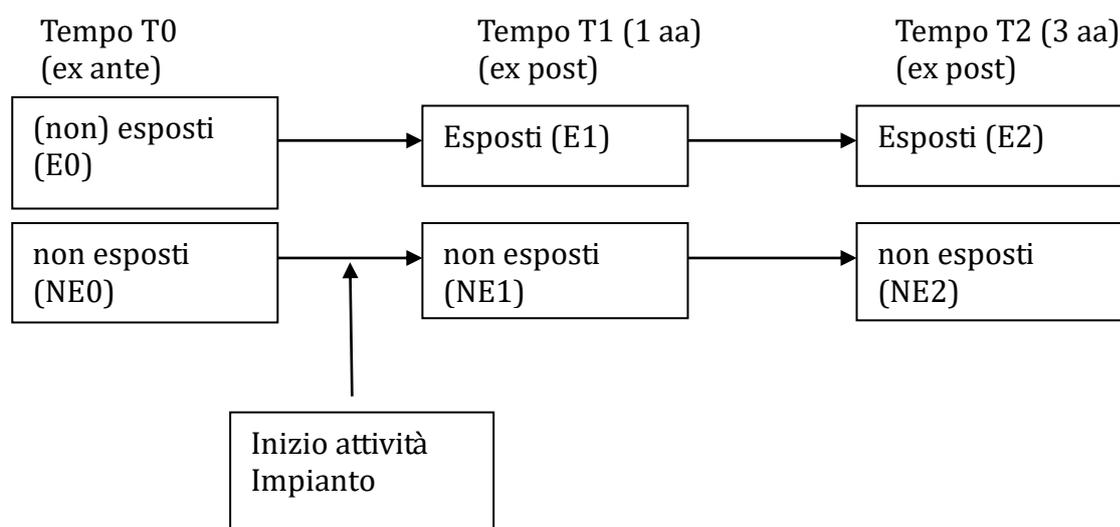


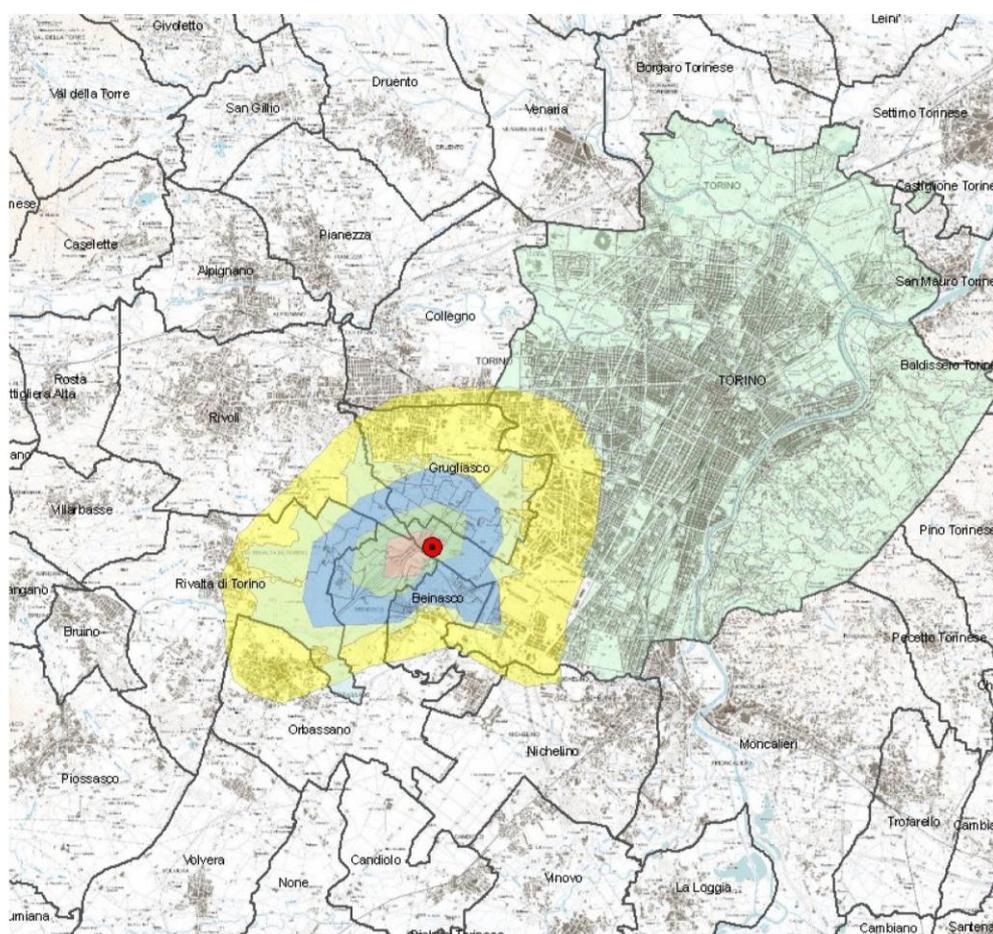
Fig. 1 Disegno dello studio per periodo di calendario ed esposizione.

Al tempo T2, ossia dopo tre anni dall'avvio dell'impianto, per ciascun soggetto appartenente alle due categorie di esposizione, lo studio prevede la raccolta di un questionario su abitudini voluttuarie, alimentari e comportamentali e l'effettuazione di determinazioni urinarie su indicatori di esposizione analoghi a quanto effettuato negli step precedenti. I dati

raccolti sono pertanto comparati con quelli determinati prima dell'avvio dell'impianto (T0) e ad un anno dall'avvio (T1).

## 2.2. Campionamento

I soggetti di entrambi i gruppi sono stati campionati in modo casuale tra la popolazione residente nelle 2 aree di esposizione. Si rimanda al protocollo dello studio campionario per la descrizione dettagliata del metodo utilizzato (<http://www.dors.it/alleg/spott/201308/protocollo%20BMU%20termovalorizzatore%2020130805.pdf>).



Legenda (totale annuo previsionale delle deposizioni di metalli pesanti totali in  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$ ):

Area di colore bianco	( )	0,000-0,007 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$
Area di colore verde chiaro	( )	0,000-0,007 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$
Area di colore giallo:	( )	0,007-0,014 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$
Area di colore blu:	( )	0,014-0,028 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$
Area di colore verde scuro:	( )	0,028-0,055 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$
Area di colore rosa :	( )	0,055-0,110 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{anno}$

Fig. 2. Area previsionale di ricaduta delle emissioni utilizzata per la definizione dell'esposizione

Per lo studio di biomonitoraggio sono stati considerati esposti i residenti nelle aree con valori di esposizione a metalli superiori a 0,014 mg/m<sup>2</sup>/anno (aree di colore blu, verde scuro e rosa); non esposti i residenti in aree con valori di esposizione inferiore a 0,007 mg/m<sup>2</sup>/anno (area di colore verde chiaro e bianco).

E' stata individuata una "area cuscinetto" (o di incertezza dato il modello previsionale elaborato prima della costruzione dell'impianto) per i valori compresi tra 0,007 e 0,014 mg/m<sup>2</sup>/anno (area di colore giallo) i cui residenti non sono ricompresi nel campione in studio.

Il gruppo di esposti è stato estratto a caso dalle anagrafi dei residenti dei comuni di Beinasco, Rivalta, Orbassano e Grugliasco (competenza ASL TO3). Il gruppo di controllo è stato estratto tra i residenti della circoscrizione 9 (Nizza Millefonti – Lingotto – Filadelfia) del Comune di Torino (competenza ASL TO1). In entrambi i gruppi sono stati selezionati per l'estrazione solo i residenti nell'area da almeno 5 anni.

Alcune delle sostanze biomonitorate nello studio SPoTT, in quanto associate alle emissioni derivanti da processi di combustione, sono altamente lipofile e si bioaccumulano nella catena alimentare concentrandosi nel tessuto adiposo degli animali e dell'uomo. Gli allevatori che gestiscono le aziende presenti nell'area limitrofa al termovalorizzatore (in un'area di 5 km intorno all'impianto), per la tendenza a consumare prevalentemente le carni dei propri capi di allevamento, possono pertanto essere considerati a esposizione potenziale maggiore. In base a queste considerazioni, SPoTT ha coinvolto nel programma di biomonitoraggio anche un gruppo di allevatori la cui azienda agricola è compresa nel raggio di 5 Km intorno all'inceneritore. Sono stati esclusi gli allevamenti di suini, equini, di conigli e di asini. È stata esclusa l'Università di Torino che, pur essendo situata nella zona di massima ricaduta, difficilmente è soggetta a consumo diretto dei prodotti. I 13 allevatori coinvolti risiedono nei comuni dell'area metropolitana torinese comprendente Beinasco, Grugliasco, Orbassano, Rivalta e Rivoli.

### **2.3. Campione effettivo e misurazione dei parametri**

Al tempo T0 sono stati arruolati nello studio 198 soggetti *esposti* e 196 soggetti *non esposti* di età compresa tra i 35 ed i 69 anni. A tutti i soggetti partecipanti è stato richiesto il consenso per essere nuovamente esaminati ai tempi T1 e T2. Ad un anno dall'avvio dell'impianto (T1) il 96 % dei soggetti ha partecipato alla seconda fase dello studio: 194 soggetti *esposti* e 186 soggetti *non esposti*. A tre anni dall'avvio dell'impianto (T2) l'87% dei soggetti ha partecipato alla seconda fase dello studio: 172 soggetti *esposti* e 172 soggetti *non esposti*.

Come già per la fase *ante operam*, in entrambi i gruppi sono stati rilevati i livelli di concentrazione nelle matrici biologiche di alcuni inquinanti (metalli, IPA, diossine e PCB) e sono stati stimati alcuni indicatori di salute, attraverso esami ematochimici di base, prove di funzionalità respiratoria e misurazione della pressione arteriosa.

Tutte le valutazioni fatte in questo report si riferiscono esclusivamente alle concentrazioni dei metalli. Si riporta ad un successivo documento la trattazione dei parametri mancanti.

### 2.3.1. *Adesione allo studio campionario*

Nella prima settimana di maggio 2016 sono state inviate le lettere ai 194 soggetti campionati tra i residenti della ASL TO3 (comuni di Beinasco, Grugliasco, Orbassano e Rivalta) e ai 186 soggetti campionati tra i residenti della ASL TO1; parallelamente sono stati ricontattati i 13 allevatori che hanno partecipato alla fase T0.

Il periodo di biomonitoraggio si è concentrato principalmente tra giugno e luglio. In caso di indisponibilità è stata offerta la possibilità di presentarsi anche ad inizio settembre, al fine di favorire il più possibile l'adesione.

In tabella 2.1 si riporta una sintesi degli arruolamenti e delle principali cause di rifiuto.

Tab. 2.1 Sintesi arruolamento.

<i>popolazione residente</i>	<b>ASLTO3 (esposti)</b>			<b>ASLTO1 (non esposti)</b>		
	6 giugno – 5 luglio 2016			13 giugno – 12 settembre 2016		
periodo di biomonitoraggio	soggetti	totale	%	soggetti	totale	%
soggetti arruolati sul totale dei contattati	172	198	86.9%	172	196	88.8%
non più interessato o contrario		16	8.1%		15	7.7%
Deceduto, irreperibile o non disponibili nel periodo proposto		10	5%		9	4.6%
<b><i>allevatori presenti nell'area</i></b>		13	100%		--	

### 2.3.2. Validità interna dello studio campionario

Le procedure utilizzate sono descritte in dettaglio nel protocollo di studio – Fase T2, disponibile sul sito SpoTT (<http://www.dors.it/alleg/spott/201606/protocollo%20SPoTT%20T2%20def.pdf>).

Il materiale necessario per la raccolta delle urine è stato inviato tramite posta a domicilio, accompagnato da lettera di invito, in cui sono stati richiamati gli obiettivi dello studio SPoTT.

Nello specifico il materiale necessario per la raccolta delle urine su cui eseguire le analisi dei metalli è consistito in:

- 1 contenitore Falcon da 50 ml per la raccolta delle prime urine del mattino (ricerca dei metalli);
- 1 contenitore Kartell da 250 ml per la raccolta delle prime urine del mattino (ricerca della cotinina);
- 1 questionario da autocompilare la sera prima del giorno di raccolta delle urine sulle esposizioni delle ultime 24h;
- 1 foglio con le istruzioni necessarie per un'adeguata raccolta delle urine e la corretta compilazione del questionario; sullo stesso foglio veniva raccomandato inoltre di non consumare pesce, molluschi e crostacei nei 3 giorni precedenti la raccolta delle urine del mattino, per non alterare l'interpretazione dei risultati relativi ad As e Hg, e, per i fumatori, si raccomandava di fumare la prima sigaretta della mattina solo dopo l'avvenuta raccolta delle urine, ciò ai fini di un'adeguata rilevazione della cotinina.

Per il prelievo di sangue necessario alla determinazione del piombo sono state utilizzate provette apposite, *BD Vacutainer trace element* avendo l'accortezza di effettuare il prelievo da ultimo, per consentire, con i prelievi precedenti, di effettuare il wash out del metallo dell'ago, utilizzato.

## 2.4. Metalli in studio

Nello studio complessivo, la scelta degli analiti, quali possibili indicatori di esposizione alle emissioni dell'inceneritore, si è basata sia su criteri di letteratura sia su valutazioni ambientali.

Per quel che riguarda i metalli, oggetto di questo specifico rapporto, la scelta si è basata sull'elenco dei metalli di cui si prescrive il monitoraggio nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA n. 309 - 557341/2006); a questi si è ritenuto opportuno aggiungere i metalli iridio (Ir), palladio (Pd), platino (Pt), rodio (Rh) legati alle emissioni da traffico veicolare in considerazione della loro presenza negli scarichi delle marmitte catalitiche e il berillio (Be), indicatore di emissioni industriali.

Pertanto, lo studio di biomonitoraggio ha previsto la valutazione dei seguenti metalli: antimonio (Sb), arsenico (As), berillio (Be), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), rame (Cu), manganese (Mn), mercurio (Hg), iridio (Ir), nichel (Ni), palladio (Pd), platino (Pt), rodio (Rh), stagno (Sn), tallio (Tl), vanadio (V) e zinco (Zn); inoltre è stato ricercato il Pb nel sangue.

## 2.5. Metodi di analisi chimica

I campioni di urina prelevati sono diluiti in laboratorio con acqua deionizzata 1:5. I metalli sono determinati tramite spettrometria di massa con sorgente a plasma accoppiato induttivamente (HR-ICP-MS). Lo strumento viene usato in bassa (*low resolution*, LR), media (*medium resolution*, MR) e alta risoluzione (*high resolution*, HR) al fine di rimuovere le interferenze sul segnale dei metalli. Il metodo delle aggiunte standard in matrice e la standardizzazione interna sono stati usati per correggere eventuali derive strumentali ed effetti matrice. Il metodo è stato validato calcolando i seguenti parametri: ripetibilità, riproducibilità intra-laboratorio, esattezza, incertezza di misura, limite di rilevabilità/quantificazione, specificità, sensibilità, linearità, prove valutative inter-laboratorio. Il metodo di prova interno dal titolo '*Determinazione degli elementi in matrici biologiche*' (metodo interno, MI-05) è stato accreditato UNI CEI EN ISO/IEC 17025 dall'Ente italiano di accreditamento ACCREDIA. Dettagli strumentali e risultati della validazione del metodo sono stati pubblicati in diversi lavori (Pino et al 2012, Bocca et al 2011a, Bocca et al 2010, Bocca et al 2011b)

Una linea guida completa del metodo di riferimento è reperibile in ISTISAN 15/30 (Pag., iii, 47; <http://www.iss.it/publ/?lang=1&id=2903&tipo=5>).

La determinazione della cotinina urinaria è stata effettuata su campioni di urina scongelati e centrifugati. Dopo addizione della N-etilnorcotinina utilizzata come standard interno, i campioni sono stati diluiti con una miscela acqua/metanolo/acetone nitrile e sottoposti ad analisi quantitativa mediante LC-MS/MS. L'esattezza del metodo è stata valutata attraverso il recupero percentuale che è risultato compreso tra l'89 e 98%.

Il LoD (*Limit of Detection*) e il LoQ (*Limit of Quantification*), stimati calcolando la deviazione standard associate al rumore di fondo, sono risultati pari a 0.3 e 1 ng/mL, rispettivamente.

## 2.6. Metodi statistici

Le analisi statistiche sui risultati sono state condotte usando il software SAS (release 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Per ognuno dei metalli sono stati identificati i valori outlier ed estremi statistici sul totale del campione. È considerato outlier un valore che è al di sotto di  $Q1 - 1,5 (Q3 - Q1)$  o al di sopra di  $Q3 + 1,5 (Q3 - Q1)$ ; è considerato estremo un valore che è al di sotto di  $Q1 - 3 (Q3 - Q1)$  o al di sopra di  $Q3 + 3 (Q3 - Q1)$ . Nei casi in cui i valori dei parametri erano al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento (*Limit of Detection*, LoD), questi sono sostituiti con un valore pari alla metà del LOD (LoD/2) (Menichini e Viviano 2015)

Nella descrizione delle variabili analizzate sono state calcolate media, mediana, deviazione standard (DS), percentili, range interquartile e range min-max, quali misure di distribuzione della concentrazione per i metalli urinari dosati.

A causa dell'assenza di normalità delle distribuzioni delle sostanze studiate è stata usata come misura di tendenza centrale la mediana e sono stati utilizzati test statistici non parametrici:

- per la valutazione della differenza fra gruppi di dati è stato usato il test di 'Wilcoxon-Mann-Whitney' (per confrontare due gruppi) e il test di 'Kruskal-Wallis' (per confrontare più di due gruppi);
- per i confronti temporali (T2-T0; T2-T1) è stato usato il test 'dei ranghi con segno di Wilcoxon', da applicarsi nel caso di un campione con due misurazioni appaiate;
- per il confronto incrociato tra gruppi e nel tempo dapprima sono state calcolate le differenze individuali delle misure appaiate nel tempo; successivamente, per confrontare i gruppi, sono stati applicati i test di 'Wilcoxon-Mann-Whitney' o di 'Kruskal-Wallis' sulle differenze;
- per valutare l'andamento temporale generale è stato calcolato un test per il trend sulle medie

Tutti i test sono stati condotti usando la soglia del 5% per rifiutare l'ipotesi nulla con test a due code: sono state considerate statisticamente significative differenze associate a valori di  $p$  inferiori a 0.05.

Per quanto riguarda i residenti, le distribuzioni dei metalli sono state calcolate escludendo i valori estremi statistici superiori. Le statistiche sono state calcolate sul totale dei residenti e stratificate per zona di residenza, genere e classi di età. La distribuzione di Cd è stata inoltre stratificata per abitudine al fumo sulla base dei valori di cotinina urinaria.

I soggetti con concentrazioni urinarie di cotinina inferiori a 1 ng/mL sono stati classificati come 'non fumatori', quelli con livelli di cotinina compresi tra 1 e 50 ng/mL come 'esposti al fumo', quelli con livelli di cotinina al di sopra di 50 ng/mL sono stati classificati come 'forti fumatori'.

Per quanto riguarda gli allevatori, in considerazione del numero esiguo di soggetti, le distribuzioni dei metalli sono state calcolate con e senza l'esclusione dei valori estremi statistici.

I confronti nel tempo e i confronti incrociati sono stati fatti solo sui soggetti presenti sia al T0 che al T1 e al T2. A causa della diversa distribuzione dei valori estremi, tali confronti sono sempre stati calcolati considerando tutti i dati (quindi senza esclusione dei valori estremi).

Per indagare una possibile relazione tra esposizione ambientale e metalli sono state calcolate le correlazioni tra  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  e le concentrazioni dei metalli urinari. Ad ogni soggetto, sulla base della data della raccolta urine, è stato associato il valore medio di PM dei 30, 60, 90, 120, 150, 180 giorni precedenti. Per questo approfondimento sono state considerate le concentrazioni di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  misurate nelle centraline ARPA di monitoraggio della qualità dell'aria di Torino-Lingotto (vicina ai soggetti non esposti) e Beinasco-Aldo Mei (vicina ai soggetti esposti e posta nel punto di massima ricaduta delle emissioni dell'inceneritore). Per il calcolo della correlazione sono stati utilizzati i dati relativi al T0, T1 e T2 insieme.

A causa dell'assenza di normalità di dati, e per indagare una possibile correlazione anche di tipo non lineare, è stato usato il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman, più flessibile rispetto al coefficiente di Pearson usato per calcolare correlazioni di tipo lineare. Il coefficiente di correlazione è un numero compreso tra -1 (quando c'è una correlazione inversa tra le due variabili) e +1 (quando vi sia correlazione assoluta cioè quando alla variazione di una variabile corrisponde una variazione rigidamente dipendente dall'altra). Un indice di correlazione pari a 0 indica assenza di correlazione tra le due variabili in studio. Un coefficiente di correlazione positivo implica che all'aumento di una variabile aumenti anche l'altra; più ci si

avvicina al valore massimo 1, più tale correlazione è forte. Al valore della correlazione è associato un test per valutare la significatività statistica del risultato ottenuto.



### 3. Risultati del biomonitoraggio nei residenti

Un totale di 344 residenti (172 soggetti residenti nell'area di esposizione e 172 nell'area non esposta) con un'età media di 55.2 anni, sui 396 iniziali al T0, ha partecipato anche alla fase di arruolamento T2 (86.9% rispetto alla fase iniziale) come evidenziato in tabella 3.1; di questi, 170 sono femmine e 174 maschi. Una perdita maggiore al follow-up si è registrata tra le femmine (29 perse su un totale di 199 presenti al T1, contro 21 individui di sesso maschile persi su un totale di 195 presenti al T1). Non si registrano variazioni significative nella distribuzione per fascia di età per quanto riguarda i soggetti persi tra il T1 e il T2 (tab 3.2), pertanto non sono pregiudicati i confronti temporali e spaziali eseguiti.

Tab 3.1 Distribuzione dei soggetti presenti sia al T1 che al T2 o persi divisi per sesso

	<i>Femmine</i>	<i>Maschi</i>	<i>Totale</i>
Presente sia al T1 che al T2	170 (49.4%)	174 (50.6%)	344 (100%)
Perso tra il T1 e il T2	29 (58%)	21 (42%)	50 (100%)

Tab 3.2 Distribuzione dei soggetti presenti sia al T1 che al T2 o persi divisi per classe di età al T0

	<i>31-40</i>	<i>41-50</i>	<i>51-60</i>	<i>61-70</i>	<i>Totale</i>
Presente sia al T1 che al T2	51 (14.8%)	104 (30.2%)	102 (29.7%)	87 (25.3%)	344 (100%)
Perso tra il T1 e il T2	5 (10%)	16 (32%)	14 (28%)	15 (30%)	50 (100%)

#### 3.1. Risultati dei metalli dopo 3 anni (T2)

La tabella 3.3 riporta le statistiche descrittive sul totale dei residenti relative ai 18 metalli determinati nelle urine, e del piombo nel sangue, in termini di: media, deviazione standard (DS), percentili (5°, 25°, 50°, 75° e 95°), valore minimo e massimo, e range interquartile (IQR). Le statistiche descrittive riportate sono state calcolate escludendo i valori estremi statistici, sulla base delle formule riportate nel par. 2.6 e in analogia con quanto effettuato sui dati ottenuti al T0 e comunemente adottate in studi di questo tipo.

Dal momento che i metalli determinati nelle urine sono soggetti ad una variabilità legata alla diversa densità urinaria individuale e temporale, tutte le concentrazioni ottenute sono state normalizzate per il peso specifico delle urine.

Tab 3.3. Distribuzione urinaria dei metalli<sup>1,2,3</sup> nella fase T2

<i>Parametro</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>DS</i>	<i>5° perc</i>	<i>25° perc</i>	<i>50° perc</i>	<i>75° perc</i>	<i>95° perc</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Range IQR</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	334	0.06	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.11	0.02	0.18	0.03
<i>Arsenico µg/L</i>	321	14.59	14.13	1.54	4.57	9.89	19.81	45.64	0.47	69.00	15.24
<i>Berillio µg/L</i>	343	0.11	0.04	0.05	0.08	0.10	0.12	0.18	0.02	0.25	0.05
<i>Cadmio µg/L</i>	341	0.53	0.37	0.08	0.24	0.47	0.74	1.19	0.01	2.13	0.50
<i>Cobalto µg/L</i>	327	0.17	0.13	0.04	0.08	0.14	0.22	0.45	0.02	0.64	0.13
<i>Cromo µg/L</i>	337	0.17	0.11	0.03	0.09	0.13	0.21	0.40	0.02	0.64	0.13
<i>Iridio ng/L</i>	343	1.07	0.45	0.51	0.73	1.01	1.32	1.89	0.25	3.11	0.60
<i>Manganese µg/L</i>	330	0.10	0.06	0.03	0.05	0.08	0.12	0.21	0.02	0.32	0.06
<i>Mercurio µg/L</i>	326	1.16	0.75	0.49	0.66	0.89	1.34	2.90	0.23	3.86	0.68
<i>Nichel µg/L</i>	338	0.79	0.41	0.22	0.50	0.72	0.97	1.61	0.12	2.38	0.47
<i>Palladio ng/L</i>	338	18.16	10.84	7.92	10.62	15.09	22.60	42.99	3.85	57.49	11.98
<i>Platino ng/L</i>	340	4.41	2.23	1.63	2.82	3.88	5.73	8.75	0.67	14.30	2.91
<i>Rame µg/L</i>	339	8.68	5.00	2.38	4.74	8.06	11.07	18.88	0.89	28.65	6.33
<i>Rodio ng/L</i>	344	19.42	13.01	6.76	10.13	15.85	25.09	45.62	3.35	69.20	14.96
<i>Stagno µg/L</i>	330	0.33	0.25	0.05	0.14	0.26	0.44	0.84	0.04	1.34	0.29
<i>Tallio µg/L</i>	341	0.21	0.15	0.04	0.10	0.18	0.29	0.52	0.01	0.79	0.19
<i>Vanadio µg/L</i>	328	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.07	0.00	0.09	0.02
<i>Zinco µg/L</i>	342	385.2	272.7	57.6	177.2	330.1	521.0	872.0	8.9	1563.4	343.8
<i>Piombo µg/L</i>	339	19.25	10.51	6.35	11.86	16.33	24.71	39.09	1.05	63.84	12.85

<sup>1</sup> Valori estremi statistici esclusi;

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

In Tabella 3.4 le statistiche sui residenti sono state stratificate per zona di esposizione. In particolare, tra gli esposti le concentrazioni di berillio, cromo e vanadio sono significativamente più alte mentre sono risultate significativamente più basse quelle di rodio, palladio, platino e antimonio.

Tab 3.4. Distribuzione urinaria dei metalli al T2 per zona di residenza <sup>1,2,3</sup>

Parametro	Esposti						Non esposti						Esposti vs. Non esposti
	N	Media	DS	50° perc	95° perc	Range IQR	N	Media	DS	50° perc	95° perc	Range IQR	Valore p*
Antimonio µg/L	166	0.05	0.03	0.04	0.11	0.03	168	0.06	0.03	0.06	0.12	0.04	<b>0.0034</b>
Arsenico µg/L	163	14.41	13.55	9.19	44.56	15.21	158	14.77	14.74	10.27	50.24	14.85	0.8652
Berillio µg/L	171	0.12	0.05	0.12	0.20	0.06	172	0.09	0.02	0.09	0.13	0.03	<b>&lt;0.0001</b>
Cadmio µg/L	172	0.51	0.37	0.44	1.19	0.49	169	0.56	0.37	0.51	1.23	0.49	0.1593
Cobalto µg/L	161	0.16	0.12	0.13	0.42	0.11	166	0.18	0.13	0.16	0.48	0.15	0.1281
Cromo µg/L	168	0.19	0.10	0.18	0.39	0.13	169	0.14	0.12	0.10	0.43	0.10	<b>&lt;0.0001</b>
Iridio ng/L	172	1.10	0.44	1.01	1.89	0.56	171	1.04	0.46	1.01	1.81	0.66	0.2791
Manganese µg/L	164	0.09	0.05	0.08	0.20	0.06	166	0.10	0.06	0.08	0.22	0.06	0.4174
Mercurio µg/L	168	1.16	0.75	0.84	2.80	0.75	158	1.16	0.75	0.93	2.97	0.63	0.6032
Nichel µg/L	170	0.79	0.37	0.73	1.53	0.44	168	0.78	0.45	0.71	1.79	0.51	0.2986
Palladio ng/L	156	16.89	9.35	13.96	38.62	11.29	170	20.32	11.55	17.41	45.44	11.96	<b>0.0018</b>
Platino ng/L	171	3.93	2.30	3.30	8.86	2.29	169	4.90	2.06	4.85	8.64	2.65	<b>&lt;0.0001</b>
Rame µg/L	170	8.43	4.65	7.58	18.54	5.79	169	8.93	5.33	8.28	20.57	6.47	0.4858
Rodio ng/L	172	16.62	11.70	12.72	38.38	12.47	172	22.21	13.67	18.06	48.18	15.97	<b>&lt;0.0001</b>
Stagno µg/L	169	0.34	0.26	0.25	0.87	0.31	161	0.31	0.24	0.27	0.77	0.30	0.2089
Tallio µg/L	171	0.20	0.14	0.17	0.46	0.19	170	0.23	0.16	0.19	0.57	0.19	0.1304
Vanadio µg/L	167	0.031	0.019	0.025	0.074	0.019	161	0.025	0.017	0.019	0.066	0.015	<b>&lt;0.0001</b>
Zinco µg/L	171	341.9	209.1	314.6	735.6	308.9	171	428.5	318.8	361.6	1155.9	401.6	0.0536
Piombo µg/L	171	19.23	10.29	16.61	37.80	13.24	168	19.26	10.76	16.31	39.68	12.72	0.8199

<sup>1</sup> Valori estremi esclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

\*Test di Kruskal-Wallis

In Tab 3.5. la distribuzione dei metalli è stata stratificata per sesso. La stratificazione mette in luce come molti metalli (antimonio, arsenico, cadmio, rame, rodio, stagno, tallio, vanadio, zinco e piombo) risultino significativamente più alti negli uomini rispetto al livello riscontrato nelle donne.

Tab 3.5. Distribuzione urinaria dei metalli al T2 per sesso <sup>1,2,3</sup>

Parametro		N	Media	DS	50° perc	95° perc	Range IQR	Valore p*
Antimonio $\mu\text{g/L}$	maschi	167	0.06	0.03	0.05	0.11	0.04	<b>0.0021</b>
	femmine	167	0.05	0.03	0.04	0.12	0.04	
Arsenico $\mu\text{g/L}$	maschi	159	16.36	14.61	10.92	46.77	15.47	<b>0.0012</b>
	femmine	162	12.85	13.46	7.64	44.02	13.75	
Berillio $\mu\text{g/L}$	maschi	173	0.11	0.04	0.10	0.18	0.04	0.5562
	femmine	170	0.10	0.04	0.10	0.18	0.05	
Cadmio $\mu\text{g/L}$	maschi	173	0.57	0.38	0.53	1.20	0.50	<b>0.0190</b>
	femmine	168	0.49	0.36	0.42	1.19	0.45	
Cobalto $\mu\text{g/L}$	maschi	170	0.16	0.10	0.14	0.37	0.10	0.8245
	femmine	157	0.19	0.15	0.14	0.55	0.16	
Cromo $\mu\text{g/L}$	maschi	171	0.17	0.11	0.14	0.38	0.12	0.2641
	femmine	166	0.16	0.12	0.13	0.43	0.15	
Iridio $\text{ng/L}$	maschi	174	1.08	0.47	1.02	1.95	0.56	0.7316
	femmine	169	1.06	0.42	0.99	1.81	0.66	
Manganese $\mu\text{g/L}$	maschi	170	0.10	0.06	0.08	0.22	0.06	0.8710
	femmine	160	0.09	0.06	0.08	0.20	0.06	
Mercurio $\mu\text{g/L}$	maschi	163	1.21	0.76	0.93	2.85	0.73	0.0502
	femmine	163	1.10	0.74	0.82	2.90	0.64	
Nichel $\mu\text{g/L}$	maschi	173	0.80	0.41	0.74	1.62	0.50	0.4536
	femmine	165	0.77	0.41	0.71	1.57	0.45	
Palladio $\text{ng/L}$	maschi	171	17.51	9.63	15.36	37.14	11.77	0.8289
	femmine	167	18.81	11.95	14.77	45.65	12.17	
Platino $\text{ng/L}$	maschi	171	4.64	2.46	4.10	10.00	3.22	0.1777
	femmine	169	4.18	1.96	3.77	7.45	2.43	
Rame $\mu\text{g/L}$	maschi	172	9.31	4.58	9.19	18.54	5.08	<b>0.0004</b>
	femmine	167	8.02	5.33	7.00	18.88	6.18	
Rodio $\text{ng/L}$	maschi	174	21.01	12.60	17.35	48.18	16.45	<b>0.0008</b>
	femmine	170	17.78	13.25	13.97	42.64	12.88	
Stagno $\mu\text{g/L}$	maschi	164	0.35	0.27	0.28	0.94	0.30	<b>0.0359</b>
	femmine	166	0.30	0.24	0.24	0.80	0.30	
Tallio $\mu\text{g/L}$	maschi	172	0.24	0.16	0.20	0.57	0.21	<b>0.0002</b>
	femmine	169	0.18	0.14	0.16	0.44	0.16	
Vanadio $\mu\text{g/L}$	maschi	164	0.03	0.02	0.03	0.07	0.02	<b>&lt;0.0001</b>
	femmine	164	0.02	0.01	0.02	0.05	0.01	
Zinco $\mu\text{g/L}$	maschi	173	467.0	270.4	425.1	914.4	345.3	<b>&lt;0.0001</b>
	femmine	169	301.5	249.2	229.0	797.3	274.3	
Piombo $\mu\text{g/L}$	maschi	169	21.54	11.08	19.21	42.44	16.35	<b>&lt;0.0001</b>
	femmine	170	16.96	9.39	14.58	33.98	10.15	

<sup>1</sup> Valori estremi esclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

\*Test di Kruskal-Wallis

In Tab 3.6 è mostrata la distribuzione dei metalli nei residenti divisi per classi di età (31-40; 41-50; 51-60; 61-70 anni). Alcuni metalli (mercurio, nichel, palladio, tallio e piombo) sono risultati significativamente diversi in funzione dell'età; il mercurio mostra una debole tendenza a diminuire con l'età, il nichel non mostra un trend chiaro, mentre il palladio e il tallio presentano una concentrazione maggiore nella fascia 31-40 anni, per poi diminuire nelle fasce a maggiore età. Invece le concentrazioni di piombo diminuiscono passando dalla fascia d'età 31-40 anni a quella 41-50 anni per poi aumentare dai 50 anni in su.

Tab 3.6. Distribuzione urinaria dei metalli al T2 per classi di età <sup>1,2,3</sup>

Parametro		N	Media	DS	50° perc	95° perc	Range IQR	Valore p*
<i>Antimonio µg/L</i>	31-40	22	0,06	0,03	0,06	0,11	0,03	0.2277
	41-50	91	0,05	0,03	0,05	0,11	0,03	
	51-60	106	0,06	0,03	0,05	0,12	0,04	
	61-70	98	0,05	0,03	0,05	0,12	0,04	
<i>Arsenico µg/L</i>	31-40	22	20,96	17,68	13,72	56,30	29,63	0.1218
	41-50	86	12,39	11,93	8,17	36,65	12,37	
	51-60	102	13,78	12,44	10,16	40,22	12,24	
	61-70	94	16,50	15,90	10,51	50,24	17,67	
<i>Berillio µg/L</i>	31-40	24	0,11	0,05	0,10	0,18	0,05	0.3011
	41-50	93	0,11	0,04	0,11	0,20	0,06	
	51-60	110	0,10	0,04	0,10	0,17	0,04	
	61-70	99	0,10	0,04	0,10	0,18	0,03	
<i>Cadmio µg/L</i>	31-40	24	0,60	0,42	0,52	1,10	0,64	0.3926
	41-50	93	0,52	0,37	0,47	1,09	0,52	
	51-60	110	0,56	0,35	0,53	1,20	0,44	
	61-70	97	0,51	0,38	0,42	1,23	0,43	
<i>Cobalto µg/L</i>	31-40	23	0,22	0,14	0,19	0,53	0,18	0.1965
	41-50	83	0,19	0,15	0,15	0,56	0,14	
	51-60	106	0,16	0,11	0,13	0,38	0,11	
	61-70	98	0,17	0,11	0,14	0,41	0,12	
<i>Cromo µg/L</i>	31-40	23	0,15	0,10	0,13	0,28	0,13	0.4393
	41-50	92	0,17	0,13	0,13	0,49	0,15	
	51-60	109	0,18	0,12	0,15	0,40	0,14	
	61-70	96	0,16	0,11	0,13	0,36	0,12	
<i>Iridio ng/L</i>	31-40	24	1,00	0,45	0,91	1,95	0,63	0.5998
	41-50	93	1,11	0,45	1,10	1,86	0,64	
	51-60	111	1,06	0,39	0,98	1,70	0,57	
	61-70	98	1,08	0,50	1,03	2,05	0,52	
<i>Manganese µg/L</i>	31-40	21	0,10	0,06	0,09	0,21	0,05	0.8063
	41-50	91	0,10	0,06	0,07	0,24	0,07	
	51-60	109	0,09	0,05	0,08	0,20	0,05	
	61-70	92	0,10	0,06	0,08	0,21	0,06	
<i>Mercurio µg/L</i>	31-40	22	1,74	1,00	1,43	3,45	1,72	<b>0.0024</b>
	41-50	88	1,25	0,78	0,93	2,81	1,16	

	51-60	105	1,15	0,74	0,88	2,85	0,69	
	61-70	95	1,01	0,64	0,82	2,54	0,53	
<i>Nichel µg/L</i>	31-40	23	0,78	0,41	0,74	1,36	0,60	<b>0.0045</b>
	41-50	91	0,82	0,46	0,76	1,94	0,54	
	51-60	109	0,68	0,34	0,66	1,24	0,39	
	61-70	98	0,88	0,40	0,83	1,66	0,50	
<i>Palladio ng/L</i>	31-40	24	25,92	12,96	24,48	45,44	22,99	<b>0.0314</b>
	41-50	91	17,41	11,42	14,30	44,22	11,80	
	51-60	110	17,83	9,97	14,69	38,93	10,85	
	61-70	96	17,74	10,61	15,03	40,46	11,31	
<i>Platino ng/L</i>	31-40	24	4,42	2,43	3,94	9,17	3,18	0.9072
	41-50	93	4,41	2,20	4,10	8,86	3,38	
	51-60	109	4,61	2,48	3,84	10,00	3,21	
	61-70	97	4,23	1,98	3,83	7,81	2,21	
<i>Rame µg/L</i>	31-40	23	11,09	6,02	10,68	24,52	6,17	0.1893
	41-50	92	8,84	5,12	8,81	19,44	6,82	
	51-60	110	8,42	4,88	7,72	16,73	6,39	
	61-70	97	8,57	4,83	8,00	20,57	5,53	
<i>Rodio ng/L</i>	31-40	24	23,88	13,44	20,85	41,23	21,78	0.3299
	41-50	93	19,03	11,88	17,27	44,53	14,17	
	51-60	111	18,89	12,67	14,57	46,33	12,45	
	61-70	99	20,13	14,39	15,89	57,74	18,82	
<i>Stagno µg/L</i>	31-40	21	0,38	0,28	0,36	0,62	0,29	0.4405
	41-50	88	0,34	0,29	0,23	1,06	0,35	
	51-60	108	0,35	0,27	0,28	0,87	0,32	
	61-70	96	0,29	0,20	0,24	0,69	0,26	
<i>Tallio µg/L</i>	31-40	21	0,31	0,19	0,33	0,57	0,31	<b>0.0111</b>
	41-50	93	0,19	0,13	0,17	0,44	0,18	
	51-60	111	0,22	0,16	0,19	0,58	0,19	
	61-70	99	0,21	0,15	0,18	0,54	0,16	
<i>Vanadio µg/L</i>	31-40	24	0,03	0,02	0,02	0,09	0,02	0.6090
	41-50	88	0,03	0,02	0,02	0,07	0,02	
	51-60	105	0,03	0,02	0,02	0,07	0,02	
	61-70	95	0,03	0,02	0,02	0,07	0,02	
<i>Zinco µg/L</i>	31-40	24	460,8	286,3	462,1	873,3	311,0	0.2981
	41-50	92	365,8	275,0	320,3	828,1	381,9	
	51-60	111	411,4	291,1	335,8	887,3	353,4	
	61-70	98	372,6	255,1	333,2	869,0	332,8	
<i>Piombo</i>	31-40	24	15,84	8,70	13,82	28,86	11,39	<b>&lt;0.0001</b>
	41-50	92	13,65	8,16	11,89	33,47	6,73	
	51-60	108	20,75	9,53	18,87	39,09	10,94	
	61-70	98	23,58	11,44	21,41	43,84	16,36	

<sup>1</sup> Valori estremi esclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

\*Test di Kruskal-Wallis

Molti dei soggetti (N = 40) che presentavano al T0 valori di uno o più metalli (arsenico, cadmio, cobalto, cromo, rame, manganese, nichel, platino, antimonio, stagno, tallio, zinco) maggiori dei valori limite<sup>1</sup> (VL), non si confermano come tali né al T1 né al T2 (per gli stessi metalli), ad eccezione di due individui che presentano uno valori di cobalto e l'altro valori di platino sistematicamente più alti del VL, seppure con un trend in diminuzione nelle tre fasi. Per tali due soggetti sono state ipotizzate possibili cause individuali di esposizione attraverso l'esame del questionario individuale: i soggetti infatti presentavano uso di piercing e bigiotteria, presenza di tatuaggi (solo per cobalto) e protesi.

Alcuni soggetti al T2 (24 soggetti: 12 residenti nell'ASL TO1 e 12 residenti nell'ASL TO3) hanno mostrato valori di uno o più metalli (arsenico, cobalto, cromo, mercurio, platino, stagno, tallio, manganese e piombo) superiori al VL come riportato in tabella 3.7. Per la maggior parte di questi soggetti le informazioni derivanti dal questionario non hanno permesso di individuare alcuna causa specifiche di esposizione ai metalli. Mentre per 1 soggetto, che presentava un valore alto di As, è stato possibile ipotizzare che l'assunzione di pesce il giorno prima del campionamento urinario avesse determinato l'esposizione a tale metallo. Nel caso di un altro soggetto, che presentava un valore alto di Pb ematico, è stato ipotizzato che l'attività lavorativa fosse una causa primaria di esposizione. Per un altro soggetto che presentava un livello alto di Pt, è stata ipotizzata una possibile esposizione a seguito della terapie farmacologica assunta.

Tab 3.7. Numero di soggetti (nelle due AA.SS.LL.) con valori maggiori del valore limite SPoTT

<i>Parametro</i>	<i>N° soggetti*</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	1
<i>Arsenico µg/L</i>	4
<i>Berillio µg/L</i>	-
<i>Cadmio µg/L</i>	-
<i>Cobalto µg/L</i>	4
<i>Cromo µg/L</i>	3
<i>Iridio ng/L</i>	-
<i>Manganese µg/L</i>	1
<i>Mercurio µg/L</i>	3
<i>Nichel µg/L</i>	-
<i>Palladio ng/L</i>	-
<i>Platino ng/L</i>	3
<i>Rame µg/L</i>	-
<i>Rodio ng/L</i>	-
<i>Stagno µg/L</i>	2

<sup>1</sup> Questi valori sono stati calcolati sulla distribuzione dei valori della popolazione residente SPoTT monitorata al T0 (per approfondimenti si rimanda al *Protocollo di presa in carico dei soggetti con valori estremi di metalli*)

\*un soggetto presenta 2 metalli oltre il VL

<i>Tallio</i> $\mu\text{g/L}$	1
<i>Vanadio</i> $\mu\text{g/L}$	
<i>Zinco</i> $\mu\text{g/L}$	-
<i>Piombo</i> $\mu\text{g/L}$	3

Risulta infine opportuno anche un confronto esterno dei valori riscontrati in questo studio con valori riscontrati in altre popolazioni e in altri studi.

La Tabella 3.8 mostra i dati dei metalli urinari riscontrati nella popolazione generale non esposta in altri studi e campagne di monitoraggio, effettuate in Italia e nel mondo, per un confronto con i risultati del programma SPoTT in fase T2. Dato che i profili dei metalli ottenuti in fase T2 non mostravano una distribuzione normale, sono state riportate le mediane (laddove possibile) anche per le altre campagne di biomonitoraggio prese a confronto.

In generale, è possibile evidenziare che anche in questa terza fase (T2), tutti i metalli mostrano valori inferiori ai valori limite stabiliti a seguito di esposizione occupazionale, mentre sono per lo più sovrapponibili (e per Mn, Co, Ni anche inferiori) ai valori di riferimento (VR) riportati dal GERES (Germania) e dal NHANES (USA). E' comunque da tenere presente che le differenze osservate tra il presente studio e i VR ottenuti in altri Paesi possono essere ascrivibili a differenze tra le popolazioni campionate (es. in termini di dieta e stili di vita) e, quindi, a diversa esposizione non unicamente legata a fonti di esposizione ambientale.

Tab. 3.8. Valori di riferimento e valori limite per i metalli (concentrazioni in µg/L per SPOTT tranne dove indicato)

	SPOTT – T2			VR GERES			VR NHANES		VALORI LIMITI OCCUPAZIONALI			
	Mediana	95°	Max	Mediana	95°	Max	Mediana	95°	VLB	BLV/BGV (SCOEL)	BAT o EKA (DFG)	HBM II
As	9,89	45,64	69,0	4,1	18,9	157	8,15	85,6			50 (per 0,01 mg/m <sup>3</sup> )	
Cd	0,47	1,19	2,13	0,22	0,96	31,5	0,18	1,03		2 µg/g creatinina	15	4
Co	0,14	0,45	0,64				0,38	1,4			30 (per 0,05 mg/m <sup>3</sup> )	
Cr	0,13	0,40	0,64								12 (per 0,03 mg/m <sup>3</sup> )	
Ir*	1,01	1,89	3,11	0,3	1,1	16,5						
Mn	0,08	0,21	0,32				0,12	0,37				
Hg	0,89	2,90	3,86	<0,2	1,1	6,7	0,40	2,42	30 (µg/g)	30 µg/g creatinina	100	25
Ni	0,72	1,61	2,38		3,0					3 µg/L	15 (per 0,10 mg/m <sup>3</sup> )	
Pb sangue	16,33	39,09	63,84	31	71	380	1,07	3,34	60 µg/100 mL (40 µg/100 mL per lavoratrici in età fertile)	30 µg/100 mL	400 300 (in donne < 45 anni)	sospeso
Pt*	3,88	8,75	14,30	1,5	8,9	79,7	9 (<LoD)	16				
Tl	0,18	0,52	0,79		0,5		0,16	0,41				

\*ng/L

**HBMI e HBMI:**

C. Schulz et al 2007; HBM 2011

**GERES**

Schulz et al 2011; Becker et al 2003; German Human Biomonitoring Commission 2001

**NHANES**

CDC, 2018.

**VLB** (Valore Limite Biologico)

Supplemento ordinario n. 142/L alla GAZZETTA UFFICIALE 2009; Trevisan et al, 2005

**BAT** (Valore Biologico Tollerabile) o **EKA** (Equivalente esposizione per sostanze cancerogene)

DFG, 2016

### 3.1.1. Confronto con valori guida

La presenza di metalli nel corpo umano non è necessariamente legata allo sviluppo di un effetto avverso sulla salute. A tal fine, fondamentale per interpretare i risultati della campagna di biomonitoraggio SPoTT è la disponibilità di valori guida per la concentrazione di un metallo in un fluido biologico associati ad un aumento di probabilità di rischio di effetti avversi sulla salute o volti a indicare casi che necessitano particolari approfondimenti. Esempi di valori guida sono quelli prodotti dalla Commissione Tedesca per il biomonitoraggio umano (Schulz et al, 2011), che ha definito due diversi tipi di valori guida: il valore di HBM I (o livello di attenzione) e il valore di HBM II (o livello di azione). Per una concentrazione di metallo in un campione biologico al di sotto del valore di HBM I non sono previsti effetti negativi sulla salute; per una concentrazione di metallo al di sopra del valore di HBM II vi è un aumento di probabilità di rischio di effetti negativi sulla salute. Un altro valore guida, recentemente sviluppato dall'EPA (Environmental Protection Agency) è il valore di BE (Biological Equivalent); una concentrazione di metallo in un fluido biologico al di sopra del BE indica una maggiore esposizione dell'individuo o gruppo di individui al metallo e la necessità di approfondire le vie e le variabili che possono avere influenzato tale esposizione (Hays et al, 2008). In Tab 3.9 sono riportati i valori di HBM I, HBM II e BE disponibili ad oggi per alcuni metalli urinari. Dalle analisi effettuate su cadmio, mercurio e tallio risulta che la maggior parte dei soggetti è al di sotto dei valori soglia HBM I, HBM II e BE.

Tab 3.9 Valori guida per i metalli urinari e confronto con i risultati di T2.

Parametro (Riferimento)	Popolazione	HBM I (% di soggetti < HBM I)	HBM II (% di soggetti > HBM II)	BE* (% di soggetti > BE)
Cadmio $\mu\text{g/L}$ (Schulz et al, 2011; Hays et al, 2008)	Adulti	1 $\mu\text{g/L}$ (91 %)	4 $\mu\text{g/L}$ (0 %)	1,5 $\mu\text{g/l}$ (2.9 %)
Mercurio $\mu\text{g/L}$ (Schulz et al, 2011)	Adulti e bambini	7 $\mu\text{g/L}$ (97.7%)	25 $\mu\text{g/L}$ (0 %)	-
Tallio $\mu\text{g/L}$ (Schulz et al, 2011)	Popolazione generale	5 $\mu\text{g/L}$ (100 %)	-	-

\*Calcolato dall'EPA usando la Reference Dose (RfD)

Sean et al 2010; Hays et al 2008c

### 3.2. Confronti dei risultati dei metalli al T2 con il baseline (T0) e con il primo controllo (T1)

In tabella 3.10 si riportano i confronti temporali effettuati sui metalli con valore  $p$  del test per il trend. I risultati sono riferiti ad un totale di 344 soggetti per i quali sono disponibili le determinazioni al baseline (T0), al primo (T1) e al secondo (T2) follow-up.

I risultati mostrano che la maggior parte dei metalli presentano al T2 concentrazioni più basse di quelle osservate al T0 e confrontabili con quelle osservate al T1.

Tale diminuzione è statisticamente significativa per antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, , iridio, manganese, mercurio, nichel, palladio, rodio, , stagno, tallio, vanadio, zinco e piombo. Il platino è progressivamente in aumento nelle 3 rilevazioni, ma il trend non è statisticamente significativo. Arsenico, cadmio, palladio e rodio presentano concentrazioni inferiori al T0 ma più alte rispetto al T1.

Tab 3.10. Confronto tra i metalli urinari T2-T1-T0 <sup>1,2,3</sup>

	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>Test per il trend</i>
<i>Parametro</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Valore p*</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	0.07	0.05	0.05	0.0008
<i>Arsenico µg/L</i>	20.94	8.93	10.79	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Berillio µg/L</i>	0.16	0.10	0.10	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Cadmio µg/L</i>	0.72	0.40	0.48	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Cobalto µg/L</i>	0.17	0.15	0.15	<b>0.0067</b>
<i>Cromo µg/L</i>	0.16	0.20	0.14	<b>0.0254</b>
<i>Iridio ng/L</i>	1.65	1.08	1.01	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Manganese µg/L</i>	0.13	0.10	0.08	<b>0.0017</b>
<i>Mercurio µg/L</i>	1.41	0.92	0.92	<b>0.0067</b>
<i>Nichel µg/L</i>	0.88	0.91	0.72	<b>0.0514</b>
<i>Palladio ng/L</i>	23.99	13.97	15.27	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Platino ng/L</i>	3.05	3.11	3.90	0.1883
<i>Rame µg/L</i>	10.86	7.37	8.19	0.2959
<i>Rodio ng/L</i>	17.95	12.95	15.85	<b>0.0143</b>
<i>Stagno µg/L</i>	0.65	0.31	0.28	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Tallio µg/L</i>	0.27	0.16	0.18	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Vanadio µg/L</i>	0.03	0.02	0.02	<b>0.0002</b>
<i>Zinco µg/L</i>	394.1	267.0	333.1	<b>0.0010</b>
<i>Piombo µg/L</i>	19.38		16.65	<b>0.015<sup>4</sup></b>

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

<sup>4</sup> Test di Kruskal-Wallis per il confronto tra mediane

Tab 3.11. Confronto tra i metalli urinari T2-T1-T0 per zona di residenza <sup>1,2,3</sup>

	<i>Esposti</i>				<i>Non Esposti</i>			
	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>Test per il trend</i>	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>Test per il trend</i>
<i>Parametro</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Valore p*</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>	<i>Valore p*</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	0.08	0.05	0.04	<0.0001	0.06	0.04	0.06	0.4942
<i>Arsenico µg/L</i>	20.26	7.68	10.40	<b>0.006</b>	21.45	10.90	11.50	<b>0.0028</b>
<i>Berillio µg/L</i>	0.17	0.09	0.12	<b>&lt;0.0001</b>	0.15	0.10	0.09	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Cadmio µg/L</i>	0.67	0.36	0.44	<b>&lt;0.0001</b>	0.74	0.45	0.52	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Cobalto µg/L</i>	0.17	0.14	0.13	<b>0.084</b>	0.18	0.15	0.16	<b>0.0116</b>
<i>Cromo µg/L</i>	0.20	0.25	0.18	0.264	0.14	0.17	0.11	<b>0.0227</b>
<i>Iridio ng/L</i>	1.99	1.11	1.01	<b>&lt;0.0001</b>	1.35	1.05	1.02	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Manganese µg/L</i>	0.14	0.08	0.08	<b>0.003</b>	0.12	0.11	0.08	0.1694
<i>Mercurio µg/L</i>	1.41	0.93	0.85	<b>0.017</b>	1.44	0.89	0.99	0.1482
<i>Nichel µg/L</i>	0.86	0.86	0.74	<b>0.004</b>	0.92	0.94	0.71	0.2141
<i>Palladio ng/L</i>	24.12	13.85	13.16	<b>&lt;0.0001</b>	23.93	14.07	17.58	<b>0.0002</b>
<i>Platino ng/L</i>	3.97	3.43	3.31	0.375	2.34	2.92	4.86	0.1700
<i>Rame µg/L</i>	11.02	7.41	7.65	<0.0001	10.59	7.25	8.35	0.5656
<i>Rodio ng/L</i>	18.74	12.04	12.73	<b>&lt;0.0001</b>	17.30	14.54	18.06	<b>0.0294</b>
<i>Stagno µg/L</i>	0.61	0.31	0.27	<b>&lt;0.0001</b>	0.69	0.33	0.28	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Tallio µg/L</i>	0.25	0.16	0.17	<b>&lt;0.0001</b>	0.30	0.16	0.19	<b>&lt;0.0001</b>
<i>Vanadio µg/L</i>	0.03	0.02	0.02	<b>0.0002</b>	0.03	0.02	0.02	<b>0.0010</b>
<i>Zinco µg/L</i>	376.8	244.0	318.9	<b>0.001</b>	417.5	270.5	362.0	<b>0.0895</b>
<i>Piombo µg/L</i>	18.71	---	16.70	0.235 <sup>4</sup>	19.51	---	16.33	<b>0.0293<sup>4</sup></b>

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico<sup>4</sup> Test di Kruskal-Wallis per il confronto tra median

La stessa analisi è stata poi divisa per zona di residenza (tabella 3.11). Tutti i valori risultano, per entrambi i gruppi di esposizione, in diminuzione nelle tre fasi di campionamento, tranne il rodio il cui valore urinario aumenta nei non esposti. Anche il platino presenta lo stesso aumento del rodio (anche se non significativo) nei soggetti non esposti.

In analogia con quanto fatto al T1, in Tab 3.12 sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi (T2-T0) e il valore *p* del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Quasi tutti i metalli mostrano valori in diminuzione (negativi) sia per la media sia per la mediana delle differenze tra T2 e T0, fatta eccezione per rodio e platino, i quali confermano una tendenza all'aumento ma solo tra i non esposti. Per il platino, è comunque da considerare che il valore della media delle differenze T2-T0 è stato fortemente influenzato da un valore molto alto (outlier) riscontrato in un soggetto al T2. Pur considerando la complessiva diminuzione dei metalli, se si analizzano i risultati divisi tra esposti e non esposti, si può notare che la differenza è statisticamente significativa solo per alcuni metalli: antimonio, iridio, manganese, palladio, platino e rodio. La tendenza alla diminuzione si osserva anche per il piombo, che non era stato misurato al T1.

Tab 3.12. Media e mediana delle differenze T2-T0 dei valori dei metalli per zona di residenza <sup>1,2,3</sup>

<i>Parametro</i>		<i>Media differenze T2-T0</i>	<i>Mediana differenze T2-T0</i>	<i>Valore p*</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.0520	-0.0298	<b>&lt;0.0001</b>
	<i>non esposti</i>	-0.003	-0.0115	
<i>Arsenico µg/L</i>	<i>esposti</i>	-23.13	-6.52	0.849
	<i>non esposti</i>	-26.53	-6.57	
<i>Berillio µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.060	-0.049	0.090
	<i>non esposti</i>	-0.087	-0.069	
<i>Cadmio µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.327	-0.236	0.654
	<i>non esposti</i>	-0.334	-0.257	
<i>Cobalto µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.126	-0.014	0.422
	<i>non esposti</i>	-0.079	-0.028	
<i>Cromo µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.057	-0.026	0.706
	<i>non esposti</i>	-0.060	-0.026	
<i>Iridio ng/L</i>	<i>esposti</i>	-1.132	-0.982	<b>&lt;0.0001</b>
	<i>non esposti</i>	-0.565	-0.428	
<i>Manganese µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.072	-0.044	<b>0.030</b>
	<i>non esposti</i>	-0.015	-0.030	
<i>Mercurio µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.645	-0.556	0.015
	<i>non esposti</i>	-0.359	-0.240	
<i>Nichel µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.294	-0.121	0.411
	<i>non esposti</i>	-0.347	-0.171	
<i>Palladio</i>	<i>esposti</i>	-15.32	-10.51	<b>0.017</b>

<i>ng/L</i>	<i>non esposti</i>	-9.586	-5.747	
<i>Platino</i>	<i>esposti</i>	-76.36	-0.6047	<b>&lt;0.0001</b>
<i>ng/L</i>	<i>non esposti</i>	1310.1	2.10	
<i>Rame</i>	<i>esposti</i>	-3.962	-3.005	0.542
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-2.762	-2.836	
<i>Rodio</i>	<i>esposti</i>	-9.162	-5.443	<b>&lt;0.0001</b>
<i>ng/L</i>	<i>non esposti</i>	2.354	0.671	
<i>Stagno</i>	<i>esposti</i>	-0.4106	-0.2456	0.249
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-0.493	-0.3446	
<i>Tallio</i>	<i>esposti</i>	-0.097	-0.0730	0.589
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-0.105	-0.0932	
<i>Vanadio</i>	<i>esposti</i>	-0.0182	-0.0100	0.977
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-0.012	-0.010	
<i>Zinco</i>	<i>esposti</i>	-114.2	-55.93	0.263
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-82.833	-40.778	
<i>Piombo</i>	<i>esposti</i>	-3.143	-1.948	0.771
<i>µg/L</i>	<i>non esposti</i>	-2.530	-2.681	

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

\* test di Wilcoxon-Mann-Whitney per dati appaiati

In tabella 3.13 sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi dopo l'avvio dell'inceneritore (T2-T1) e il valore *p* del test di Wilcoxon-Mann-Whitney. Il test statistico ha mostrato che la differenza tra i due gruppi è significativa solo per alcuni metalli: antimonio e palladio (in aumento nei non esposti e in diminuzione negli esposti), berillio (in aumento negli esposti e in diminuzione nei non esposti), manganese (invariato negli esposti e in diminuzione nei non esposti) e platino (invariato negli esposti e in aumento nei non esposti). Inoltre, si nota una tendenza (seppur lieve) all'aumento di arsenico, cadmio, rodio, tallio e zinco in entrambi i gruppi, mentre si nota una diminuzione per quanto riguarda cromo, iridio e nichel e una situazione sostanzialmente invariata per cobalto, manganese, mercurio, stagno e vanadio.

Tab 3.13. Media e mediana delle differenze T2-T1 dei valori dei metalli per zona di residenza <sup>1,2,3</sup>

<i>Parametro</i>		<i>Media differenze T2-T1</i>	<i>Mediana differenze T2-T1</i>	<i>Valore p*</i>
<i>Antimonio</i> <i>µg/L</i>	<i>esposti</i>	-0.013	-0.010	<b>0.0001</b>
	<i>non esposti</i>	0.012	0.01	
<i>Arsenico</i> <i>µg/L</i>	<i>esposti</i>	7.46	1.06	0.443
	<i>non esposti</i>	4.39	0.45	
<i>Berillio</i> <i>µg/L</i>	<i>esposti</i>	0.0157	0.02	<b>&lt;0.0001</b>
	<i>non esposti</i>	-0.024	-0.01	

Cadmio µg/L	<i>esposti</i>	0.045	0.02	0.733
	<i>non esposti</i>	0.06	0.05	
Cobalto µg/L	<i>esposti</i>	-0.037	-0.005	0.895
	<i>non esposti</i>	-0.063	0.00	
Cromo µg/L	<i>esposti</i>	-0.182	-0.075	0.181
	<i>non esposti</i>	-0.120	-0.040	
Iridio ng/L	<i>esposti</i>	-0.154	-0.080	0.885
	<i>non esposti</i>	-0.176	-0.05	
Manganese µg/L	<i>esposti</i>	-0.023	0.000	<b>0.033</b>
	<i>non esposti</i>	-0.044	-0.02	
Mercurio µg/L	<i>esposti</i>	0.201	0.000	0.093
	<i>non esposti</i>	0.473	0.08	
Nichel µg/L	<i>esposti</i>	-0.345	-0.095	0.195
	<i>non esposti</i>	-1.03	-0.27	
Palladio ng/L	<i>esposti</i>	-2.379	-0.900	<b>0.001</b>
	<i>non esposti</i>	3.61	3.92	
Platino ng/L	<i>esposti</i>	-23.25	0.000	<b>&lt;0.0001</b>
	<i>non esposti</i>	1311	1.490	
Rame µg/L	<i>esposti</i>	0.146	0.685	0.326
	<i>non esposti</i>	-9.41	-0.09	
Rodio ng/L	<i>esposti</i>	2.525	0.400	0.153
	<i>non esposti</i>	3.99	3.85	
Stagno µg/L	<i>esposti</i>	-0.018	0.000	0.084
	<i>non esposti</i>	-0.085	-0.060	
Tallio µg/L	<i>esposti</i>	0.013	0.010	0.272
	<i>non esposti</i>	0.06	0.02	
Vanadio µg/L	<i>esposti</i>	-0.001	0.000	0.495
	<i>non esposti</i>	0.00	0.000	
Zinco µg/L	<i>esposti</i>	49.09	41.11	0.319
	<i>non esposti</i>	96.60	50.5	
Piombo µg/L	<i>esposti</i>	---	---	---
	<i>non esposti</i>	----	---	

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

\* test di Wilcoxon-Mann-Whitney per dati appaiati

Dall'analisi della cotinina urinaria le concentrazioni di cadmio risultano più alte tra i fumatori e gli esposti al fumo, rispetto ai non fumatori.

### 3.2.1. Confronto con esposizioni ambientali.

Visti gli andamenti in generale diminuzione descritti al paragrafo precedente, è stata calcolata la correlazione tra particolato atmosferico (sul quale sono adsorbiti i metalli inalati) e i

metalli urinari. Il particolato, infatti, può essere considerato una buona misura *proxy* dei metalli inalati (Douglas, 2017).

Come già descritto nel paragrafo dei metodi statistici ad ogni soggetto sono state associate le medie di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> dei 30, 60, 90, 120, 150, 180 giorni esattamente precedenti la data precisa della raccolta urine di ogni singolo soggetto. Sono stati utilizzati i dati relativi al T0, T1 e T2 insieme e sono state considerate le concentrazioni di particolato misurate nelle centraline ARPA di monitoraggio della qualità dell'aria di Torino-Lingotto (per i soggetti non esposti) e Beinasco-Aldo Mei (per i soggetti esposti e posta nel punto di massima ricaduta delle emissioni dell'inceneritore).

In figura 3.1 si riportano le variazioni percentuali di metalli nelle urine tra T0 e T2 e di particolato PM<sub>10</sub> e di PM<sub>2.5</sub> misurate nei 180 giorni antecedenti il prelievo e rilevate nelle centraline ARPA di monitoraggio della qualità dell'aria prese in considerazione. Si osserva una generale diminuzione nei metalli e nei valori del particolato; fanno eccezione il platino (e il rodio in misura minore) tra i non esposti.

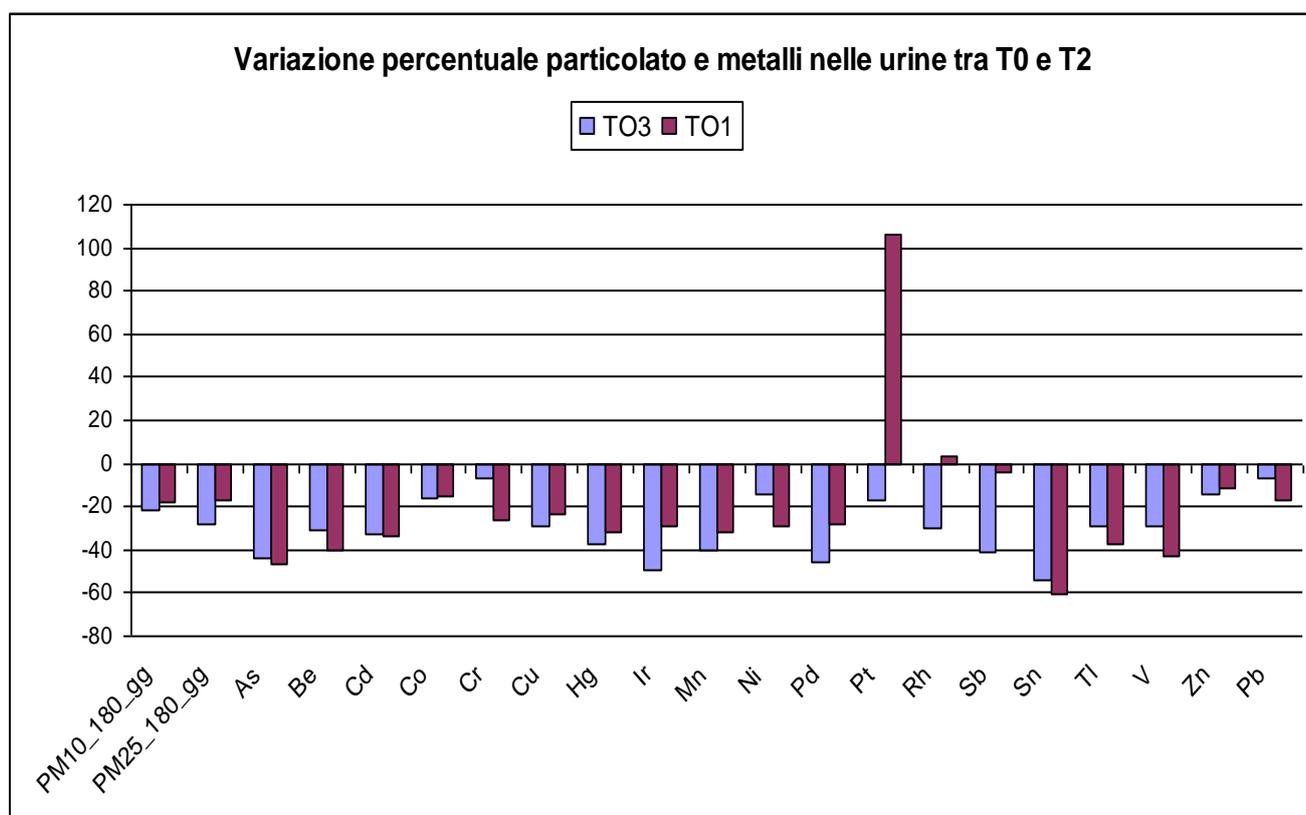


Figura 3.1. Variazione percentuale di particolato presente in aria (misurato nei 180 giorni antecedenti il prelievo) e metalli nelle urine e nel sangue tra T0 e T2.

Non è stato possibile utilizzare per la correlazione i dati dei metalli adsorbiti su particolato sia perché spesso i dati sono al di sotto della soglia di rilevabilità strumentale e sia perché i dati sono forniti come medie mensili e quindi non adatti ad una correlazione puntuale.

Per semplicità di lettura si riportano nei risultati solo le correlazioni a 90 e 180 giorni (tab. 3.14). Siccome i metalli nelle urine hanno mostrato un andamento simile tra esposti e non esposti, le correlazioni sono presentate considerando tutti i risultati insieme, senza suddivisione per zona di esposizione.

Tab 3.14 Correlazione di Spearman tra metalli nelle urine e particolato, estremi statistici esclusi.

<i>Parametro</i>	PM <sub>10</sub> 90 giorni prima	PM <sub>2.5</sub> 90 giorni prima	PM <sub>10</sub> 180giorni prima	PM <sub>2.5</sub> 180 giorni prima
<i>Antimonio µg/L</i>	0,157***	0,030	0,145***	0,125***
<i>Arsenico µg/L</i>	0,072*	-0,005	0,152***	0,124***
<i>Berillio µg/L</i>	0,239***	0,086**	0,341***	0,302***
<i>Cadmio µg/L</i>	0,126***	0,003	0,198***	0,168***
<i>Cobalto µg/L</i>	0,016	0,002	0,045	0,037
<i>Cromo µg/L</i>	0,129***	0,044	0,043	0,033
<i>Iridio ng/L</i>	0,314***	0,173***	0,335***	0,331***
<i>Manganese µg/L</i>	0,194***	0,149***	0,207***	0,220***
<i>Mercurio µg/L</i>	0,163***	0,041	0,143***	0,117***
<i>Nichel µg/L</i>	0,071**	0,052	0,075**	0,086***
<i>Palladio ng/L</i>	0,147***	0,043	0,224***	0,188***
<i>Platino ng/L</i>	-0,151	-0,110	-0,110***	-0,091***
<i>Rame µg/L</i>	0,123***	0,023	0,189***	0,156***
<i>Rodio ng/L</i>	0,046	0,030	0,088***	0,087***
<i>Stagno µg/L</i>	0,189***	0,068*	0,254***	0,241***
<i>Tallio µg/L</i>	0,089**	-0,028	0,193***	0,147***
<i>Vanadio µg/L</i>	0,145***	0,018	0,177***	0,148***
<i>Zinco µg/L</i>	0,043	-0,021	0,080***	0,054*
<i>Piombo µg/L</i>	0,070	0,049	0,082*	0,080*

\*\*\* p-value <0.001, \*\* p-value<0.01, \* p-value<0.05

Considerando la media dei 180 giorni antecedenti il prelievo, quasi tutti i metalli considerati mostrano una correlazione statisticamente significativa tra concentrazione urinaria e particolato ( $p < 0.001$ ), con valori sono bassi e positivi. Se ci limitiamo a considerare i 90 giorni prima, il PM<sub>2.5</sub> mostra correlazioni più deboli.

Nella figura 3.2 sono riportati gli andamenti medi delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> dei 180 giorni precedenti il prelievo nei tre periodi T0, T1 e T2 e gli andamenti delle concentrazioni mediane di iridio, palladio, platino e rodio; tali metalli, infatti, possono essere potenzialmente correlati con le emissioni da traffico veicolare in considerazione della loro presenza negli scarichi delle marmitte catalitiche.

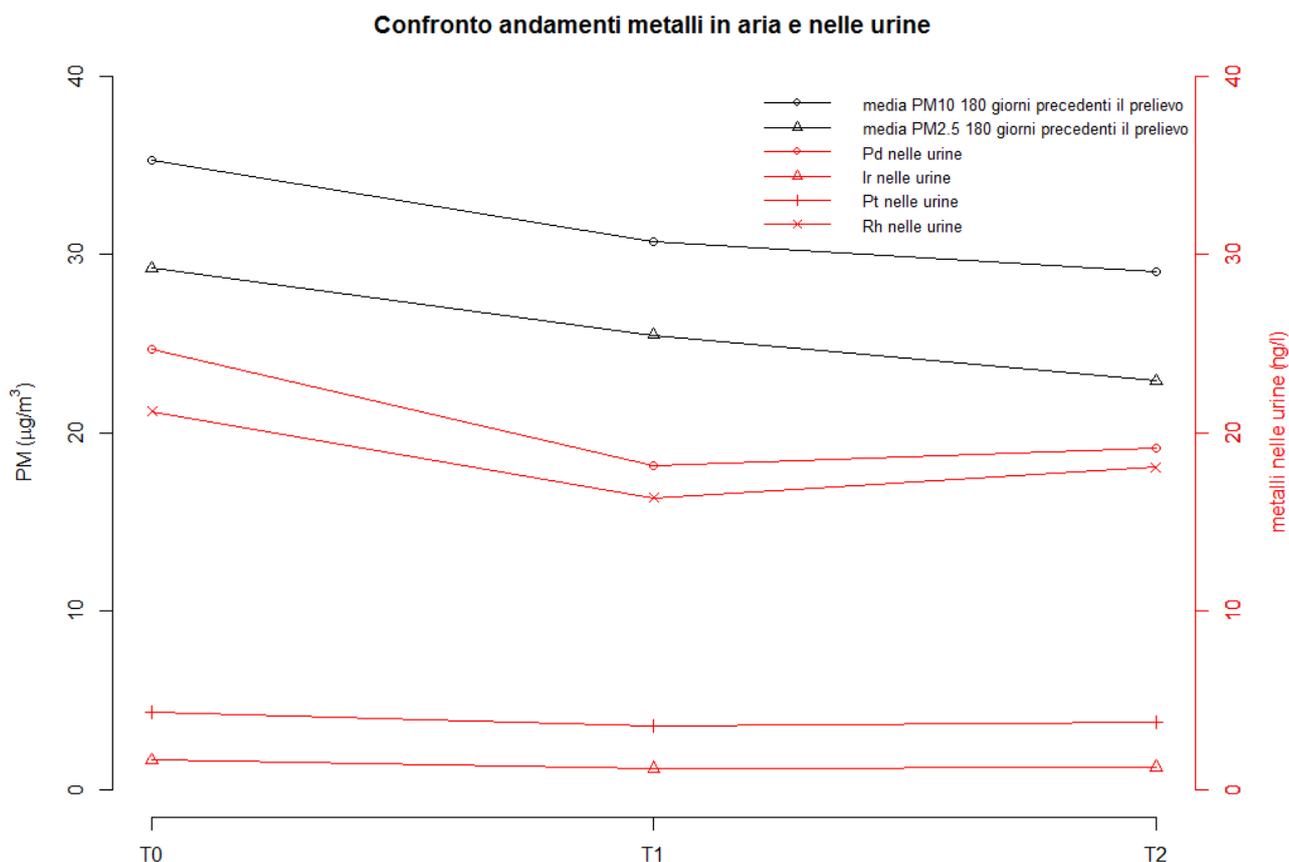


Fig. 3.2 Andamento delle concentrazioni T0-T1-T2 per iridio, palladio, platino e rodio, PM10 e PM2.5 nei 180 giorni precedenti il prelievo delle urine.

Il confronto indica una coerenza tra l'andamento medio delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> e di PM<sub>2.5</sub> e le mediane delle concentrazioni degli stessi metalli nelle urine dei campionati, non stratificati per zona di esposizione.

Le correlazioni, insieme all'andamento dei metalli, suggeriscono che una parte dei metalli inalati contribuisca alla concentrazione del metallo determinata nelle urine dei soggetti. Occorre notare che tutti i prelievi sono stati fatti nel periodo estivo, quando i livelli di particolato risultano mediamente più bassi. Se il campionamento fosse stato fatto in inverno probabilmente la correlazione tra metalli urinari e particolato aerodisperso sarebbe risultata maggiore, ma un potenziale effetto del termovalorizzatore sarebbe stato nascosto da livelli alti di particolato, motivo per cui i prelievi sono stati condotti nel periodo estivo. Pur restando rilevante la quota assunta attraverso altre vie di esposizione (dieta, fumo, uso di bigiotteria, impianti, terapie, occupazione) sul carico corporeo totale di ciascun metallo, i risultati delle correlazioni sembrano suggerire che la via inalatoria possa contribuire in maniera non trascurabile.

## 4. Biomonitoraggio dei metalli negli allevatori

Alla fase T0, avevano partecipato al Programma SPoTT 13 allevatori sui 20 contattati. Tutti hanno aderito anche alla seconda e alla terza fase dei prelievi. Le analisi riguardano però 14 persone dal momento che un ulteriore allevatore, la cui azienda agricola è compresa nel raggio di 5 km intorno all'inceneritore, era stato selezionato casualmente tra i residenti. Tutti i soggetti sono di sesso maschile e l'età media al T2 è 55,5 anni.

### 4.1. Risultati dei metalli dopo 3 anni (T2)

La tabella 4.1 riporta le statistiche descrittive relative ai 18 metalli determinati nelle urine (corretti per il peso specifico) e al piombo sul sangue. Sulla base della distribuzione dei parametri nel gruppo dei 14 allevatori sono stati calcolati: media, deviazione standard, mediana, valore minimo, valore massimo, range minimo-massimo.

Un soggetto ha il valore di platino al di sotto della soglia di rilevabilità dello strumento (LoD), mentre un altro soggetto il presenta un valore di rodio inferiore al LoD. In 3 casi le determinazioni urinarie si presentano come valori outliers rispetto alla distribuzione; solo in un caso le determinazioni urinarie si presentano come valori statistici estremi. Siccome i valori estremi influenzano molto il calcolo della media, le statistiche descrittive sono state ricalcolate escludendo tali valori.

Tab 4.1. Distribuzione urinaria dei metalli corretti<sup>1,2,3</sup> nella fase T2.

<i>Parametro</i>	<i>Media</i>	<i>Std Dev</i>	<i>Mediana</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>Range</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	0,06	0,04	0,04	0,02	0,15	0,13
<i>Arsenico µg/L</i>	13,86	11,50	9,89	2,96	45,23	42,27
<i>Berillio µg/L</i>	0,12	0,04	0,12	0,06	0,19	0,13
<i>Cadmio µg/L</i>	0,58	0,44	0,51	0,06	1,34	1,28
<i>Cobalto µg/L</i>	0,17	0,10	0,14	0,02	0,38	0,35
<i>Cromo µg/L</i>	0,23	0,09	0,23	0,10	0,38	0,28
<i>Iridio ng/L</i>	1,11	0,35	1,02	0,66	1,77	1,11
<i>Manganese µg/L</i>	0,18	0,11	0,17	0,06	0,40	0,34
<i>Mercurio µg/L</i>	0,93	0,36	0,93	0,48	1,44	0,96
<i>Nichel µg/L</i>	0,87	0,25	0,88	0,44	1,29	0,85
<i>Palladio ng/L</i>	21,21	12,78	20,61	3,85	48,25	44,40
<i>Platino ng/L</i>	3,86	2,59	3,10	1,36	10,15	8,79
<i>Rame µg/L</i>	11,93	9,10	10,37	3,12	40,26	37,14
<i>Rodio ng/L</i>	19,88	14,16	19,62	3,35	53,17	49,82
<i>Stagno µg/L</i>	0,67	0,94	0,21	0,07	2,89	2,82
<i>Tallio µg/L</i>	0,18	0,08	0,19	0,04	0,30	0,27

<i>Vanadio µg/L</i>	0,05	0,03	0,04	0,02	0,11	0,09
<i>Zinco µg/L</i>	477,7	231,9	459,5	125,7	898,3	772,5
<i>Piombo µg/L</i>	24,20	13,43	23,84	7,38	61,97	54,59

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

Dalla tabella 4.2 si può vedere il confronto tra i valori dei metalli negli allevatori e i valori dei metalli nei residenti maschi usando la mediana come statistica di riferimento (meno sensibile agli outlier). Gli allevatori mostrano valori confrontabili con i residenti. Le concentrazioni di cromo, manganese, vanadio misurate negli allevatori risultano più alte rispetto ai residenti in modo statisticamente significativo. Per antimonio, arsenico, cadmio, platino, e tallio i valori sono, invece, più bassi negli allevatori ma pur non raggiungendo la significatività statistica.

Tab 4.2 Distribuzione urinaria dei metalli corretti<sup>1,2,3</sup> nella fase T2. Confronto tra allevatori e residenti maschi

<i>Parametro</i>	<i>Mediana allevatori T2</i>	<i>Mediana residenti maschi T2</i>	<i>p-value</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	0,04	0,05	0.2711
<i>Arsenico µg/L</i>	9,89	10,92	0.6087
<i>Berillio µg/L</i>	0,12	0,10	0.0699
<i>Cadmio µg/L</i>	0,51	0,53	0.7273
<i>Cobalto µg/L</i>	0,14	0,14	0.9310
<i>Cromo µg/L</i>	0,23	0,14	<b>0.0074</b>
<i>Iridio ng/L</i>	1,02	1,01	0.4933
<i>Manganese µg/L</i>	0,17	0,08	<b>0.0042</b>
<i>Mercurio µg/L</i>	0,93	0,925	0.1452
<i>Nichel µg/L</i>	0,88	0,74	0.3435
<i>Palladio ng/L</i>	20,61	15,36	0.3156
<i>Platino ng/L</i>	3,10	4,10	0.2542
<i>Rame µg/L</i>	10,37	9,195	0.1825
<i>Rodio ng/L</i>	19,62	17,35	0.6868
<i>Stagno µg/L</i>	0,21	0,285	0.5779
<i>Tallio µg/L</i>	0,19	0,20	0.2284
<i>Vanadio µg/L</i>	0,04	0,03	<b>0.0462</b>
<i>Zinco µg/L</i>	461,3	425,1	0.5711
<i>Piombo µg/L</i>	23,84	19,21	0.4418

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

## 4.2. Confronti dei risultati dei metalli al T2 con il baseline (T0) e con il primo controllo (T1)

Nella tabella 4.3 si riporta la distribuzione media e mediana dei metalli al baseline (T0), al primo (T1) e al secondo (T2) follow-up e il valore p del test per il trend sulle medie. In generale la maggior parte dei metalli indagati presenta, dopo tre anni di attività dell'impianto, concentrazioni più basse di quelle precedentemente osservate (per antimonio e mercurio in modo statisticamente significativo). Alla generale diminuzione fanno eccezione, seppur in modo statisticamente non significativo, manganese, palladio, platino e rodio per cui i valori al T2 sono più alti dei valori al T0 e al T1. Per quanto riguarda arsenico, berillio, cadmio, rame e tallio osserviamo dei valori al T2 inferiori al T0, ma superiori al T1 (per il tallio con significatività statistica. Cromo e vanadio presentano valori più alti rispetto al T0 ma inferiori a quelli rilevati al T1.

A differenza di quanto avviene per i residenti, la significatività statistica viene raggiunta solo per alcuni metalli (mercurio, iridio, antimonio, tallio) a causa della bassa numerosità del campione in studio.

Un solo allevatore presenta un valore di zinco al T2 maggiore del VL.

Tab 4.3. Confronto metalli urinari T0, T1 e T2<sup>1,2,3</sup>; media, mediana, p-value associato al test del trend

Parametro	Media T0	Mediana T0	Media T1	Mediana T1	Media T2	Mediana T2	p-value
Antimonio µg/L	0,09	0,10	0,11	0,10	0,06	0,04	<b>0.018</b>
Arsenico µg/L	38,02	13,00	13,89	8,93	13,86	9,89	0.244
Berillio µg/L	0,19	0,15	0,12	0,10	0,12	0,12	0.217
Cadmio µg/L	0,90	0,83	0,53	0,49	0,58	0,51	0.109
Cobalto µg/L	0,20	0,19	0,17	0,14	0,17	0,14	0.471
Cromo µg/L	0,23	0,19	0,40	0,32	0,23	0,23	0.587
Iridio ng/L	2,33	2,18	1,59	1,01	1,11	1,02	<b>0.019</b>
Manganese µg/L	0,19	0,16	0,20	0,15	0,18	0,17	0.764
Mercurio µg/L	2,28	1,68	1,77	1,75	0,93	0,93	<b>0.009</b>
Nichel µg/L	0,84	0,84	1,41	1,14	0,87	0,88	0.708
Palladio ng/L	20,39	17,61	22,61	11,99	21,21	20,61	0.948
Platino ng/L	5,37	3,06	2,81	2,05	3,86	3,10	0.427
Rame µg/L	15,37	11,58	10,36	8,70	11,93	10,37	0.431
Rodio ng/L	27,75	19,22	16,15	15,31	19,88	19,62	0.323
Stagno µg/L	0,82	0,64	0,67	0,66	0,67	0,21	0.608
Tallio µg/L	0,25	0,24	0,19	0,17	0,18	0,19	<b>0.021</b>
Vanadio µg/L	0,04	0,03	0,06	0,06	0,05	0,04	0.835
Zinco µg/L	720,1	569,9	703,6	500,3	477,7	459,5	0.975
Piombo µg/L	29,06	32,03	---	---	24,20	23,84	--

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

E' stato fatto un confronto incrociato nel tempo tra allevatori (n=14) e residenti maschi (n=188) presenti sia al T0 sia al T1 sia al T2. Nelle tabella 4.4 e 4.5 sono riportate le mediane delle differenze dei valori individuali (T2-T0 e T1-T2 rispettivamente) e il p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney applicato alle differenze per confrontare gli allevatori con i residenti maschi. Una mediana delle differenze negativa indica una diminuzione della concentrazione del metallo nel tempo, al contrario una mediana delle differenze positiva indica un aumento della concentrazione del metallo nel tempo.

La differenza dei metalli nelle urine tra T2 e T0 presenta segni opposti per quanto riguarda platino e vanadio. Il palladio e il rame risultano essere diminuiti nei residenti maschi in misura superiore rispetto agli allevatori in maniera statisticamente significativa. La differenza tra T2 e T1 presenta invece segni opposti per quanto riguarda mercurio, antimonio e tallio; mentre i primi due sono diminuiti negli allevatori ma non nei residenti (in maniera statisticamente significativa), il tallio presenta un andamento opposto.

Tab. 4.4. Confronto delle differenze dei metalli urinari T2-T0 tra allevatori e residenti maschi<sup>1,2,3</sup>; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

<i>Parametro</i>	<i>Mediana diff. T2-T0 allevatori</i>	<i>Mediana diff. T2-T0 residenti maschi</i>	<i>p-value</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	-0,038	-0,015	0.2063
<i>Arsenico µg/L</i>	-1,392	-8,063	0.3511
<i>Berillio µg/L</i>	-0,051	-0,072	0.3070
<i>Cadmio µg/L</i>	-0,303	-0,200	0.8879
<i>Cobalto µg/L</i>	0,032	-0,004	0.9428
<i>Cromo µg/L</i>	0,051	-0,008	0.6018
<i>Iridio ng/L</i>	-0,906	-0,619	0.1398
<i>Manganese µg/L</i>	-0,025	-0,030	0.8957
<i>Mercurio µg/L</i>	-0,837	-0,452	0.2284
<i>Nichel µg/L</i>	-0,034	-0,170	0.3237
<i>Palladio ng/L</i>	-1,313	-7,883	<b>0.0115</b>
<i>Platino ng/L</i>	-0,872	0,996	<b>0.0202</b>
<i>Rame µg/L</i>	-0,744	-3,943	<b>0.4507</b>
<i>Rodio ng/L</i>	-7,263	-0,797	0.2135
<i>Stagno µg/L</i>	-0,267	-0,297	0.9192
<i>Tallio µg/L</i>	-0,032	-0,096	0.5511
<i>Vanadio µg/L</i>	0,005	-0,010	<b>0.0343</b>
<i>Zinco µg/L</i>	-96,14	-83,00	0.8451
<i>Piombo µg/L</i>	-10,35	-1,47	0.1458

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

Tab. 4.5. Confronto delle differenze dei metalli urinari T2-T1 tra allevatori e residenti maschi<sup>1,2,3</sup>; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

<i>Parametro</i>	<i>Mediana diff. T2-T1 allevatori</i>	<i>Mediana diff. T2-T1 residenti maschi</i>	<i>p-value</i>
<i>Antimonio µg/L</i>	-0.047	0.009	<.0001
<i>Arsenico µg/L</i>	0.922	1.050	0.9901
<i>Berillio µg/L</i>	0.019	0.007	0.6018
<i>Cadmio µg/L</i>	0.041	0.057	0.7837
<i>Cobalto µg/L</i>	0.009	-0.001	0.7799
<i>Cromo µg/L</i>	-0.127	-0.041	0.1924
<i>Iridio ng/L</i>	-0.009	-0.192	0.8801
<i>Manganese µg/L</i>	-0.051	-0.006	0.2342
<i>Mercurio µg/L</i>	-0.789	0.019	0.0089
<i>Nichel µg/L</i>	-0.400	-0.148	0.2689
<i>Palladio ng/L</i>	3.453	0.413	0.3588
<i>Platino ng/L</i>	0.583	0.754	0.7088
<i>Rame µg/L</i>	1.822	0.292	0.2754
<i>Rodio ng/L</i>	2.973	3.054	0.8374

<i>Stagno</i> $\mu\text{g/L}$	-0.175	-0.014	0.1129
<i>Tallio</i> $\mu\text{g/L}$	-0.021	0.017	0.1699
<i>Vanadio</i> $\mu\text{g/L}$	-0.015	-0.001	0.1874
<i>Zinco</i> $\mu\text{g/L}$	42.77	66.18	0.4748
<i>Piombo</i> $\mu\text{g/L}$	0.922	1.050	0.9901

<sup>1</sup> Valori estremi inclusi

<sup>2</sup> Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD

<sup>3</sup> Valori corretti per peso specifico

## 5. Discussione

La fase T2 del biomonitoraggio aveva lo scopo di misurare la dose interna derivante dall'esposizione a metalli della popolazione residente nei pressi dell'inceneritore dopo 3 anni dall'inizio (fase T0) delle attività dell'impianto, con confronto anche spaziale con il campione di popolazione residente lontano dall'area di ricaduta. Grazie alle misure effettuate al T1 è stato possibile monitorare anche l'evoluzione temporale del livello di metalli nelle urine nei tre momenti temporali successivi.

Al T2 è stata osservata una riduzione nel livello dei metalli nella popolazione in studio rispetto al T0, con valori invece stabili tra T2 e T1; poche differenze sono emerse al T2 tra campione di popolazione residente nei pressi dell'impianto e il campione di popolazione residente lontano dall'area di massima ricaduta.

Globalmente, ovvero tra T0-T1-T2, la diminuzione dei livelli dei metalli urinari nel tempo è risultata significativa per quasi tutti i metalli in entrambe le aree (area esposta ed area di controllo). Solo il platino e il rodio sembrano presentare una leggera tendenza all'aumento nel tempo nei soggetti che vivono nell'area più lontana dall'inceneritore.

Tali metalli risultano, come noto, essere associati al traffico veicolare piuttosto che all'emissione dall'inceneritore o da industrie in generale. D'altronde l'area metropolitana di Torino è caratterizzata da un volume molto elevato di traffico veicolare, che rappresenta una fonte di emissione localizzata rilevante per tutta la popolazione SpOTT.

Anche nel caso degli allevatori si osserva una diminuzione della concentrazione urinaria dei metalli nel tempo (seppur con bassa significatività, dovuta al numero limitato di soggetti).

Come per le analisi sui metalli al T1, riportate nel Report SPoTT 3, anche nella fase T2, la rilevante diminuzione delle concentrazioni dei metalli nelle urine rispetto al T0, non è risultata spiegabile attraverso le differenze nella procedura di prelievo, errori analitici o variazioni sostanziali negli stili di vita dei partecipanti.

Piuttosto le variazioni temporali individuate nella dose interna dei metalli possono essere dovute a cambiamenti nell'esposizione al metallo sia a livello ambientale sia individuale nei 3 diversi periodi di osservazione (T0, T1 e T2). Oltre all'inceneritore, per le esposizioni ambientali sono da considerare le emissioni industriali, l'inquinamento atmosferico outdoor (es., traffico e impianti di riscaldamento) e/o indoor. A livello individuale sono da considerare le abitudini di vita e la dieta. Esempi di altri fattori individuali che possono portare ad una

variazione del livello dei metalli nelle urine sono l'uso di terapie farmacologiche e integratori alimentari, presenza di amalgami dentali, otturazioni e impianti, presenza di tatuaggi, piercing, uso di prodotti cosmetici, tinture per capelli, ecc.

Da quanto emerso anche al T0 (Bocca et al., 2016), il fumo è risultato significativamente associato con i livelli urinari di cadmio, l'acqua in bottiglia con i livelli di arsenico e cadmio, il consumo di pesce con arsenico e mercurio, gli amalgami con mercurio e stagno, l'uso di bigiotteria con cobalto e rodio, mentre l'uso del piercing è associato al nichel.

Per quanto detto sopra, le variazioni nei valori misurati nelle tre campagne SPoTT possono essere considerate l'effetto dell'esposizione ad un singolo fattore o l'effetto combinato a due o più fattori.

Anche comparando la dose interna dei metalli al T2 e al T1, le variazioni dei metalli sono state riscontrate sia negli esposti sia nei non esposti, in maniera concorde. Nei casi in cui era evidente una discordanza sull'andamento del metallo, la variazione veniva riscontrata solo nel gruppo dei non esposti. Ciò a supporto di quanto detto, ovvero che una parte del contributo dei metalli urinari sia dovuto ad esposizioni ambientali generalizzate sul territorio torinese indipendenti dalle emissioni dell'impianto, o esposizioni individuali.

Le analisi per valutare la correlazione tra i metalli rilevati nei campioni urinari e i valori nel particolato atmosferico, considerando il valore medio nei 180 giorni antecedenti rispetto alla data di prelievo, sembrano suggerire l'esistenza di un contributo da parte del particolato atmosferico inalato; le correlazioni, infatti, seppur basse, risultano statisticamente significative (Tabella 3.14).

Occorre dire che tale valutazione può solo basarsi sui dati registrati dalle centraline di controllo dell'inquinamento atmosferico, quindi il fatto di considerare la centralina Torino-Lingotto per l'assegnazione dell'esposizione agli individui residenti non esposti costituisce sicuramente un'approssimazione maggiore di quanto avvenga per la centralina di Beinasco per i residenti esposti.

Tuttavia, la debole correlazione ottenuta fra le variazioni di PM in aria e le concentrazioni urinarie dei metalli evidenzia ancora una volta che la quota di metallo assunta attraverso altre vie di esposizione (dieta, fumo, uso di bigiotteria, impianti, terapie, occupazione, ecc.) rimane rilevante sulla dose interna di ciascun metallo.

Come già riportato nel report SPoTT 3, relativo ai risultati dei metalli al T1, anche altri programmi di biomonitoraggio di popolazioni residenti nei dintorni di inceneritori non

evidenziano incrementi (anzi in alcuni casi una diminuzione) per la maggior parte dei metalli (Nadal et al. 2005, Fierens et al. 2007, Ranzi et al. 2013, Reis et al. 2007).



## 6. Conclusioni

Questo rapporto conclude il ciclo di misure programmate dei metalli nelle urine dei residenti vicino all'impianto di incenerimento dei rifiuti di Torino. Grazie alle misure effettuate ai tempi T0, T1 e T2 è stato possibile monitorare l'evoluzione temporale del livello di metalli in 3 momenti temporali successivi e contemporaneamente valutarne eventuali differenze tra residenti vicino e lontano dall'impianto.

I valori osservati di metalli sono largamente inferiori ai valori di riferimento individuati dalle principali agenzie internazionali e comparabili, se non inferiori, a precedenti esperienze di biomonitoraggio nazionali ed internazionali.

Per quel che riguarda l'andamento nel tempo, si è osservata nel complesso una netta riduzione nel livello dei metalli nella popolazione in studio a uno e tre anni di distanza rispetto al T0, con valori simili e confrontabili tra T1 e T2, e scarse differenze tra campione residente nei pressi dell'impianto e campione di popolazione residente lontano dall'area di massima ricaduta.

In sintesi i risultati indicano che:

- a) le concentrazioni di metalli nel campione di popolazione vicina all'impianto (coorte di esposti) sono comparabili alle concentrazioni dei metalli nel campione di popolazione residente lontano dall'impianto (coorte di non esposti); tra i due gruppi, i valori dei metalli nei non esposti sono per lo più maggiori degli analoghi valori misurati negli esposti;
- b) l'andamento temporale delle concentrazioni dei metalli segue per lo più l'andamento temporale delle concentrazioni del particolato atmosferico, indicando che, pur restando rilevante la quota assunta attraverso altre fonti di esposizione (es. dieta, fumo ecc), la frazione inalata possa modulare in maniera non trascurabile l'andamento temporale delle concentrazioni urinarie nel campione studiato;
- c) i risultati dei metalli sul gruppo di allevatori sono in linea con quelle ottenute sui residenti, nonostante il numero dei soggetti sia limitato;
- d) le emissioni dei metalli dall'impianto di incenerimento non sembrano influenzare le concentrazioni dei metalli nella popolazione esposta né ad un anno né a tre anni dalla costruzione dell'impianto stesso.

Le variazioni di concentrazione individuali osservate sono in corso di approfondimento sulla base delle informazioni contenute nei questionari che rilevano le caratteristiche e le abitudini dei partecipanti allo studio.

Infine, per quanto riguarda il quesito principale di sanità pubblica sul possibile ruolo dell'impianto, i risultati suggeriscono che le variazioni nelle concentrazioni urinarie ed ematiche di metalli riscontrate nella popolazione residente non sono associati all'attività dell'impianto in quanto, in entrambi i gruppi di popolazione, vi è una tendenza alla diminuzione dei valori dei metalli delle urine del T2 rispetto al T0. Tale diminuzione risulta maggiore negli esposti, o paragonabile tra le due aree per tutti i metalli in studio; ciò depone anche per una mancanza di associazione con l'area di ricaduta delle emissioni.

In base ai risultati presentati in questo rapporto, il Gruppo di Lavoro SPoTT, in accordo con il Comitato Tecnico Scientifico, ritiene che sia utile mantenere in futuro un'attività di biomonitoraggio sui cittadini residenti intorno all'impianto, con l'obiettivo di valutare possibili modifiche di indicatori di esposizione a metalli. L'impianto sorge infatti in un'area con forti pressioni ambientali ed elevati livelli di inquinamento atmosferico per i quali l'Italia ha ricevuto un procedimento di infrazione dalla Comunità Europea. L'impianto, inoltre, va inevitabilmente incontro a obsolescenza e questo potrebbe comportare problemi di sanità pubblica che a tutt'oggi non si registrano. Il disegno di studio più adeguato prevede di programmare almeno un altro controllo riguardante tutta la batteria di metalli oggetto del presente report sugli stessi soggetti già coinvolti. SPoTT ha progettato il più ampio e completo programma italiano di biomonitoraggio sui residenti in prossimità di un impianto di incenerimento di rifiuti solidi urbani: la prosecuzione delle attività di sorveglianza è in grado di fornire risposte utili non solo alle comunità locali ma anche ad altre aree del paese.

## 7. Bibliografia

Alimonti A, Bocca B, Ruggieri F, *Metodo di riferimento per la determinazione degli elementi chimici in matrici biologiche umane: prestazioni analitiche e incertezza del dato*. 2015, iii, 47 p., Rapporti ISTISAN 15/30

ARPA Piemonte, Dipartimento provinciale di Torino. Analisi comparata nell'area di massima ricaduta dei dati di PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e biossido di azoto nei periodi precedente e successivo all'entrata in esercizio del termovalorizzatore di Torino – Confronto medie di lungo periodo. Disponibile alla pagina web <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati/relazioni/qualita-aria-confronto-ante-post-operam-lungo-periodo>

ARPA Piemonte, Dipartimento provinciale di Torino. Rapporto di sintesi sui dati prodotti dalla stazione di monitoraggio della qualità dell'aria ubicata nel Comune di Beinasco – Giardino Pubblico Aldo Mei, di proprietà di TRM S.p.A. Anni 2013, 2014, 2016. Disponibile alla pagina web <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati>

Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, et al. *German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population*. Int J Hyg Environ Health 2003;206:15-24. (tabella 3.8)

Bena A, Chiusolo M, Oreggia M, Cadum E, Farina E, Musmeci L, Procopio E, Salamina G e il gruppo di lavoro SPoTT. *Sorveglianza sulla Salute della popolazione nei pressi del termovalorizzatore di Torino (SPoTT): presentazione del programma di sorveglianza*. Epidemiologia e Prevenzione. 2016,40(5):366-73

Bocca B, D Mattei D, A Pino A, A Alimonti A. *Monitoring of environmental metals in human blood: the need for data validation*. Curr anal chem 2011;7(4):269-276.

Bocca B, Mattei D, Pino A, Alimonti A. *Uncertainty evaluation in the analysis of biological samples by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry. Part B: measurements of As, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Sn and V in human serum*. Rapid comm mass spectr 2011;25(3):453-458;

Bocca B, Mattei D, Pino A, Alimonti A. *Uncertainty evaluation in the analysis of biological samples by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry. Part A: measurements of Be, Cd, Hg, Ir, Pb, Pd, Pt, Rodio, Sb, U, Tl and W in human serum.* Rapid comm mass spectr 2010;24(16):2363-2369;

Bocca B, Bena A, Pino A, D'Aversa J, Oreggia M, Farina E, Salamina G, Procopio E, Chiusolo M, Gandini M, Cadum E, Musumeci L, Alimonti A. *Human biomonitoring of metals in adults living near a waste-to energy incinerator in ante-operam phase: Focus on reference values and health-based assessments.* Environmental Research 148 (2016) 338–350

CDC, Centers for Disease Control and Prevention). *Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals.* Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; 2018. (tabella 3.8)

DFG, Deutsch Forschungsgemeinschaft *MAK- und BAT-Werte-Liste 2016* Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (tabella 3.8)

Douglas P, Freni-Sterrantino A, Leal Sanchez M, Ashworth DC, Ghosh RE<sup>1</sup>, Fecht D, Font A, Blangiardo M, Gulliver J, Toledano MB, Elliott P, de Hoogh K, Fuller GW, Hansell AL. *Estimating Particulate Exposure from Modern Municipal Waste Incinerators in Great Britain* Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 7511-7519

Fierens S, Mairesse H, Heilier JF, Focant JF, Eppe G, De Pauw, Bernard A. *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;70:222-226

German Human Biomonitoring Commission (Kommission “Human-Biomonitoring” des Umweltbundesamtes). *Nickel.* Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 2001;44(12):1243-8. (tabella 3.8)

HBM (Human Biomonitoring) Commission, 2011. *Stoffmonographie für Phthalate – Neue und aktualisierte Referenzwerte für Monoester und oxidierte Metabolite im Urin von Kindern und Erwachsenen.* Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 54

HBM (Human Biomonitoring) Commission, 2011. *Stoffmonographie Thallium – Referenz- und Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte für Thallium im Urin.* Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 54, 516–524.

Hays SM, Nordberg M, Yager JW, Aylward LL. 2008. *Biomonitoring Equivalentents (BE) dossier for cadmium (Cd)* (CAS No. 7440-43-9). Regul. Toxicol. Pharmacol. 51:S49–S56 (tabella 3.9)

Menichini E. Viviano. *Trattamento dei dati inferiori al limite di rilevabilità nel calcolo dei risultati analitici. Metodiche per il rilevamento delle emissioni in atmosfera da impianti industriali*. Istituto Superiore di Sanità (ISS). Rapporti ISTISAN 04/15

Nadal M, Bocio A, Schuhmacher M, Domingo JL. Monitoring metals in the population living in the vicinity of a hazardous waste incinerator: levels in hair of school children. Biol. Trace Elem. Res. 2005;104:203-213

Pino A, Amato A, Alimonti A, Mattei D, Bocca B. Human biomonitoring for metals in Italian urban adolescents: data from Latium Region. Int j of hyg environl health 2012;215(2):185-190

Ranzi A, Fustinoni S, Erspamer L, Campo L, Gatti MG, Bechtold P, Bonassi S, Trenti T, Goldoni CA, Bertazzi PA, Lauriola P. Biomonitoring of the general population living near a modern solid waste incinerator: A pilot study in Modena, Italy. Environment International 2013;61:88–97

Reis MF, Sampaio C, Brantes A, Aniceto P, Melim M, Cardoso L, Gabriel C, Simão F, Pereira Miguela J. Human exposure to heavy metals in the vicinity of Portuguese solid waste incinerators – Part 1: Biomonitoring of Pb, Cd and Hg in blood of the general population. Int. J. Hyg. Environ. Health 2007;210:439–446

Sean M. Hays, Lesa L. Aylward, Michelle Gagné, Andy Nong, Kannan Krishnan. *Biomonitoring Equivalentents for inorganic arsenic*. Regulatory Toxicology and Pharmacology 58 (2010) 1–9. (tabella 3.9)

Schulz C, Angerer J, Ewers U, Kolossa-Gehring M. *The German human biomonitoring commission*. Int. J. Hyg. Environ. Health, 210 (2007), pp. 373–382 (tabella 3.8)

Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring M. Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission. 2011. Int. J. Hyg. Environ. Health. 215:26-35 (tabella 3.8)

Trevisan A et al, Mutti et al, Soleo L. et al, Apostoli P et al, Linee Guida SIMLII per la sorveglianza sanitaria. *Volume n.16: Linee guida per la sorveglianza sanitaria degli esposti ad*

*cadmio e suoi composti, cromo e suoi composti, mercurio inorganico, nichel e suoi composti.*  
2005 – ISBN88-7963-187-X (tabella 3.8)

Supplemento ordinario n. 142/L alla GAZZETTA UFFICIALE Serie generale - n. 180 del  
5/8/2009. *ALLEGATO XXXIX. Valori limite biologici obbligatori e procedure di sorveglianza  
sanitaria. Piombo e i suoi composti.* (tabella 3.8)