Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino

Programma SPoTT
Report n° 3

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

Risultati sui livelli di bioaccumulo di metalli dopo un anno dall'avvio dell'impianto

Dicembre 2015

Rapporto a cura di (in ordine alfabetico)

Alessandro Alimonti[1]
Antonella Bena[2]
Beatrice Bocca[1]
Ennio Cadum[3]
Monica Chiusolo[3]
Elena Farina[2]
Martina Gandini[3]
Manuela Orengia[2]
Anna Pino[1]
Enrico Procopio[4]
Giuseppe Salamina[5]

[1] Istituto Superiore di Sanità - Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria
[2] Struttura Complessa a Direzione Universitaria Servizio Sovrazonale di Epidemiologia - ASL TO3
[3] Dipartimento Tematico di Epidemiologia e Salute Ambientale – ARPA Piemonte
[4] Struttura Complessa Servizio Igiene e Sanità Pubblica - ASL TO3
[5] Dipartimento Integrato della Prevenzione, Struttura Complessa Centro Controllo Malattie, - ASL TO1

e-mail : rdl@epi.piemonte.it
sito internet www.dors.it/spott

Il programma SPoTT è realizzato dal Gruppo di lavoro composto da:

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

Antonella Bena – Coordinatrice del Programma SPoTT
Elena Farina
Manuela Orengia

ASL TO3- Struttura Complessa Servizio Igiene e Sanità Pubblica

Enrico Procopio
Nicola Suma

ASL TO1- Dipartimento Integrato della Prevenzione, Struttura Complessa Centro Controllo Malattie, Struttura Semplice Dipartimentale Epidemiologia ed Educazione Sanitaria

Rosa D'Ambrosio
Giuseppe Salamina

ARPA Piemonte - Dipartimento Tematico di Epidemiologia e Salute Ambientale

Ennio Cadum
Monica Chiusolo
Moreno Demaria
Martina Gandini
Simona Soldati

ARPA Piemonte - Struttura Rischio e Igiene Industriale

Marco Fontana
Franco Ghione

Istituto Superiore di Sanità, Dipartimento Ambiente e connessa Prevenzione Primaria

Alessandro Alimonti
Elena De Felip
Simona Giampaoli
Loredana Musmeci
Beatrice Bocca
Anna Pino

Le analisi sui campioni biologici sono state effettuate da:

ASL TO1 - Laboratorio centrale dell'Ospedale Oftalmico

Simona Cifoli
Renata Murisciano
Maria Salvaggio
Maurizio Vana

Indice

Sintesi del terzo rapporto di studio

Introduzione 7

1. Il Contesto 8

1.1. L'impianto 8

1.2. Il programma SPoTT 8

1.3. Obiettivo del report 3 9

2. Materiali e Metodi 10

2.1. Disegno dello studio 10

2.2. Campionamento 11

2.2.1. Procedure di contatto e arruolamento e adesione allo studio campionario **..... 13**

2.2.2. Validità interna dello studio campionario **..... 13**

2.2.3. Differenze tra le due ASL e tra T0 e il T1 **..... 14**

2.2.4. Adesione allo studio campionario **..... 15**

2.3. Il questionario 17

2.4. Metalli in studio 18

2.5. Metodi di analisi chimica 19

2.6. Metodi statistici 19

3. Biomonitoraggio Metalli nei Residenti 22

3.1. Risultati metalli al T1 22

3.2. Confronto tra T1 e T0 28

4. Biomonitoraggio Metalli negli Allevatori 37

4.1. Risultati metalli al T1 37

4.2. Confronto metalli T1- T0 38

5. Discussione 41

6. Conclusioni 49

7. Bibliografia 50

7.1. Citazioni all'interno del report 50

7.2. Citazioni bibliografiche della tabella 5.4 52

Sintesi del terzo rapporto di studio

Il presente rapporto riporta i risultati del confronto pre-post del programma di biomonitoraggio umano di popolazione previsto dal piano di sorveglianza attuato dalle ASL TO1 e TO3, in collaborazione con ARPA Piemonte e Istituto Superiore di Sanità. Sono riportati gli **esiti del confronto delle concentrazioni urinarie di l8 metalli nel giugno-luglio 2014 (T1) rispetto alle corrispondenti concentrazioni negli stessi soggetti misurate un anno prima (T0). L'impianto ha avviato la sua attività in modo continuativo dal mese di settembre 2013**.

I risultati riguardano un campione casuale di 394 soggetti di età compresa tra 35 e 69 anni residenti da almeno 5 anni nell'area metropolitana di Torino prossima al termovalorizzatore. Sono stati coinvolti nel programma 198 residenti nell'ASL TO3 (nell'area di ricaduta prevalente delle emissioni), 196 nell'ASL TO1 (fuori dall'area di ricaduta) e 13 allevatori (proprietari di aziende nei pressi dell'impianto).

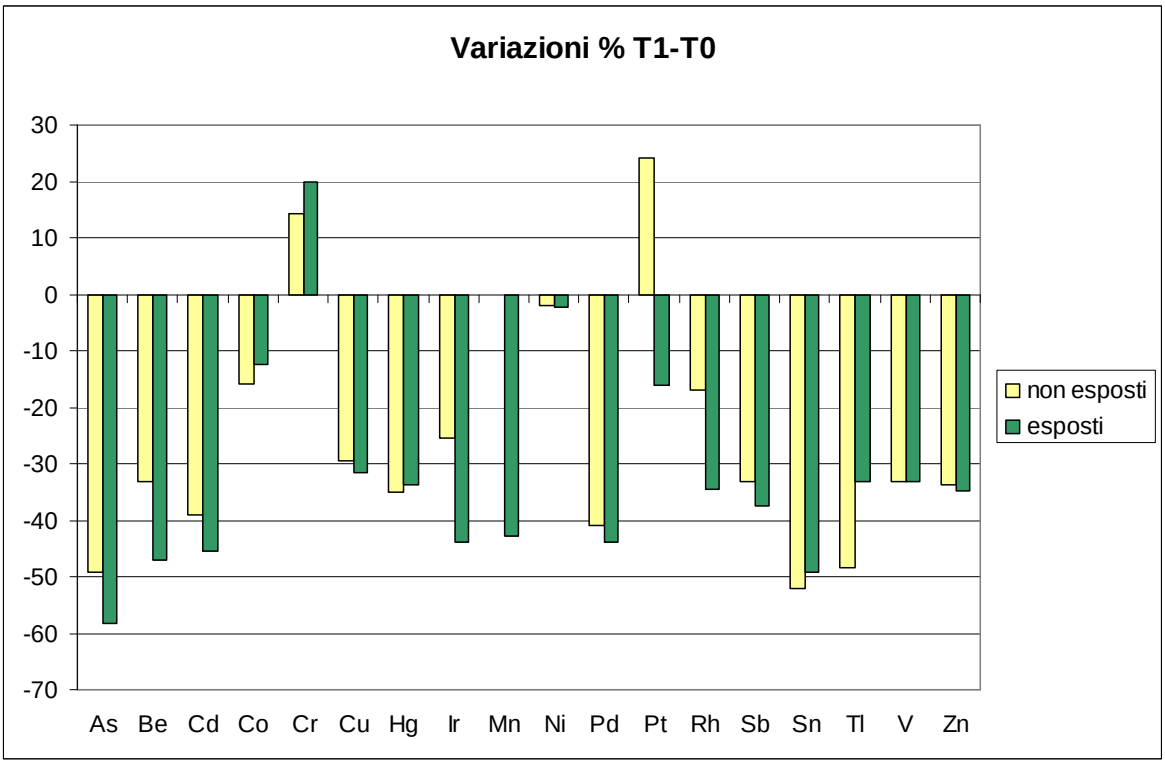
Il prelievo nel 2014 ha seguito una procedura semplificata, con raccolta a domicilio dei campioni di urina e con raccomandazione di limitare il consumo di alcuni alimenti e di non fumare il mattino del prelievo. Ha partecipato il 96% del campione di residenti e la totalità degli allevatori partecipanti nel 2013 (T0).

I valori riscontrati al T1 per alcuni metalli (As, Be, Cr, Hg, Mn, Ni, Sb, Tl, Zn) mostrano valori per lo più sovrapponibili a quelli riportati da altri studi e campagne di monitoraggio condotti nella popolazione generale non esposta a emissioni da inceneritori effettuati in Italia e nel mondo. **Altri metalli (Co, Cu, Sn, V) presentano concentrazioni più basse. I valori di Ir, Pd, Pt e Rh sembrano invece essere leggermente superiori ai valori riportati in Francia, Germania e USA;** tali risultati potrebbero rispecchiare l'utilizzo di questi metalli nelle marmitte catalitiche per automobili. Le differenze osservate tra SPoTT e i dati di letteratura possono essere ascrivibili a differenze tra le popolazioni campionate in termini di dieta e stili di vita e, quindi, a diversa esposizione non unicamente legata a inquinamento ambientale.

Solo per alcuni metalli (Cd, Hg, Tl) sono disponibili valori guida che aiutano a stabilire l'esistenza di un rischio potenziale per la salute e la necessità di effettuare ulteriori attività di monitoraggio della popolazione. Dal confronto con tali valori guida, nessun soggetto al T1 denota un'esposizione al metallo legata alla manifestazione di possibili rischi per la salute. Solo una piccola percentuale di soggetti (12,4%) mostra un valore di Cd urinario per il quale esiste l'indicazione di approfondire le vie e le variabili

che possono avere influenzato tale esposizione. Per il 50% di tali soggetti la causa di tali valori elevati è da ricondurre con ogni probabilità all'abitudine al fumo; per la restante parte si prevedono approfondimenti secondo il protocollo stilato per la gestione degli estremi al T0.

Analizzando gli andamenti nel tempo, i risultati mostrano che la maggior parte dei metalli indagati presentano al T1 concentrazioni significativamente ($p \leq 0,05$) più basse di quelle precedentemente osservate al T0. La consistente diminuzione dei metalli è stata riscontrata sia nei soggetti residenti nell'area di ricaduta prevalente delle emissioni sia nei residenti fuori dall'area di ricaduta. Alla diminuzione generalizzata fanno eccezione il Nichel, il Platino e il Cromo. Nella figura sono riportate le variazioni percentuali delle differenze T1-T0 dei valori dei metalli per zona di residenza.



I risultati depongono complessivamente per la mancanza di assorbimento aggiuntivo di metalli causato dalle emissioni dell'impianto nella popolazione nelle adiacenze**, dopo un anno di funzionamento.**

Lo scenario di esposizione risulta articolato e include, tra i possibili determinanti, una generale (indipendente dall'incenerimento) diminuzione delle emissioni in aria di

PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2 e una maggiore attenzione nelle abitudini alimentari e stili di vita (es. fumo) grazie anche ad una maggiore sensibilizzazione dei partecipanti.

L'analisi di altre possibili spiegazioni alternative ha condotto ad ipotesi poco verosimili.

Il modello di studio adottato permette di desumere l'impatto dei metalli emessi dall'impianto attraverso il confronto tra le differenze T1-T0 dei valori mediani tra i due gruppi (residenti nell'area di ricaduta prevalente delle emissioni dell'inceneritore e residenti fuori dall'area). Un differenziale minore nei primi rispetto ai secondi avrebbe deposto per un contributo delle emissioni del termovalorizzatore. Ciò, tuttavia, non si è verificato.

I risultati ottenuti sono coerenti con quelli rilevati in altri programmi di biomonitoraggio di popolazioni residenti nei dintorni di inceneritori reperibili in letteratura.

Le analisi sul piccolo gruppo di allevatori sono in linea con quelle ottenute sui residenti.

Questi risultati sono da considerarsi solo una prima tappa al fine di verificare la possibile influenza delle emissioni di metalli dell'impianto nella popolazione esposta. Ulteriori valutazioni saranno condotte in occasione del successivo follow-up, programmato a giugno 2016.

Una valutazione più completa sull'influenza delle emissioni dell'impianto nella popolazione esposta sarà possibile non appena saranno disponibili i risultati relativi al confronto T1-T0 delle concentrazioni urinarie degli Idrocarburi Policiclici Aromatici.

Introduzione

Il presente rapporto è il terzo 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 prioritarie, i metalli. Il rapporto illustra i risultati relativi alle misurazioni effettuate dopo un anno dall'avvio dell'inceneritore e le confronta con quelle effettuate 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 i residenti e gli allevatori. Le appendici riportano i risultati di tutte le analisi statistiche svolte per singolo metallo.

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). Sullo stesso sito sono disponibili i risultati del **report I**, riguardante lo stato di salute e i livelli di bioaccumulo di metalli prima dell'avvio dell'impianto, ed il **report II**, relativo a IPA e PCB/Diossine prima dell'avvio dell'impianto.

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 attraverso l'apposito indirizzo e-mail (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 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 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 Legge, 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 3

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. 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).

Sono qui presentati i risultati delle determinazioni dei metalli nelle urine dopo un anno dall'entrata in funzione dell'impianto ed un confronto con i dati precedenti. Nei Report 1[1] e 2[2] sono stati già pubblicati i risultati delle determinazioni effettuate prima dell'entrata in funzione del termovalorizzatore. L'obiettivo specifico del report 3 è di verificare se vi sono state variazioni significative delle concentrazioni di metalli ad un anno di distanza, confrontando in particolare i trend tra le due aree di esposizione.

[1] Biomonitoraggio della popolazione residente e dei lavoratori impiegati nell'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino - Primi risultati sullo stato di salute e sui livelli di bioaccumulo di metalli prima dell'avvio dell'impianto - marzo 2014

[2] Biomonitoraggio della popolazione residente e dei lavoratori impiegati nell'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino - Primi risultati sui livelli di bioaccumulo di inquinanti organici prima dell'avvio dell'impianto – febbraio 2015

2. Materiali e Metodi

2.1. Disegno dello studio

Il disegno di studio è ibrido, con confronto del campione di popolazione sia temporale sia spaziale, in due periodi temporali (prima e dopo l'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 che sarà 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 schematizzabile nella figura 1.

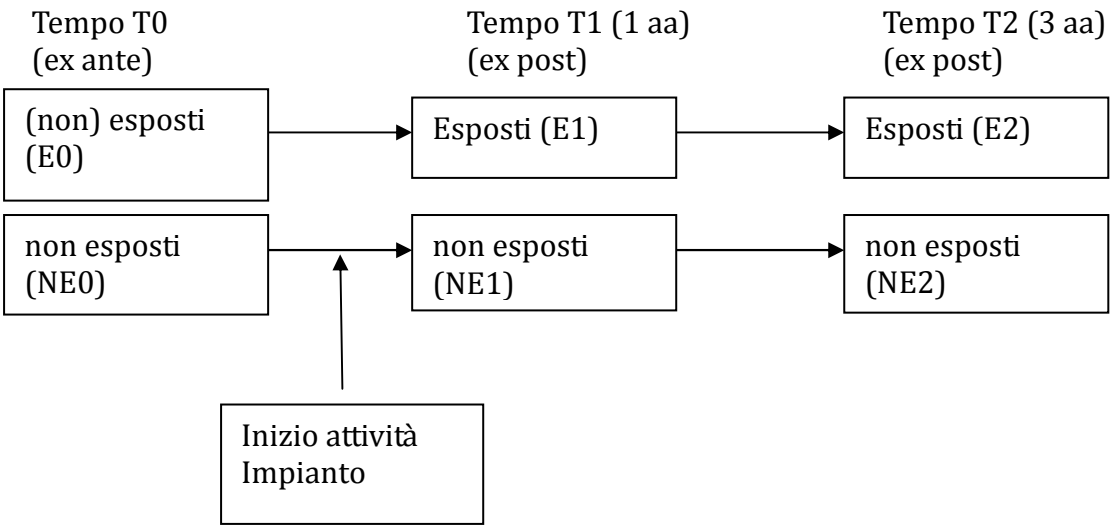


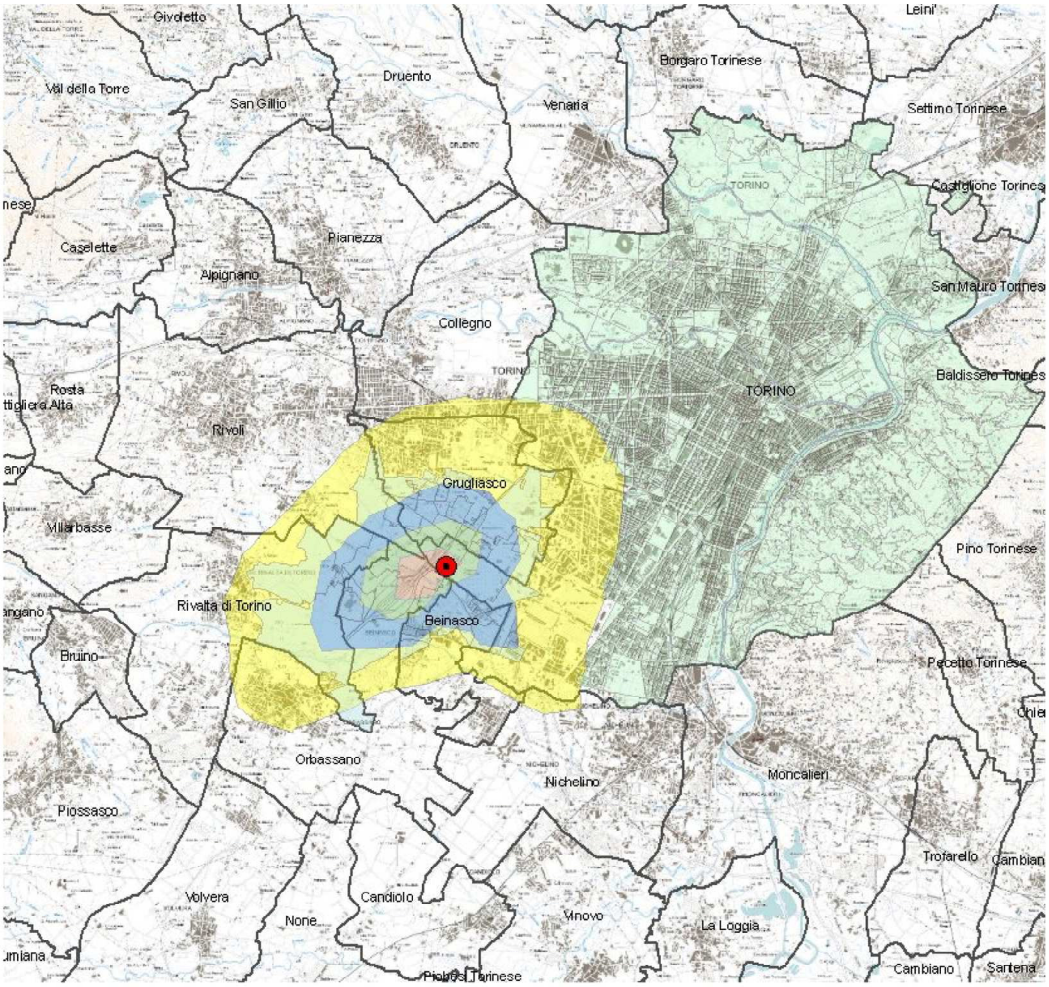
Fig. 1 Disegno dello studio per periodo di calendario ed esposizione.

Al tempo T1, ossia dopo un anno dall'avvio dell'impianto (T0), 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 quali concentrazioni di metalli e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). I dati raccolti sono pertanto comparati con quelli

determinati prima dell'avvio dell'impianto (tempo T0). Sarà effettuata un'ulteriore valutazione a 3 anni dal T0 (tempo T2).

2.2. Campionamento

I soggetti di entrambi i gruppi sono stati campionati in modo casuale tra la popolazione residente rispettivamente nelle 2 aree di esposizione. Si rimanda al protocollo dello studio campionario per la descrizione dettagliata del metodo utilizzato.



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

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

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

Il campionamento si è basato sulle anagrafi dei residenti dei Comuni di Torino, Beinasco, Rivalta, Orbassano e Grugliasco, compresi nell'area di ricaduta delle deposizioni secche dei metalli, utilizzata quale parametro guida per le definizione dell'esposizione.

I valori di esposizione sono stati definiti sulla base delle mappe previsionali di ricaduta predisposte ante operam dal Politecnico di Torino e validate da Arpa Piemonte. Sono state modellizzate le concentrazioni di diossine, furani e metalli pesanti che si prevedeva sarebbero state emesse dall'impianto; tali mappe previsionali sono state utilizzate per lo studio di caratterizzazione ambientale dell'area interessata (figura 2).

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^2/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^2/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^2/anno (area di colore giallo) i cui residenti non sono ricompresi nel campione in studio.

Il gruppo di esposti è stato estratto a caso tra i residenti dei comuni di Beinasco, Rivalta, Orbassano e Grugliasco (ASL TO3). Il gruppo di controllo è stato estratto tra i residenti della circoscrizione 9 (Nizza Millefonti – Lingotto – Filadelfia) del Comune di Torino (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 bio-accumulano 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.

2.2.1. Procedure di contatto e arruolamento e adesione allo studio campionario

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.*

2.2.2. Validità interna dello studio campionario

Le procedure utilizzate sono descritte nel protocollo di studio – Fase T1, disponibile sul sito SpoTT (www.dors.it/spott).

Per evitare uno slittamento dei tempi di esecuzione della fase T1 a causa di ritardi burocratico-amministrativi intercorsi a ridosso della seconda campagna di prelievi, era stata concordata, tra le varie ipotesi alternative prese in considerazione dal Gruppo di Lavoro, e validata dal Comitato Tecnico Scientifico, l'applicazione di un protocollo semplificato, in grado, comunque, di garantire confrontabilità dei risultati alla fase T0. E' stata fatta una valutazione di fattibilità sull'applicazione di tale modello più snello e anche più economico, prevedendo la raccolta delle urine per l'analisi dei metalli, IPA, cotinina ed esame delle urine completo a domicilio del paziente.

Al fine di facilitare l'adesione e non recare disagi ai partecipanti, il materiale necessario per la partecipazione alla fase T1 è stato pertanto inviato tramite posta a domicilio, accompagnato da lettera di invito, in cui sono stati richiamati gli obiettivi dello studio SPoTT.

Nello specifico il materiale 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 degli IPA e della cotinina)
- 1 questionario da auto compilare la sera prima del giorno di raccolta delle urine
- 1 foglio con le istruzioni necessarie per un'idonea raccolta delle urine e la corretta compilazione del questionario; sul foglio di istruzioni 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.

Il giorno di raccolta (e pertanto consegna) urine è stato anticipatamente concordato via telefonica con gli operatori sanitari e, sempre al fine di agevolare l'adesione dei partecipanti, è stato consentito di delegare ad altre persone la consegna dei campioni biologici o di chiedere il ritiro a domicilio.

Contestualmente alla consegna, è stata effettuata la misurazione del peso corporeo. Alle persone impossibilitate a recarsi personalmente ai punti di raccolta preposti, è stato richiesto di annotare il proprio peso sul questionario auto compilato.

Insieme alla lettera di invito al T1 è stato inviato il referto dell'ISS contenente i risultati relativi ai valori dei metalli nelle urine raccolte al T0. I soggetti che presentavano uno o più concentrazioni superiore al VL (per la definizione si rimanda al Protocollo di presa in carico dei soggetti con valori estremi di metalli), sono stati invitati a presentarsi personalmente il giorno della consegna delle urine per approfondire, mediante ulteriore e mirata intervista, possibili fattori di esposizione (si rimanda al paragrafo 2.3).

2.2.3. Differenze tra le due ASL e tra T0 e il T1

Tutte le attività di arruolamento sono state gestite allo stesso modo dalle equipe di operatori delle ASL TO1 e ASL TO3, in modo da garantire procedure omogenee tali da non creare differenze nell'adesione tra i cittadini dei due gruppi.

Per l'invio postale del materiale per la raccolta, le due equipe della ASL TO3 e TO1 hanno lavorato insieme ed eseguito un unico invio postale. Gli stessi operatori, che erano stati coinvolti nel T0, hanno partecipato alle attività del T1, per entrambe le ASL. Analogamente, sono state seguite le stesse procedure, come da protocollo, e non si sono osservate variazioni, né nel periodo di arruolamento (giugno e luglio, con una coda a settembre, ma senza grandi differenze di flussi tra le due ASL nei mesi considerati) né nei tempi medi impiegati per le interviste di approfondimento per i soggetti con valori dei metalli oltre l'estremo statistico a T0. Queste similitudini portano a ritenere che non vi siano state procedure difformi che abbiano portato a differenziare né l'adesione tra le 2

ASL, né le modalità di raccolta dei campioni urinari, delle interviste, dei parametri fisiologici e dei parametri clinici, sempre tra le due ASL.

Confrontando però le due fasi temporali (T0 e T1) vanno segnalate le seguenti differenze:

ricerca metalli: al T0 è stato usato un contenitore generico per la raccolta delle urine da 100 ml, decontaminato dal personale del laboratorio dell'Ospedale "Oftalmico" mentre al T1 sono stati usati contenitori Falcon metal free da 50 ml che non necessitavano di decontaminazione precedente; in entrambe le ASL, al T0 i contenitori venivano consegnati ai partecipanti quando si presentavano nei rispettivi ambulatori per l'esecuzione delle procedure previste per l'arruolamento del T0, pertanto le urine raccolte in tali contenitori non sempre corrispondevano alle prime urine del mattino;

ricerca IPA: al T0 si sono usati gli stessi contenitori da 100ml usati per i metalli, mentre al T1 sono stati usati contenitori Kartell da 250 ml; al T0 la modalità di raccolta per le urine degli IPA era la seguente: i contenitori venivano consegnati ai partecipanti alla fine della visita, insieme con il contenitore per la raccolta delle urine delle 24 ore, raccomandando di raccogliere nel contenitore da 100 ml la prima urina del mattino e, solo con la minzione successiva, cominciare la raccolta delle urine delle 24 ore, che terminava con la raccolta delle prime urine del giorno successivo; sempre al T0, il contenitore veniva ritirato in un secondo momento assieme a quelle urine delle 24 ore.

Infine si segnala che nessuna istruzione preliminare era stata data al T0, per quanto riguarda l'accensione della prima sigaretta della mattina e il consumo di pesce e frutti di mare nei giorni precedenti l'appuntamento al T0 e conseguente raccolta delle urine. Tali istruzioni erano invece state fornite al T1, per valutare se alcuni eccessi rilevati al T0 fossero dovuti ad abitudini alimentari particolari a ridosso del campionamento.

2.2.4. Adesione allo studio campionario

Nella prima settimana di giugno 2014 sono state inviate le lettere ai 198 soggetti campionati tra i residenti della ASL TO3 (comuni di Beinasco, Grugliasco, Orbassano e Rivalta) e ai 196 soggetti campionati tra i residenti della ASL TO1; parallelamente sono

stati reclutati i 13 allevatori che hanno partecipato alla fase T0 e situati nei comuni di Beinasco, Grugliasco, Orbassano, Rivalta e Rivoli del territorio dell'ASL TO3.

Nella prima settimana di giugno 2014 tutti i soggetti sono stati contattati telefonicamente per avere conferma dell'adesione.

Il periodo di raccolta si è concentrato tra la terza e quarta settimana di giugno e comunque entro il 27 giugno; tuttavia, in caso di indisponibilità da parte dell'arruolato SPoTT, è stata offerta la possibilità di presentarsi anche nelle prime due settimane di luglio e perfino oltre in casi eccezionali. Tutto ciò al fine di favorire il più possibile l'adesione del campione, a meno di un esplicito rifiuto.

Dal 23 giugno al 25 settembre 2014, presso il poliambulatorio specialistico di Grugliasco (Torino), sono state raccolte le urine di 193 soggetti residenti nella ASL TO3 sui 196 reclutati a T0; 1 soggetto è stato infine reclutato il 13 ottobre, prima comunque della data ufficiale dell'accensione dei riscaldamenti.

Dal 23 giugno al 26 giugno 2014 presso il poliambulatorio specialistico di Grugliasco (Torino) sono state raccolte le urine dei 13 allevatori già reclutati al T0.

Dal 17 giugno al 11 settembre 2014, presso il poliambulatorio specialistico di via Farinelli a Torino, sono state raccolte le urine di 186 residenti della ASLTO1 sui 196 reclutati a T0 (sintesi in tabella 2.1.).

Tab. 2.1 Sintesi arruolamento

	ASLTO3 (esposti)			**ASLTO1 (non esposti)**		
popolazione residente						
data primo invio postale	3-6 giugno 2014			3-6 giugno 2014		
periodo di biomonitoraggio	23 giugno – 25 settembre 2014			17 giugno – 11 settembre 2014		
	soggetti	totale	%	soggetti	totale	%
soggetti arruolati sul totale dei contattati per invio postale e con contatto telefonico	194	198	97.9%	186	196	94.8%
non più interessato o contrario		4	2.0%		9	4.6%
irreperibile		0			1	0.5%
allevatori presenti nell'area		13	100%		--	

2.3. Il questionario

Il protocollo dello studio (cui si rimanda per una trattazione completa) prevedeva la raccolta di informazioni su abitudini e caratteristiche del soggetto (anamnesi, dieta, storia occupazionale, esposizioni ambientali, abitudini al fumo e all'alcool, ecc.). Nel Report n. 1 sono pubblicati i dati inerenti le abitudini, caratteristiche e stato di salute della popolazione campionata così come rilevato nella fase T0 dello studio.
Al tempo T1 è stato somministrato a ciascun soggetto un secondo questionario al fine di evidenziare eventuali cambiamenti nello stile di vita e caratteristiche individuali rispetto alla fase T0, che possono influenzare l'interpretazione dei risultati delle analisi sui campioni biologici raccolti al T1. I questionari auto-compilati dai soggetti sono stati riconsegnati al momento della consegna dei campioni di urina presso gli ambulatori di pertinenza e controllati al momento per verificare la corretta compilazione.

I soggetti che al T0 presentavano valori dei metalli superiori al Valore Limite (VL) (per la definizione si rimanda al Protocollo di presa in carico dei soggetti con valori estremi di metalli), benché già inseriti nelle stesse procedure programmate per gli arruolati al tempo T1, sono stati destinati ai seguenti approfondimenti:

- raccolta di nuove informazioni tramite intervista mediante un questionario di approfondimento realizzato *ad hoc* al fine di evidenziare potenziali fattori di esposizione non adeguatamente indagati in fase T0;
- solo per i soggetti con valore dell'arsenico superiore a VL, raccolta di 2 campioni di urine, invece di un solo campione, uno dei quali da destinare ad eventuali approfondimenti di tipo analitico (es. conferma del dato, speciazione delle forme chimiche di As);
- solo per i soggetti che avevano mostrato al T0 un valore del Pb ematico superiore al VL, raccolta di un campione di sangue, per la conferma del dato.

Sono stati raccolti 23 questionari di approfondimento sui 22 residenti *esposti* con almeno un metallo superiore a VL e 1 di un soggetto con valori sovrapponibili ma ritenuto meritevole di ulteriori approfondimenti sanitari come previsto da protocollo di gestione degli estremi. Anche per l'allevatore che presentava valori superiori a VL è stato raccolto il questionario di approfondimento. Dei 28 residenti *non esposti* che al T0 presentavano uno o più metalli con valore superiore a VL, sono state effettuate 14 (50%) interviste di

approfondimento, perché nella maggior parte dei casi, nonostante l'invito a recarsi di persona, la consegna urine è stata delegata.

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, e ha complessivamente riguardato le seguenti categorie: metalli, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorodibenzodiossine (diossine), policlorodibenzofurani (furani) e policlorobifenili (PCB).

In questo specifico rapporto, la scelta dei metalli da determinare è stata 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 in fase T1 ha previsto la valutazione dei seguenti indicatori di esposizione:

1. 18 metalli nelle urine: 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); non è stato ricercato il Pb nel sangue in fase T1, a differenza del T0, per ragioni organizzative.
2. metaboliti degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nelle urine: 1-idrossinaftalene (1-OH-NAP); 2-idrossinaftalene (2-OH-NAP); 2-idrossifluorene (2-OH-FLU); 3-idrossifluorene (3-OH-FLU); 9-idrossifluorene (9-OH-FLU); 1-idrossifenantrene (1-OH-PHE); 2-idrossifenantrene (2-OH-PHE); 3-idrossifenantrene (3-OH-PHE); 4-idrossifenantrene (4-OH-PHE); 9-idrossifenantrene (9-OH-PHE); 1-idrossipirene (1-OH-PYR)

Per la determinazione del peso specifico delle urine, un'aliquota delle urine della mattina è stata travasata in una provetta da 10 ml per l'esame chimico fisico, a cura del Laboratorio di Analisi dell'Ospedale Oftalmico.

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).

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 il confronto temporale (T0-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;

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. Le distribuzioni di Cd e Cr sono state inoltre stratificate per abitudine al fumo e le distribuzioni di Ir, Pd, Pt e Rh sono state stratificate per esposizione a traffico autoveicolare.

L'abitudine al fumo e l'esposizione al traffico autoveicolare sono state definite sulla base dei dati raccolti tramite questionario. I soggetti sono stati considerati 'fumatori' se hanno dichiarato di fumare attualmente o di aver smesso da meno di due anni; 'non fumatori' se non hanno mai fumato o hanno fumato in passato ma smesso da più di due anni. Le analisi stratificate per abitudine al fumo hanno tenuto conto solo dei soggetti che hanno mantenuto lo stato tra T0 e T1. L'indicatore di esposizione a traffico autoveicolare, calcolato sulla base del questionario al T0, tiene conto della prossimità dell'abitazione del soggetto a strade a intenso traffico veicolare e del tempo trascorso nel traffico giornalmente.

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. Inoltre la distribuzione del Cd è stata stratificata per abitudine al fumo, secondo le precedente definizione.

I confronti nel tempo e i confronti incrociati sono stati fatti solo sui soggetti presenti sia al T0 sia al T1 e, a causa della diversa distribuzione dei valori estremi, sono sempre stati calcolati senza esclusione dei valori estremi.

3. Biomonitoraggio Metalli nei Residenti

3.1. Risultati metalli al T1

Un totale di 380 residenti (194 soggetti residenti nell'area di esposizione e 186 nell'area non esposta) con un'età media di 52,3 anni, ha partecipato alla fase di arruolamento T1; di questi, 191 sono femmine e 189 maschi. La misura dei metalli nelle urine al T1 ha lo scopo di evidenziare esposizioni ai metalli nella popolazione residente nei pressi dell'inceneritore a distanza di un anno dall'inizio (fase T0) delle attività dell'impianto. Altre fonti di inquinamento ambientale (es. traffico o industrie presenti nelle aree di interesse), stili di vita (es. alcol, fumo) e caratteristiche del soggetto (sesso, età, peso, ecc.), uso di terapie farmacologiche e integratori alimentari, presenza di amalgami dentali, otturazioni e impianti, consumo di determinati alimenti (es. pesce, cereali), presenza di tatuaggi, piercing o uso di prodotti cosmetici sono stati presi in considerazione quali fattori capaci di alterare la concentrazione dei metalli analizzati.

La Tabella 3.1 riporta il numero di soggetti con valori dei metalli inferiori al LoD, sia al T0 sia al T1. Al T1 un numero maggiore di soggetti (N = 116) presentava valori inferiori al LoD per vari analiti rispetto a quanto riscontrato al T0 (N = 64). La maggior parte dei dati sotto al LoD al T1 riguardavano i metalli contenuti a livello di ultra-traccia nelle urine , ovvero, Ir, Pd e Rh (per il trattamento dei dati inferiori al LoD vedere par. 2.6.)

Tab 3.1. Numero di soggetti con valori <LoD al T0 e al T1

Parametro	*N soggetti con valori <LoD*	
	T0	**T1**
Arsenico	0	3
Berillio	7	8
Cadmio	0	0
Cobalto	0	0
Cromo	0	0
Rame	1	0
Mercurio	3	0
Iridio	3	35
Manganese	0	0
Nichel	0	0
Palladio	10	19
Platino	21	5
Rodio	7	24
Antimonio	9	6
Stagno	1	0
Tallio	1	7
Vanadio	1	9
Zinco	0	0

La Tabella 3.2 riporta le statistiche descrittive sul totale dei residenti relative ai 18 metalli determinati nelle urine, in termini di: media, deviazione standard (DS), percentili (5°, 25°, 50°, 75° e 95°), valore minimo e massimo, e range minimo-massimo. 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 3.2. Distribuzione urinaria dei metalli[1,2,3]: fase T1.

Parametro	*N*	*Media*	*DS*	*5° perc*	*25° perc*	*50° perc*	*75° perc*	*95° perc*	*Min*	*Max*	*Range*
Arsenico µg/L	359	12,7	11,9	2,10	4,70	8,3	17,4	40,6	0,50	59,4	58,9
Berillio µg/L	378	0,11	0,05	0,04	0,07	0,10	0,14	0,22	0,02	0,34	0,32
Cadmio µg/L	376	0,48	0,33	0,10	0,24	0,40	0,63	1,13	0,04	1,68	1,64
Cobalto µg/L	361	0,19	0,16	0,04	0,09	0,14	0,24	0,53	0,02	0,83	0,81
Cromo µg/L	376	0,28	0,24	0,04	0,10	0,20	0,38	0,86	0,02	1,13	1,11
Rame µg/L	373	8,24	4,61	2,69	4,90	7,39	10,4	16,6	1,09	28,1	26,9
Mercurio µg/L	372	1,12	0,70	0,49	0,62	0,89	1,44	2,66	0,19	4,02	3,83
Iridio ng/L	374	1,19	0,71	0,25	0,69	1,06	1,53	2,47	0,25	4,13	3,88
Manganese µg/L	366	0,12	0,08	0,03	0,06	0,10	0,15	0,28	0,02	0,45	0,43
Nichel µg/L	369	1,04	0,73	0,22	0,52	0,86	1,36	2,48	0,12	4,01	3,89
Palladio ng/L	369	16,6	10,4	3,85	9,30	13,9	20,3	40,4	0,72	56,5	55,8
Platino ng/L	366	3,48	1,85	1,41	2,19	3,03	4,25	6,90	0,66	10,6	9,91
Rodio ng/L	372	15,2	9,03	3,35	9,06	12,6	18,5	36,9	3,35	46,9	43,6
Antimonio µg/L	370	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,07	0,13	0,01	0,19	0,18
Stagno µg/L	369	0,39	0,32	0,07	0,16	0,30	0,50	1,10	0,04	1,64	1,60
Tallio µg/L	375	0,18	0,11	0,04	0,09	0,16	0,24	0,40	0,01	0,68	0,67
Vanadio µg/L	364	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,008	0,09	0,09
Zinco µg/L	380	322	226	81	153	265	446	771	25	1309	1284

[1] Valori estremi statistici esclusi;
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico

In Tabella 3.3 le statistiche sui residenti sono state stratificate per zona di esposizione. Rispetto ai non esposti, le concentrazioni di Rh e Sn sono significativamente più basse tra gli esposti; mentre il Cr è risultato significativamente più alto.

Tab 3.3. Distribuzione urinaria dei metalli al T1 per zona di residenza [1,2,3]

	esposti						*non esposti*						*esposti vs. non esposti*
Parametro	*N*	*Media*	*DS*	*50° perc*	*95° perc*	*Range*	*N*	*Media*	*DS*	*50° perc*	*95° perc*	*Range*	*Valore p**
Arsenico µg/L	188	11,8	11,1	7,3	34,5	57,9	171	13,7	12,7	9,6	45,4	56,6	*0,12*
Berillio µg/L	194	0,10	0,05	0,09	0,20	0,29	184	0,11	0,06	0,10	0,23	0,32	*0,13*
Cadmio µg/L	193	0,45	0,32	0,36	1,12	1,61	183	0,50	0,34	0,45	1,13	1,62	*0,051*
Cobalto µg/L	183	0,17	0,14	0,13	0,40	0,80	178	0,21	0,17	0,15	0,61	0,81	*0,12*
Cromo µg/L	192	0,31	0,25	0,24	0,88	1,11	184	0,24	0,23	0,16	0,81	1,09	***<0,001***
Rame µg/L	193	8,12	4,67	7,35	16,9	24,9	180	8,37	4,56	7,4	16,4	26,9	*0,43*
Mercurio µg/L	191	1,15	0,73	0,86	2,81	3,62	181	1,10	0,66	0,90	2,44	3,20	*0,54*
Iridio ng/L	192	1,19	0,65	1,11	2,48	3,39	182	1,18	0,77	1,04	2,45	3,88	*0,46*
Manganese µg/L	189	0,10	0,07	0,08	0,26	0,33	177	0,13	0,08	0,10	0,30	0,43	*0,46*
Nichel µg/L	190	0,98	0,71	0,80	2,48	3,55	179	1,10	0,75	0,90	2,48	3,87	*0,08*
Palladio ng/L	184	16,3	9,8	13,5	39,4	47,9	185	16,9	10,9	14,11	40,9	55,8	*0,72*
Platino ng/L	184	3,60	1,80	3,22	6,68	9,90	182	3,36	1,89	2,90	7,76	9,65	*0,10*
Rodio ng/L	192	13,8	7,4	11,9	27,5	39,7	180	16,6	10,3	13,9	39,9	43,6	***0,02***
Antimonio µg/L	187	0,06	0,03	0,05	0,13	0,18	183	0,05	0,04	0,04	0,14	0,18	*0,15*
Stagno µg/L	190	0,36	0,30	0,28	1,01	1,55	179	0,43	0,34	0,33	1,15	1,60	***0,046***
Tallio µg/L	190	0,17	0,11	0,16	0,39	0,67	185	0,18	0,11	0,16	0,41	0,53	*0,53*
Vanadio µg/L	188	0,03	0,02	0,02	0,06	0,08	176	0,03	0,02	0,02	0,07	0,09	*0,52*
Zinco µg/L	194	303	198	246	729	1043	186	342	251	271	806	1283	*0,36*

[1] Valori estremi esclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
*Test di Kruskal-Wallis

In Tab 3.4. la distribuzione dei metalli è stata stratificata per sesso. La stratificazione mette in luce come molti metalli (As, Cu, Hg, Ir, Rh, Tl, V e Zn) risultano significativamente più alti negli uomini rispetto al livello riscontrato nelle donne. Tali variazioni, in parte note in letteratura, possono essere dovute a differenze metaboliche tra uomo e donna o a differenti esposizioni ambientali (es. tempo speso outdoor) e/o occupazionali.

Tab 3.4. Distribuzione urinaria dei metalli al T1 per sesso [1,2,3]

Parametro		*N*	*Media*	*DS*	*50° perc*	*95° perc*	*Range*	*Valore p**
Arsenico µg/L	*maschi*	183	177	14,6	10,9	44,7	13,1	***<0,001***
	femmine	190	182	10,9	6,8	36,3	10,7	
Berillio µg/L	*maschi*	187	0,10	0,05	0,09	0,20	0,32	*0,16*
	femmine	191	0,11	0,06	0,10	0,23	0,31	
Cadmio µg/L	*maschi*	187	0,46	0,28	0,42	1,02	1,47	*0,80*
	femmine	189	0,49	0,37	0,38	1,27	1,61	
Cobalto µg/L	*maschi*	187	0,17	0,13	0,13	0,43	0,81	*0,17*
	femmine	174	0,21	0,18	0,15	0,61	0,80	
Cromo µg/L	*maschi*	187	0,28	0,24	0,19	0,81	1,05	*0,88*
	femmine	189	0,28	0,25	0,20	0,88	1,11	
Rame µg/L	*maschi*	187	8,9	4,4	8,2	17,5	24,6	***<0,001***
	femmine	186	7,5	4,7	6,4	16,0	26,9	
Mercurio µg/L	*maschi*	185	1,20	0,70	0,99	2,71	3,43	***0,006***
	femmine	187	1,05	0,69	0,81	2,54	3,83	
Iridio ng/L	*maschi*	187	1,28	0,71	1,22	2,48	3,85	***0,003***
	femmine	187	1,10	0,69	0,95	2,45	3,88	
Manganese µg/L	*maschi*	185	0,11	0,07	0,09	0,27	0,43	*0,10*
	femmine	181	0,12	0,08	0,10	0,30	0,43	
Nichel µg/L	*maschi*	185	1,04	0,73	0,89	2,49	3,89	*0,84*
	femmine	184	1,04	0,73	0,84	2,33	3,85	
Palladio ng/L	*maschi*	184	17,1	10,7	14,2	40,86	52,7	*0,39*
	femmine	185	16,2	10,0	13,7	39,99	52,1	
Platino ng/L	*maschi*	184	3,61	1,85	3,20	6,84	9,64	*0,11*
	femmine	182	3,35	1,84	2,94	6,90	9,91	
Rodio ng/L	*maschi*	183	16,6	9,53	14,1	38,5	43,6	***0,001***
	femmine	189	13,8	8,32	11,4	30,9	41,6	
Antimonio µg/L	*maschi*	182	0,06	0,04	0,05	0,14	0,18	*0,11*
	femmine	188	0,05	0,03	0,04	0,11	0,18	
Stagno µg/L	*maschi*	181	0,41	0,31	0,31	1,05	1,41	*0,19*
	femmine	188	0,38	0,34	0,28	1,11	1,60	
Tallio µg/L	*maschi*	185	0,19	0,11	0,17	0,39	0,67	***0,002***
	femmine	190	0,16	0,11	0,14	0,40	0,47	
Vanadio µg/L	*maschi*	177	0,03	0,02	0,03	0,07	0,09	***<0,001***
	femmine	187	0,02	0,01	0,02	0,05	0,08	
Zinco µg/L	*maschi*	189	395	226	361	819	1284	***<0,001***
	femmine	191	250	203	181	672	1245	

[1] Valori estremi esclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
*Test di Kruskal-Wallis

In Tab 3.5 è mostrata la distribuzione dei metalli nei residenti divisi per classi di età (31-40; 41-50; 51-60; 61-70 anni). Alcuni metalli (Co, Cu, Hg e Sn) sono risultati significativamente diversi in funzione dell'età; i soggetti con età compresa tra 51-60 anni presentano livelli di Cu, Hg e Sn leggermente più bassi rispetto ai soggetti con età compresa nelle altre fasce, così come il Co mostra una debole tendenza a diminuire con l'età.

Tab 3.5. Distribuzione urinaria dei metalli al T1 per classi di età [1,2,3]

Parametro		*N*	*Media*	*DS*	*50° perc*	*95° perc*	*Range*	*Valore p**
Antimonio µg/L	*31-40*	55	0,06	0,04	0,05	0,16	0,15	*0,25*
	41-50	113	0,05	0,03	0,05	0,12	0,17	
	51-60	108	0,05	0,03	0,04	0,13	0,16	
	61-70	94	0,05	0,04	0,04	0,15	0,18	
Arsenico µg/L	*31-40*	52	51	16,6	11,2	56,2	12,0	*0,15*
	41-50	114	110	11,7	8,5	31,6	13,2	
	51-60	114	111	13,0	8,4	40,6	12,4	
	61-70	93	87	11,4	6,8	33,4	12,8	
Berillio µg/L	*31-40*	54	0,11	0,05	0,10	0,20	0,23	*0,68*
	41-50	115	0,11	0,05	0,10	0,20	0,32	
	51-60	113	0,11	0,06	0,10	0,24	0,29	
	61-70	96	0,10	0,05	0,09	0,20	0,31	
Cadmio µg/L	*31-40*	55	0,50	0,34	0,41	1,37	1,62	*0,32*
	41-50	115	0,51	0,35	0,41	1,18	1,49	
	51-60	112	0,41	0,28	0,33	1,00	1,56	
	61-70	94	0,51	0,35	0,43	1,24	1,59	
Cobalto µg/L	*31-40*	50	0,23	0,18	0,15	0,61	0,72	***0,01***
	41-50	105	0,23	0,18	0,16	0,65	0,79	
	51-60	111	0,16	0,14	0,14	0,55	0,77	
	61-70	95	0,17	0,13	0,13	0,43	0,81	
Cromo µg/L	*31-40*	54	0,22	0,18	0,20	0,67	0,87	*0,41*
	41-50	115	0,31	0,27	0,21	1,00	1,10	
	51-60	112	0,26	0,23	0,19	0,78	1,11	
	61-70	95	0,29	0,25	0,21	0,92	1,09	
Iridio ng/L	*31-40*	54	1,27	0,73	1,15	2,80	3,15	*0,87*
	41-50	113	1,20	0,77	1,03	2,83	3,88	
	51-60	111	1,15	0,64	1,10	2,35	3,55	
	61-70	96	1,18	0,70	1,05	2,46	3,74	
Manganese µg/L	*31-40*	54	0,12	0,09	0,10	0,32	0,40	*0,57*
	41-50	113	0,12	0,08	0,10	0,30	0,33	
	51-60	111	0,11	0,07	0,09	0,25	0,36	
	61-70	88	0,12	0,08	0,09	0,29	0,43	
Mercurio µg/L	*31-40*	53	1,26	0,73	1,00	3,07	2,95	***0,03***
	41-50	113	1,24	0,78	0,95	2,83	3,83	
	51-60	112	1,04	0,64	0,74	2,44	3,37	
	61-70	94	1,02	0,61	0,84	2,35	2,85	
Nichel µg/L	*31-40*	51	1,22	0,90	1,02	2,82	3,77	*0,07*
	41-50	114	1,12	0,73	0,87	2,55	3,79	
	51-60	112	0,98	0,74	0,89	2,45	3,87	
	61-70	92	0,90	0,56	0,74	2,01	2,22	
Palladio ng/L	*31-40*	50	14,0	8,00	11,5	27,5	43,4	*0,52*
	41-50	116	17,1	10,2	14,1	39,4	46,0	
	51-60	111	15,9	10,4	13,3	40,8	52,7	
	61-70	92	18,3	11,4	14,7	43,6	48,9	

Platino ng/L	*31-40*	54	3,78	2,22	3,08	9,23	9,30	*0,44*
	41-50	110	3,50	1,78	3,04	6,45	9,64	
	51-60	111	3,46	1,77	3,09	7,01	9,60	
	61-70	91	3,30	1,79	2,93	6,58	9,80	
Rame µg/L	*31-40*	55	9,42	4,41	8,25	17,5	22,1	***0,005***
	41-50	115	8,71	4,88	7,69	16,9	24,4	
	51-60	111	6,96	3,47	6,28	14,0	16,6	
	61-70	92	8,50	5,29	7,83	19,7	26,9	
Rodio ng/L	*31-40*	53	16,1	11,1	12,5	40,6	43,6	*0,63*
	41-50	112	16,1	8,86	14,4	34,0	41,6	
	51-60	111	14,3	8,62	11,2	30,6	41,2	
	61-70	96	14,5	8,37	12,6	37,4	39,6	
Stagno µg/L	*31-40*	52	0,46	0,34	0,37	1,33	1,30	***0,02***
	41-50	112	0,44	0,36	0,35	1,16	1,60	
	51-60	110	0,34	0,29	0,23	0,95	1,54	
	61-70	95	0,36	0,28	0,29	1,08	1,37	
Tallio µg/L	*31-40*	54	0,22	0,12	0,19	0,43	0,51	*0,09*
	41-50	114	0,18	0,12	0,16	0,38	0,67	
	51-60	112	0,17	0,11	0,14	0,40	0,51	
	61-70	95	0,16	0,09	0,15	0,36	0,43	
Vanadio µg/L	*31-40*	53	0,03	0,02	0,02	0,08	0,09	*0,63*
	41-50	112	0,03	0,02	0,02	0,06	0,08	
	51-60	107	0,03	0,02	0,02	0,06	0,08	
	61-70	92	0,03	0,02	0,02	0,06	0,08	
Zinco µg/L	*31-40*	55	350	241	288	799	1030	*0,82*
	41-50	116	326	234	269	720	1272	
	51-60	113	302	215	238	678	1245	
	61-70	96	325	222	273	809	902	

[1] Valori estremi esclusi
[2] Valori sotto sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
*Test di Kruskal-Wallis

3.2. Confronto tra T1 e T0

I risultati mostrano che la maggior parte dei metalli indagati presentano al T1 concentrazioni significativamente ($p \leq 0,05$) più basse di quelle precedentemente osservate al T0. La diminuzione della concentrazione dei metalli è stata riscontrata sia nei soggetti residenti nella zona di esposizione sia nei non esposti. Molti dei soggetti (N = 40) che presentavano al T0 valori di uno o più metalli (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pt, Sb, Sn, Tl, Zn) maggiori del Valore Limite (VL), non si confermano come tali al T1 (per gli stessi metalli).

Un piccolo numero di soggetti (N = 10) che mostrava al T0 livelli di metalli (Co, Pt e Pb ematico) più alti del VL, invece, si conferma avere valori superiori al VL anche al T1 (dati non riportati). Per molti di questi soggetti sono state ipotizzate possibili cause specifiche di esposizione attraverso l'esame del questionario individuale: uso di piercing e bigiotteria (nel caso di Co e Pt), presenza di tatuaggi (es. per Co) e protesi (es. per Co e Pt).

Altri soggetti (N=15) al T1 hanno mostrato valori di Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Sn maggiori del VL.

Tutti i soggetti con valori superiori al VL verranno comunque monitorati successivamente in altre fasi dello studio. I restanti soggetti campionati al T1 (N = 316) non presentavano concentrazioni di metalli superiori al VL.

In Tab 3.6 è riportata la distribuzione dei metalli nella popolazione campionata al T0 e al T1, divisa per zona di residenza, e il valore *p* del test dei ranghi con segno di Wilcoxon. In entrambi i gruppi è stata osservata una diminuzione dei valori mediani di As rispetto alla fase T0, passando per gli esposti da 18,4 a 7,7 µg/L, e per i non esposti da 21,1 a 10,8 µg/L. La evidente diminuzione di As urinario è probabilmente legata ad una maggiore attenzione, da parte dei soggetti arruolati al T1 rispetto a quelli arruolati al T0, nell'evitare l'assunzione di pesce nelle ore immediatamente precedenti il prelievo di urina, come espressamente raccomandato a tutti i partecipanti prima del prelievo.

Alla diminuzione generalizzata dei valori di concentrazione urinaria dei metalli al T1 rispetto al T0 fanno eccezione:

- il Ni, i cui valori mediani al T1 sono sovrapponibili ai valori al T0 per entrambi le aree;

- il Co, il Mn e il Pt, che risultano simili tra i due tempi di campionamento, soltanto per non esposti;
- il Cr, più elevato al T1 rispetto al T0, in entrambe le aree, con incremento maggiore negli esposti rispetto ai non esposti.

Tab 3.6. Confronto tra i metalli urinari T1-T0 per zona di residenza [1,2,3]

	esposti			*non esposti*		
	T1	*T0*	*T1 vs. T0*	*T1*	*T0*	*T1 vs. T0*
Parametro	*Mediana*	*Mediana*	*Valore p**	*Mediana*	*Mediana*	*Valore p**
Antimonio µg/L	0,05	0,08	**<0,001**	0,04	0,06	**<0,001**
Arsenico µg/L	7,7	18,4	**<0,001**	10.8	21,1	**<0,001**
Berillio µg/L	0,09	0,17	**<0,001**	0,10	0,15	**<0,001**
Cadmio µg/L	0,36	0,66	**<0,001**	0,45	0,74	**<0,001**
Cobalto µg/L	0,14	0,16	**0,01**	0,16	0,19	0,06
Cromo µg/L	0,24	0,20	**<0,001**	0,16	0,14	**0,015**
Iridio ng/L	1,11	1,98	**<0,001**	1,06	1,42	**<0,001**
Manganese µg/L	0,08	0,14	**<0,001**	0,11	0,11	0,28
Mercurio µg/L	0,90	1,36	**<0,001**	0,94	1,45	**<0,001**
Nichel µg/L	0,84	0,86	0,19	0,94	0,96	0,88
Palladio ng/L	13,8	24,7	**<0,001**	14,1	23,9	**<0,001**
Platino ng/L	3,3	3,9	**0,001**	2,9	2,4	0,22
Rame µg/L	7,4	10,8	**<0,001**	7,7	10,9	**<0,001**
Rodio ng/L	12,0	18,4	**<0,001**	14,4	17,3	**0,01**
Stagno µg/L	0,29	0,57	**<0,001**	0,34	0,71	**<0,001**
Tallio µg/L	0,16	0,24	**<0,001**	0,16	0,31	**<0,001**
Vanadio µg/L	0,02	0,03	**<0,001**	0,02	0,03	**0,03**
Zinco µg/L	246	378	**<0,001**	270	408	**<0,001**

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
* Test dei ranghi con segno di Wilcoxon

In Tab 3.7 sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi (T1-T0) e il valore *p* del test di Wilcoxon-Mann-Whitney .

Quasi tutti i metalli mostrano valori in abbassamento (negativi) sia per la media sia per la mediana delle differenze tra T1 e T0. Ciononostante, il test statistico ha mostrato che la differenza è statisticamente significativa solo per alcuni metalli: Iridio, Manganese, Platino, Rodio, Antimonio e Tallio. Il Cromo è l'unico metallo che presenta una tendenza all'aumento nella fase T1, con media e mediana delle differenze positive ma non statisticamente significative.

Tab 3.7. Media e mediana delle differenze T1-T0 dei valori dei metalli per zona di residenza [1,2,3]

Parametro		*Media differenze T1-T0*	*Mediana differenze T1-T0*	*Valore p**
Arsenico µg/L	*esposti*	-30,3	-6,87	*0,41*
	non esposti	-29,6	-6,38	
Berillio µg/L	*esposti*	-0,07	-0,07	*0,07*
	non esposti	-0,06	-0,05	
Cadmio µg/L	*esposti*	-0,36	-0,20	*0,43*
	non esposti	-0,39	-0,29	
Cobalto µg/L	*esposti*	-0,09	-0,02	*0,78*
	non esposti	-0,03	-0,03	
Cromo µg/L	*esposti*	+0,14	+0,03	*0,55*
	non esposti	+0,06	+0,01	
Rame µg/L	*esposti*	-2,82	-2,82	*0,37*
	non esposti	+5,81	-2,79	
Mercurio µg/L	*esposti*	-0,77	-0,51	*0,53*
	non esposti	-0,82	-0,31	
Iridio ng/L	*esposti*	-0,97	-0,92	***<0,001***
	non esposti	-0,36	-0,24	
Manganese µg/L	*esposti*	-0,05	-0,04	***<0,001***
	non esposti	+0,03	+0,01	
Nichel µg/L	*esposti*	+0,01	-0,07	*0,43*
	non esposti	+0,62	-0,02	
Palladio ng/L	*esposti*	-12,8	-9,56	*0,76*
	non esposti	-13,3	-9,58	
Platino ng/L	*esposti*	-47,3	-0,60	***0,004***
	non esposti	-1,17	+0,27	
Rodio ng/L	*esposti*	-11,2	-6,31	***<0,001***
	non esposti	-1,58	-2,98	
Antimonio µg/L	*esposti*	-0,04	-0,03	***<0,001***
	non esposti	-0,01	-0,01	
Stagno µg/L	*esposti*	-0,36	-0,22	*0,64*
	non esposti	-0,39	-0,25	
Tallio µg/L	*esposti*	-0,11	-0,08	***0,008***
	non esposti	-0,16	-0,14	
Vanadio µg/L	*esposti*	-0,01	-0,01	*0,39*
	non esposti	-0,01	-0,01	
Zinco µg/L	*esposti*	-162	-107	*0,88*
	non esposti	-182	-105	

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
* test di Wilcoxon-Mann-Whitney per dati appaiati

In Figura 3 sono riportati gli stessi risultati espressi come variazione percentuale delle differenze negli esposti e nei non esposti .

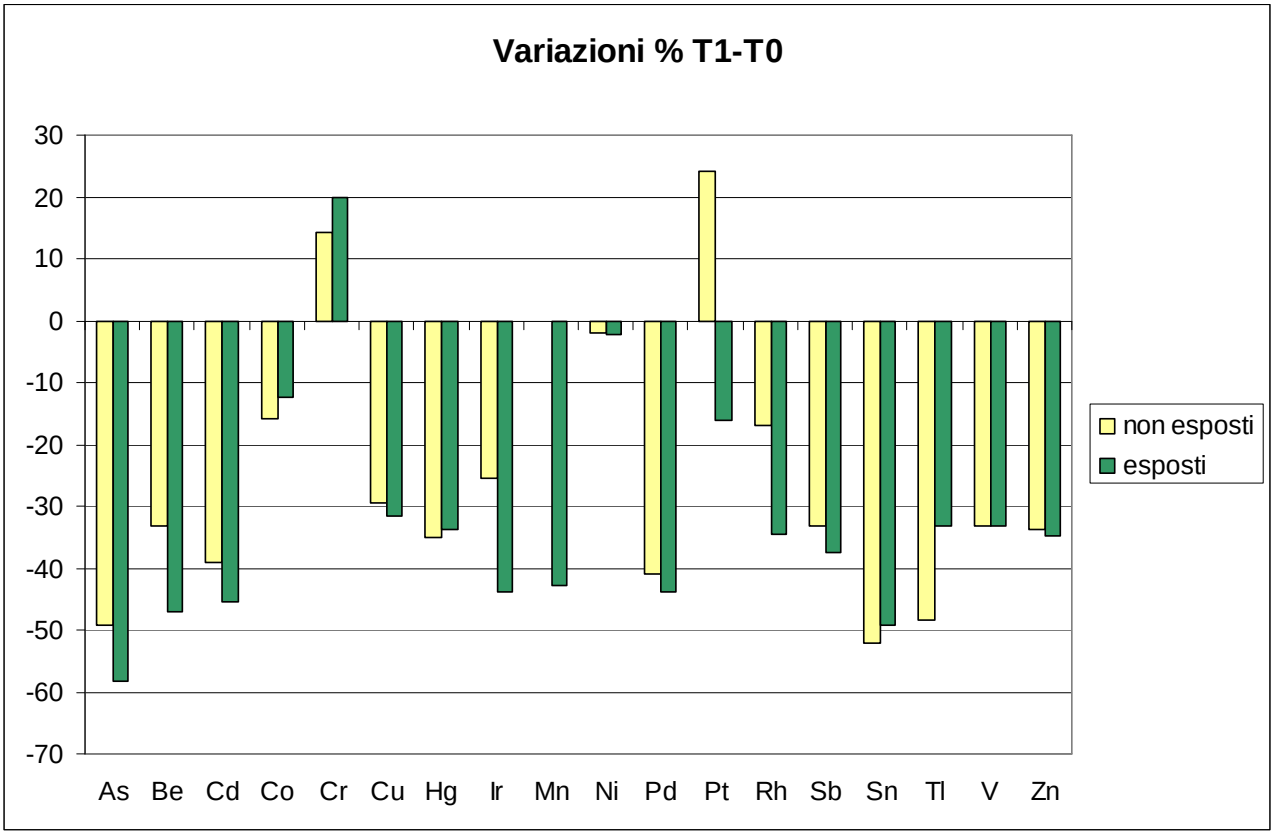


Fig. 3. Variazione percentuale delle differenze T1-T0 dei valori dei metalli per zona di residenza

In Tab 3.8 le distribuzioni di Cd e Cr sono state stratificate per abitudine al fumo. I dati mostrano un livello mediano di Cd significativamente superiore nei fumatori rispetto ai non fumatori al tempo T1 (0,53 *vs.* 0,37 µg/L), così come era stato precedentemente riscontrato al tempo T0 (0,99 *vs.* 0,63 µg/L). Anche i livelli osservati per il Cr sono più alti nei fumatori rispetto ai non fumatori, sia al T0 sia al T1, seppur in misura minore rispetto a quanto osservato per il Cd. La mediana delle differenze T1-T0 non mostra significatività per abitudine al fumo né per Cd né per Cr.

Tab 3.8. Confronto T1-T0 di Cadmio e Cromo per abitudini al fumo [1,2,3]

Parametro		*N*	*Media*	*50° perc*	*Valore p**	*Media differenze T1-T0*	*Mediana differenze T1-T0*	*Valore p***
Cadmio µg/L	*Fumatori*							*0,52*
	T0	69	1,13	0,99	***<0,001***	-0,453	*-0,285*	
	T1	69	0,68	0,53				
	Non Fumatori							
	T0	295	0,80	0,63	***<0,001***	-0,354	*-0,244*	
	T1	295	0,45	0,37				
Cromo µg/L	*Fumatori*							*0,48*
	T0	69	0,24	0,18	*0,176*	*+0,13*	*-0,01*	
	T1	69	0,37	0,22				
	Non Fumatori							
	T0	295	0,22	0,16	***< 0,001***	*+0,09*	*+0,02*	
	T1	295	0,32	0,19				

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico
* Test dei ranghi con segno di Wilcoxon;
** Test dei ranghi con segno di Wilcoxon per le mediane delle differenze T1-T0

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 3.9 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 T1. Dato che i profili dei metalli ottenuti in fase T1 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 in questa seconda fase (T1) alcuni metalli (Be, Cr, Hg, Mn, Ni, Sb, Tl, Zn) mostrano valori per lo più sovrapponibili ai valori di riferimento riportati in letteratura; mentre altri metalli presentano concentrazioni anche più basse (Co, Cu, Sn, V). E' comunque da tenere presente che le differenze osservate tra il presente studio e i dati di letteratura possono essere ascrivibili a differenze tra le popolazioni campionate in termini di dieta e stili di vita e, quindi, a diversa esposizione non unicamente legata a inquinamento ambientale.

Tab 3.9. Valori di riferimento (mediana, µg/L) per i metalli urinari nella popolazione generale

	Canada	*Repubblica Ceca*	*Francia*	*Germania*	*Italia*	*USA*	*UK*	*Altri paesi*
	[1] CHMS 2009-2011	*[2] CZ-HBM 2005-2009* *[3] CZ-HBM 1996-2000* [b]	*[4] ENNS, 2006-2007* *[5] 2005*	*[6] GerES III 1997-1999* *[7] 2006*	*[8] 1990* [b] *[9] 2004*	*[10] NHANES 2013* *[11] NHANES 2015* *[12] 2000*	*[13] 2014*	*[14] Belgio, FLEHS I 2002-2006* *[15] Slovenia, 2010-2012 c* *[16] Corea del Sud, KorSEP 2008* *[17] Spagna, 2009-2010 b*
As	7,8		10,7 [4]; 19 [5]	4,1 [6]; 13 [7]	16,7 [8]	8,15 [10]; 6,09 [11];18,2 [12]	10,48	45,5 [17]
Be			0,01 [5]	<0,009 [9]	0,4 [8]	<0,072 [10]; 0,02 [12]	0,0052	
Cd	0,27	1,3 [2]	0,29 [4]; 0,16 [5]	0,22 [6]; 0,17 [7]	0,86 [8]	0,18 [10]; 0,15 [11]; 0,3 [12]	0,13	0,62 [b] [14]; 0,23 [15]; 0,71 [17]
Co	0,25		0,19 [4]; 0,30 [5]	0,18 [7]	0,57 [8]	0,38 [10]; 0,32 [12]	0,22	
Cr			0,17 [4]	0,13 [7]	0,61 [8]	1,0 [12]	0,35	
Cu	12	10,6 [3]	6,9 [5]	8 [7]	23 [8]	14 [12]	8,75	
Hg	0,24	9 [2]	0,59 [5]	0,4 [6]	3,5 [8]	0,40 [10]; 1,0 [12]	0,43	1,19 [15]; M 0,37; F 0,73 [16]
Ir [a]				0,3 [6]	18 [8]		<7	
Mn	<0,2		0,31 [5]	0,063 [7]	1,02 [8]	0,12 [11]	0,092	
Ni	1,4		1,30 [4]; 1,8 [5]	0,30 [7]	0,9 [8]	2,4 [12]	1,99	
Pd [a]			0,07 [5]	<0,009 [7]	7,79 [9]		<588	
Pt [a]			0,05 [5]	2,1 [6]; <0,003 [7]	1,70 [9]	<0,009 [10]	<5	
Rh [a]					12,9 [9]		4	
Sb	0,045		0,072 [4]; 0,04 [5]	0,039 [7]	0,79 [8]	0,05 [10]; 0,06 [11]	0,092	
Sn			0,53 [4]; 0,32 [5]	0,84 [7]		0,53 [11]; 2,7 [12]	0,33	
Tl	0,24		0,15 [5]	0,069 [7]	0,42 [8]	0,16 [10]; 0,15 [11]	0,17	
V	<0,1		0,87 [4]; 3,3 [5]	0,057 [7]	0,8 [8]		1,58	
Zn	350	397 [3]	195 [5]	207 [7]	456 [8]	231 [12]	180	

[a] ng/L; [b] Media aritmetica; [c] Media geometrica in µg/g di creatinina

[ ] i riferimenti bibliografici richiamati in tabella sono riportati in calce al Report

Arsenico

Tra gli analiti che si discostano, seppur in parte, dai VR riportati in Tab 3.9., l'As urinario, nella fase T1, è presente con una concentrazione mediana di 8,3 µg/L e un 95° percentile di 40,6 µg/L (Tab 3.2). Il dato di As risulta sovrapponibile ai valori riscontrati sia nelle campagne effettuate dal NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) su popolazione adulta generale USA nel 2013 (8,15 µg/L) e nel 2015 (6,09 µg/L) sia in una campagna condotta dall'Health Canada nel 2009-2011 (7,8 µg/L). I livelli di As trovati risultano anche più bassi di quelli riscontrati in altre campagne europee (Spagna: 45,5 µg/L; Francia: 10,7- 19 µg/L; Regno Unito: 10,48 µg/L), e in una campagna condotta in Italia nel 1990 (media aritmetica: 16,7 µg/L). La concentrazione di As rilevata nella fase T1 appare superiore solo al valore mediano 4,1 µg/L di As rilevato per la popolazione generale tedesca nelle campagne GERES (German Human Biomonitoring Commission).

Cadmio

Un metallo che presenta un valore di mediana superiore a quanto riportato in alcuni studi precedenti è il Cd (mediana: 0,40 µg/L; 95° percentile: 1,13 µg/L): in Germania, il GERES ha riportato un valore di 0,22 µg/L e in 87 soggetti di un'altra popolazione tedesca un valore di 0,17 µg/L; in USA, il NHANES ha riportato contenuti di 0,18 µg/L e 0,15 µg/L nel 2013 e 2015 rispettivamente; in Canada, l'Health Canada ha riportato un valore di 0,27 µg/L; in Francia, la concentrazione era di 0,29 µg/L e 0,16 µg/L in due diverse campagne di biomonitoraggio; nel Regno Unito, il livello era di 0,13 µg/L. Al contrario, rispetto al dato SPoTT al T1, risultano sensibilmente più alte le concentrazioni di Cd riscontrate in campagne effettuate in Italia (0,86 µg/L), Belgio (0,62 µg/L), Spagna (0,71 µg/L) e Repubblica Ceca (1,3 µg/L). Il contenuto di Cd nelle urine è significativamente influenzato dall'abitudine al fumo, infatti il 18,7 % dei fumatori al T1 presenta un contenuto di Cd urinario di 0,53 µg/L contro lo 0,37 µg/L dei non fumatori (vedi Tab 3.8 e commenti).

Iridio, Palladio, Platino, Rodio

Per quanto concerne Ir, Pd, Pt e Rh, seppur il confronto sia limitato ai pochi dati presenti in letteratura, tali metalli sembrano essere leggermente superiori ai valori riportati in Francia, Germania e USA. In generale i dati riscontrati in SPoTT, rispecchiano il crescente utilizzo di tali metalli nelle marmitte catalitiche per automobili. In particolare, il valore di Pd (13,9 µg/L) è circa due volte rispetto al valore riscontrato in una campagna di biomonitoraggio su popolazione italiana nel 2004 (7,79 µg/L) e dieci volte superiore al contenuto nella popolazione francese (0,07 ng/L). E' da considerare tuttavia che nell'ultimo

decennio vi è stata una progressiva sostituzione del Pt nella costruzione delle marmitte catalitiche con il più conveniente Pd.

Confronto con valori guida

E' da sottolineare che la presenza di metalli nel corpo umano non sia 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 contaminante e la necessità di approfondire le vie e le variabili che possono avere influenzato tale esposizione (Hays et al, 2008). In Tab 3.10 sono riportati i valori di HBM I, HBM II e BE disponibili ad oggi per alcuni metalli urinari.

Tab 3.10 Valori guida per i metalli urinari e confronto con i risultati di T1

Parametro (Riferimento)	*Popolazione*	*HBM I (% di soggetti < HBM I)*	*HBM II (% di soggetti > HBM II)*	*BE* (% di soggetti > BE)*
Cadmio µg/L (Schulz et al., 2011; Hays et al., 2008)	Adulti	1 µg/L (72,1%)	4 µg/L (0%)	1,5 µg/l (12,4%)
Mercurio µg/L (Schulz et al., 2011)	Adulti e bambini	7 µg/L (100%)	25 µg/L (0%)	-
Tallio µg/L (Schulz et al., 2011)	Popolazione generale	5 µg/L (100%)	-	-

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

La valutazione della percentuale di soggetti al T1 con livelli dei metalli superiori ai valori guida HBM I, HBM II e BE aiuta a stabilire l'esistenza di un rischio potenziale per la salute e la necessità di effettuare ulteriori attività di follow-up di monitoraggio e sorveglianza della popolazione.

In base a questo criterio si evidenzia che la maggior parte dei soggetti al T1 mostra concentrazioni urinarie di Cd, Hg e Tl inferiori ai valori di HBM I e nessun soggetto mostra valori superiori ai valori di HBM II. Di conseguenza, nessun soggetto al T1 denota un'esposizione al metallo legata alla manifestazione di possibili rischi per la salute.

Solo una modesta percentuale di soggetti (12,4%) mostra un valore di Cd urinario superiore al BE: il 50% di tali soggetti ha dichiarato di essere fumatore e quindi la causa di tali valori elevati è da ricondurre con ogni probabilità all'abitudine al fumo piuttosto che ad un'esposizione di tipo ambientale; per la restante parte si prevedono approfondimenti secondo il protocollo stilato per la gestione degli estremi al T0.

4. Biomonitoraggio Metalli negli Allevatori

Alla fase T0, avevano partecipato al Programma 13 allevatori dei 20 contattati. Tutti gli allevatori partecipanti alla fase T0 hanno aderito alla seconda fase di prelievi (fase T1). 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.

Analogamente a quanto fatto con i residenti, nella fase T1 anche gli allevatori hanno consegnato il questionario auto compilato e i campioni di urina richiesti, con le procedure descritte ai paragrafi 2.2 e 2.3.

Tutti i soggetti sono di sesso maschile e l'età media al T0 è 52,5 anni. In base alle risposte fornite ai questionari, si evidenzia che:

- 5 soggetti (36% degli allevatori partecipanti) hanno dichiarato di fumare sia al T0 sia al T1;
- 5 soggetti vengono considerati esposti all'alcol[3] al T1; gli esposti all'alcol al T0 erano 3;
- al T1 sono 3 i soggetti che risultano contemporaneamente esposti a fumo ed alcol.

4.1. Risultati metalli al T1

La tabella 4.1 riporta le statistiche descrittive relative ai 18 metalli determinati nelle urine (corretti per il peso specifico dell'urina). 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 Pd al di sotto della soglia di rilevabilità dello strumento (LoD); in 11 casi le determinazioni urinarie si presentano come valori outliers rispetto alla distribuzione; in 5 casi le determinazioni urinarie si presentano come valori statistici estremi (tabella 1 dell'appendice B). Siccome i valori estremi influenzano molto il calcolo della media, le statistiche descrittive sono state ricalcolate escludendo tali valori (tabella 2 dell'appendice B).

[3] è definito esposto all'alcool un soggetto che assume più di 24 grammi di etanolo al giorno stimati sulla base delle quantità di vino, super alcolici e birra bevuti

Tab4.1. Distribuzione urinaria dei metalli corretti[1,2,3]: fase T1.

Parametro	*Media*	*Std Dev*	*Mediana*	*Minimo*	*Massimo*	*Range*
Arsenico µg/L	13,89	11,84	8,93	4,14	46,98	42,85
Berillio µg/L	0,12	0,05	0,10	0,07	0,26	0,18
Cadmio µg/L	0,53	0,25	0,49	0,15	1,20	1,05
Cobalto µg/L	0,17	0,06	0,14	0,08	0,29	0,20
Cromo µg/L	0,40	0,21	0,32	0,10	0,80	0,70
Rame µg/L	10,36	5,98	8,70	5,28	29,29	24,01
Mercurio µg/L	0,77	1,16	1,75	0,45	3,94	3,49
Iridio ng/L	1,59	1,75	1,01	0,54	7,32	6,77
Manganese µg/L	0,20	0,13	0,15	0,05	0,48	0,43
Nichel µg/L	1,41	0,95	1,14	0,45	3,88	3,44
Palladio ng/L	22,61	23,89	11,99	3,91	83,59	79,67
Platino ng/L	2,81	2,58	2,05	1,04	11,23	10,19
Rodio ng/L	16,15	7,67	15,31	6,21	29,89	23,68
Antimonio µg/L	0,11	0,04	0,10	0,06	0,21	0,15
Stagno µg/L	0,67	0,37	0,66	0,10	1,55	1,45
Tallio µg/L	0,19	0,06	0,17	0,11	0,29	0,19
Vanadio µg/L	0,06	0,02	0,06	0,02	0,10	0,08
Zinco µg/L	703,64	943,09	500,29	214,70	3941,93	3727.23

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico

4.2. Confronto metalli T1- T0

Nella tabella 4.2 sono riportati i valori medi e mediani dei metalli calcolati al T0 e al T1 e i valori del p-value associati al test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Dodici metalli hanno una mediana al T1 inferiore a quella del T0 (As, Be, Cd, Co, Cu, Ir, Mn, Pd, Pt, Rh, Tl, Zn). La diminuzione è statisticamente significativa (p-value<0.05) per Cd, Cu, Ir, Pt e Tl. Cinque metalli hanno una mediana al T1 superiore a quella del T0 (Cr, Hg, Ni, Sn, V), tuttavia la differenza non è in nessun caso statisticamente significativa. Il valore mediano di Sb è rimasto invariato.

Dei 7 soggetti che risultavano avere valori estremi statistici al T0, solo 2 si confermano estremi statistici anche al T1 (per Pt e Zn). Si osservano inoltre 3 nuovi estremi statistici, per Cu, Ir e Pd.

Applicando il protocollo di presa in carico dei soggetti con valori superiori al VL, solo un soggetto risulta avere una concentrazione di Zn superiore al VL al T1; dalle informazioni derivanti dal questionario non sono emerse possibili cause specifiche di esposizione; il soggetto verrà monitorato nuovamente nella terza fase dello studio SPoTT. Mentre 1 soggetto che mostrava al T0 una concentrazione di As superiore al VL, mostra al T1 una concentrazione inferiore al VL.

Tab4.2. Confronto metalli urinari T0 e T1[1,2,3]; media, mediana, p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon.

Parametro	*Media T0*	*Mediana T0*	*Media T1*	*Mediana T1*	*p-value*
Arsenico µg/L	38,02	13,00	13,89	8,93	0,357
Berillio µg/L	0,19	0,15	0,12	0,10	0,091
Cadmio µg/L	0,89	0,82	0,53	0,49	0,002
Cobalto µg/L	0,20	0,19	0,17	0,14	0,296
Cromo µg/L	0,23	0,19	0,40	0,32	0,091
Rame µg/L	15,37	11,58	10,36	8,70	0,029
Mercurio µg/L	2,28	1,68	0,77	1,75	0,583
Iridio ng/L	2,33	2,17	1,59	1,01	0,024
Manganese µg/L	0,18	0,16	0,20	0,15	0,951
Nichel µg/L	0,84	0,84	1,41	1,14	0,104
Palladio ng/L	20,39	17,60	22,61	11,99	0,669
Platino ng/L	5,37	3,06	2,81	2,05	0,001
Rodio ng/L	27,75	19,22	16,15	15,31	0,058
Antimonio µg/L	0,09	0,10	0,11	0,10	0,541
Stagno µg/L	0,82	0,64	0,67	0,66	0,241
Tallio µg/L	0,25	0,24	0,19	0,17	0,024
Vanadio µg/L	0,04	0,03	0,06	0,06	0,135
Zinco µg/L	720,13	569,89	703,64	500,29	0,153

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] 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. Nella tabella 4.3 sono riportate le mediane delle differenze dei valori individuali (T1-T0) 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.

I test statistici indicano differenze statisticamente significative per Ir, Pt e V. Per Ir e Pt. gli allevatori hanno avuto una diminuzione più forte dal T0 al T1 rispetto ai residenti maschi, mentre per V gli allevatori hanno avuto un aumento e i residenti maschi una diminuzione. Le variazioni individuate possono essere dovute a diversi fattori di esposizione come emissioni da industrie, traffico veicolare o abitudini individuali.

Tab. 4.3. Confronto delle differenze dei metalli urinariT1-T0 tra allevatori e residenti maschi[1,2,3]; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Parametro	*Mediana diff. T1-T0 allevatori*	*Mediana diff. T1-T0 residenti maschi*	*p-value*
Arsenico µg/L	-4,55	-8,59	0,419
Berillio µg/L	-0,03	-0,06	0,318
Cadmio µg/L	-0,31	-0,28	0,713
Cobalto µg/L	-0,03	-0,02	0,634
Cromo µg/L	+0,09	+0,03	0,384
Rame µg/L	-3,17	-3,18	0,771
Mercurio µg/L	-0,24	-0,49	0,283
Iridio ng/L	-1,48	-0,39	0,024
Manganese µg/L	-0,02	-0,02	0,930
Nichel µg/L	+0,28	-0,03	0,076
Palladio ng/L	-2,16	-9,43	0,156
Platino ng/L	-1,11	+0,15	0,008
Rodio ng/L	-1,21	-3,88	0,433
Antimonio µg/L	+0,01	-0,01	0,077
Stagno µg/L	-0,14	-0,26	0,153
Tallio µg/L	-0,06	-0,11	0,164
Vanadio µg/L	+0,02	-0,01	0,004
Zinco µg/L	-86,80	-141,53	0,419

[1] Valori estremi inclusi
[2] Valori sotto il LoD posti uguali alla metà del LoD
[3] Valori corretti per peso specifico

5. Discussione

Le variazioni individuate tra T0 e T1 nella dose interna dei metalli (Tab. 3.6) possono essere dovute a diversi fattori di esposizione presenti in modo differenziale tra i due periodi e le due aree; oltre all'inceneritore sono da considerare le emissioni da industrie, il traffico veicolare e/o abitudini individuali/dieta. Le differenze possono essere l'effetto di un singolo fattore o l'effetto combinato di due o più fattori.

Altri programmi di biomonitoraggio di popolazioni residenti nei dintorni di inceneritori non evidenziano incrementi (ma in alcuni casi una diminuzione) per la maggior parte dei metalli. In Spagna, nei pressi di un inceneritore di rifiuti pericolosi, la concentrazione di numerosi metalli nei capelli di bambini in età scolare mostrava livelli più bassi dopo 5 anni di attività regolari della struttura (Nadal et al. 2005). In Belgio, non sono state trovate differenze nelle concentrazioni di Cd, Hg e Pb in urina e sangue in soggetti residenti in prossimità di un inceneritore rispetto a quanto riscontrato in soggetti di controllo provenienti da una zona rurale (Fierens et al. 2007). In maniera del tutto simile, in Italia, vari metalli (Pb, Cd, Zn, Hg, Mn, Ni) determinati in sangue, siero e urina di soggetti residenti entro 4 km da un inceneritore non mostravano differenze rispetto ai livelli osservati in un gruppo di non esposti (Ranzi et al. 2013). La mancanza di differenze significative nei livelli ematici di Cd, Hg e Pb è stata trovata anche in una campagna di biomonitoraggio eseguita in Portogallo su residenti nei pressi di un inceneritore di rifiuti solidi rispetto a residenti in zone lontane (Reis et al. 2007).

La diminuzione nel tempo delle concentrazioni urinarie per la maggior parte dei metalli nelle due aree di esposizione può essere analizzata alla luce di diverse possibili spiegazioni.

1) Differenze nella procedura di prelievo

Come specificato nel paragrafo 2.2.3 alcune procedure sono state modificate nel tempo. È stata dunque analizzata in dettaglio la possibile occorrenza di errore sistematico in seguito alla modifica delle seguenti procedure:

a) al T1 il prelievo è stato effettuato a domicilio direttamente dal soggetto. Al T0 il prelievo è stato effettuato presso l'ASL, durante l'intervista

b) al T1 si è chiesto ai partecipanti di non consumare alcuni alimenti prima del prelievo (pesci, crostacei) e di non fumare prima della raccolta del campione. Al T0 invece non vi erano state restrizioni né per il consumo di alimenti né per il fumo di sigaretta

c) i contenitori per urina utilizzati al T1 sono diversi da quelli al T0 (seppure dello stesso materiale): contenitori in polipropilene (Falcon) preventivamente decontaminati con soluzione acida al T0; provette da 50 mL, sempre di polipropilene (Falcon), al T1. Prove eseguite in precedenza presso il Laboratorio di analisi non hanno mostrato tuttavia differenze nei livelli di cessione dei metalli tra le due tipologie di provette; è anche il motivo per cui sono state scelte le provette da 50 mL Falcon al T1, più pratiche.

Tali differenti procedure, insieme alla maggiore sensibilizzazione dei partecipanti a seguito della comunicazione del referto T0, potrebbero spiegare il decremento di alcuni metalli (As, Cd, Hg) associati ai suggerimenti alimentari dati, e il decremento di Cd associato alla restrizione sul fumo.

2) Errore analitico

L'ipotesi di un errore sistematico analitico può essere considerata poco verosimile sulla base delle seguenti valutazioni:

a. il Laboratorio non ha modificato né le metodiche pre-analitiche né la strumentazione usata per le analisi, e neanche gli operatori tra la fase T0 e T1;

b. il metodo è validato e accreditato; la completa tracciabilità delle misure, mediante analisi di materiali di riferimento certificati e la partecipazione a circuiti interlaboratoriali, ha permesso di garantire giornalmente e nel tempo la qualità dell'intera procedura e dei dati emessi.

3) Variazione negli stili di vita (soprattutto alimentari) dei partecipanti

La convocazione per il prelievo al T1, ricevuta con largo anticipo da esposti e non esposti e contenente la richiesta di non consumare pesci e crostacei e di non fumare, potrebbe aver indotto la maggior parte dei soggetti ad assumere comportamenti alimentari e voluttuari differenti nei giorni precedenti l'esame. Queste attenzioni possono spiegare alcune diminuzioni, per es. di As, Cd e, in piccola parte, di Hg (in quella quota di metil-Hg, de-metilato ed escreto con le urine). Tuttavia tale ipotesi (per spiegare la diminuzione delle concentrazioni urinarie di diversi metalli), dovrebbe riguardare una

proporzione sostanziale dei partecipanti e un gran numero di abitudini alimentari e stili di vita.

È stata anche verificata la possibilità che la variazione di metalli riscontrata nelle urine del campione possa essere legata alla variazione nella presenza di metalli nelle acque potabili dei comuni di Torino, Beinasco, Grugliasco, Orbassano, Rivoli. A tale scopo in tabella 5.1 sono state riportate le concentrazioni medie di tutti i metalli nell'acqua potabile cittadina nel 2013 e nel 2014, desunte dalle analisi di controllo effettuate dai Laboratori ARPA Piemonte sui campioni prelevati dalle ASL (dati Sistema Informativo Regionale). Solo alcuni metalli sono misurati sia nelle acque potabili sia nelle urine del campione di popolazione (ovvero As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn). Per nessuno di essi i risultati mostrano coerenza. Per maggiori approfondimenti saranno calcolate anche le concentrazioni dei metalli nelle acque potabili relative ai soli mesi precedenti i prelievi urinari.

Tab. 5.1 Concentrazioni di alcuni metalli nelle acque potabili; anni 2013-2014. Dati Regione Piemonte

COMUNE	ANNO	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Torino	2013	1.76	0.47	2.82	0.006	0.19	4.65	3.99	1.88	0.5	5.00	0.1
	2014	1.77	0.46	2.28	0.007	0.19	4.69	2.66	1.86	0.5	5.82	0.1
Beinasco	2013	2.0	0.5	4.86	0.010	0.2	5.0	2.71	2.0	0.5	5.0	-
	2014	2.0	0.5	4.25	0.012	0.2	5.0	2.54	2.0	0.5	5.0	-
Grugliasco	2013	2.0	0.5	6.14	0.005	0.2	5.0	5.08	2.0	0.5	5.0	0,1
	2014	2.0	0.5	5.24	0.007	0.2	9.08	3.28	2.18	0.5	5.0	0,1
Orbassano	2013	2.0	0.5	3.1	0.006	0.2	5.0	2.1	2.0	0.5	5.0	-
	2014	2.0	0.5	2.85	0.007	0.2	5.0	2.07	2.0	0.5	5.0	0,1
Rivoli	2013	2.0	0.5	6.51	0.006	0.2	5.0	3.90	2.0	0.5	5.0	-
	2014	2.0	0.5	5.49	0.007	0.2	5.04	2.40	2.0	0.5	5.0	0,1

Nota: valori in µg/L

In conclusione anche una variazione negli stili di vita dei partecipanti risulta poco verosimile.

4) **Diminuzione generalizzata di particolato atmosferico e di NO_2 nel periodo ante- e post-operam.**

È stata osservata una diminuzione del particolato atmosferico, oltre che di NO_2, tra la fase ante e post operam; poiché i metalli si muovono nell'atmosfera anche adsorbiti sulle varie frazioni dimensionali del particolato, è possibile che una minore massa di metallo possa essere conseguentemente inalata in caso di minor presenza di PM. In Tab 5.2 sono riassunte le variazioni percentuali dei metalli urinari tra T1 e T0 e dei parametri PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2 rilevati dalla centralina di Beinasco – Aldo Mei utilizzati per la valutazione dello stato ambientale nelle aree di interesse (Rapporto ARPA Piemonte, 21.1.2015). E' possibile notare che, passando dalla prima fase dello studio alla seconda, la diminuzione nei livelli mediani dei metalli urinari nel complesso degli esposti e dei non-esposti presenta variazioni percentuali minime da meno 12% nel caso del Co fino a variazioni massime di meno 57% nel caso dell'As. Analogamente anche le concentrazioni in aria di PM_{10} (-15%), $PM_{2.5}$ (-25%) e NO_2 (-13%) mostrano diminuzioni percentuali significative nella seconda fase dello studio.

La diminuzione del particolato e di componenti correlate riscontrata a Torino è coerente a quanto rilevato in esperienze simili condotte in Spagna negli ultimi anni (Salvador et al, 2015, Cusack et al, 2012).

Tab 5.2. Variazioni percentuali di concentrazione tra T1 e T0 di metalli (valori mediani misurati nelle urine esposti + non esposti) e particolato e NO_2 (concentrazioni medie in aria) – dati di sintesi.

Parametro	*post operam (media)*	*ante operam (media)*	*Variazione T1-T0*	*Variazione%*	*Significatività*
PM_{10}	***35****	***41****	***-6***	***-15%***	*Sign***
$PM_{2,5}$	***27****	***33****	***-9***	***-25%***	*Sign***
NO_2	***42****	***48****	***-6***	***-13%***	*Sign***
Parametro	*T1 (mediana)*	*T0 (mediana)*	*Variazione T1-T0*	*Variazione%*	*Significatività*
Arsenico	8,97	20,68	-11,71	-57%	Sign
Berillio	0,10	0,16	-0,06	-47%	Sign
Cadmio	0,40	0,72	-0,32	-45%	Sign
Cobalto	0,15	0,17	-0,02	-12%	Non sign
Cromo	0,20	0,17	0,03	+18%	Sign
Rame	7,41	10,80	-3,39	-31%	Sign
Mercurio	0,91	1,37	-0,46	-34%	Sign
Iridio	1,08	1,70	-0,62	-36%	Sign
Manganese	0,10	0,13	-0,03	-23%	Non sign
Nichel	0,89	0,89	0	0	Non sign
Palladio	14,04	24,24	-10,2	-42%	Sign
Platino	3,10	3,08	0,02	+1%	Non sign
Rodio	12,76	17,94	-5,18	-29%	Sign
Antimonio	0,05	0,07	-0,02	-29%	Sign
Stagno	0,31	0,64	-0,33	-52%	Sign
Tallio	0,16	0,27	-0,11	-41%	Sign
Vanadio	0,02	0,03	-0,01	-33%	Sign
Zinco	264	392	-128	-33%	sign

* in tabella sono riportate le medie di PM_{10} $PM_{2,5}$ NO_2 rilevate dalla centralina di Beinasco – Aldo Mei dedotte dal Rapporto ARPA Piemonte del 21.1.2015 (vedi bibliografia) calcolate sui due periodi seguenti:
ante operam: 15/09/2012-30/06/2013
post operam: 01/10/2013-30/06/2014
**significatività in base al test T di Student

Più in particolare, è stato possibile confrontare i metalli presenti tanto nei campioni di PM_{10} quanto nelle urine, cioè As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, V, e Zn. Si riportano i risultati del confronto ante- e post-operam per tali metalli nelle tabelle 5.3 (urine) e 5.4 ($PM_{10,}$) e nella figura 4 desunta dagli stessi dati. Le concentrazioni dei metalli nel PM sono ricavate dai rapporti ARPA Piemonte 2013 e 2014 riferiti alle analisi chimiche effettuate in varie stazioni di misura della qualità dell'aria (ARPA Piemonte 2013, ARPA Piemonte 2014) in relazione alla sorveglianza ambientale prevista anch'essa dall'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) con la quale è stato autorizzato il funzionamento dell'impianto. Per gli esposti, residenti nell'ASL TO3, sono stati considerati i risultati sui campioni di particolato $PM_{10,}$ prelevati nella centralina di Via San Giacomo presso il giardino Aldo Mei, a Beinasco negli anni 2013 e 2014. Per i non esposti, residenti nell'ASL TO1, sono stati considerati i risultati delle analisi $PM_{10,}$ prelevati nella centralina Lingotto a Torino 2013 e 2014.

Tabella 5.3 Variazioni di As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, V, e Zn nelle urine tra ESPOSTI e NON ESPOSTI

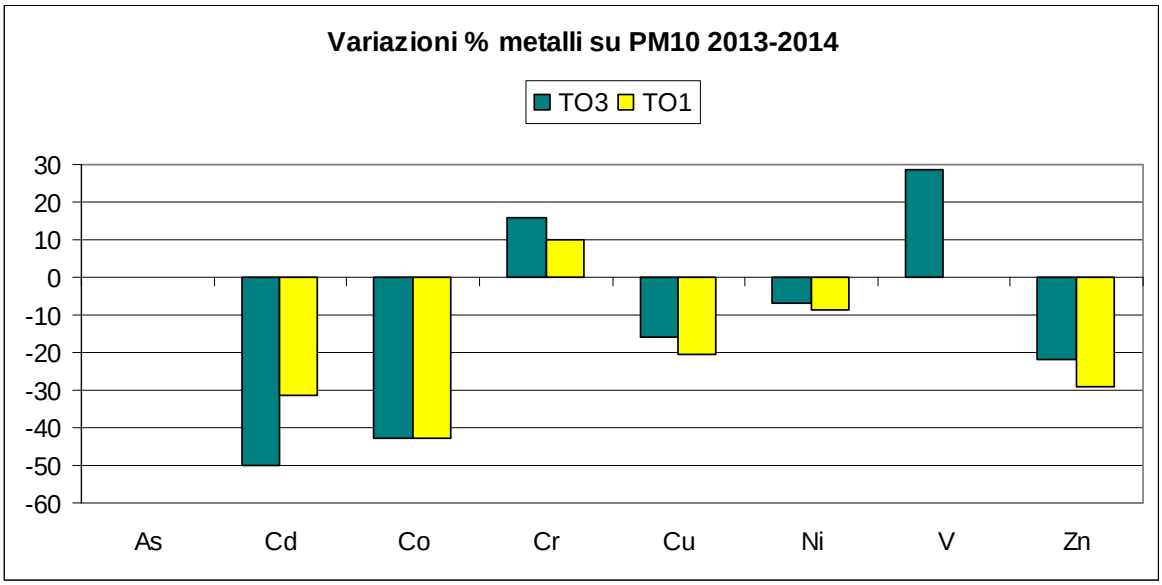
	esposti				non esposti			
	T0	T1	T1-T0	**Variazione %**	T0	T1	T1-T0	**Variazione %**
As	18,43	7,68	-10,75	**-58%**	21,14	10,76	-10,38	**-49%**
Cd	0,66	0,36	-0,3	**-45%**	0,74	0,45	-0,29	**-39%**
Co	0,16	0,14	-0,02	**-13%**	0,19	0,16	-0,03	**-16%**
Cr	0,2	0,24	0,04	**+20%**	0,14	0,16	0,02	**+14%**
Cu	10,76	7,37	-3,39	**-32%**	10,88	7,67	-3,21	**-30%**
Ni	0,86	0,84	-0,02	**-2%**	0,96	0,94	-0,02	**-2%**
V	0,03	0,02	-0,01	**-33%**	0,03	0,02	-0,01	**-33%**
Zn	378	246	-132	**-35%**	408	270	-138	**-34%**

Nota: valori in µg/l

Tabella 5.4 Variazioni di As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, V, e Zn nel PM_{10} della centralina Beinasco (TO3; zona di esposizione) e Lingotto (TO1; zona di non esposizione)

	TO3 – centralina Aldo Mei (Beinasco)				TO1 – centralina Lingotto (Torino)			
	T0	T1	T1-T0	**Variazione %**	T0	T1	T1-T0	**Variazione %**
As	0,7	0,7	0	**0**	0,7	0,7	0	**0**
Cd	0,2	0,1	-0,1	**-50**	0,19	0,13	-0,06	**-32**
Co	0,7	0,4	-0,3	**-43**	0,7	0,4	-0,3	**-43**
Cr	2,5	2,9	0,4	**+16**	3	3,3	0,3	**+10**
Cu	38,1	32	-6,1	**-16**	44,1	35	-9,1	**-21**
Ni	2,9	2,7	-0,2	**-7**	3,5	3,2	-0,3	**-9**
V	0,7	0,9	0,2	**+29**	0,9	0,9	0	**0**
Zn	57,4	45	-12,4	**-22**	60,8	43	-17,8	**-29**

Nota: valori in ng/m^3



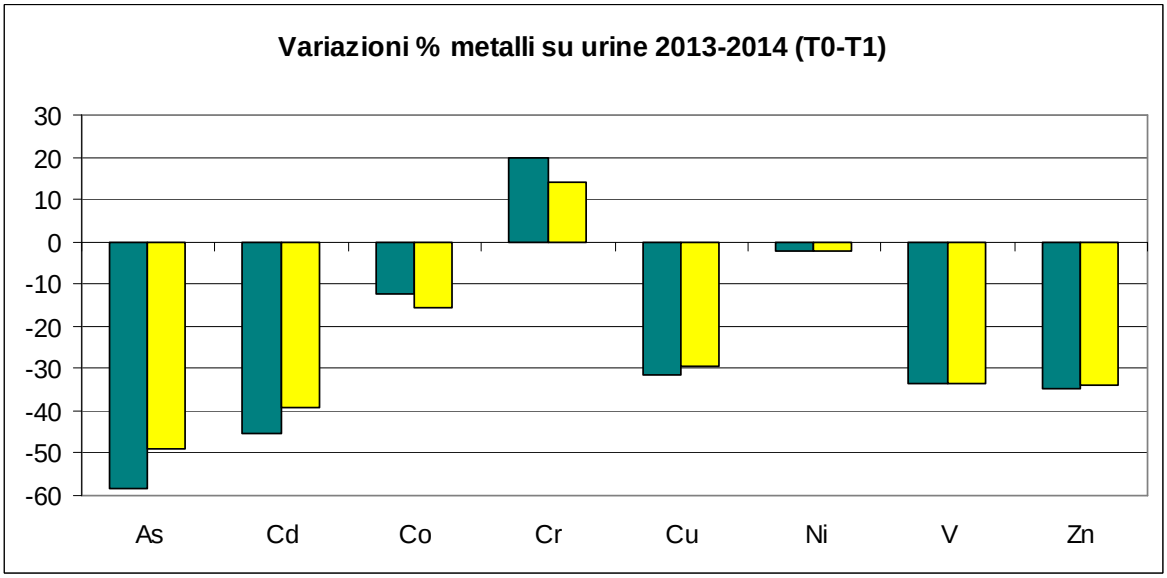


Figura 4 Variazioni % di As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, V, e Zn nel PM10 delle centraline di Beinasco (TO3) e Lingotto (TO1) e nelle urine tra ESPOSTI (TO3) e NON ESPOSTI (TO1)

Il confronto indica una coerenza tra l'andamento medio annuo delle concentrazioni di Cd, Cr, Cu, Ni e Zn nel PM_{10} e le mediane delle concentrazioni degli stessi metalli nelle urine della popolazione residente nelle stesse aree.

L'assenza di coerenza con l'As potrebbe essere legata alle variazioni alimentari richieste ai soggetti campionati (astensione dal consumo di pesci, crostacei e molluschi) nei giorni precedenti il prelievo.

L'aumento delle concentrazioni di Cr riscontrato nelle urine del campione in studio trova corrispondenza nell'analoga variazione riscontrata sul particolato delle due centraline. L'aumento del Cromo tra il 2013 e 2014 nel particolato sospeso si è verificato peraltro in tutta l'area metropolitana torinese e non solo nelle due centraline considerate (ARPA Piemonte, 2014). Il Cromo nell'area torinese è emesso principalmente dalle industrie e il fenomeno può nella essere legato alla ripresa delle attività industriali verificatasi nell'area torinese nel 2014 dopo alcuni anni di crisi economica.

Per maggiori approfondimenti saranno calcolate anche le concentrazioni dei metalli su particolato relative ai soli mesi precedenti i prelievi urinari.

6. Conclusioni

In conclusione i risultati depongono complessivamente per la mancanza di assorbimento aggiuntivo di metalli causato dalle emissioni dell'impianto nella popolazione residente nelle adiacenze, dopo il primo anno di funzionamento.

Lo scenario di esposizione risulta articolato e include, tra i possibili determinanti, una diminuzione delle emissioni in aria di PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2 e una maggiore attenzione nelle abitudini alimentari e stili di vita (es. fumo) grazie anche ad una maggiore sensibilizzazione dei partecipanti.

L'analisi di altre possibili spiegazioni alternative ha condotto ad ipotesi poco verosimili.

Il modello di studio adottato è, comunque, appropriato per desumere l'impatto dei metalli emessi dall'impianto attraverso il confronto tra le differenze T1-T0 dei valori mediani tra i due gruppi (esposti e non esposti). Un differenziale minore negli esposti rispetto ai non esposti deporrebbe per un contributo delle emissioni del termovalorizzatore. Tuttavia, per la maggior parte dei metalli, i risultati non mettono in luce differenze significative tra i due gruppi (vedi anche fig. 3). Il test statistico ha mostrato che la differenza è significativa solo per sei metalli: Iridio, Manganese, Platino, Rodio e Antimonio presentano diminuzioni T1-T0 più marcate negli esposti rispetto ai non esposti; il Tallio presenta invece una diminuzione T1-T0 maggiore nei non esposti. Il Cromo è l'unico metallo che presenta una tendenza all'aumento nella fase T1, con media e mediana delle differenze positive ma non statisticamente significative.

A supporto dei risultati ottenuti, altri programmi di biomonitoraggio di popolazioni residenti nei dintorni di inceneritori reperibili nella letteratura scientifica non evidenziano incrementi (ma in alcuni casi una diminuzione) per la maggior parte dei metalli.

I risultati dei metalli sul gruppo di allevatori sono in linea con quelle ottenute sui residenti, nonostante il numero dei soggetti sia limitato.

Questi risultati sono da considerarsi solo una prima tappa al fine di verificare la possibile influenza delle emissioni di metalli dell'impianto nella popolazione esposta. Ulteriori valutazioni saranno condotte in occasione del successivo follow-up, programmato a giugno 2016.

7. Bibliografia

7.1. Citazioni all'interno del report

ARPA Piemonte, Dipartimento provinciale di Torino. Analisi comparata nell'area di massima ricaduta dei dati di PM10 PM2.5 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. Anno 2013. Disponibile alla pagina web http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati/2013/anno-2013 (ultimo accesso 31.10.2015)

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. Anno 2014. Disponibile alla pagina web http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati/2014/anno-2014 (ultimo accesso 31.10.2015)

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, Rh, Sb, U, Tl and W in human serum. Rapid comm mass spectr 2010;24(16):2363-2369;

Cusack M. Alastuey A, P´erez N, Pey J, Querol X. Trends of particulate matter (PM2.5) and chemical composition at a regional background site in the Western Mediterranean over the last nine years (2002–2010). Atmos. Chem. Phys., 12, 8341–8357, 2012

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

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

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

Salvador B. Artínano, Viana M.M., Alastuey A., Querol X. Multicriteria approach to interpret the variability of the levels of particulate matter and gaseous pollutants in the Madrid metropolitan area, during the 1999e2012 period. Atmospheric Environment 109 (2015) 205-216

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

7.2. Citazioni bibliografiche della tabella 5.4

[1] Health Canada. 2013. Second report on human biomonitoring of environmental chemicals in Canada: Results of the Canadian Health Measures Survey cycle 2 (2009–2011). Ottawa, ON: Health Canada.

[2] M Černá, A Krsková, M Čejchanová, V Spěváčková. Human biomonitoring in the Czech Republic: An overview 2012 Int. J. Hyg. Environ. Health 2012;215:109-119.

[3] Benes B, Spěvácková V, Smíd J, Cejchanová M, Kaplanová E, Cerná M, Gajewská V, Blatný J. Determination of normal concentration levels of Cd, Pb, Hg, Cu, Zn and Se in urine of the population in the Czech Republic. Cent Eur J Public Health. 2002;10(1-2):3-5.

[4] Fréry N, Saoudi A, Garnier R, Zeghnoun A, Falq G, Guldner L. Exposure of the French population to environmental pollutants – Environmental components of the French National Survey on Nutrition and Health (ENNS) – Initial results. Saint-Maurice (Fra): French Institute for Public Health Surveillance, September 2010, 12 p.

[5] J-P Goullé, L Mahieu, J Castermant, N Neveu, L Bonneau, Gilbert Lainé, D Bouige, C Lacroix. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values. Forensic Sci Int 2005;153:39–44.

[6] K Becker, S Kaus, C. Krause, P Lepom, C Schulz, M Seiwert, B Seifert. German Environmental Survey 1998 (GerEs III): Environmental pollutants in blood of the German population. Int. J. Hyg. Environ. Health 2002;205:297-308).

[7] P Heitland, H D Köster. Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. Clin. Chim. Acta 2006;365:310 -318.

[8] C Minoia, E Sabbioni, P Apostoli, R Pietra, L Pozzoli, M Gallorini, G Nicolaou, L Alessio, E Capodaglio. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. I. A study of 46 elements in urine, blood and serum of Italian subjects. Sci. Total Environ. 1990;95:89-105.

[9] B Bocca, A Alimonti, A Cristaudo, E Cristallini, F Petrucci, S Caroli. Monitoring of the exposure to platinum-group elements for two Italian population groups through urine analysis. Anal. Chim. Acta 2004;512:19–25.

[10] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. March 2013.

[11] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. February 2015.

[12] G Komaromy-Hiller, KO Ash, R Costa, K Howerton. Comparison of representative ranges based on U.S. patient population and literature reference intervals for urinary trace elements. Clin. Chim. Acta 2000;296: 71–90.

[13] J Morton, ETan, ELeese, J Cocker. Determination of 61 elements in urine samples collected from a non-occupationally exposed UK adult population. Toxicol. Letters 2014;231:179–193.

[14] G Schoeters, E Den Honda , A Collesa , I Lootsc , B Morrensc , H Keunec, L Bruckersd, T Nawrote, I Sioeng, S De Costerh, N Van Larebekeh,V Neleni, E Van de Mieroopi, J Vrijensj, K Croesj, K Goeyensj, W Baeyensj. Concept of the Flemish human biomonitoring programme. Int. J. Hyg. Environ. Health 2012;215:102– 108.

[15] A Castaño, J E. Sánchez-Rodríguez, A Cañas, M Esteban, C Navarro,A C. Rodríguez-García, M Arribas, G Díaz, J A. Jiménez-Guerrero. Mercury, lead and cadmium levels in the urine of 170 Spanish adults: A pilot human biomonitoring study. Int. J. Hyg. Environ. Health 2012; 215: 191–195.

[16] J. S. Tratnik, D. Mazej, A. Miklavčič, M. Krsnik, A. B. Kobal, J. Osredkar, A. S. Briški and M. Horvat. Biomonitoring of selected trace elements in women, men and children from Slovenia. E3S Web of Conferences 1, 26001 (2013); DOI: 10.1051/ e3sconf/2013012600; Owned by the authors, published by EDP Sciences, 2013.

[17] J Wha Lee, C Kwan Lee, C Seok Moon, I Ja Choi, Kee Jae Lee, S-Muk Yi, B-Ki Jang, B Yoon, D Seon Kim, D Peak, D Sul, E Oh, H Im, Hee Sook Kang, J Kim, J-Tae Lee, K Kim, K Lyoul Park, R Ahn, Seok Hwan Park, S Cheon Kim, C-Hee Park, J Heon Lee. Korea National Survey for Environmental Pollutants in the Human Body 2008: Heavy metals in the blood or urine of the Korean population. Int. J. Hyg. Environ. Health 2012; 215: 449– 457.