

Programma SPoTT  
Report n° 4

**Biomonitoraggio dei lavoratori addetti all'impianto di  
termovalorizzazione dei rifiuti di Torino**

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

Aprile 2016

Rapporto a cura di

Antonella Bena<sup>1</sup>  
Elena Farina<sup>1</sup>  
Manuela Oreggia<sup>1</sup>  
Franco Ghione<sup>2</sup>  
Marco Fontana<sup>2</sup>  
Denis Bolognese<sup>2</sup>  
Alessandro Alimonti<sup>3</sup>  
Beatrice Bocca<sup>3</sup>  
Elena De Felip<sup>3</sup>  
Anna Laura Iamiceli<sup>3</sup>  
Anna Pino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Struttura Complessa a Direzione Universitaria Servizio Sovrazonale di Epidemiologia - ASL T03

<sup>2</sup> Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale - ARPA Piemonte

<sup>3</sup> Istituto Superiore di Sanità - Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria

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 Oreggia

*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*

Carmen Di Rita

Giuseppe Salamina

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

Ennio Cadum

Maria Rowinsky

Moreno Demaria

Martina Gandini

*ARPA Piemonte - Struttura Rischio e Igiene Industriale*

Marco Fontana

Franco Ghione

Denis Bolognese

*Istituto Superiore di Sanità, Dipartimento Ambiente e connessa Prevenzione Primaria*

Alessandro Alimonti

Elena De Felip

Simona Giampaoli

Anna Laura Iamiceli

Loredana Musmeci

Beatrice Bocca

Anna Pino

Le analisi generali sui campioni biologici sono state effettuate da:

*ASL TO1 - Laboratorio centrale dell'Ospedale Oftalmico*

Simona Cifoli

Renata Murisciano

Maria Salvaggio

Maurizio Vana

Maura Zanellato

# Indice

## Sintesi del quarto rapporto di studio

### Introduzione

<b>1. Obiettivo del report 4</b> .....	<b>10</b>
1.1. Il programma SPoTT .....	11
<b>2. L'impianto</b> .....	<b>12</b>
2.1. Il percorso dei rifiuti .....	13
2.1.1. <i>Il conferimento</i> .....	13
2.1.2. <i>Lo stoccaggio</i> .....	13
2.1.3. <i>La combustione</i> .....	13
2.1.4. <i>La depurazione dei fumi</i> .....	13
2.1.5. <i>La gestione dei residui</i> .....	14
<b>3. Monitoraggio ambientale</b> .....	<b>16</b>
3.1. Analiti e metodi di analisi strumentale .....	16
3.1.1. <i>Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)</i> .....	16
3.1.2. <i>Metalli</i> .....	16
3.1.3. <i>Sostanze organiche volatili (SOV)</i> .....	16
3.1.4. <i>Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/F) e policlorobifenili (PCB)</i> .....	17
3.2. Fase ante operam.....	17
3.2.1. <i>Risultati analitici</i> .....	18
3.3. Risultati dei monitoraggi condotti nel 2015.....	19
3.3.1. <i>Risultati analitici</i> .....	21
3.4. Confronti fra le due campagne.....	28
3.5. Conclusioni .....	29
<b>4. Imprese e lavoratori operanti presso l'impianto</b> .....	<b>30</b>
4.1. Le imprese operanti in impianto .....	30
4.1.1. <i>Periodo di gestione provvisoria</i> .....	31
4.1.2. <i>Periodo di esercizio commerciale</i> .....	33
4.2. Ditte coinvolte nel biomonitoraggio umano .....	35
<b>5. Biomonitoraggio</b> .....	<b>38</b>
5.1. Disegno dello studio.....	38
5.2. Adesione allo studio.....	39

5.2.1.	<i>Ante-operam o prima dell'assunzione in impianto (fase T0)</i> .....	39
5.2.2.	<i>Dopo un anno dal primo prelievo (fase T1)</i> .....	41
5.3.	Metodi di analisi chimica.....	42
5.3.1.	<i>Metalli</i> .....	42
5.3.2.	<i>OH-IPA e cotinina</i> .....	42
5.3.3.	<i>PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB</i> .....	43
5.4.	Metodi statistici.....	47
5.4.1.	<i>Descrittive e parametri</i> .....	47
5.4.2.	<i>Metalli</i> .....	48
5.4.3.	<i>PCDD, PCDF, PCB OH-IPA e cotinina</i> .....	49
5.5.	Risultati ante-operam o prima dell'assunzione presso l'impianto (fase T0) .....	50
5.5.1.	<i>Stato di salute generale</i> .....	51
5.5.2.	<i>Metalli</i> .....	55
5.5.3.	<i>Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)</i> .....	58
5.5.4.	<i>Diossine e policlorobifenili</i> .....	62
5.6.	Risultati dopo un anno dal primo prelievo (fase T1) .....	66
5.6.1.	<i>Stato di salute generale</i> .....	66
5.6.2.	<i>Metalli</i> .....	69
5.6.3.	<i>Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)</i> .....	73
5.7.	Confronti dei risultati al primo controllo (T1) con il baseline (T0).....	80
5.7.1.	<i>Metalli</i> .....	80
5.7.2.	<i>Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)</i> .....	86
<b>6.</b>	<b>Discussione</b> .....	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusioni</b> .....	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografia</b> .....	<b>93</b>

## Sintesi del quarto rapporto di studio

Nel periodo giugno 2013 – aprile 2015 sono state condotte le prime due fasi (prima dell'assunzione e dopo un anno di lavoro) del programma di biomonitoraggio umano dei lavoratori previsto da SPoTT, il piano di sorveglianza attuato dalle ASL TO1 e TO3, in collaborazione con ARPA Piemonte e Istituto Superiore di Sanità. Il biomonitoraggio è consistito in prelievi di urine e sangue per la ricerca di metalli, metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici (OH-IPA), policlorobifenili (PCB), e diossine (PCDD, PCDF). Inoltre sono stati determinati i comuni parametri ematochimici di base utili ad un inquadramento dello stato di salute generale, oltre che una selezione di test ormonali; infine è stata eseguita la misurazione della pressione arteriosa e della funzionalità respiratoria. Con un'intervista sono stati raccolti dati anamnestici e individuali sulla storia lavorativa e sulle abitudini alimentari e voluttuarie utili per l'interpretazione dei risultati, insieme a informazioni per la valutazione della percezione del rischio. Parallelamente sono state condotte due campagne di monitoraggio ambientale per definire l'esposizione all'interno dell'impianto.

Il presente rapporto, oltre ai risultati delle singole fasi, riporta gli esiti del confronto dopo un anno dall'assunzione (T1) rispetto alle corrispondenti concentrazioni negli stessi soggetti misurate un anno prima (T0). Tutti i risultati riguardano solo i dipendenti TRM e un piccolo gruppo di lavoratori di un'impresa incaricata della sola fase di avvio, per un totale di 55 soggetti. Le analisi sono state effettuate considerando due gruppi di soggetti: non esposti (NE) se con mansioni amministrative e dirigenziali e potenzialmente esposti (PE) se tecnici e operai addetti alle linee di incenerimento. Hanno partecipato alla fase T1 46 lavoratori, cioè l'84% dei lavoratori partecipanti alla fase iniziale (T0).

Le determinazioni di PCB e diossine sono disponibili solo al baseline (prima dell'assunzione): il successivo controllo infatti è previsto dopo tre anni dall'assunzione.

### **Risultati *ante operam* o prima dell'assunzione presso l'impianto (T0)**

I 55 lavoratori coinvolti nello studio di biomonitoraggio al T0 hanno un buono stato di salute generale; in media nessuno tra i parametri ematochimici ed urinari misurati risulta fuori norma. I test di funzionalità respiratoria e renale sono paragonabili tra i lavoratori NE e PE. I test ormonali sono risultati sovrapponibili nei due gruppi, con l'eccezione dell'ACTH, risultato superiore tra i lavoratori PE, e dell'FT4, inferiore nei lavoratori PE.

Per la maggior parte dei metalli, le concentrazioni urinarie al T0 risultano simili nei lavoratori PE e nei lavoratori NE; risultano significativamente diversi tra i due gruppi di

lavoratori i livelli urinari di berillio, mercurio, iridio, e manganese. Data l'inattività dell'inceneritore in questa fase del biomonitoraggio, tali differenze sono attribuibili ai diversi stili di vita, dieta e/o esposizione ambientale (es. traffico, industrie). Considerando il totale dei lavoratori, per la maggior parte dei metalli determinati nelle urine i valori mediani sono paragonabili a quelli riscontrati in altri studi condotti su popolazione generale italiana. I valori di palladio e rodio (come già riscontrato per i residenti del programma SPoTT) sono più elevati di quelli riportati in altri studi italiani condotti su popolazione generale: ciò indica esposizione a traffico veicolare e riflette la diversa composizione dei prodotti utilizzati nelle marmitte catalitiche nelle popolazioni residenti in aree diverse e in diversi periodi nel nostro Paese. Anche i valori di tallio (come già riscontrato per i residenti del programma SPoTT) sono più elevati di quelli riportati in altri studi italiani condotti su popolazione generale; ciò riflette l'esposizione tipica dell'area metropolitana a forte sviluppo industriale da cui proviene questo gruppo di lavoratori.

Per ciò che concerne gli OH-IPA, la maggior parte dei metaboliti presenta livelli comparabili nei lavoratori PE rispetto ai lavoratori NE. Le concentrazioni urinarie di 1-idrossipirene sono più elevate nei lavoratori PE anche a parità di abitudine al fumo. Non sono state evidenziate differenze con i residenti tranne che per il 9-idrossifluorene la cui presenza è più bassa nei lavoratori anche a parità di abitudine al fumo.

I composti organo clorurati sono stati determinati su 40 lavoratori addetti alle linee del termovalorizzatore (attività che prevedono la possibilità di contatto con sostanze pericolose), tutti di sesso maschile e in età compresa tra 22 e 64 anni. I risultati delle analisi hanno evidenziato valori mediamente più bassi di quelli della popolazione residente.

### **Risultati dopo un anno dal primo prelievo (T1)**

Lo stato di salute generale dei lavoratori coinvolti nel programma non è cambiato e corrisponde a quanto ci si può attendere in una popolazione attiva della medesima età nel nostro paese. Anche la funzionalità respiratoria è rimasta costante rispetto al primo follow-up.

Le concentrazioni urinarie al T1 non presentano differenze significative tra lavoratori PE e NE per tutti i metalli, tranne il mercurio e il platino (più elevati nei lavoratori PE). Confrontando i valori nel totale dei lavoratori al T1 con quelli riscontrati nella popolazione generale SPoTT, solo la mediana del mercurio risulta leggermente più alta nei lavoratori.

I valori mediani dei metalli in entrambi i gruppi di lavoratori, dopo un anno di attività dell'inceneritore, sono al di sotto dei valori di riferimento occupazionali definiti dalla Commissione Europea (SCOEL) o dalla Associazione degli Igienisti Industriali Americani

(ACGIH). Il risultato del biomonitoraggio al T1 non evidenzia un'esposizione lavorativa rilevante e tale da dover aumentare le misure di protezione degli addetti dell'impianto.

I livelli urinari del totale degli OH-IPA ( $\Sigma_{10}\text{OH-IPA}$ ) di fine turno sono sovrapponibili con quelli di inizio turno in entrambi i gruppi di lavoratori considerati. I livelli complessivi di OH-IPA ( $\Sigma_{10}\text{OH-IPA}$ ) nelle urine di fine turno sono invece significativamente superiori nei lavoratori PE rispetto ai lavoratori NE ( $p < 0.001$ ), anche a parità di abitudine al fumo. Un'analisi specifica sul sottogruppo degli 8 gruisti della fossa rifiuti, che operano nelle aree con concentrazioni ambientali di IPA più elevate di quelle di fondo legate alle emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti, ha messo in evidenza livelli complessivi ( $\Sigma_{10}\text{OH-PAH}$ ) più elevati a fine turno rispetto a tutti gli altri lavoratori. Il 2-idrossi-naftalene presenta livelli più alti nei gruisti rispetto agli altri lavoratori anche tenendo conto dell'abitudine al fumo. Un miglioramento negli impianti di aspirazione potrebbe ridurre l'esposizione e i livelli urinari riscontrati e se ne raccomanda pertanto l'attuazione.

### **Confronto dei risultati al primo controllo (T1) con il baseline (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 diminuzione della concentrazione dei metalli è stata riscontrata sia nei lavoratori PE sia nei lavoratori NE. La differenza tra i due gruppi di lavoratori è statisticamente significativa solo per alcuni metalli: berillio (aumentato nei lavoratori NE; diminuito nei lavoratori PE); cadmio e iridio (diminuiti maggiormente nei lavoratori PE); mercurio e manganese (diminuiti nei lavoratori NE e aumentati nei PE). Tali andamenti sono analoghi a quelli riscontrati tra i residenti indagati dal programma SPoTT, con differenze statisticamente significative per alcuni metalli: mercurio e palladio mostrano aumenti tra i lavoratori mentre hanno una tendenza alla diminuzione nei residenti; viceversa per il platino. Il cromo è l'unico metallo che presenta una tendenza all'aumento nella fase T1, con mediana delle differenze positiva ma non statisticamente significativa sia nei residenti sia nei lavoratori.

Per quel che riguarda gli OH-IPA, gli andamenti nel tempo sono in diminuzione per la maggior parte dei metaboliti determinati in entrambi i gruppi di lavoratori, ma solo nei lavoratori PE e limitatamente ad alcuni OH-IPA (2-idrossi-naftalene, 1-idrossi-fenentrene, 4-idrossi-fenantrene, 1-idrossi-pirene) le diminuzioni raggiungono la significatività statistica. Tali diminuzioni non sembrano essere attribuibili all'ambiente di lavoro né sembrano essere correlate a un cambiamento di abitudini al fumo. Alla data attuale non è ancora possibile

confrontare il gruppo dei lavoratori con la popolazione generale SPoTT, per la quale non sono ancora disponibili le analisi di laboratorio.

## **Conclusioni**

In conclusione si ritiene che le variazioni nelle concentrazioni di metalli e OH-IPA misurate tra il primo controllo e il baseline nei dipendenti TRM non siano da attribuirsi all'ambiente di lavoro. Le misurazioni effettuate in ambiente di lavoro non evidenziano la presenza di un'esposizione professionale a metalli, mentre in alcuni ambienti specifici sono invece state rilevate concentrazioni di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) più elevate di quelle di fondo, legate alle emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti. Gli addetti inclusi nel biomonitoraggio di cui si presentano i risultati in questo report, tuttavia, operano in tali ambienti solo in piccola parte. Lo scenario di esposizione risulta quindi analogo a quello dei residenti e include, tra i possibili determinanti, una diminuzione delle emissioni in aria di PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e NO<sub>2</sub> e una maggiore attenzione nelle abitudini alimentari e stili di vita. Si raccomanda comunque di operare un miglioramento negli impianti di aspirazione presenti negli ambienti in cui sono state rilevate concentrazioni di IPA più elevate di quelle di fondo dal momento che nei gruisti della fossa sono state misurate concentrazioni di 2-idrossi-naftalene più alte rispetto agli altri lavoratori.

I risultati ottenuti sono coerenti con quelli rilevati in altri programmi di biomonitoraggio di lavoratori di impianti di incenerimento reperibili nella letteratura scientifica.

Mentre le analisi condotte nell'ambiente di lavoro descrivono correttamente la situazione di inquinamento presente in impianto, i risultati del biomonitoraggio sono da considerarsi provvisori. Nelle aree di maggiore esposizione operano infatti perlopiù addetti di imprese in subappalto che il programma, a causa della scarsa collaborazione dell'appaltatore, non ha ancora coinvolto. I lavoratori di tali imprese sono stati invitati a partecipare ad un controllo programmato nei mesi di aprile-maggio 2016. Per questi lavoratori, presenti in impianto per periodi limitati e comunque dipendenti dalle date di appalto, non sarà possibile effettuare confronti tra T0 e tempi successivi. Eventuali eccessi di assorbimento di inquinanti nell'ambiente di lavoro potranno emergere soltanto da confronti sincronici con PE e NE.

Per i lavoratori TRM sono invece previste ulteriori valutazioni in occasione del successivo controllo, programmato a aprile 2017.

## Introduzione

Il presente report si colloca all'interno del **Programma di Sorveglianza della Popolazione nei pressi del Termovalbrizzatore di Torino** (*Programma SPoTT*) e riguarda i lavoratori dell'impianto di termovalorizzazione del Gerbido. Responsabile della linea di attività è la SC a DU – Servizio di Epidemiologia di riferimento regionale dell'ASL TO3 insieme alla SS Rischio Industriale ed Igiene industriale di ARPA Piemonte e all'Istituto Superiore di Sanità.

Obiettivo del documento è la descrizione delle esposizioni rilevate in impianto e delle condizioni di salute della coorte di lavoratori nel periodo compreso tra l'inizio dell'attività dello stabilimento e il 31 dicembre 2015. Per il sottogruppo di lavoratori che hanno partecipato al biomonitoraggio, vengono descritti i risultati relativi alla determinazione dei parametri ematologici e urinari di base, degli idrocarburi policiclici aromatici (analizzati come metaboliti idrossilati) e dei metalli determinati nelle urine e del piombo nel sangue. Sono messi a confronto i risultati relativi ai prelievi effettuati prima dell'assunzione presso l'impianto con quelli misurati dopo 1 anno. Sono infine presentati i risultati relativi a diossine e policlorobifenili, determinati solo nel personale addetto alle linee prima dell'assunzione.

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

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

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 ([rld@epi.piemonte.it](mailto:rld@epi.piemonte.it)).

## 1. Obiettivo del report 4

Il report 4 presenta i risultati delle attività condotte da SPoTT sui lavoratori dell'inceneritore di Torino. Sono descritti:

- le imprese e i lavoratori operanti in impianto da aprile 2013 a dicembre 2015;
- i risultati del monitoraggio delle esposizioni ambientali rilevate nel 2013 e nel 2015 ed un confronto tra i due;
- i risultati dello studio di biomonitoraggio sui lavoratori TRM e delle ditte coinvolte nella fase di avvio:
  - o parametri ematochimici di base, metalli e idrocarburi policiclici aromatici nelle urine, piombo nel sangue, rilevati prima dell'accensione dell'impianto (o comunque prima della presa di servizio), dopo un anno di lavoro ed un confronto tra i due;
  - o diossine e policlorobifenili nel sangue prima della presa di servizio presso l'impianto.

Nei Report 1<sup>a</sup> e 2<sup>b</sup> sono stati già pubblicati i risultati delle determinazioni biologiche effettuate prima dell'entrata in funzione del termovalorizzatore. Per quanto riguarda i metalli i risultati sui lavoratori erano parziali, riguardando solo 23 addetti già presenti in impianto a giugno 2013. Mano a mano che TRM ha assunto nuovi lavoratori, questi sono stati progressivamente invitati a partecipare allo studio di biomonitoraggio. Nel presente report si riporta un'analisi complessiva riguardante 55 lavoratori che hanno aderito allo studio.

---

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> 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

## 1.1. Il programma SPoTT

SPoTT è un sistema di sorveglianza che ha 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.

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.

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 attività riguardanti i lavoratori comprendono:

- il monitoraggio della coorte attraverso la raccolta e l'aggiornamento periodico di informazioni anagrafiche e lavorative degli addetti al termovalorizzatore;
- il monitoraggio delle esposizioni ambientali all'interno dell'impianto;
- il monitoraggio di biomarcatori di esposizione (analogo a quello previsto per lo studio campionario di popolazione).

## 2. L'impianto

Costruito tra il 2010 e il 2013 in località Gerbido, il termovalorizzatore di Torino è stato inizialmente autorizzato a 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 incenerisce due tipi di rifiuti:

- rifiuti urbani indifferenziati a valle della raccolta differenziata
- rifiuti speciali assimilabili agli urbani, solo ad eventuale complemento degli urbani, fino ad un massimo di 124 mila tonnellate all'anno

L'impianto si articola su tre linee di combustione parallele e gemelle, che hanno in comune il sistema di stoccaggio dei rifiuti in ingresso e dei rifiuti prodotti, un impianto termico a vapore per la produzione di elettricità/calore e un camino. E' inoltre presente una palazzina dei servizi amministrativi, una per lo staff d'impianto, un magazzino, un'officina e l'edificio con la pesa. Nel presente report vengono descritte le aree dell'impianto di maggior interesse ai fini dell'obiettivo dello studio (fig. 2.1. - fonte TRM)

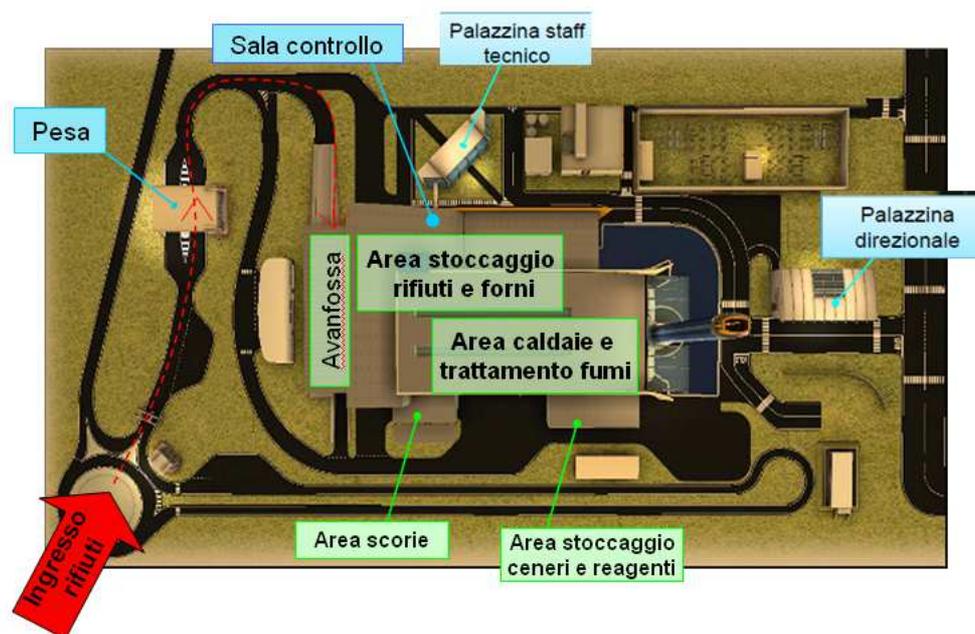


Fig. 2.1. Planimetria dell'area dell'impianto con localizzazione delle aree di maggior interesse per il presente Report

## 2.1. Il percorso dei rifiuti

### 2.1.1. *Il conferimento*

Il conferimento dei rifiuti all'impianto avviene attraverso i camion di raccolta.

All'ingresso dell'impianto, gli automezzi sono sottoposti ad un controllo automatico della radioattività attraverso un sistema a portale: in caso di superamento della soglia prevista, i mezzi vengono bloccati e sottoposti ad ulteriori controlli. Successivamente i veicoli passano alla pesa dove viene registrato il carico trasportato. La pesatura degli automezzi di conferimento è effettuata sia in ingresso sia in uscita dall'impianto. I rifiuti in ingresso subiscono un controllo a campione che ne verifica l'appropriatezza di conferimento.

I camion giungono poi all'avanfossa, un grande capannone posto in lieve depressione per evitare la dispersione di cattivi odori; qui, attraverso 10 apposite aperture, i camion scaricano il loro contenuto direttamente nella fossa di accumulo dei rifiuti.

### 2.1.2. *Lo stoccaggio*

All'interno della fossa di accumulo, i rifiuti sono mescolati da due benne a polipo – sorrette ciascuna da un carroponete – allo scopo di rendere più omogeneo il combustibile. Ogni benna preleva i rifiuti e li trasferisce nelle tre tramogge di carico (una per ciascuna linea di combustione) attraverso le quali i rifiuti giungono nelle camere di combustione. Su uno dei lati corti della fossa e in posizione rialzata rispetto ad essa, è posta la cabina dei gruisti che, attraverso una grande vetrata, hanno un'ampia visione della stessa e manovrano le benne.

### 2.1.3. *La combustione*

Il rifiuto, dopo essere entrato in caldaia dalla tramoggia di carico, è spinto su una griglia mobile che, attraverso un movimento meccanico continuo, assicura una costante miscelazione degli strati di rifiuti e consente una combustione più uniforme. Il ciclo di combustione dura all'incirca 1 ora alla temperatura di circa 1200°C.

### 2.1.4. *La depurazione dei fumi*

I fumi sprigionati dalla combustione, prima di poter essere immessi in atmosfera, devono essere depurati. Ciò avviene attraverso 4 passaggi:

- un elettrofiltro a 3 stadi per l'abbattimento delle polveri di caldaia (particolato solido); le piastre dell'elettrofiltro vengono periodicamente ripulite con un sistema meccanico a percussione che fa cadere le ceneri raccolte nelle tramogge sottostanti. Tali ceneri sono stoccate in sili appositi (insieme a quelle provenienti dalla caldaia) ed inviate agli impianti di smaltimento/recupero tramite automezzi;
- un reattore a secco per l'abbattimento di gas acidi, diossine, furani e metalli pesanti; i fumi vengono fatti reagire con bicarbonato di sodio e carboni attivi e si producono CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> che vengono espulsi dal camino o raccolti come residui solidi pericolosi (PSR o prodotti sodici residui) dal successivo filtro a maniche;
- un gruppo di filtri a maniche per raccogliere il PSR prodotto nel reattore a secco e i prodotti solidi non trattiene dall'elettrofiltro; la pulizia delle maniche avviene in maniera periodica tramite impulsi d'aria compressa in contropressione che scuotono le maniche fino a far cadere le polveri nelle tramogge sottostanti. Il PSR è stoccato in appositi sili o big bags e periodicamente prelevato per l'invio al recupero;
- un reattore catalitico di abbattimento degli ossidi di azoto (SCR); qui i fumi provenienti dal filtro a maniche reagiscono con gas contenenti ammoniaca. Gli NO<sub>x</sub> presenti nei fumi reagiscono con l'ammoniaca grazie a dei catalizzatori (ossidi di vanadio, titanio e tungsteno) presenti sulle superfici ceramiche del reattore.

Il sistema di trattamento fumi termina con il ventilatore di aspirazione, che mantiene in depressione l'intera linea a partire dalla fossa rifiuti.

Dopo essere stati depurati e analizzati, i fumi vengono emessi in atmosfera tramite il camino dove si convogliano le canne fumarie delle tre linee.

### 2.1.5. *La gestione dei residui*

Il processo di termovalorizzazione genera residui che derivano dalla combustione (scorie e residui ferrosi pari al 21% dei rifiuti in ingresso) e dalla depurazione dei fumi (ceneri e PSR).

Le scorie di combustione sono raccolte in fondo alla griglia e convogliate in apposite "culle" piene d'acqua dove vengono spente e raffreddate; quindi, attraverso dei nastri trasportatori, vengono stoccate in una fossa dedicata e da qui caricate su automezzi per essere trattate in appositi impianti di inertizzazione. Lungo il percorso verso la fossa di raccolta, alcune elettrocalamite separano dalle scorie eventuali residui ferrosi (circa 2% dei rifiuti), che vengono stoccati a parte per poter essere riciclati.

Le ceneri leggere (circa 2%), invece, derivano dall'attività dell'elettrofiltro mentre i PSR si formano in seguito alla reazione a secco e vengono trattenuti dal filtro a maniche; entrambi questi residui sono classificati come pericolosi e vengono stoccati in appositi sili o big bags fino a quando, periodicamente, vengono avviati a recupero o a smaltimento.



### 3. Monitoraggio ambientale

La Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale di ARPA Piemonte che collabora attivamente nella definizione dell'esposizione all'interno dell'impianto, ha attualmente effettuato due campagne di campionamento:

- in fase ante operam (aprile-giugno 2013)
- in periodo sovrapponibile con la seconda fase di biomonitoraggio dei lavoratori "esposti" TRM (aprile -maggio 2015).

È prevista un'ulteriore campagna di campionamenti in periodo sovrapponibile con l'ultima fase di biomonitoraggio.

#### 3.1. Analiti e metodi di analisi strumentale

##### 3.1.1. Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Vengono prelevati sia in fase particellare sia in fase vapore i seguenti analiti:

*acenaftilene, acenaftene, antracene, benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(g,h,i)perilene, benzo(k)fluorantene, crisene, dibenzo(a,h)antracene, fenantrene, fluorantene, fluorene, indeno(1,2,3-cd)pirene, naftalene, pirene.*

Metodo di analisi: cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) con rivelatore fluorimetrico.

##### 3.1.2. Metalli

Sono oggetti di determinazione:

*arsenico, cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo, rame, selenio, vanadio, zinco, e mercurio.*

Prelievo su membrana filtrante.

Metodo di analisi: spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP/MS).

##### 3.1.3. Sostanze organiche volatili (SOV)

Le Sostanze Organiche Volatili oggetto di determinazione sono:

*benzene, toluene, etilbenzene, o-m-p-xileni, stirene, isopropilbenzene, n-propilbenzene, 1,3,5-trimetilbenzene, 1,2,4-trimetilbenzene.*

Il prelievo viene effettuato mediante: canister, fiale e campionatori passivi.

Metodo di analisi: gascromatografia-spettrometria di massa (GC/MS).

#### 3.1.4. *Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/F) e policlorobifenili (PCB)*

Si sono determinati i congeneri utilizzati internazionalmente per il calcolo delle TEQ, ovvero:

*7 congeneri delle diossine 2,3,7,8-tetraclorosostituite ed i 10 congeneri di furani 2,3,7,8-tetraclorosostituiti; 12 congeneri di policlorobifenili ad azione diossina-simile (DL-PCB)*

Prelievo con sistema "Ecopuff".

Metodo di analisi: gascromatografia spettrometria di massa ad alta risoluzione (HRGC-MS).

## 3.2. Fase ante operam

Il primo campionamento ambientale all'interno dell'impianto è avvenuto nella fase precedente all'avvio dell'attività con la presenza significativa di numerosi cantieri nell'area del termovalorizzatore. Inoltre, in fase di gestione provvisoria, poiché le mansioni previste erano ancora mancanti, si è valutato utile il prelievo all'interno dell'impianto nelle postazioni che sarebbero successivamente state occupate dal personale preposto. Per lo stesso motivo non sono stati fatti campionamenti personali ma soltanto su postazione fissa.

In particolare:

1. area avanfossa per la determinazione di: IPA, metalli e SOV.
2. cabina gruista/sala controllo per IPA, metalli, Sostanze Organiche Volatili (SOV), Policlorobifenili (PCB) e Diossine.
3. area sili/cenere/reagenti per la determinazione di PCB e Diossine.

Per un confronto con il fondo ambientale ed in particolare per valutare l'eventuale contributo delle emissioni dei veicoli transitanti sulla Tangenziale di Torino, si sono eseguiti prelievi outdoor presso la centralina della qualità dell'aria di Beinasco (TO) e in un punto intermedio tra la grande arteria e l'impianto TRM (strada delle Lose).

### 3.2.1. Risultati analitici

#### Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

In tutte le postazioni si sono determinati gli IPA in fase vapore e particellare. Gli IPA hanno, tra le quattro postazioni, diversa origine.

Le concentrazioni rilevate nelle due postazioni esterne (tabella 3.1) sono rappresentative dell'inquinamento di fondo dell'area.

Tab. 3.1 concentrazioni degli IPA rilevati nella campagna di campionamenti ante operam relativa alle due postazioni *outdoor*

	CABINA QUALITA' DELL'ARIA DI BEINASCO		STRADA DELLE LOSE	
	ng/m <sup>3</sup>			
ACENAFTENE	<	5,07	<	5,73
ACENAFTILENE	<	5,07	<	5,73
ANTRACENE		0,03	<	0,03
BENZO(a)ANTRACENE		<b>0,04</b>		<b>0,05</b>
BENZO(a)PIRENE		<b>0,02</b>		<b>0,05</b>
BENZO(b)FLUORANTENE		<b>1,11</b>		<b>0,07</b>
BENZO(g,h,i)PERILENE		<b>2,0</b>		<b>2,0</b>
BENZO(k)FLUORANTENE	<	0,03	<	0,03
CRISENE		0,21	<	0,03
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	<	0,03	<	0,03
FENANTRENE		<b>2,4</b>		<b>2,4</b>
FLUORANTENE		<b>1,5</b>		<b>1,5</b>
FLUORENE	<	5,1	<	5,7
INDENO(1,2,3-cd)PIRENE	<	<b>0,03</b>		<b>0,03</b>
NAFTALENE	<	5,1	<	5,7
PIRENE		<b>0,4</b>		<b>0,4</b>
<b>IPA TOTALI</b>		<b>7,7</b>		<b>7,7</b>
<b>IPA R45</b>		<b>1,4</b>		<b>0,2</b>

Le due postazioni indoor, area avanfossa e sala controllo/gruista, erano in fase ante operam notevolmente influenzate dalle attività cantieristiche e dalla presenza umana. In particolare, gli inquinanti determinati nella postazione "avanfossa" (antracene, benzo(g,h,i)perilene, crisene e fenantrene) sono tipici delle emissioni veicolari dei mezzi

d'opera presenti, mentre i dati rilevati nella "sala controllo/gruista" possono invece essere riconducibili ad ambienti confinati dove la fonte principale è attribuibile al fumo di sigaretta.

### Metalli

Tutti i metalli determinati sono risultati inferiori al limite di rilevabilità strumentale ad esclusione dell'area "avanfossa", dove è stata rilevata la presenza di alcuni metalli correlati ad alcune attività di carpenteria attive durante il campionamento (Cr, Ni, Cu, Zn).

In tutte le altre postazioni i metalli sono in tracce inferiori o non rilevabili.

### Sostanze Organiche Volatili (SOV)

I SOV sono tutti presenti in tracce e al limite della rilevabilità strumentale. Tra tutte le SOV ricercate nelle quattro postazioni, le concentrazioni più elevate sono quelle riferite alla "sala controllo/gruista".

Inoltre, nell'area avanfossa si è rilevata la presenza di molti idrocarburi tipici delle emissioni veicolari.

### Diossine/Furani e PCB

Le diossine e i PCB, nei due punti di prelievo, hanno concentrazioni dello stesso ordine di grandezza rilevate nell'area circostante.

## **3.3. Risultati dei monitoraggi condotti nel 2015**

La seconda campagna di prelievi ambientali è stata effettuata tra aprile e giugno 2015, contestualmente ai prelievi per il biomonitoraggio dei lavoratori sulle linee.

In aggiunta agli analiti precedentemente campionati, si è ritenuto utile monitorare anche: polveri inalabili, ammoniaca, acido solfidrico.

In questa fase, accanto alle postazioni fisse, rappresentative dell'esposizione dell'addetto che lavora in tali aree e non solo dell'inquinamento diffuso nei diversi ambienti, si sono effettuati campionamenti personali.

Le mansioni osservate nella presente campagna sono:

- ◇ *Addetto pesa*. La postazione di lavoro è una piccola cabina vetrata, posta tra le corsie di accesso e uscita, da cui il personale gestisce l'entrata e l'uscita dei mezzi.

La mansione viene svolta per la totalità del turno lavorativo. L'attività è svolta su due turni: dalle 07,00 alle 15,00 e dalle 15,00 alle 23,00.

- ◇ Addetto avanfossa. L'addetto opera, per la totalità del turno, all'interno dell'area avanfossa costituita da un grande locale su cui si affacciano le 10 porte di scarico dei rifiuti. L'operatore indirizza i mezzi di trasporto dei rifiuti, da piccoli compattatori ai grandi tir, alle singole porte. Inoltre con l'utilizzo di pala gommata e macchina pulitrice mantiene l'area sgombra dei rifiuti caduti dai mezzi durante le operazioni di scarico. L'attività è svolta su due turni che seguono l'orario, sopra esposto, d'ingresso dei mezzi all'impianto.
- ◇ Gruista avanfossa. Sotto il controllo del Capo Turno alimenta di rifiuti, con gru a polipo, le varie linee di combustione. Questa mansione lo occupa per la quasi totalità del turno. Inoltre, secondo necessità, utilizza la gru rompi ponte nella fossa e le piccole gru manuali poste in alto sopra le tramogge delle linee (attività molto variabile come tempo ma non così saltuaria). L'attività è svolta su tre turni: dalle 07,00 alle 15,00, dalle 15,00 alle 23,00 e dalle 23,00 alle 07,00.
- ◇ Capo Turno - Quadrista. Controlla e coordina tutte le attività per il buon funzionamento delle linee di combustione, le manutenzioni programmate e le emergenze. Si avvale di più figure con diverse mansioni. La sua postazione di lavoro abituale è la Sala Controllo. L'attività prevede la piena copertura della giornata con i tre turni sopra indicati.
- ◇ Operatore di Giro. L'addetto, oltre a collaborare con il Capo Turno in diverse operazioni, interviene sull'impianto, assiste i vari manutentori negli interventi (attività molto variabile come tempo, non quantificabile). Se non operante sull'impianto, la sua postazione di lavoro abituale è la Sala Controllo. L'attività prevede la piena copertura della giornata con i tre turni sopra indicati.
- ◇ Addetto Sili. Opera prevalentemente nell'area sili. Assiste allo scarico delle materie prime in ingresso e al carico in uscita dei residui pulverulenti (ceneri e PSR). Movimenta, con muletto, i big bag delle ceneri e dei PSR nell'area di deposito temporaneo o sui camion adibiti al conferimento a impianto finale. Le operazioni sono svolte su due turni: dalle 07,00 alle 15,00 e dalle 15,00 alle 23,00.
- ◇ Addetto Gruista Scorie. Con gru a polipo movimenta le scorie, ferrose e non, dall'interno delle due vasche di raccolta ai camion adibiti al conferimento a

impianto finale. Le operazioni sono svolte su due turni: dalle 07,00 alle 15,00 e dalle 15,00 alle 23,00.

- ◇ Impiegato d'ufficio. La sua attività si svolge esclusivamente in ufficio.
- ◇ Impiegato d'ufficio tecnico. La sua mansione viene svolta principalmente in ufficio. Saltuariamente accede per sopralluoghi in diverse aree dell'impianto.

Si riassume, nella tabella 3.2, l'insieme delle postazioni e degli analiti determinati.

Tab. 3.2. Analiti determinati nelle singole postazioni indoor durante la campagna di monitoraggio 2015

	Polveri inalabili	Metalli	Ammoniaca	Acido Solfidrico	Idrocarburi Policiclici Aromatici (vapore)	Idrocarburi Policiclici Aromatici (particellare)	Sostanze Organiche Volatili	Sostanze Organiche Volatili (passivi)	PCB e PCDD/F
AREA SCORIE - SALA GRUISTA	X	X			X	X			
AREA SCORIE - ZONA VASCHE	X	X			X	X			X
AREA SILI CENERI - PSR	X	X			X	X			X
AREA SILI - ADDETTO					X	X			
AREA PESA - CABINA OPERATORE	X	X	X	X	X	X	X	X	
AREA AVANFOSSA - ADDETTO	X	X			X	X	X		
AREA AVANFOSSA - PORTA 10	X	X	X	X	X	X	X	X	
SALA GRUISTA FOSSA	X	X	X	X	x	x	X	X	
SALA CONTROLLO	X	X			x	x	X		
PALAZZINA DIREZIONE	X	X			X	X	X	X	
FONDO GRIGLIA DEVIATORE LINEA 2			X	X					
UFFICIO PALAZZINA STAFF					X	X	X	X	
OPERATORE DI GIRO					X	X			
OPERATORE DI GIRO					X	X			
CABINA QUALITA' DELL'ARIA DI BEINASCO	X	X			X	X	*		*

Nella stessa campagna di monitoraggio si sono determinati PCB e diossine nelle ceneri e nel PSR.

I rifiuti prodotti nel 2014 sono stati: ceneri circa 9000 tonnellate e PSR circa 5000 tonnellate (dati forniti da TRM).

### 3.3.1. Risultati analitici

#### Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

I risultati dei campionamenti delle due fasi, particellare e vapore, indicano che le emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti in ingresso o in uscita creano un inquinamento elevato.

Le concentrazioni di IPA determinati nella palazzina direzionale e nella palazzina staff presentano valori simili a quelli di fondo nell'area limitrofa all'impianto.

Le concentrazioni rilevate nelle varie aree di lavoro sono diverse e rappresentative delle mansioni più direttamente coinvolte nelle varie fasi dell'impianto. Si sono riscontrate concentrazioni decisamente più elevate di quelle di fondo d'area, nell'area avanfossa, nell'addetto a tale area, nella sala gruista fossa e nell'area scorie. Sono significative anche le concentrazioni degli operatori di giro.



Tab. 3.3. concentrazioni degli IPA rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti 2015 (somma delle 2 fasi)

	PALAZZINA DIREZIONE - 2° piano	AREA PESA - CABINA	AREA AVANFOSSA	ADDETTO AVANFOSSA	AREA SILI - CENERI PSR	ADDETTO AREA SILI	AREA SCORIE	AREA SCORIE - SALA GRUISTA	SALA CONTROLLO	SALA GRUISTA FOSSA	UFFICIO PALAZZINA STAFF	OPERATORE GIRO "A"	OPERATORE GIRO "B"	CABINA QUALITA' DELL'ARIA DI BEINASCIO
	(ng/m <sup>3</sup> )													
ACENAFTENE	<5,33	<6,18	<6,30	<7,14	<6,17	<11,19	<6,00	<6,00	<6,52	<b>18,83</b>	<10,11	<19,98	<10,93	<6,36
ACENAFTILENE	<5,33	<6,18	<b>6,93</b>	<7,14	<6,17	<11,19	<6,00	<6,00	<6,52	<6,28	<10,11	<19,98	<10,93	<6,36
ANTRACENE	<b>0,07</b>	<b>0,23</b>	<b>1,38</b>	<b>3,41</b>	<b>0,11</b>	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>	<b>0,28</b>	<b>0,71</b>	<b>0,21</b>	<b>0,57</b>	<b>0,55</b>	<b>0,11</b>
BENZO(a)ANTRACENE	<0,03	<0,03	<b>1,23</b>	<b>0,29</b>	<0,03	<0,06	<0,03	<0,03	0,03	0,10	<0,05	<0,10	<0,05	<0,03
BENZO(a)PIRENE	<0,03	<b>0,14</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<0,03	<0,06	<b>0,16</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	0,04	0,08	0,05	<b>0,03</b>
BENZO(b)FLUORANTENE	0,02	<b>0,25</b>	<b>0,26</b>	<b>0,34</b>	<0,03	<0,06	0,17	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	0,12	<b>0,10</b>	0,15	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>
BENZO(g,h,i)PERILENE	<b>0,54</b>	<b>0,69</b>	<b>3,00</b>	0,58	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	0,43	0,02	<b>0,44</b>	<b>0,52</b>	0,26	0,26	<b>0,32</b>	<b>0,08</b>
BENZO(k)FLUORANTENE	<0,03	<b>0,08</b>	<b>0,38</b>	<0,09	<0,03	<0,06	0,05	0,03	0,04	0,08	0,02	0,06	<0,05	<0,03
CRISENE	<0,03	<0,03	<0,03	<0,06	<0,03	<0,06	<0,03	<0,03	<0,04	<0,03	<0,05	<0,10	<0,05	<b>0,02</b>
DIBENZO(a,h)ANTRACENE	<0,03	<0,03	<0,03	<0,06	<0,03	<0,06	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,05	<0,10	<0,09	<0,03
FENANTRENE	<b>1,53</b>	<b>5,28</b>	<b>22,58</b>	<b>16,95</b>	<b>2,85</b>	<b>5,67</b>	<b>20,20</b>	<b>7,16</b>	<b>10,28</b>	<b>18,13</b>	0,59	<b>9,30</b>	<b>13,28</b>	<b>1,51</b>
FLUORANTENE	<b>1,66</b>	<b>0,31</b>	0,36	0,41	<b>0,89</b>	<b>2,21</b>	<b>2,05</b>	<b>2,40</b>	<b>3,76</b>	<b>3,13</b>	<b>1,96</b>	<b>2,65</b>	<b>4,32</b>	<b>0,64</b>
FLUORENE	<5,33	<6,18	<6,30	<11,47	<6,17	<11,19	<6,00	<6,44	<6,52	<b>10,36</b>	<10,11	<19,98	<17,56	<6,36
INDENO(1,2,3-cd)PIRENE	<0,03	<0,03	<0,03	<0,06	<0,03	<0,06	<0,03	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	<0,10	<0,58	<0,03
NAFTALENE	<5,33	<6,18	<b>63,03</b>	<b>48,20</b>	<6,17	<11,19	<6,00	<6,44	<6,52	<b>34,53</b>	10,11	<19,98	<17,56	<6,36
PIRENE	<b>1,73</b>	<b>1,64</b>	<b>2,31</b>	<b>3,05</b>	<b>1,25</b>	<b>2,59</b>	<b>2,95</b>	<b>1,90</b>	<b>2,59</b>	<b>1,84</b>	<b>1,50</b>	<b>2,71</b>	<b>3,66</b>	<b>0,95</b>
IPA TOTALI	<b>5,55</b>	<b>8,42</b>	<b>101,75</b>	<b>73,62</b>	<b>5,26</b>	<b>10,91</b>	<b>26,23</b>	<b>11,88</b>	<b>17,66</b>	<b>88,26</b>	<b>4,68</b>	<b>15,78</b>	<b>22,29</b>	<b>3,39</b>

## Polveri e metalli

Le concentrazioni di polveri inalabili rilevate nell'area scorie presentano valori tripli rispetto a quello del fondo ambientale.

La tabella 3.4. mostra che quasi tutti i metalli determinati sono risultati inferiori al limite di rilevabilità strumentale. Tracce di alcuni metalli sono stati riscontrati presso l'area scorie.

Tab. 3.4. concentrazioni dei metalli rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali 2015

	AREA SCORIE - SALA GRUISTA	AREA SCORIE - ZONA VASCHE	AREA SILI - CENERI PSR	AREA PESA - CABINA OPERATORE	AREA AVANFOSSA - ADDETTO	AREA AVANFOSSA - PORTA 10	SALA GRUISTA FOSSA	SALA CONTROLLO	PALAZZINA STAFF	UFFICIO PALAZZINA STAFF	CABINA QUALITA' DELL'ARIA DI BEINASCO
<b>Polveri inalabili (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,18</b>	<b>0,66</b>	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	ANNULLATO	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>
	<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>										
Arsenico	<0,09	<0,11	<0,09	<0,10	<0,15	<0,10	<0,11	<0,11	ANNULLATO	<0,13	<0,11
Cadmio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01
Cobalto	<0,09	<0,11	<0,09	<0,10	<0,15	<0,10	<0,11	<0,11		<0,13	<0,11
Cromo	<0,44	<0,55	<0,45	<0,48	<0,73	<0,49	<0,53	<0,54		<0,64	<0,56
Nichel	<b>0,79</b>	<0,11	<0,11	0,10	<0,15	<b>0,49</b>	<b>0,14</b>	<b>0,54</b>		<0,13	<0,11
Piombo	0,09	<b>0,36</b>	<b>0,11</b>	0,10	<0,15	<0,10	<b>0,11</b>	<b>0,14</b>		<0,13	<0,11
Rame	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,57</b>	<b>0,51</b>	<b>0,77</b>	<b>0,57</b>	<b>0,61</b>	<b>0,59</b>		<b>0,67</b>	<b>0,63</b>
Selenio	0,09	<0,11	<0,09	0,10	<0,15	<0,10	<0,11	<0,11		<0,13	<0,11
Vanadio	0,09	<0,11	<0,09	0,10	<0,15	<0,10	<0,11	<0,11		<0,13	<0,11
Zinco	<b>0,79</b>	<b>0,55</b>	<b>0,96</b>	0,1	<0,1	<0,1	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>		<0,1	<b>1,56</b>
Mercurio	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02		<0,03	<0,02

## Sostanze organiche volatili (SOV)

Le concentrazioni rilevate sono prossime al limite di rilevabilità strumentale (tabella 3.5).

La postazione con le concentrazioni più rilevanti è quella dell'area avanfossa, giustificata dall'elevata presenza di mezzi in movimento in un ambiente semi confinato.

Tab. 3.5. concentrazioni dei SOV rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali 2015

	PALAZZINA DIREZIONE	AREA PESA - CABINA OPERATORE	AREA AVANFOSSA - PORTA 10	AREA AVANFOSSA - ADDETTO	PALAZZINA STAFF	SALA GRUISTA FOSSA	SALA CONTROLLO	CABINA QUALITA' DELL'ARIA DI BEINASCO
	<b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>							
Benzene	<0,001	<0,001	<b>0,002</b>	<0,006	<0,002	<0,002	0,002	<b>0,0002</b>
Toluene	<b>0,007</b>	<b>0,017</b>	<b>0,016</b>	<b>0,006</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	
Etilbenzene	<0,001	<0,001	<b>0,005</b>	<0,006	<0,002	<0,002	0,002	
o, m, p - Xilene	<b>0,005</b>	<0,004	<b>0,005</b>	<0,017	<0,005	<0,005	0,005	
Stirene	<0,001	<0,001	<0,001	<0,006	<0,002	<0,002	0,002	
isopropilbenzene (cumene)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,006	<0,002	<0,002	0,002	
n-propilbenzene	<0,001	<0,001	<0,001	<0,006	<0,002	<0,002	<0,002	
1,3,5 - trimetilbenzene	<0,001	<0,001	<0,001	<0,006	<0,002	<b>0,002</b>	<0,002	
1,2,4 - trimetilbenzene	<0,001	<0,001	<b>0,002</b>	<0,006	<0,002	<b>0,004</b>	<0,002	
p-isopropiltoluene	<0,001	<0,001	<0,001	<0,006	<0,002	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	

### Ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e acido solfidrico (H<sub>2</sub>S)

Tutte le concentrazioni, in tutte le postazioni di prelievo, sono risultate decisamente inferiori ai relativi TLV-TWA (tabella 3.6).

Tab. 3.6. Concentrazioni di NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali 2015

	AREA PESA - CABINA OPERATORE	AREA AVANFOSSA	FONDO GRIGLIA - DEVIATORE LINEA 2	SALA GRUISTA
	<b>µg/m<sup>3</sup></b>			
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	<b>15,7</b>	<b>9,9</b>	annullato	<b>20,7</b>
Acido Solfidrico (H <sub>2</sub> S)	< 7,5	< 7,5	< 7,5	< 7,5

## Diossine/Furani e PCB

Le postazioni fisse per il campionamento di PCDD/DF e PCB sulle polveri aerodisperse sono state l'area sili e l'area scorie (tabelle 3.7.e 3.8.).

I valori riscontrati sono ampiamente inferiori a quelli riportati nel parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (ISS 1998).

Le concentrazioni di PCDD/DF, e di PCB determinate nei campioni di ceneri e PSR, indicano che le percentuali più significative sono quelle relative alle ceneri. Tenendo conto dei quantitativi di ceneri e PSR prodotte dall'impianto nel 2014 (dati TRM) si stima che la produzione annua di Diossine e PCB sia di qualche decina di grammi.

Tab. 3.7. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCDD/F rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali maggio 2015

	AREA SILI	AREA SCORIE	STAZIONE ALDO MEI
Congeneri	(fg/m <sup>3</sup> )		
2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDD	<4,54	<4,72	<0.845
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	<8,72	<9,07	<0.845
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	<8,72	<9,07	<0.867
1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDD	71,2	<9,07	<0.867
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	<8,72	<9,07	<1.49
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	461	134	<1.69
O <sub>8</sub> CDD	384	361	25,0
2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDF	<4,73	<4,92	2,86
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	13,4	16,5	2,41
2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	38,5	28,7	4,40
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	25,1	<7,95	3,06
1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	<6,28	20,9	2,29
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	<4,55	18,3	3,18
2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	<10,0	<10,4	1,49
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	125	79,2	9,45
1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	<6,87	<7,14	3,85
O <sub>8</sub> CDF	97,1	57,5	4,45
PCDD+PCDF fg <sub>1</sub> -TEQ/m <sup>3</sup>	42,5	28,9	4,58
PCDD+PCDF fg <sub>WHO2005</sub> -TEQ/m <sup>3</sup>	36,4	24,7	3,84

Tab. 3.8. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCB rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali maggio 2015

		AREA SILI	AREA SCORIE	STAZIONE ALDO MEI
	Congenere	(pg/m <sup>3</sup> )		
77	3,3',4,4'-TETRA-CB	0,603	0,578	0,369
81	3,3',4,5-TETRA-CB	<0,126	<0,131	0,00930
126	3,3',4,4',5-PENTA-CB	<0,236	<0,246	0,0220
169	3,3',4,4',5,5'- ESA-CB	<0,121	<1,126	<0,00361
105	2,3,3',4,4'-PENTA-CB	3,62	3,03	1,73
114	2,3,4,4',5-PENTA-CB	0,282	<0,238	0,122
118	2,3',4,4',5-PENTA-CB	11,2	7,51	5,14
123	2,3,4,4',5-PENTA-CB	<0,354	<0,368	0,0900
156	2,3,3',4,4',5- ESA-CB	0,796	0,651	0,261
157	2,3,3',4,4',5'- ESA-CB	<0,240	<0,25	0,0543
167	2,3',4,4',5,5'- ESA-CB	0,309	<0,298	0,139
189	2,3,3',4,4',5,5'- EPTA-CB	<0,252	<0,262	0,0170
<b>totale PCB DL (pg WHO<sub>2005</sub>-TEQ/m<sup>3</sup>)</b>		<b>0,0142</b>	<b>0,0145</b>	<b>0,00252</b>
28	2,4,4'-TRI-CB	18,8	21,6	2,51
52	2,2',5,5'-TETRA-CB	25,1	19,3	5,32
101	2,2',4,5,5'-PENTA-CB	24,1	13,8	10,7
138	2,2',3,4,4',5'- ESA-CB	10,9	6,2	4,22
153	2,2',4,4',5,5'- ESA-CB	18,7	10,3	7,64
180	2,2',3,4,4',5,5'- EPTA-CB	5,37	2,95	1,70
<b>totale PCB marker (pg /m<sup>3</sup>)</b>		<b>103</b>	<b>74,3</b>	<b>32,1</b>
95	2,2',3,5,6-PENTA-CB	20,5	13,4	9,29
99	2,2',4,4',5-PENTA-CB	7,80	4,77	3,74
110	2,3,3',4',6-PENTA-CB	16,0	9,32	7,63
128	2,2',3,3',4,4'- ESA-CB	1,29	1,16	0,644
146	2,2',3,4',5,5'- ESA-CB	2,31	1,12	1,22
149	2,2',3,4',5',6- ESA-CB	14,1	7,06	6,57
151	2,2',3,5,5',6- ESA-CB	3,81	1,79	1,82
170	2,2',3,3',4,4',5- EPTA-CB	2,06	1,48	0,619
177	2,2',3,3',4,5',6'- EPTA-CB	1,29	0,714	0,546
183	2,2',3,4,4',5',6 - EPTA-CB	1,64	0,851	0,585
187	2,2',3,4',5,5',6 - EPTA-CB	3,45	1,68	1,47
<b>totale PCB NDL (pg / m<sup>3</sup>)</b>		<b>74,3</b>	<b>43,3</b>	<b>34,1</b>
<b>totale 29 PCB (DL+MK+NDL)</b>		<b>195</b>	<b>130</b>	<b>74,1</b>
	tricloro-bifenili	91,2	122	14,6
	tetracloro-bifenili	106	92,2	41,4
	pentacloro-bifenili	95,0	61,0	63,4
	esacloro-bifenili	65,1	37,7	29,7
	eptacloro-bifenili	27,4	10,1	6,88
	octacloro-bifenili	2,90	<0,84	0,643

## 3.4. Confronti fra le due campagne

### Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Durante la campagna T1 la presenza contemporanea di numerosi mezzi in manovra e impegnati in operazioni di scarico a motore acceso, nell'area avanfossa, ha determinato livelli di concentrazioni elevate.

Tale inquinamento è stato confermato dai campionamenti personali sugli addetti all'avanfossa, con concentrazioni lievemente inferiori, giustificate per le mansioni che lo vedono agire più o meno vicino ai mezzi di scarico.

La sala controllo e la sala gruista-fossa nella prima campagna erano un unico ambiente e presentavano valori maggiori ad altre aree, attribuibili per lo più al fumo di sigaretta, certamente presente durante la fase "cantieristica".

Durante la seconda campagna le due sale sono state divise e confinate tra loro. In particolare, la sala gruista RSU presentava valori di IPA totali piuttosto elevati. Durante i sopralluoghi, nella sala si è evidenziato l'odore caratteristico di sostanze organiche tipiche del rifiuto organico in maturazione. E' verosimile che ciò fosse dovuto ad un insufficiente confinamento dalla fossa dei rifiuti.

### Metalli

Nell'area avanfossa la prima indagine ha mostrato concentrazioni dei metalli inferiori ai limiti di rilevabilità. La campagna successiva ha rilevato invece la presenza di alcuni metalli nell'area e sull'addetto che lì svolge la sua mansione.

Nelle sale controllo e gruista la prima indagine ha mostrato concentrazioni inferiori ai limiti di rilevabilità strumentale. I prelievi del 2015 indicano invece la presenza di alcuni metalli (nichel, piombo, rame e zinco) con valori simili al fondo d'area.

### Sostanze Organiche Volatili

Tra le due campagne non si evidenziano differenze significative.



### 3.5. Conclusioni

Dalla valutazione dei risultati analitici si possono trarre le seguenti considerazioni:

*Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)*. I risultati dei campionamenti particellare e vapore, indicano che le emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti in ingresso o in uscita creano un inquinamento elevato. Inquinamento riscontrato nell'area avanfossa, nell'addetto a tale area, nella sala gruista fossa e nell'area scorie. Risultano significative anche le concentrazioni degli operatori di giro, con concentrazioni decisamente più elevate di quelle di fondo d'area.

*Polveri e Metalli*. Le concentrazioni di polveri inalabili più elevate sono state riscontrate nell'area vasche scorie. Decisamente più elevate di quelle riscontrate nell'area esterna all'impianto. Stesse considerazioni per le concentrazioni dei metalli ricercati (seppur questi rilevati solo in tracce).

*Sostanze Organiche Volatili (SOV)*. Le analisi dei campionamenti attivi e passivi indicano la presenza in tracce e al limite della rilevabilità strumentale. Le emissioni dei veicoli in movimento nell'impianto sono rilevate in particolare nell'area avanfossa.

*Ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e Acido Solfidrico (H<sub>2</sub>S)* Tutti i campionamenti passivi indicano una presenza decisamente contenuta di queste sostanze.

*Diossine/Furani e PCB* I valori riscontrati sono ampiamente inferiori a quelli riportati nel parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale.

Gli addetti che svolgono prioritariamente le mansioni negli uffici delle palazzine direzione e staff hanno esposizioni con concentrazioni simili a quelle dell'aria nelle aree adiacenti all'impianto.

Le altre mansioni hanno un'esposizione riconducibile o alle ricadute delle sostanze prodotte durante il ciclo produttivo (con particolare preoccupazione alla fase pulverulenta delle scorie, delle ceneri leggere e del PSR) o alle emissioni degli automezzi che trasportano il rifiuto in ingresso o in uscita dall'impianto.

## 4. Imprese e lavoratori operanti presso l'impianto

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. La gestione, per un periodo temporale di 20 anni, è in carico a TRM (Trattamento Rifiuti Metropolitani S.p.A). TRM, società inizialmente costituita da diversi Comuni della Provincia di Torino, dal 2012 è diventata società a capitale misto. Attualmente l'80% delle quote azionarie appartengono al Gruppo IREN ed in particolare ad IREN Ambiente mentre il restante appartiene ancora al socio pubblico (il Comune di Torino risulta ad oggi il socio di maggioranza con circa il 18% delle quote totali mentre il restante 2% è suddiviso tra altri Comuni).

La costruzione dell'impianto è stata realizzata da un'Associazione Temporanea di Imprese con capogruppo una società francese specializzata nella progettazione di impianti analoghi. A differenza di quanto riportato nella documentazione inizialmente fornita dall'azienda gestrice, che prevedeva l'affidamento esterno solo della manutenzione straordinaria a fermo impianto, si è passati alla cessione dell'intera attività di global service dal novembre 2014. Pertanto, oltre ai dipendenti TRM, sono presenti in impianto numerose imprese esterne alle quali, attraverso contratti di appalto e subappalto, sono affidati alcuni servizi ausiliari alla produzione, quali la manutenzione, la pulizia e la guardiania.

### 4.1. Le imprese operanti in impianto

Dalla documentazione fornita si evince che dalla data di avvio formale dell'impianto (1 aprile 2013) fino al 31 dicembre 2015, oltre all'azienda incaricata (TRM), hanno avuto accesso all'impianto 131 ditte con contratti d'appalto. Di queste, 49 risultano appalti direttamente affidati da TRM, di cui 7 in comune con IREN, 3 in comune con la ditta incaricata dell'avvio, 2 in comune con entrambe. 64 ditte risultano appalti di secondo livello, ovvero subappalti della ditta del Global Service IREN AMBIENTE. 14 ditte risultano subappalti del gestore provvisorio. Di 4 ditte non sono disponibili i dati del committente.

Nel presente report i periodi di operatività delle aziende in impianto sono stati suddivisi nel seguente modo:

- periodo di gestione provvisoria (dal 01/04/2013 al 31/10/2014)

- periodo di esercizio commerciale (dal 01/11/14 al 31/12/15)<sup>c</sup>

#### 4.1.1. *Periodo di gestione provvisoria*

Nei primi mesi di funzionamento dell'impianto, TRM era presente in azienda con 20 unità, per lo più aventi compiti dirigenziali e impiegatizi. Con l'inizio del 2014 è stato completato l'organico mediante l'assunzione di altre 32 persone che successivamente hanno formato le squadre operative sulle linee. Complessivamente il personale TRM nel periodo di esercizio provvisorio ha lavorato poco meno di 90 mila ore.

Contemporaneamente a TRM, erano presenti in impianto 26 aziende di cui 5 in affidamento diretto da TRM e 21 in subappalto della ditta a cui era affidata la gestione provvisoria. Dai documenti forniti si evince che in questa prima fase il numero minimo di lavoratori di imprese appaltatrici coinvolte era 162. Per 8 aziende non erano disponibili i dati relativi al personale.

Le attività sono state raggruppate in 5 categorie così definite:

1. attività corrente: è l'attività "routinaria" svolta in squadre che si occupano delle differenti fasi di vita del rifiuto (tale attività è l'unica svolta interamente da TRM dal momento che è terminata la fase di gestione provvisoria);
2. attività specifica: comprende l'insieme delle lavorazioni particolari spesso legate ad interventi "su chiamata" (ad es: effettuare ispezioni in fornace);
3. attività edile: è l'insieme delle attività legate più propriamente ad opere di edilizia di qualsiasi tipo;
4. attività di manutenzione: comprende molteplici interventi, sia ordinari sia straordinari che garantiscono il corretto mantenimento dell'impianto;
5. attività di supervisione: sono svolte da ditte appaltatrici incaricate di gestire altre attività (ad es. individuazione di priorità di intervento).

In tabella 4.1 si riporta la suddivisione, per ogni azienda, delle attività e delle aree d'impianto maggiormente frequentate.

---

<sup>c</sup> La raccolta dei dati è in costante aggiornamento

I locali dove maggiormente erano presenti i lavoratori delle diverse aziende sono così ripartiti:

- sala controllo
- fossa RSU
- locale caldaia/zona di stoccaggio big bag
- vasche scorie-cabina gruista scorie
- fornaci

Tabella 4.1. Imprese suddivise per locali maggiormente frequentati e tipologia di attività; periodo di gestione provvisoria

attività	n° ditte/locali interessati						
	sala controllo	avanfossa	fossa	vasche scorie-cabina gruista scorie	area sili	locale caldaia/stoccaggio big bag	fornace
attività corrente	1	1				1	1
attività specifiche	4		1	3		5	1
edilizia	4					4	1
manutenzione	11		3		1	11	3
supervisione	4		2			4	2
<b>Totale aziende*</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>8</b>
<b>Totale lavoratori</b>	<b>134</b>	<b>2</b>	<b>69</b>	<b>53</b>	<b>40</b>	<b>175</b>	<b>98</b>

\* la sommatoria per riga non corrisponde al numero di aziende perché una ditta può essere presente in più locali

Dall'analisi dell'area di provenienza delle aziende che operano in questa fase di gestione provvisoria, si evidenzia un maggior impiego di ditte locali e provenienti dal Nord Italia, in particolare dalla Lombardia (figura 4.1). Sono inoltre presenti 2 aziende con sede legale fuori dal territorio nazionale (Francia). Per 4 aziende non è stato possibile recuperare i dati.

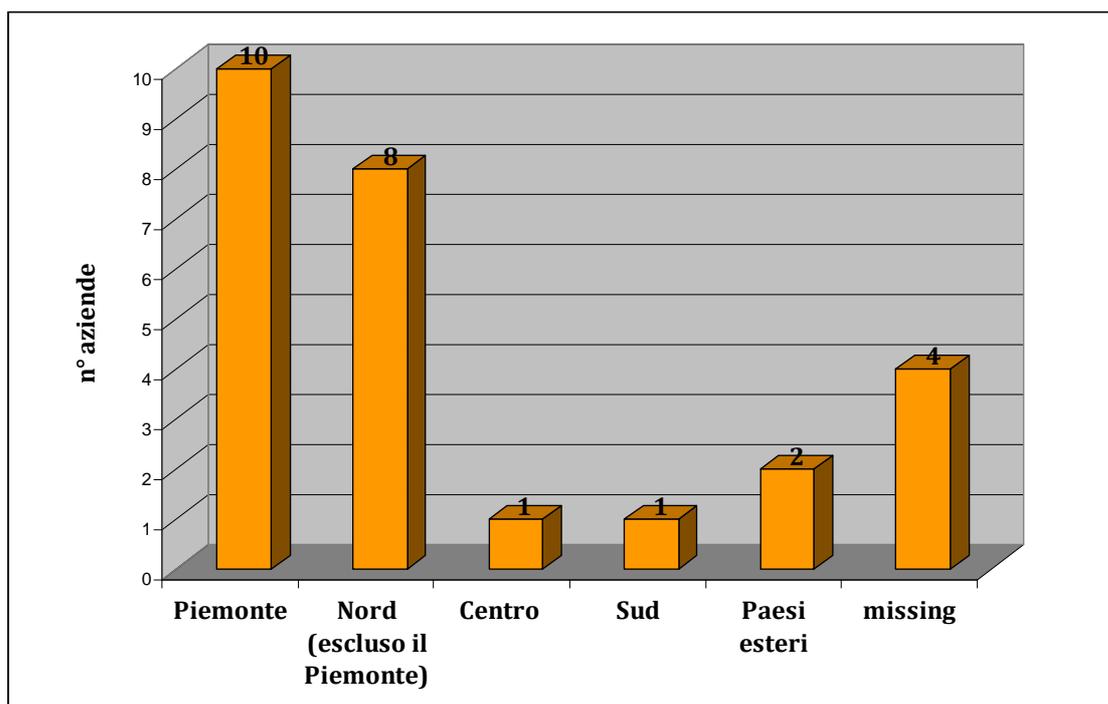


Figura 4.1. Imprese impegnate nella fase di gestione provvisoria suddivise per area di provenienza (sede legale)

#### 4.1.2. *Periodo di esercizio commerciale*

Il secondo periodo preso in esame ha visto una presenza prioritaria di tutto il personale TRM con un totale di circa 100 mila ore lavorate (70 mila attribuite al personale addetto alle linee e il restante ai ruoli impiegatizi e dirigenziali). Le mansioni di competenza TRM sono le seguenti:

- ◇ Capo Turno - Quadrista.
- ◇ Gruista RSU.
- ◇ Operatore di Giro.
- ◇ Impiegato d'ufficio.
- ◇ Impiegato d'ufficio tecnico.
- ◇ Dirigenti

Nel secondo periodo sono state presenti in impianto 121 aziende di cui 39 in affidamento diretto da TRM e 6 in subappalto della ditta a cui era affidata la gestione provvisoria. Preponderante in questo periodo la presenza del Global Service con 74 ditte in subappalto (di cui 9 transitate in momenti diversi anche da TRM). Per 2 aziende non si conoscono i dati relativi al committente.

L'acquisizione dei dati relativi al numero di lavoratori per azienda è stata possibile soltanto a partire dal secondo semestre 2015, con l'utilizzo del software di portineria che registra elettronicamente i singoli accessi e riguarda pertanto le aziende con appalti in essere da quel periodo in avanti. Nell'ultimo trimestre del 2015 hanno operato complessivamente, in attività professionali di diversa natura, circa 357 dipendenti di aziende appaltatrici.

In questo periodo almeno 19 aziende hanno operato continuativamente o con interventi almeno settimanali. Le altre hanno avuto contratti a chiamata con una presenza in impianto decisamente inferiore (pochi giorni al mese oppure più raramente).

Si riporta in tabella 4.2. la suddivisione delle aziende appaltatrici operanti nel periodo di esercizio commerciale (e fino al 31 dicembre 2015) per tipologia di attività svolta e locali maggiormente frequentati. Di 14 aziende non si hanno dati sul tipo di attività svolta né sui locali interessati delle loro attività.

Tabella 4.2. Imprese e locali a maggior operatività suddivise per tipologia di attività; periodo di esercizio commerciale

Attività	n° ditte/locali interessati							
	sala controllo / cabina gruista RSU	avanfossa	fossa	vasche scorie/ cabina gruista scorie	area sili	locale caldaia/ stoccaggio big bag	fornace	altri locali
attività corrente	1				1	1		1
<i>pulizie (industriali e civili)</i>	1	2	0	3	3	5	0	1
attività specifiche	8	7	9	6	6	25	5	23
<i>sistemi di gestione e controllo</i>	1	0	0	0	0	0	0	2
<i>pulizie (industriali)</i>	0	0	0	0	0	1	1	1
edilizia	1	0	0	0	0	3	0	2
manutenzione	10	8	8	7	9	19	5	17
supervisione	2	0	0	1	1	2	0	2
<b>Totale aziende*</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>55</b>	<b>11</b>	<b>48</b>
<b>Totale lavoratori**</b>	<b>137</b>	<b>109</b>	<b>90</b>	<b>110</b>	<b>141</b>	<b>258</b>	<b>87</b>	<b>201</b>

\* la sommatoria per riga non corrisponde al numero di aziende perché una ditta può essere presente in più locali

\*\*considerando per ogni azienda, il numero medio di lavoratori nel II semestre 2015.

Dall'analisi dell'area di provenienza delle aziende che operano in questa seconda fase (figura 4.2), si evidenzia un largo impiego di ditte locali (47) e del resto del Nord Italia (43). Inoltre si segnala la presenza di 6 aziende con sede legale fuori dal territorio nazionale. Per 11 aziende non è stato possibile recuperare i dati.

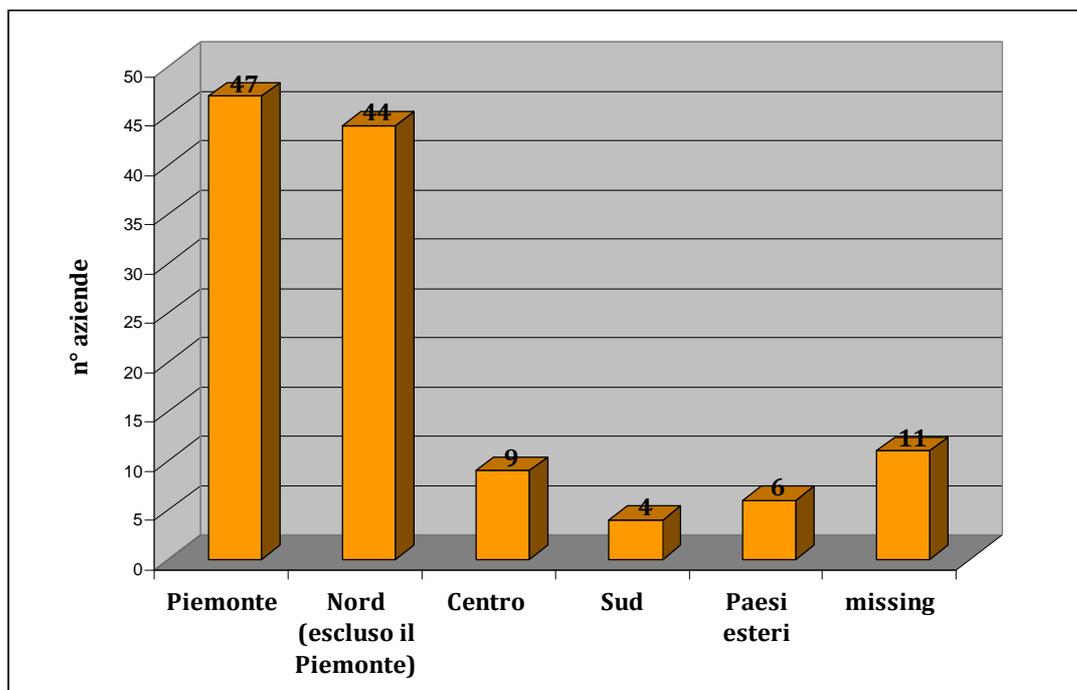


Figura 4.2: imprese impegnate dal 1-11-14 al 31-12-15 suddivise per area di provenienza (sede legale)

## 4.2. Ditte coinvolte nel biomonitoraggio umano

Dai risultati delle analisi effettuate dalla Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale di ARPA Piemonte, è risultato evidente che le mansioni potenzialmente più esposte alle sostanze pericolose risultino essere affidate ad imprese esterne con contratti in appalto (di primo o secondo livello), al momento non ancora coinvolte dal piano di biomonitoraggio. Si è quindi valutato opportuno estendere i prelievi e le analisi previste per i dipendenti TRM anche ai lavoratori di ditte esterne. Data la peculiarità dei contratti in appalto e subappalto, che prevedono un impiego di personale per un periodo limitato, per tali lavoratori si prevede l'effettuazione di un unico prelievo ad aprile 2016, in modo che sia mantenuta la possibilità di confronto con i prelievi già eseguiti per gli altri gruppi di lavoratori TRM.

Dalla totalità delle aziende appaltatrici (131), è stata quindi selezionata una rosa di società che rispondesse ai seguenti requisiti:

- data di inizio appalto antecedente ad aprile 2015;
- data di scadenza appalto posteriore a giugno 2016;
- aziende con mansioni svolte prevalentemente nei locali a maggior presenza di sostanze inquinanti (avanfossa, area scorie, area sili, locale caldaia-stoccaggio big bag); accanto a queste, pur non essendo disponibili analisi di monitoraggio, ma per la peculiare presenza di rifiuti, si sono considerate anche le ditte operanti in fossa RSU e nella manutenzione delle fornaci;
- un numero di ore lavorate per persona nei mesi antecedenti al prelievo almeno pari a 100

In una prima fase i dati necessari per effettuare la scelta delle aziende appaltatrici sono stati forniti dal gestore dell'impianto.

Successivamente, ciascuna delle aziende selezionate per il biomonitoraggio è stata contattata dal Servizio Sovrazonale di Epidemiologia della Asl TO3 che ha acquisito la documentazione relativa ai lavoratori operanti nell'impianto. Inoltre è stata richiesta la documentazione che fornisse ulteriori dettagli circa le singole mansioni svolte, le aree di lavoro e le ore lavorate da ogni dipendente.

In figura 4.3 si illustra la cartina con le aree di maggior interesse e il numero totale di lavoratori coinvolti tra le aziende selezionate (presenze relative all'ultimo trimestre 2015).

Le aziende candidate per il biomonitoraggio sono 4.

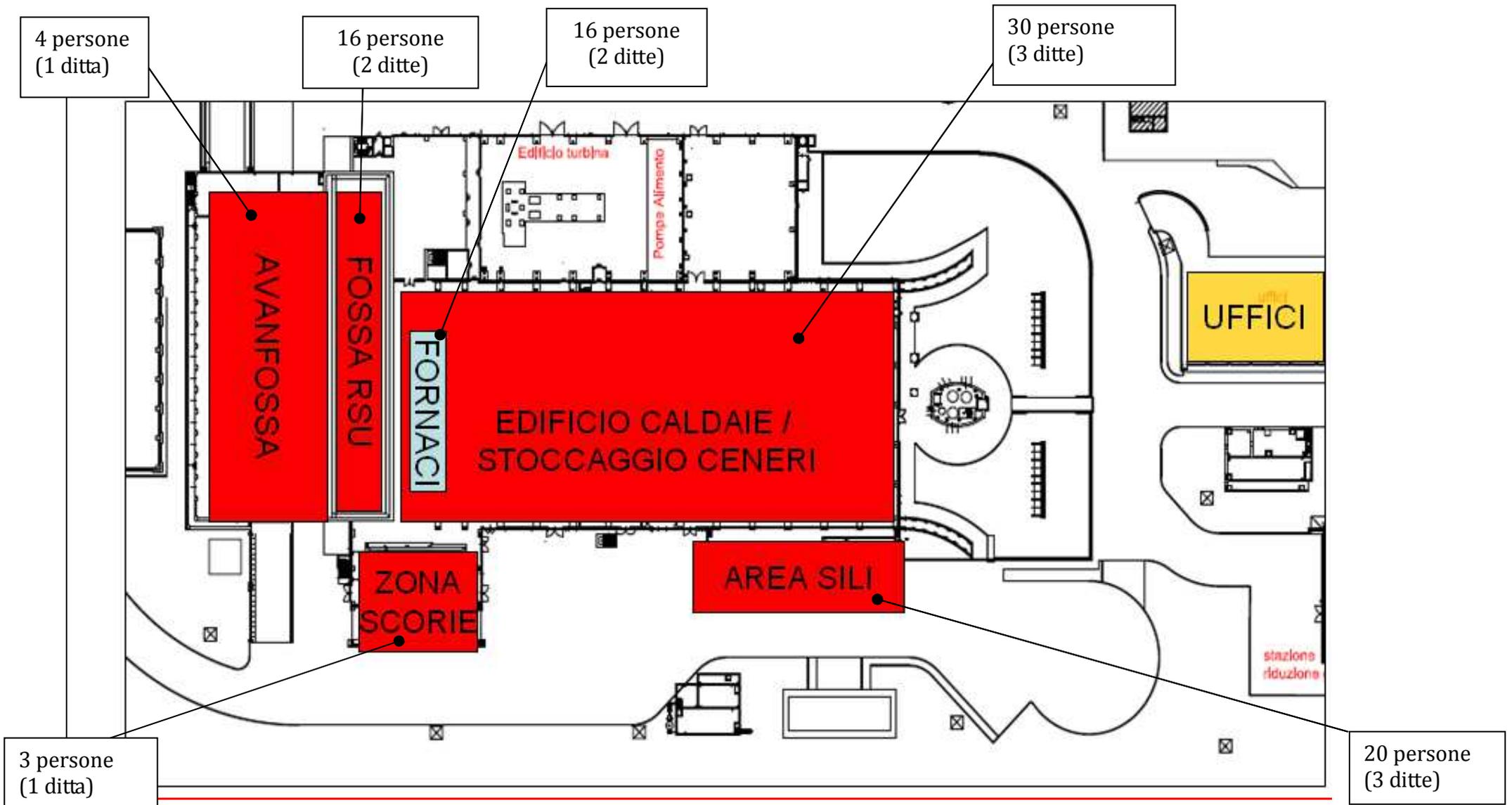


Fig. 4.3. Locali che presentano maggior presenza di sostanze inquinanti secondo i campionamenti indoor di ARPA Piemonte.

N.B. Il numero dei lavoratori è da intendersi complessivo, indipendentemente dai turni, e relativo alle 4 aziende in subappalto coinvolte nel BMU.

## 5. Biomonitoraggio

### 5.1. Disegno dello studio

Il programma di biomonitoraggio ha coinvolto due diversi gruppi di lavoratori:

- 12 lavoratori addetti all'avviamento del termovalorizzatore e con attività continuativa in impianto per un periodo superiore a un mese;
  - Valutazione ex ante (tempo T0): giugno 2013
  - Valutazione ex post (tempo T1): mano a mano che terminava il rapporto di lavoro presso l'impianto (febbraio-giugno 2014)
- 43 lavoratori dipendenti TRM (11 con funzioni amministrative o dirigenziali; 32 operanti in zone nelle quali è possibile il contatto con sostanze pericolose);
  - Valutazione ex ante (tempo T0): giugno 2013 – fino a termine delle assunzioni
  - Valutazione ex post (tempo T1): dopo 1 anno dal primo prelievo
  - Valutazione ex post (tempo T2): dopo 3 anni dal primo prelievo

La scelta degli analiti quali possibili indicatori di esposizione alle emissioni dell'inceneritore è analoga a quella dei residenti, basata sia su criteri di letteratura sia su valutazioni ambientali, e ha complessivamente riguardato le seguenti categorie: metalli, metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici (OH-IPA), policlorodibenzodiossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e policlorobifenili (PCB).

Nel presente report le determinazioni biologiche riguardano:

- metalli (antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, iridio, manganese, mercurio, nichel, palladio, platino, rame, rodio, stagno, tallio, vanadio, zinco nelle urine; piombo nel sangue);
- idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA) (1-idrossinaftalene, 2-idrossinaftalene, 2-idrossifluorene, 3-idrossifluorene, 9-idrossifluorene, 1-idrossifenantrene, 2-idrossifenantrene, 3-idrossifenantrene, 4-idrossifenantrene, 1-idrossipirene nelle urine);
- policlorodibenzodiossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e policlorobifenili (PCB) (17 congeneri tossici di PCDD e PCDF; 12 congeneri di PCB ad azione diossina-simile (DL-PCB); 30 congeneri di PCB ad azione non diossina-simile ( $\Sigma_{30}$ NDL-PCB) comprendenti i sei congeneri cosiddetti "indicatori" ( $\Sigma_6$ NDL-PCB).

Allo scopo di valutare lo stato di salute generale, a tutti i soggetti sono stati effettuati esami di laboratorio di ematochimica generale mirati alla valutazione della funzionalità ormonale, epatica, renale e dei fattori di rischio cardiovascolare. Nello specifico i parametri analizzati sono:

- parametri ematochimici: linfociti, piastrine, ematocrito, emoglobina, mch, mpw, mchc, rdw\_sd, rdw\_cv, glicemia, colesterolo totale, colesterolo HDL, trigliceridi, globuli bianchi, globuli rossi;
- parametri ormonali: FT3, FT4, TSH, cortisolo, ACTH
- parametri renali: azotemia, creatininemia, microalbuminuria, , fosfatasi alcalina
- parametri epatici: bilirubina diretta, bilirubina indiretta, bilirubina totale, GOT, GPT, gammaGT.

Sono stati inoltre eseguiti test di funzionalità respiratoria e misurazione della pressione arteriosa.

Sono state infine raccolte informazioni su abitudini e caratteristiche individuali (storia professionale, abitudini e stili di vita, abitudini al fumo, dieta e anamnesi) attraverso intervista. Tali informazioni sono necessarie per l'interpretazione dei risultati delle analisi sui campioni biologici. Il consumo di tabacco, l'esposizione alle emissioni da traffico, il consumo di alcuni cibi possono influire sulle concentrazioni di alcuni degli analiti indagati. In particolare, l'abitudine al fumo di tabacco espone i soggetti a migliaia di sostanze chimiche e rappresenta quindi un rilevante fattore confondente negli studi di biomonitoraggio. Per valutare quantitativamente l'entità di questa esposizione nell'interpretazione dei dati, è stata anche misurata la cotinina urinaria, specifico metabolita della nicotina.

Una parte dei campioni prelevati è conservata in una banca di campioni biologici dell'Istituto Superiore di Sanità in modo da consentire eventuali approfondimenti futuri.

## **5.2. Adesione allo studio**

### **5.2.1. Ante-operam o prima dell'assunzione in impianto (fase T0)**

Nel giugno 2013 lavoravano nell'impianto 54 lavoratori, 18 dipendenti TRM e 36 di imprese in subappalto incaricate delle procedure di avvio dell'inceneritore.

I 18 lavoratori TRM, tutti con mansioni di dirigenza o amministrative, sono stati invitati a partecipare al programma di biomonitoraggio dall'ufficio personale dell'azienda e, se necessario, successivamente contattati dal coordinamento SPoTT. Undici persone hanno accettato di partecipare al biomonitoraggio, mentre sette lavoratori invitati hanno rifiutato di partecipare. I motivi di rifiuto sono legati a motivazioni strettamente personali (per lo più legati all'entità del prelievo o a motivazioni pratiche di gestione orario).

Relativamente alle ditte in subappalto impegnate della fase di avvio, sulla base dei primi documenti forniti da TRM, si è scelto di coinvolgere 12 lavoratori appartenenti ad un'unica azienda, due per ogni mansione che risultava potenzialmente più critica: addetto carroponete, operatore esterno, operatore avanfossa, addetto scorie/ceneri, capo turno. Si è inoltre deciso di considerare anche gli operatori DCS (sistema di controllo distribuito) perché facenti parte delle squadre di lavoro insieme alle mansioni sopracitate. La ditta stessa ha provveduto a individuare le persone da invitare al programma di biomonitoraggio.

Tutti i 23 prelievi sono stati effettuati nella seconda metà di giugno 2013. Per uno dei lavoratori non è stato possibile compilare il questionario per problemi linguistici; sono però stati raccolti i dati anagrafici di base ed è stato fatto il prelievo di sangue per l'analisi.

Ad inizio 2014 sono state assunte dal gestore altre 32 persone, impiegate in mansioni operative sull'impianto. Tra febbraio ed aprile dello stesso anno (ovvero prima che i neo-assunti iniziassero le loro attività sull'impianto) tutti i 32 lavoratori hanno partecipato ai prelievi.

In totale hanno dunque partecipato al programma di biomonitoraggio 55 lavoratori (49 maschi e 6 femmine). In tabella 5.1. e 5.2. si riporta una sintesi dell'arruolamento dei lavoratori. Il personale amministrativo è denominato non esposto (NE) mentre il personale addetto alle linee è denominato potenzialmente esposto (PE).

Tab 5.1. Adesione dei lavoratori coinvolti nella fase T0

<b>Partecipazione</b>	<b>Dipendenti TRM</b>	<b>Dipendenti ditta in sub-appaltato</b>	<b>Totale</b>
Questionario e prelievo	43 (86%)	11 (92%)	54 (87%)
Solo prelievo	0	1 (8%)	1 (2%)
Rifiuto	7 (14%)	0	7 (11%)
<b>Totale soggetti</b>	<b>50 (100%)</b>	<b>12 (100%)</b>	<b>62 (100%)</b>

Tab 5.2. Lavoratori coinvolti nella fase T0 suddivisi per zona di esposizione

Lavoratori	Personale amministrativo e dirigenziale (NE)	Personale addetto alle linee (PE)	Totale
Dipendenti TRM	11	32	43
Dipendenti ditte in sub-appaltato	0	12	12
Totale soggetti	11	44	55

### 5.2.2. Dopo un anno dal primo prelievo (fase T1)

A differenza dei residenti, dove i prelievi della cosiddetta “fase T1” sono avvenuti ad 1 anno dell’avvio dell’impianto, i lavoratori hanno eseguito il secondo prelievo in tempi differenti rispettando, per quanto possibile, un intervallo di 12 mesi dal primo prelievo. Solo nel caso dei lavoratori impegnati nella fase di avvio, per i quali era previsto un periodo più breve di impiego presso l’impianto del Gerbido, la convocazione per il T1 è avvenuta mano a mano che interrompevano la loro collaborazione professionale.

I prelievi sono quindi avvenuti a:

- gennaio-maggio 2014 per 5 lavoratori impegnati nella fase di avvio. Si segnala che 6 lavoratori dipendenti delle ditte in subappalto hanno rifiutato il prelievo al T1.

- settembre 2014 per gli 11 lavoratori TRM “amministrativi”. Si segnala inoltre che 1 lavoratore del gruppo in sub-appalto, è stato successivamente assunto da TRM e pertanto ha effettuato i prelievi contemporaneamente ai lavoratori amministrativi.

- aprile 2015 per 29 lavoratori TRM addetti alle linee. Tre operatori hanno rifiutato di partecipare alla fase T1.

In totale, nei tre periodi sopraelencati, hanno partecipato alla fase T1 46 persone corrispondenti all’ 84% dei soggetti partecipanti alla fase iniziale (tabella 5.3).

Tab 5.3. lavoratori coinvolti nella fase T1 suddivisi per zona di esposizione

Lavoratori	Personale amministrativo e dirigenziale (NE)	Personale addetto alle linee (PE)	Totale
Dipendenti TRM	11	30	41
Dipendenti ditta in sub-appaltato	0	5	5
Totale soggetti	11	35	46

## 5.3. Metodi di analisi chimica

### 5.3.1. Metalli

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.<sup>1,2,3,4</sup>

Una linea guida completa del metodo di riferimento è reperibile in ISTISAN 15/30<sup>5</sup>.

### 5.3.2. OH-IPA e cotinina

La valutazione dell'esposizione a IPA è stata effettuata mediante la determinazione dei principali metaboliti idrossilati del naftalene, del fluorene, del fenantrene, e del pirene (Tabella 5.4), selezionati sulla base di lavori di recente pubblicazione<sup>6,7</sup>.

Tab. 5.4 OH-IPA selezionati per lo studio

Metabolita	Abbreviazione	No. CAS
1-Idrossinaftalene	1-OH-NAP	90-15-3
2-Idrossinaftalene	2-OH-NAP	135-19-3
2-Idrossifluorene	2-OH-FLU	2443-58-5
3-Idrossifluorene	3-OH-FLU	6344-67-8
9-Idrossifluorene	9-OH-FLU	1689-64-1
1-Idrossifenantrene	1-OH-PHEN	2433-56-9
2-Idrossifenantrene	2-OH-PHEN	605-55-0
3-Idrossifenantrene	3-OH-PHEN	605-87-8
4-Idrossifenantrene	4-OH-PHEN	7651-86-7
1-Idrossipirene	1-OH-PYR	5315-79-7

La procedura analitica utilizzata è basata sul metodo sviluppato dal CDC (USA) nell'ambito del programma NHANES<sup>8</sup>. Il rilevamento delle sostanze d'interesse è basato sull'impiego di standard interni (SI), o traccianti, completamente marcati con <sup>13</sup>C aggiunti al campione prima di qualsiasi operazione analitica.

Dopo scongelamento e omogeneizzazione su vortex, ogni campione è stato addizionato con quantità note di SI e lasciato riposare per 12–24 h. Successivamente il campione è stato mescolato con una soluzione tampone di acetato di sodio (pH 5) e sottoposto per l'intera notte a deconiugazione enzimatica con  $\beta$ -glucuronidasi arilsolfatasi (37 °C).

Gli analiti d'interesse sono stati estratti mediante dibattimento con *n*-pentano e quantificati mediante HRGC-HRMS in modalità SIM dopo derivatizzazione con N-metil-N-(trimetilsilil)-trifluoroacetammide.

Per la valutazione delle interferenze l'analisi dei campioni è stata accompagnata da quella di "bianchi" costituiti da campioni di urina che hanno subito l'intera procedura analitica tranne la fase di deconiugazione.

L'incertezza analitica (CV%) sulla determinazione del singolo composto è stata stimata inferiore a ca. |  $\pm 20\%$  | per quantità iniettate superiori ai LOQ, e inferiori a ca. |  $\pm 40\%$  | per quelle dell'ordine del LOD.

L'affidabilità analitica è stata garantita attraverso il controllo sistematico delle rese di recupero degli SI utilizzando come soglia di accettabilità il 20% e come intervallo raccomandato 40–130%, l'analisi di campioni di controllo e di campioni in doppio. La ripetibilità del metodo, stimata attraverso l'analisi di campioni in duplicato, è risultata mediamente pari al 15%.

La determinazione della cotinina urinaria è stata effettuata su campioni di urina scongelati e centrifugati. Dopo addizione della N-ethylnorcotina utilizzata come SI, i campioni sono stati diluiti con una miscela acqua/metanolo/acetonitrile e sottoposti ad analisi quantitativa mediante LC-MS/MS. L'esattezza del metodo è stata valutata attraverso il recupero percentuale che è risultato compreso tra l'89 e 98%. Il LOD e il LOQ, stimati calcolando la deviazione standard associate al rumore di fondo, sono risultati pari a 0.3 e 1 ng/mL, rispettivamente.

### 5.3.3. PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB

Le sostanze selezionate per il presente studio sono elencate in Tabella 5.5 e includono: a) 17 congeneri tossici di PCDD e PCDF; b) 12 congeneri di DL-PCB; c) 30 congeneri di NDL-PCB ( $\Sigma_{30}$ NDL-PCB) comprendenti i sei congeneri cosiddetti "indicatori" ( $\Sigma_6$ NDL-PCB).

Tabella 5.5 Congeneri di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB rilevanti per lo studio.

Congenerere	No. CAS	Congenerere	No. CAS
<b>PCDD e PCDF</b>		<b>NDL-PCB</b>	
2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDD	1746-01-6	PCB 18	37680-65-2
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	40321-76-4	PCB 28	7012-37-5
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	39227-28-6	PCB 31	16606-02-3
1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDD	57653-85-7	PCB 33	38444-86-9
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	19408-74-3	PCB 49	41464-40-8
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	35822-46-9	PCB 52	35693-99-3
1,2,3,4,6,7,8,9-O <sub>8</sub> CDD	3268-87-9	PCB 66	32598-10-0
2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDF	51207-31-9	PCB 70	32598-11-1
1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	57117-41-6	PCB 74	32690-93-0
2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	57117-31-4	PCB 91	68194-05-8
1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	70648-26-9	PCB 95	38379-99-6
1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	57117-44-9	PCB 99	38380-01-7
1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	72918-21-9	PCB 101	37680-73-2
2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	60851-34-5	PCB 110	38380-03-9
1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	67562-39-4	PCB 128	38380-07-3
1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	55673-89-7	PCB 138	35065-28-2
1,2,3,4,6,7,8,9-O <sub>8</sub> CDF	39001-02-0	PCB 141	52712-04-6
		PCB 146	51908-16-8
		PCB 149	38380-04-0
<b>DL-PCB</b>		PCB 151	52663-63-5
PCB 77 <sup>a</sup>	32598-13-3	PCB 153	35065-27-1
PCB 81 <sup>a</sup>	70362-50-4	PCB 170	35065-30-6
PCB 126 <sup>a</sup>	57465-28-8	PCB 174	38411-25-5
PCB 169 <sup>a</sup>	32774-16-6	PCB 177	52663-70-4
PCB 105 <sup>b</sup>	32598-14-4	PCB 180	35065-29-3
PCB 114 <sup>b</sup>	74472-37-0	PCB 183	52663-69-1
PCB 118 <sup>b</sup>	31508-00-6	PCB 187	52663-68-0
PCB 123 <sup>b</sup>	65510-44-3	PCB 194	35694-08-7
PCB 156 <sup>b</sup>	38380-08-4	PCB 196	42740-50-1
PCB 157 <sup>b</sup>	69782-90-7	PCB 203	52663-76-0
PCB 167 <sup>b</sup>	52663-72-6		
PCB 189 <sup>b</sup>	39635-31-9		

(a) DL-PCB non-*orto*-sostituiti.

(b) DL-PCB mono-*orto*-sostituiti.

I metodi analitici comunemente utilizzati per la determinazione delle sostanze sopra citate, si basano sul principio che sostanze altamente lipofile quali PCDD, PCDF, e PCB siano prevalentemente associate alla frazione lipidica. Pertanto, le procedure estrattive impiegate

sono finalizzate all'estrazione quantitativa della frazione lipidica nella quale successivamente sono determinati i contaminanti. La loro concentrazione è convenzionalmente espressa su base lipidica (lb).

Il metodo analitico utilizzato nel presente studio è basato su protocolli interni<sup>9</sup> e in accordo con i metodi della US EPA sviluppati per la determinazione di PCDD e PCDF (Metodo 1613B, 1994) e di PCB (Metodo 1668C, 2010). Le procedure analitiche sono sistematicamente verificate tramite la partecipazione a circuiti d'intercalibrazione internazionali.

Il rilevamento delle sostanze avviene attraverso l'impiego di standard interni (SI), marcati con <sup>13</sup>C, che vengono aggiunti al campione prima di qualsiasi operazione analitica, ed eventualmente prima di passaggi analitici intermedi ritenuti critici.

Dopo scongelamento e omogeneizzazione su vortex, ogni campione è stato addizionato con quantità note di SI e lasciato riposare per 12–24 h. Successivamente il campione è stato prima sottoposto a denaturazione mediante miscela *iso*-propanolo e acido formico e poi dibattuto con *n*-esano per estrarre la frazione lipidica.

Gli estratti organici sono stati concentrati e sottoposti a purificazione tramite passaggio sul sistema automatizzato LCTech per il frazionamento degli analiti d'interesse (PCDD, PCDF, DL-PCB e NDL-PCB).

La quantificazione congenere-specifica avviene mediante HRGC-HRMS in modalità SIM.

L'analisi dei campioni è stata accompagnata da quella di "bianchi procedurali" per la valutazione delle interferenze.

L'incertezza analitica (CV%) sulla determinazione del singolo congenere è stata stimata inferiore a ca. | ±10% | per quantità iniettate superiori al LOQ, e inferiori a ca. | ±25% | per quelle dell'ordine del LOD. Per quanto concerne l'incertezza estesa sulle stime cumulative medium bound (MB, analitiche e TEQ) stimata utilizzando  $k = 2$  ( $CV\% \times 2$ ), essa risulta non superiore a | ±30% |.

L'affidabilità analitica è stata garantita attraverso il controllo sistematico delle rese di recupero degli SI utilizzando come soglia di accettabilità il 20% e come intervallo raccomandato 40–130 %, e attraverso l'analisi di campioni di controllo.

La normalizzazione mediante l'uso dei TEF precedentemente descritto consente di esprimere il contenuto di PCDD, PCDF, e/o DL-PCB come somma di tutte le concentrazioni analitico-tossicologiche. Qualora uno o più congenere non siano determinabili — ovvero siano al di sotto del limite di quantificazione (<LOQ) — la somma dei risultati analitici è stata eseguita come

stima cumulativa *medium bound* (MB), corrispondente al seguente trattamento dei dati non quantificabili (<LOQ):  $LOQ \times 0.5$ .



## 5.4. Metodi statistici

### 5.4.1. Descrittive e parametri

La caratterizzazione delle distribuzioni dei dati è stata effettuata mediante standard come media aritmetica, media geometrica (GM), deviazione standard, mediana (P50), minimo, massimo e stime dei percentili (P25, P75, P90, P95). Inoltre per i parametri ematochimici, renali, epatici ed ormonali, per cui sono disponibili degli intervalli di normalità, sono stati calcolati il numero e la percentuale di soggetti con valori al di fuori della norma.

Il BMI è stato calcolato a partire dai dati raccolti durante la visita medica (si ottiene dividendo il peso in Kg del soggetto per il quadrato dell'altezza espressa in metri) e ciascun soggetto partecipante allo studio è stato classificato come 'normopeso' (BMI < 25), 'sovrappeso' (BMI 25–29) o 'obeso' (BMI ≥ 30).

I livelli di cotinina urinaria sono stati utilizzati per valutare l'esposizione al fumo di tabacco. Indipendentemente da quanto dichiarato nel questionario somministrato al soggetto nel momento del reclutamento, i soggetti con concentrazioni urinarie di cotinina inferiori a 1 ng/mL sono stati classificati come 'non fumatori', quelli con livelli di cotinina compresi tra 1 e 50 ng/mL come 'esposti al fumo', quelli con livelli di cotinina al di sopra di 50 ng/mL sono stati classificati come 'forti fumatori'.

Il consumo di alcool è stato rilevato tramite questionario. E' stato definito non esposto all'alcool un soggetto che assume meno di 2 due unità alcoliche al giorno (di vino, birra, aperitivi alcolici e superalcolici); viceversa è definito esposto all'alcool un soggetto che assume più di 2 unità alcoliche al giorno. Per quanto riguarda il T0, le risposte sono state trasformate in termini di grammi di etanolo giornalieri, stimati sulla base delle quantità di vino, super alcolici e birra dichiarati. E' stato definito non esposto all'alcool un soggetto che assume meno di 24 grammi di etanolo al giorno (corrispondenti alle due unità alcoliche); viceversa è definito esposto all'alcool un soggetto che assume più di 24 grammi di etanolo al giorno

L'esposizione al traffico autoveicolare è stata definita sulla base dei dati raccolti tramite questionario. L'indicatore di esposizione a traffico autoveicolare al T0, calcolato sulla base del questionario, tiene conto della prossimità dell'abitazione del soggetto a strade a intenso traffico veicolare e del tempo trascorso nel traffico giornalmente. Per il calcolo al T1 sono state considerate le informazioni rilevate al T0 ed eventuali variazioni.

### 5.4.2. Metalli

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

I metalli urinari sono stati corretti per il peso specifico dell'urina. 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<sup>10</sup>)

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

- per la valutazione della differenza fra due gruppi di dati è stato usato il test di 'Wilcoxon-Mann-Whitney';
- per il confronto temporale (T1-T0) 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, è stato applicato il test di 'Wilcoxon-Mann-Whitney' 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.

Le distribuzioni dei metalli generali sono state calcolate sempre senza esclusione dei valori estremi statistici superiori. Le statistiche sono state calcolate sul totale dei lavoratori e stratificate per tipo di esposizione (NE, PE). 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.

Le distribuzioni del cadmio sono state inoltre stratificate per abitudine al fumo calcolata in base alla concentrazione di cotinina urinaria. Le analisi stratificate per abitudine al fumo hanno tenuto conto solo dei soggetti che hanno mantenuto lo stato tra T0 e T1.

#### 5.4.3. PCDD, PCDF, PCB OH-IPA e cotinina

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con i programmi Microsoft Excel, Statistica 8.0 e SAS 9.2.

A causa dell'assenza di normalità delle distribuzioni delle sostanze studiate e della bassa numerosità campionaria è stato utilizzato il test di Mann-Whitney per la valutazione della differenza fra due gruppi indipendenti di dati (sono state considerate statisticamente significative differenze associate a valori di P inferiori a 0.05) e il test non parametrico di Spearman per lo studio di correlazione fra coppie di variabili. Per i confronti temporali (inizio turno/fine turno e T0/T1) è stato utilizzato il test statistico di Wilcoxon per dati appaiati e il test dei segni.

Le analisi statistiche sono state condotte sia a partire dai dati aggregati che stratificati per tipo di esposizione (NE, PE) e, quando possibile, per alcune variabili di interesse quali l'età, l'indice di massa corporea (BMI) e l'esposizione al fumo calcolata in base alla concentrazione di cotinina urinaria.

Tutti i risultati cumulativi relativi a PCDD, PCDF, e PCB sono stati espressi secondo l'approccio MB descritto nella Sezione 5.3.3.

Per quanto attiene ai metaboliti urinari degli IPA (OH-IPA), la caratterizzazione statistica delle distribuzioni è stata condotta a partire dai dati espressi in ng/g di creatinina escreta per correggere eventuali differenze nella diluizione delle urine. In linea con l'approccio adottato dall'EFSA sulla base della linea guida del WHO considerata nell'ambito del Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/FOOD, 2003<sup>11</sup>), la stima dei parametri statistici relativi agli OH-IPA è stata effettuata assegnando ai risultati al di sotto del LOQ valori pari a metà del LOQ. Inoltre, in accordo alle indicazioni del WHO (1996), la valutazione statistica è avvenuta solo su set di dati associati a campioni caratterizzati da livelli di creatinina compresi tra 30 e 300 mg/dL. Campioni con livelli di creatinina al di fuori di tale intervallo sono generalmente considerati non idonei a causa di un'eccessiva diluizione o concentrazione delle urine.

Al fine di correggere per eventuali confondenti, quando necessario, sono state condotte delle regressioni lineari multivariate dopo log-trasformazione dei dati.

## 5.5. Risultati ante-operam o prima dell'assunzione presso l'impianto (fase T0)

Sono qui descritti e commentati i principali risultati riguardanti lo stato di salute generale e le concentrazioni di metalli, idrocarburi policiclici aromatici, diossine e PCB dei lavoratori nella fase anteoperam o prima dell'assunzione presso il termovalorizzatore (T0).

I risultati presentati in questo paragrafo riguardano 55 lavoratori, 23 presenti in impianto a giugno 2013 e 32 assunti successivamente.

Due lavoratori abitano nella zona di esposizione in base ai modelli previsionali. Quattro lavoratori coinvolti hanno precedentemente lavorato in un impianto di incenerimento di rifiuti. Nel passato 9 persone hanno ricoperto mansioni all'interno del comparto metalmeccanico che potrebbero aver determinato esposizioni professionali alle sostanze incluse nel programma SPoTT, in particolare ai metalli. Altre 2 persone hanno lavorato in agricoltura e di questi uno ha detto di essere stato esposto a pesticidi.

I 44 soggetti impiegati in attività sulle linee di incenerimento (PE) sono tutti maschi ed hanno un'età media di 41,14, sovrapponibile a quella dei colleghi NE (41,27).

Per quel che riguarda l'abitudine al fumo (tabella 5.6), in totale, il 58% dei soggetti risultano fumatori.

Tab 5.6. Distribuzione soggetti per concentrazione di cotinina

Cotina	PE		NE	
	Num	%	Num	%
> 50 ng/mL ( <i>forte fumatore</i> )	22	50.00	3	27.27
1-50 ng/mL ( <i>esposto a fumo</i> )	3	6.82	4	36.36
< 1 ng/mL ( <i>non fumatore</i> )	19	43.18	4	36.36
<i>totale</i>	44	100	11	100

La distribuzione dei lavoratori in base al consumo di alcool è presentata nella tabella 5.7. Si ricorda che questa informazione è stata rilevata tramite questionario. Per un errore nella registrazione della risposta relativa al consumo di birra, è possibile una sottostima dei grammi giornalieri di alcol, per cui solo 12 lavoratori PE e nessun lavoratore NE risultano esposti.

Tab 5.7. Distribuzione soggetti per consumo di alcool

Alcool	PE		NE	
	Num	%	Num	%
<i>Bevitore</i>	12	27.91	0	0
<i>Non bevitore</i>	31	72.09	11	100
<i>totale</i>	43	100	11	100

### 5.5.1. Stato di salute generale

I 55 lavoratori coinvolti nello studio di biomonitoraggio al T0 hanno un buono stato di salute generale; in media nessuno tra i parametri ematochimici ed urinari misurati risulta fuori norma. 41 (76%) riferiscono all'intervista di avere un buono stato di salute (punteggio maggiore di 7 su una scala da 1 a 10). Il punteggio relativo al rischio cardiovascolare<sup>d</sup>, disponibile per 44 lavoratori di età idonea per il calcolo, ha una mediana di 1,6% nei lavoratori PE e 1.0% nei lavoratori NE. La differenza probabilmente è ascrivibile al fatto che la proporzione di fumatori è più alta tra i lavoratori PE rispetto ai lavoratori NE.

Rispetto alle patologie riferite:

- 17 soggetti dichiarano di aver sofferto di una o più patologie pregresse
- 9 soggetti dichiarano di avere avuto una diagnosi di colesterolo alto
- 1 soggetto dichiara di aver avuto una diagnosi di diabete
- 13 soggetti risultano ipertesi (con valori di pressione diastolica e/o sistolica superiori alla norma o con valori normali ma in trattamento farmacologico).

In tabella 5.8 sono riportati i principali risultati riguardanti i parametri ormonali, urinari e di funzionalità epatica. La media dei valori risulta sempre nella norma. Alcune persone hanno singoli parametri al di sopra o al di sotto dei valori di norma: la valutazione di tali risultati è ovviamente affidata al medico di medicina generale.

Per quanto riguarda i parametri ormonali i lavoratori NE hanno valori di FT4 significativamente superiori ai lavoratori PE, mentre hanno valori di ACTH significativamente inferiori. Nessuno dei parametri renali risulta significativamente differente tra i due gruppi.

<sup>d</sup> calcolato in termini di probabilità di avere un primo evento cardiovascolare nei 10 anni successivi secondo: età, sesso, fumo di sigaretta, pressione sistolica, colesterolemia totale, HDL, diabete/glicemia, farmaci per l'ipertensione

Tra i parametri epatici, invece, risultano significative le differenze nei valori di GPT (Alanina transaminasi) e GgT (Gammaglutamiltranspeptidasi), entrambi superiori tra i lavoratori PE.

In tabella 5.9 sono riportati i principali risultati riguardanti la funzionalità respiratoria. La funzionalità respiratoria è stata misurata tramite spirometria eseguita con uno spirometro portatile da personale individuato ad hoc dalla scuola di specializzazione in malattie dell'apparato respiratorio – Ospedale S. Luigi Gonzaga - dell'Università di Torino. In media la funzionalità respiratoria risulta nella norma. Confrontando i lavoratori PE e NE risulta una differenza statisticamente significativa per il PEF(l). In 5 soggetti PE la funzionalità respiratoria è risultata ai limiti inferiori o con alterazione ostruttiva lieve. Mediamente i soggetti PE fumatori hanno una funzionalità leggermente inferiore rispetto ai colleghi non fumatori. Nessun lavoratore riferisce enfisema, bronchite e BPCO all'anamnesi, mentre 3 soggetti dichiarano di aver avuto una diagnosi di asma.

Tab 5.8 Parametri ormonali, renali ed epatici, media (dev. std) e mediana; fase T0.

Parametro	PE		NE		Totale lavoratori		Residenti	
	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana
<b>FT3</b>	3.31 (0.53)	3.31	3.25 (0.41)	3.31	3.30 (0.51)	3.31	3.18 (0.36)	3.17
<b>FT4*</b>	1.10 (0.26)	1.06	1.34 (0.16)	1.37	1.15 (0.26)	1.10	1.1 (0.20)	1.09
<b>TSH</b>	1.36 (0.80)	1.29	1.20 (0.64)	1.31	1.32 (0.77)	1.31	1.8 (3.00)	1.40
<b>ACTH*</b>	22.05 (13.74)	18.20	12.05 (6.44)	10.80	19.94 (13.16)	17.35	20.8 (16.30)	16.30
<b>Cortisolo</b>	126.70 (41.23)	126.00	103.56 (31.65)	92.6	121.82 (40.25)	120.50	148.0 (59.40)	136.00
<b>Azotemia</b>	34.14 (7.85)	33.00	35.36 (8.02)	36.00	34.39 (7.83)	33.50	36.1 (9.80)	35.00
<b>Creatininemia</b>	1.05 (0.13)	1.05	1.04 (0.14)	1.08	1.04 (0.13)	1.05	1 (0.17)	0.97
<b>Microalbuminuria</b>	15.03 (27.92)	7.3	11.09 (6.05)	10.5	14.23 (25.05)	7.75	16.0 (29.52)	8.65
<b>Fosforemia</b>	1.13 (0.52)	1.06	1.12 (0.17)	1.08	1.13 (0.47)	1.07	1,06 (0.18)	1.07
<b>Bilirubina totale</b>	0.73 (0.32)	0.67	0.93 (0.49)	0.83	0.77 (0.36)	0.70	0.75 (0.36)	0.65
<b>Bilirubina diretta</b>	0.12 (0.07)	0.10	0.16 (0.08)	0.15	0.13 (0.08)	0.11	0.12 (0.05)	0.11
<b>Bilirubina indiretta</b>	0.62 (0.27)	0.58	0.77 (0.42)	0.68	0.65 (0.31)	0.61	0.64 (0.36)	0.56
<b>GOT</b>	26.65 (15.25)	22.00	21.91 (4.11)	21.00	25.69 (13.82)	22.00	23.18 (8.01)	22.00
<b>GPT*</b>	34.28 (24.84)	26.00	15.64 (2.97)	16.00	30.48 (23.41)	23.00	24.90 (16.05)	21.00
<b>Ggt*</b>	50.79 (74.65)	28.00	17.18 (6.22)	15	43.94 (67.89)	26.00	30.87 (26.23)	23.00

\* Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativa

Tab 5.9. Parametri di funzionalità respiratoria, media (dev. std) e mediana; fase T0.

Parametro		PE		NE		Totale lavoratori		Residenti	
		Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana
<b>FEV1</b>	l	4.09 (0.65)	4.19	3.7 (0.81)	3.52	4.01 (0.69)	4.02	3,08 (0,80)	3,04
	%	104.47 (11.81)	104.00	111.64 (11.32)	112.00	105.93 (11.97)	105.00	106,89 (16,56)	108
<b>FVC</b>	l	5.07 (0.89)	5.16	4.73 (1.49)	4.12	4.99 (1.03)	5.01	3,83 (0,98)	3,79
	%	106.33 (13.82)	108.00	119.45 (19.56)	117.00	109 (15.88)	110.00	109,88 (17,5)	111
<b>PEF</b>	l*	9.38 (1.89)	9.19	7.19 (2.38)	7.23	8.92 (2.17)	8.80	6,88 (2,18)	6,46
	%	101.21 (18.01)	97.5	94.55 (29.09)	102.00	99.83 (20.64)	98.00	94,09 (20,87)	94
<b>FEV1/FVC</b>	l	81.16 (6.43)	81.68	80.06 (10.77)	80.93	80.94 (7.41)	81.55	80,32 (6,35)	80,57
	%	98.77 (7.84)	99	94.98 (13.14)	94.92	97.99 (9.15)	98.45	97,25 (7,55)	97

\*Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativa

### 5.5.2. Metalli

La tabella 5.10 riporta la media, la deviazione standard e la mediana per tutti i metalli (corretti per il peso specifico dell'urina, senza esclusione dei valori estremi) determinati nei lavoratori PE e NE al T0. La tabella riporta anche i valori riscontrati nei residenti totali e di sesso maschile al T0. La tabella 2 dell'appendice B riepiloga il numero di soggetti con valori statistici outlier e/o estremi. In 23 casi (pari al 2% delle determinazioni urinarie effettuate) i valori si presentano come valori statistici estremi rispetto alla distribuzione, influenzando molto il calcolo della media.

Per la maggior parte dei metalli, le concentrazioni urinarie al T0 risultano comparabili nei lavoratori PE e nei lavoratori NE. Mentre, risultano significativamente diversi tra i due gruppi di lavoratori i livelli urinari di berillio (mediana PE: 0,17 µg/L; mediana NE: 0,10 µg/L;  $p = 0,02$ ), mercurio (mediana PE: 1,31 µg/L; mediana NE: 2,75 µg/L;  $p = 0,01$ ), iridio (mediana PE: 1,50 ng/L; mediana NE: 2,00 ng/L;  $p = 0,04$ ), e manganese (mediana PE: 0,11 µg/L; mediana NE: 0,15 µg/L;  $p = 0,03$ ). Data l'inattività dell'inceneritore in questa fase del biomonitoraggio, le differenze riscontrate per tali metalli tra i due gruppi di lavoratori sono attribuibili ai diversi stili di vita, dieta e/o esposizione ambientale (es. traffico, industrie), piuttosto che ad un'esposizione di tipo lavorativo. Considerando il totale dei lavoratori, per la maggior parte dei metalli determinati nelle urine (antimonio, berillio, cadmio, cobalto, cromo, iridio, manganese, mercurio, nichel, platino, rame, stagno, vanadio) i valori mediani sono paragonabili a quelli riscontrati in altri studi condotti su popolazione generale italiana effettuati tra il 1990 e il 2009<sup>13</sup>.

Le analisi relative al cadmio, i cui livelli urinari sono molto influenzati dall'abitudine al fumo sono state stratificate in base ai livelli di cotinina (tabella 3, appendice B). La stratificazione evidenzia un significativo accumulo di cadmio legata all'abitudine al fumo: i forti fumatori (cotinina urinaria > 50 ng/mL) presentano valori di cadmio significativamente superiori rispetto agli altri soggetti (mediana non fumatore, 0,55 µg/L vs. mediana forte fumatore, 0,83 µg/L;  $p\text{-value}=0,049$ ). Nonostante ciò, le concentrazioni urinarie di cadmio rientrano all'interno degli intervalli di riferimento riportati per la popolazione italiana non esposta<sup>13</sup>.

Per quel che concerne l'arsenico il valore mediano riscontrato nei lavoratori PE (21,74 µg/L) è più elevato di quello dei lavoratori NE (10,14 µg/L) ma la differenza non raggiunge la significatività statistica. I valori dei soggetti PE sono più alti di quelli di un altro studio italiano, ma risalente al 1990<sup>13</sup>. Se, però, tali dati vengono confrontati con i valori dell'arsenico riscontrato nei

residenti, sia totali e sia i solo maschi, riscontrati al T0 (tabella 5.10), non si evidenziano aumenti significativi per entrambi i gruppi di lavoratori.

Palladio, platino e rodio sono indicatori di esposizione a traffico veicolare (sono infatti presenti nelle marmitte catalitiche). I valori di palladio e rodio riscontrati nelle urine dei lavoratori (come già riscontrato per i residenti del programma SPoTT) sono più elevati di quelli riportati in altri studi italiani condotti su popolazione generale<sup>14,15,16</sup>. Ciò riflette la diversa composizione dei prodotti utilizzati nei catalizzatori, cambiata nel corso del tempo, e contribuisce a definire dei nuovi valori cui riferirsi per valutarne la presenza nelle urine in occasione di futuri studi di biomonitoraggio umano. Infatti nell'ultimo decennio si sta assistendo alla progressiva sostituzione del platino con il palladio.

I valori di tallio nelle urine dei lavoratori (come già riscontrato per i residenti del programma SPoTT) sono più elevati di quelli riportati in altri studi italiani condotti su popolazione generale<sup>17</sup>. Il tallio è un indicatore di inquinamento industriale (cementifici, raffinerie, fonderie, cokerie), per cui il livelli riscontrati tendono a riflettere l'esposizione tipica dell'area metropolitana a forte sviluppo industriale da cui proviene la popolazione SPoTT.

I valori mediani di zinco nei lavoratori risultano più alti rispetto ai residenti SPoTT e anche leggermente più elevati di quelli riscontrati nella popolazione italiana non esposta<sup>13</sup>.

Il valore mediano di piombo ematico riscontrato nei soggetti PE (22,24 µg/L) è più elevato di quello dei lavoratori NE (14,95 µg/L) ma non raggiunge la significatività statistica. Ciononostante, il piombo ematico del totale lavoratori presenta valori paragonabili rispetto ai residenti (mediana sul totale dei lavoratori: 21,32 µg/L; mediana sul totale dei residenti senza esclusione dei valori estremi: 18,90 µg/L). In generale, i valori di Pb riflettono quelli riscontrati in altre popolazioni generali italiane<sup>13</sup> e sono anche paragonabili a quelli ottenuti nello studio PROBE<sup>18</sup>.

Tab 5.10. Metalli nelle urine e piombo ematico, media (dev. std) e mediana; valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà del limite e valori estremi inclusi; fase T0.

Parametro		PE		NE		Totale lavoratori		Residenti	
		Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Mediana maschi	Mediana totale
<b>Antimonio</b>	µg/L	0.08 (0.05)	0.07	0.09 (0.06)	0.08	0.09 (0.05)	0.08	0.07	0.07
<b>Arsenico</b>	µg/L	44.48 (62.30)	21.74	40.32 (50.14)	10.14	43.65 (59.66)	20.27	21.04	20.32
<b>Berillio*</b>	µg/L	0.17 (0.07)	0.17	0.12 (0.09)	0.10	0.16 (0.07)	0.16	0.17	0.16
<b>Cadmio</b>	µg/L	0.85 (0.76)	0.67	0.94 (0.64)	0.92	0.87 (0.73)	0.68	0.72	0.72
<b>Cobalto</b>	µg/L	0.24 (0.17)	0.21	0.42 (0.57)	0.27	0.28 (0.29)	0.22	0.16	0.16
<b>Cromo</b>	µg/L	0.22 (0.23)	0.15	0.34 (0.65)	0.15	0.24 (0.35)	0.15	0.17	0.17
<b>Iridio*</b>	µg/L	1.71 (0.79)	1.50	2.38 (1.21)	2.00	1.84 (0.92)	1.71	1.63	1.70
<b>Manganese*</b>	µg/L	0.14 (0.14)	0.11	0.15 (0.04)	0.15	0.14 (0.13)	0.11	0.12	0.13
<b>Mercurio*</b>	µg/L	1.57 (1.04)	1.31	3.14 (1.91)	2.75	1.89 (1.39)	1.45	1.46	1.36
<b>Nichel</b>	µg/L	1.29 (0.82)	1.13	1.53 (1.11)	1.70	1.34 (0.88)	1.18	0.90	0.90
<b>Palladio</b>	µg/L	24.49 (20.31)	22.25	32.27 (27.76)	26.78	26.05 (21.93)	22.59	23.93	24.40
<b>Platino</b>	µg/L	5.75 (3.95)	4.68	5.95 (8.73)	3.43	5.79 (5.15)	4.09	2.96	3.04
<b>Rame</b>	µg/L	12.53 (6.26)	11.25	13.41 (7.01)	12.38	12.71 (6.36)	11.27	12.26	10.86
<b>Rodio</b>	µg/L	22.39 (13.44)	20.60	21.38 (8.10)	20.21	22.19 (12.50)	20.52	18.28	17.98
<b>Stagno</b>	µg/L	1.04 (1.51)	0.62	0.85 (0.66)	0.72	1.00 (1.38)	0.66	0.69	0.64
<b>Tallio</b>	µg/L	0.74 (1.31)	0.36	0.37 (0.22)	0.32	0.67 (1.18)	0.36	0.29	0.27
<b>Vanadio</b>	µg/L	0.05 (0.05)	0.03	0.03 (0.01)	0.03	0.04 (0.04)	0.03	0.04	0.03
<b>Zinco</b>	µg/L	581.99 (334.66)	579.75	522.97 (363.21)	583.35	570.19 (337.90)	584.35	509.52	391.74
<b>Piombo</b>	µg/L	26.50 (13.95)	22.24	20.11 (16.97)	14.95	25.32 (14.59)	21.32	21.77	18.90

\* Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativi ( $p \leq 0,05$ )

### 5.5.3. Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)

Lo studio ha previsto la determinazione di 10 OH-IPA nelle urine raccolte al primo mattino da 55 lavoratori. Considerando che i livelli di creatinina urinaria sono stati sempre quantificati nell'intervallo 30–300 mg/dL tutti i campioni sono stati considerati ai fini della valutazione statistica. Per tutti i metaboliti la frequenza di dati al di sotto del LOQ è risultata sempre inferiore al 4 %, a esclusione del 4-OH-PHE, quantificato solo nel 62 % dei casi.

Le Tabelle 5.11. e 5.12. riportano i parametri delle distribuzioni calcolati sia a partire dai dati aggregati sia sui dati suddivisi per possibile rischio di esposizione a sostanze pericolose sulla base dell'attività lavorativa svolta<sup>e</sup> e per esposizione al fumo. Considerando la presenza di soli sei soggetti femminili, la suddivisione dei dati per sesso non è stata effettuata.

Nel complesso i livelli urinari degli OH-IPA in studio ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) presentano un minimo di 2193 ng/g creatinina e un massimo di 71800 ng/g creatinina, con stime di mediana (P50) e media pari rispettivamente a 6430 ng/g creatinina e 14000 ng/g creatinina. I singoli metaboliti sono rilevati in concentrazioni molto diverse tra loro in funzione del loro peso molecolare: l'1- e il 2-OH-NAP (due anelli condensati) sono i composti più abbondanti - rispettivamente il 24 e il 57% - seguiti dai metaboliti del fluorene e del fenantrene (tre anelli condensati) che contribuiscono rispettivamente in misura pari all'12% e al 4%; l'1-OH-PYR, unico composto tra quelli analizzati con quattro anelli condensati, rappresenta ca. l'1%. Tale profilo è analogo a quello già descritto per la popolazione generale.

I lavoratori potenzialmente esposti presentano nel complesso livelli di OH-IPA superiori rispetto a quelli trovati nei non esposti. Per consentire una rapida visualizzazione delle differenze fra i due gruppi, le distribuzioni degli OH-IPA d'interesse sono state rappresentate in Figura 1 dell'appendice B mediante box plot. Al test di Mann-Whitney la differenza fra i due gruppi è risultata significativa solo per l'1-OH-PYR ( $P < 0.001$ ) e l'1-OH-PHE ( $P < 0.006$ ). Una differenza debolmente significativa è stata trovata per il 2-OH-NAP ( $P < 0.04$ ), mentre per gli altri OH-IPA non si osservano differenze statisticamente significative. E' stata condotta una regressione lineare dopo log-trasformazione dei dati per valutare la differenza tra i due gruppi correggendo per abitudine al fumo. I risultati indicano che per quanto riguarda l'1-OH-PYR anche tenendo conto di questa variabile il gruppo dei potenzialmente esposti ha valori significativamente più alti rispetto ai non esposti. Per quanto riguarda gli altri due analiti non si rilevano differenze statisticamente significative dopo la correzione.

---

<sup>e</sup> Si segnala che i descrittori P<sub>75</sub>, P<sub>90</sub>, e P<sub>95</sub> riportati in Tabella sono stime indicative a causa della bassa numerosità campionaria

Com'è ragionevole attendersi, i livelli di OH-IPA quantificati nelle urine dei forti fumatori sono complessivamente più elevati rispetto a quelli trovati per gli esposti al fumo, e maggiormente più elevati se confrontati con quelli determinati nei non fumatori (la Figura 2 dell'appendice B riporta le distribuzioni di OH-IPA rappresentate mediante box plot nei tre gruppi di lavoratori stratificati in base all'abitudine al fumo). Per ciò che concerne la somma  $\Sigma_{10}$ OH-IPA, per esempio, la mediana (P50) è risultata nei tre gruppi rispettivamente pari a 21800, 4820, 4600 ng/g creatinina. Il test di Mann-Whitney applicato ai dati relativi al gruppo dei forti fumatori (N = 25) e dei non fumatori (N = 23) mostra una differenza statisticamente significativa (P < 0.01) per tutti gli OH-IPA ad eccezione del 4-OH-PHE - probabilmente a causa dell'elevato numero di risultati al di sotto del LOQ - e dell'9-OH-FLU (P = 0.054). Risultati analoghi si ottengono se il gruppo dei forti fumatori (N = 25) è confrontato con quello degli esposti al fumo (N = 7). Se il test viene eseguito tra il gruppo dei non fumatori (N = 23) e quello degli esposti al fumo (N = 7), pur rimanendo significativa la differenza in termini di cotinina (P < 0.0001), non sono significative le differenze tra i due gruppi per nessuno degli OH-IPA determinati. L'abitudine al fumo, in particolare nei forti fumatori, è dunque una variabile importante di cui tenere in considerazione quando si valuterà la relazione tra livelli urinari di OH-IPA ed esposizione ad emissioni dell'inceneritore. Il test di Spearman conferma che la cotinina ha una correlazione positiva e significativa con tutti gli analiti ad eccezione del 4-OH-PHEN.

L'applicazione del test per ranghi di Spearman all'intero set di dati mostra inoltre una correlazione generalmente significativa (P < 0.05) tra i diversi OH-IPA: soggetti con elevate concentrazioni di uno dei composti analizzati presentano elevate concentrazioni anche degli altri composti. Come già osservato per la popolazione generale, non è evidente una correlazione statisticamente significativa tra i livelli di OH-IPA riscontrati e l'età dei lavoratori: unica eccezione è rappresentata dal 9-OH-FLU per il quale il test di Spearman ha fornito evidenza di una correlazione statisticamente significativa (P = 0.022).

Confrontando il gruppo dei lavoratori e la popolazione generale (55 vs 367) con il test di Mann-Whitney sono state riscontrate differenze statisticamente significative per i metaboliti del fluorene e per l'1-OH-PYR che risultano più alti nei lavoratori tranne nel caso del 9-OH-FLU. In tutti gli altri casi i due gruppi presentano livelli urinari di OH-IPA non statisticamente diversi. Limitando l'analisi ai fumatori forti (25 vs 76) l'unica differenza che rimane statisticamente significativa è relativa al 9-OH-FLU, evidenziando nuovamente il ruolo confondente dell'abitudine al fumo.

E' stata condotta inoltre una regressione lineare dopo log-trasformazione dei dati per valutare la differenza tra lavoratori e residenti correggendo per abitudine al fumo. I risultati

confermano che solo la differenza per il 9-OH-FLU rimane statisticamente significativa tenendo conto di questa variabile.

Tab 5.11. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerbito) relativamente all'insieme di tutti i dati e per possibile rischio di esposizione; n=55; fase T0. Valori espressi con formato fisso a tre cifre. Dati espressi in ng/g creatinina.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Tutti i dati</b>										
1-OH-NAP	55 (0)	131	617	1390	1860	4490	7200	10900	22400	32700
2-OH-NAP	55 (0)	934	2300	5320	5080	7400	9910	14800	23600	28900
2-OH-FLU	55 (0)	50.6	150	214	321	619	885	1410	2680	4010
3-OH-FLU	55 (2)	11.6 <sup>d</sup>	44.8	83.7	146	385	580	1090	1470	2520
9-OH-FLU	55 (0)	90.3	219	346	374	470	550	869	1650	1750
1-OH-PHEN	55 (1)	16.7 <sup>d</sup>	97.0	154	154	187	230	329	421	743
2-OH-PHEN	55 (1)	18.2 <sup>d</sup>	37.4	60.3	60.6	74.7	94.2	133	230	235
3-OH-PHEN	55 (1)	18.1 <sup>d</sup>	62.2	103	107	140	172	265	392	600
4-OH-PHEN	55 (21)	4.66 <sup>d</sup>	11.1	38.8	32.3	50.7	63.2	94.3	164	249
1-OH-PYR	55 (1)	15.0 <sup>d</sup>	59.9	134	121	187	237	438	611	1051
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	55	2180	4330	6430	9070	14000	20000	29300	54600	71800
<b>Potenzialmente esposti</b>										
1-OH-NAP	44 (0)	131	594	2130	2020	5070	7650	12300	22400	32700
2-OH-NAP	44 (0)	1270	2830	6150	5760	8200	10900	18800	23600	28900
2-OH-FLU	44 (0)	50.6	153	272	368	705	1181	1471	2680	4010
3-OH-FLU	44 (1)	21.5 <sup>d</sup>	52.4	128	177	446	694	1320	1470	2520
9-OH-FLU	44 (0)	90.3	214	354	384	495	608	869	1650	1750
1-OH-PHEN	44 (1)	16.7 <sup>d</sup>	114	171	169	205	254	373	421	743
2-OH-PHEN	44 (1)	18.2 <sup>d</sup>	37.5	64.9	64.1	79.7	98.4	141	230	235
3-OH-PHEN	44 (1)	18.1 <sup>d</sup>	67.1	109	114	152	183	290	392	600
4-OH-PHEN	44 (14)	4.66 <sup>d</sup>	13.8	45.9	36.0	56.4	70.1	114	164	249
1-OH-PYR	44 (0)	15.0	89.9	152	148	218	258	458	611	1050
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	44	2180	4610	10600	10200	15600	22400	33900	54600	71800
<b>Non esposti</b>										
1-OH-NAP	11 (0)	550	642	866	1330	2190	2320	6000	8900	8900
2-OH-NAP	11 (0)	934	1840	2380	3080	4210	4330	9910	13700	13700
2-OH-FLU	11 (0)	58.7	115	181	187	274	226	812	885	885
3-OH-FLU	11 (1)	11.5 <sup>d</sup>	24.9	57.6	68.3	139	126	424	614	614
9-OH-FLU	11 (0)	181	233	320	336	373	435	529	884	884
1-OH-PHEN	11 (0)	62.6	77.7	92.0	106	115	157	194	197	197
2-OH-PHEN	11 (0)	21.3	32.5	44.8	48.5	54.7	73.4	74.5	133	133
3-OH-PHEN	11 (0)	46.0	52.9	71.3	82.4	91	123	143	187	187
4-OH-PHEN	11 (7)	8.15 <sup>d</sup>	9.55	26.3	20.7	27.6	38.8	62.5	69.5	69.5
1-OH-PYR	11 (1)	22.1 <sup>d</sup>	31.3	58.2	53.5	63.6	74.9	124	151	151
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	11	2360	3150	4820	5640	7540	6430	18300	24800	24800

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

Tab 5.12. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerardo) relativamente all'insieme di tutti i dati e per abitudine al fumo; n=55; fase T0. Valori espressi con formato fisso a tre cifre. Dati espressi in ng/g creatinina.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub> <sup>b</sup>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Forti fumatori (cotinina &gt; 50 ng/mL)</b>										
1-OH-NAP	25 (0)	374	3690	7212	6091	8849	10536	22372	23300	32700
2-OH-NAP	25 (0)	1989	7261	9910	9695	11883	14645	23600	28286	28900
2-OH-FLU	25 (0)	188	490	979	863	1167	1410	2680	3298	4010
3-OH-FLU	25 (0)	76.0	302	614	552	779	1066	1470	2341	2520
9-OH-FLU	25 (0)	142	311	481	477	598	634	1650	1737	1750
1-OH-PHEN	25 (0)	78.9	148	215	212	244	304	421	439	743
2-OH-PHEN	25 (0)	24.4	53.7	84.9	77.1	93.1	105	230	232	235
3-OH-PHEN	25 (0)	39.7	108	162	156	194	225	392	575	600
4-OH-PHEN	25 (9)	4.66 <sup>d</sup>	9.03	42.1	33.9	57.2	85.6	132	164	230
1-OH-PYR	25 (0)	69.7	145	211	220	279	326	611	651	1051
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	25	4300	13000	21800	19000	24100	28600	54600	60900	71800
<b>Esposto a fumo (cotinina 1- 50 ng/mL)</b>										
1-OH-NAP	7 (0)	359	617	812	898	1100	2040	2320	2320	2320
2-OH-NAP	7 (0)	934	1400	2380	2718	3590	5320	9090	9090	9090
2-OH-FLU	7 (0)	70.1	144	181	160	169	211	226	226	226
3-OH-FLU	7 (0)	22.5	30.9	57.6	52.9	61.1	86.1	126	126	126
9-OH-FLU	7 (0)	177	200	233	268	282	394	435	435	435
1-OH-PHEN	7 (0)	76.0	92.0	95	98	100	103	145	145	145
2-OH-PHEN	7 (0)	32.5	34.9	40.2	41.8	43.2	44.8	73.4	73.4	73.4
3-OH-PHEN	7 (0)	50.9	52.9	63.7	67.1	69.0	74.2	108	108	108
4-OH-PHEN	7 (4)	8.15 <sup>d</sup>	9.65	24.9	22.8	30.8	60.3	62.5	62.5	62.5
1-OH-PYR	7 (0)	27.6	27.9	58.2	51.7	61.1	63.3	153	153	153
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	7	2360	2970	4820	4810	5500	6310	12100	12100	12100
<b>Non fumatori (cotinina &lt; 1 ng/mL)</b>										
1-OH-NAP	23 (0)	131	436	703	637	793	814	1390	2224	2989
2-OH-NAP	23 (0)	1270	2004	3010	3040	3690	4330	6200	9520	13800
2-OH-FLU	23 (0)	50.6	97.7	152	136	159	178	256	266	595
3-OH-FLU	23 (2)	11.6 <sup>d</sup>	29.7	49.5	47.0	55.1	74	84	84	182
9-OH-FLU	23 (0)	90.3	193	283	318	389	473	869	880	884
1-OH-PHEN	23 (1)	16.7 <sup>d</sup>	79	149	125	152	197	230	329	401
2-OH-PHEN	23 (1)	18.2 <sup>d</sup>	29.3	56.8	52.2	64.2	75.7	133	141	198
3-OH-PHEN	23 (1)	18.1 <sup>d</sup>	50.9	84	81	102	146	187	188	389
4-OH-PHEN	23 (8)	7.71 <sup>d</sup>	13.2	38.0	33.9	49.6	63.2	83.7	90.5	249
1-OH-PYR	23 (1)	15.0 <sup>d</sup>	38.6	86.9	81.7	125	151	238	385	586
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	23	2180	3590	4600	4900	5580	6130	7400	11000	20000

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

#### 5.5.4. Diossine e policlorobifenili

Diossine (PCDD, PCDF) e policlorobifenili (PCB) sono stati determinati solo nel personale addetto alle linee le cui attività prevedono la possibilità di contatto con sostanze pericolose. Sono stati coinvolti 40 lavoratori di sesso maschile di età compresa tra i 22 e i 64 anni (4 hanno rifiutato il prelievo).

In Tabella 5.13 sono riportati i parametri delle distribuzioni di frequenza calcolati per famiglia di sostanze analizzate relativi all'intero set di dati e ai dati relativi ai lavoratori di età compresa tra 35 e 50 anni<sup>f</sup>. Le concentrazioni di PCDD+PCDF presentano un minimo di 2.77 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 21.3 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P50) e media rispettivamente 6.53 e 6.01 pgWHO-TE97/g lb. I DL-PCB presentano un minimo di 2.65 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 26.8 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P50) e media rispettivamente 6.20 e 5.66 pgWHO-TE97/g lb. Infine, i TEQ-TOT presentano un minimo di 6.92 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 48.1 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P50) e media rispettivamente 13.0 e 11.5 pgWHO-TE97/g lb. Il contributo dei DL-PCB ai TEQ-TOT risulta mediamente pari al 48 % con valori compresi tra il 33 e il 71 %.

Per ciò che concerne gli NDL-PCB, le concentrazioni cumulative di  $\Sigma 30\text{NDL-PCB}$  vanno da 70.0 a 620 ng/g lb, con stime di mediana (P50) e media rispettivamente a 190 e 177 ng/g lb. Mediamente i sei congeneri "indicatori" ( $\Sigma 6\text{NDL-PCB}$ ) rappresentano circa il 64 % dei 30 NDL-PCB analizzati ( $\Sigma 30\text{NDL-PCB}$ ).

---

<sup>f</sup> si segnala che i descrittori P75, P90, e P95 riportati in tabella sono stime indicative a causa della bassa numerosità campionaria.

Tab 5.13. Statistica descrittiva inerente PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB nei campioni di siero prelevato da un gruppo di lavoratori del termovabrizzatore della provincia di Torino (Gerbido); n=40; fase T0. Valori *medium bound* espressi con formato fisso a tre cifre.

Sostanze <sup>a</sup>	N <sup>b</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>c</sup>	P <sub>95</sub> <sup>c</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Tutti dati</b>										
PCDD+PCDF	40	2.77	4.89	6.53	7.23	6.01	8.50	11.0	17.1	21.3
DL-PCB	40	2.65	4.40	6.20	7.18	5.66	8.79	13.3	15.3	26.8
TEQ <sub>TOT</sub> <sup>d</sup>	40	6.92	9.46	13.0	14.4	11.5	16.9	24.2	28.5	48.1
Σ <sub>6</sub> NDL-PCB <sup>e</sup>	40	44.0	76.5	116	136	113	166	251	328	382
Σ <sub>30</sub> NDL-PCB <sup>f</sup>	40	70.0	125	190	222	177	269	399	525	620
<b>35-50 anni</b>										
PCDD+PCDF	27	2.77	4.97	6.84	7.67	6.43	8.91	12.1	20.7	21.3
DL-PCB	27	3.21	4.97	6.70	7.60	6.42	9.00	11.7	16.4	26.8
TEQ <sub>TOT</sub> <sup>d</sup>	27	7.50	10.6	13.8	15.3	12.7	17.5	25.3	31.0	48.1
Σ <sub>6</sub> NDL-PCB <sup>e</sup>	27	60.0	82.0	128	145	116	169	253	350	382
Σ <sub>30</sub> NDL-PCB <sup>f</sup>	27	99.0	133	208	235	187	273	405	527	620

<sup>a</sup> Valori espressi in pgWHO-TE97/g lb per PCDD+PCDF, DL-PCB, and TEQTOT, e in ng/g lb per Σ<sub>6</sub>NDL-PCB e Σ<sub>30</sub>NDL-PCB.

<sup>b</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica.

<sup>c</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>d</sup> PCDD+PCDF+DL-PCB.

<sup>e</sup> Somma dei PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180.

<sup>f</sup> Somma dei PCB 18, 28, 31, 33, 49, 52, 66, 70, 74, 91, 95, 99, 101, 110, 128, 138, 141, 146, 149, 151, 153, 170, 174, 177, 180, 183, 187, 194, 196, 203.

La Tabella 5.14. mostra la stratificazione per classe di BMI dei parametri delle distribuzioni di frequenza calcolati per famiglia di sostanze analizzate. I soggetti obesi mostrano valori sistematicamente superiori rispetto alle altre due classi di BMI, ma i soggetti in sovrappeso hanno valori più bassi dei normopeso, quindi non si evidenzia un trend all'aumentare della categoria di BMI.

Tab 5.14. Statistica descrittiva inerente PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB nei campioni di sangue (siero) umano prelevato da un gruppo di lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerbido); n=40; fase T0. Valori *medium bound* espressi con formato fisso a tre cifre. Stratificazione per classi di BMI.

Sostanze <sup>a</sup>	N <sup>b</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>c</sup>	P <sub>95</sub> <sup>c</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Normopeso</b>										
PCDD+PCDF	12	4.67	5.42	6.52	6.53	6.68	7.88	8.89	8.91	8.91
DL-PCB	12	3.60	5.03	5.71	6.57	7.30	7.78	14.24	16.36	16.36
TEQ <sub>TOT</sub> <sup>d</sup>	12	9.38	10.29	12.06	13.26	13.99	15.87	22.24	25.25	25.25
Σ <sub>6</sub> NDL-PCB <sup>e</sup>	12	62.03	93.04	123.97	131.38	149.85	159.20	306.28	350.27	350.27
Σ <sub>30</sub> NDL-PCB <sup>f</sup>	12	100.65	158.02	207.80	214.92	243.44	250.34	522.45	527.40	527.40
<b>Sovrappeso</b>										
PCDD+PCDF	23	2.77	4.59	5.45	6.13	7.06	8.11	9.96	20.71	21.3
DL-PCB	23	2.65	3.42	5.28	5.83	7.03	9.04	11.65	14.14	26.84
TEQ <sub>TOT</sub> <sup>d</sup>	23	6.91	8.15	11.13	12.25	14.10	16.39	23.18	30.99	48.15
Σ <sub>6</sub> NDL-PCB <sup>e</sup>	23	44.49	61.77	88.44	103.10	124.17	168.67	245.80	252.78	381.75
Σ <sub>30</sub> NDL-PCB <sup>f</sup>	23	70.25	105.01	152.77	170.64	204.80	292.17	381.39	404.85	620.25
<b>Obeso</b>										
PCDD+PCDF	5	5.42	6.07	9.46	8.75	9.33	12.14	13.56	13.56	13.56
DL-PCB	5	4.77	6.37	6.82	7.17	7.55	7.32	12.45	12.45	12.45
TEQ <sub>TOT</sub> <sup>d</sup>	5	10.84	12.74	16.29	16.10	16.88	18.52	26.01	26.01	26.01
Σ <sub>6</sub> NDL-PCB <sup>e</sup>	5	81.63	115.88	153.23	145.01	155.45	177.98	248.53	248.53	248.53
Σ <sub>30</sub> NDL-PCB <sup>f</sup>	5	128.75	184.05	264.81	232.01	248.60	273.11	392.28	392.28	392.28

<sup>a</sup> Valori espressi in pgWHO-TE97/g lb per PCDD+PCDF, DL-PCB, and TEQTOT, e in ng/g lb per Σ<sub>6</sub>NDL-PCB e Σ<sub>30</sub>NDL-PCB.

<sup>b</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica.

<sup>c</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>d</sup> PCDD+PCDF+DL-PCB.

<sup>e</sup> Somma dei PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180.

<sup>f</sup> Somma dei PCB 18, 28, 31, 33, 49, 52, 66, 70, 74, 91, 95, 99, 101, 110, 128, 138, 141, 146, 149, 151, 153, 170, 174, 177, 180, 183, 187, 194, 196, 203.

La correlazione tra PCDD, PCDF, e PCB è stata studiata mediante il test per ranghi di Spearman (Tabella 10 in Appendice B): tutte le correlazioni sono statisticamente significative ( $P < 0.05$ ), suggerendo che soggetti con elevati livelli ematici di una delle classi di sostanze analizzate presentano alte concentrazioni anche per le altre classi. Il test di Spearman mostra anche una significativa correlazione tra ciascuna delle classi di sostanze in studio e l'età ( $P < 0.0001$ ), confermando come i livelli di PCDD, PCDF, e PCB aumentano progressivamente con l'età. Non sono invece risultate significative le correlazioni con il BMI.

Tutti i descrittori (X<sub>MIN</sub>, P<sub>25</sub>, mediana (P<sub>50</sub>), media, media geometrica (GM), P<sub>75</sub>, P<sub>90</sub>, P<sub>95</sub>, e X<sub>MAX</sub>) calcolati nel gruppo di lavoratori (Tabella 5.10) sono generalmente inferiori rispetto a quelli osservati nei soggetti maschili della popolazione generale riportati nel report 2. I risultati sono analoghi anche quando il confronto è effettuato con il sottogruppo di lavoratori della stessa fascia d'età (35–50 anni). In Appendice B tale confronto è riportato in forma grafica nei box plot della Figura 3.

I risultati descritti in questo report sono difficilmente confrontabili con i dati di letteratura. La maggior parte degli studi condotti sui lavoratori che ha considerato come biomarcatori i composti organo clorurati, è infatti di tipo trasversale e prevede il confronto tra gruppi di lavoratori esposti e non esposti. Solo due studi condotti in Spagna hanno un disegno longitudinale con misurazioni prima e dopo l'entrata in funzione dell'impianto <sup>19,20</sup>). I confronti sono tuttavia difficili per diversi motivi: entrambi gli studi risalgono a più di 15 anni fa, i composti sono stati analizzati in pool ed infine, i risultati sono espressi con unità di misura differenti.



## 5.6. Risultati dopo un anno dal primo prelievo (fase T1)

Sono qui descritti e commentati i principali risultati riguardanti lo stato di salute generale e le concentrazioni di metalli e dei metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici nei lavoratori a distanza di un anno dall'assunzione presso il termovalorizzatore.

I risultati presentati in questo paragrafo riguardano 46 lavoratori, 11 con mansioni di tipo dirigenziale o amministrativo (NE) e 35 con attività di lavoro sulle linee (PE). Tutti i risultati si riferiscono al primo follow-up, eseguito dopo un anno dal baseline.

I 35 soggetti PE sono tutti maschi ed hanno un'età di 40 anni e 8 mesi, di poco inferiore ai colleghi NE (42 anni e 3 mesi).

Le caratteristiche generali dei lavoratori non sono cambiate rispetto al baseline. Ci sono 3 soggetti che abitano nella zona di esposizione in base ai modelli previsionali, di cui 2 già al T0.

Per quel che riguarda l'abitudine al fumo (tabella 5.15), i soggetti sono stati classificati in tre categorie in base ai livelli di cotinina urinaria calcolata sui prelievi fatti ad inizio turno. In totale il 44% dei soggetti risultano forti fumatori.

Tab 5.15. Distribuzione soggetti per concentrazione di cotinina (inizio turno)

Cotina	PE		NE	
	Num	%	Num	%
> 50 ng/mL ( <i>forte fumatore</i> )	17	50.00	3	27.27
1-50 ng/mL ( <i>esposto a fumo</i> )	4	11.76	1	9.09
< 1 ng/mL ( <i>non fumatore</i> )	13	38.24	7	63.64
<i>totale</i>	34	100	11	100

Il consumo di alcool è stato rilevato tramite questionario. Si è chiesto quante unità di superalcolico, vino e birra vengono consumate mediamente al giorno. I dati risultano essere incompleti per questa parte, tuttavia dalle informazioni che si hanno si ricava che ci sono solo quattro lavoratori esposti all'alcol.

### 5.6.1. Stato di salute generale

Dodici lavoratori riferiscono nuovi problemi di salute insorti da quando hanno iniziato a lavorare in impianto; otto hanno riscontrato l'acuirsi di problemi esistenti. Tendenzialmente si

tratta di patologie minori e non direttamente legate alle esposizioni di interesse. Due lavoratori riferiscono di aver iniziato ad assumere farmaci in maniera regolare negli ultimi 12 mesi.

In tabella 5.16 sono riportati i principali risultati riguardanti i parametri ormonali, urinari e di funzionalità epatica. La media dei valori risulta sempre nella norma. Alcune persone hanno singoli parametri al di sopra o al di sotto dei valori di norma: la valutazione di tali risultati è ovviamente affidata al medico di medicina generale.

Per quanto riguarda i parametri ormonali i lavoratori PE hanno valori di FT3 significativamente superiori ai lavoratori NE. Tra i parametri renali risulta significativamente differente la fosforemia, con valori più bassi tra i PE.

Tra i parametri epatici risultano significative le differenze nei valori di transaminasi GPT (transaminasi glutamicopiruvica o alaninoamino transferasi) e GgT (gammaglutamiltranspeptidasi), entrambi superiori tra i lavoratori PE.

Tab 5.16 Parametri ormonali, renali ed epatici, media (dev. std) e mediana; fase T1.

Parametro	PE		NE		Totale lavoratori	
	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana
<b>FT3*</b>	3.39 (0.31)	3.39	2.95 (0.39)	3.04	3.29 (0.38)	3.33
<b>FT4</b>	1.09 (0.16)	1.07	1.11 (0.16)	1.11	1.09 (0.16)	1.07
<b>TSH</b>	1.30 (0.65)	1.28	1.27 (0.55)	1.32	1.30 (0.62)	1.30
<b>ACTH</b>	23.29 (17.51)	20.30	15.73 (7.38)	14.80	21.48 (15.95)	17.35
<b>Cortisolo</b>	128.35 (48.69)	121.7	130.03 (34.16)	121.90	128.75 (45.29)	121.8
<b>Azotemia</b>	33.74 (8.54)	33.00	32.82 (8.84)	31.00	33.52 (8.52)	32.00
<b>Creatininemia</b>	1.02 (0.12)	1.00	0.98 (0.13)	1.06	1.01 (0.12)	1.01
<b>Microalbuminuria</b>	9.47 (14.99)	5.1	4.36 (2.38)	4.9	8.24 (13.26)	5.00
<b>Fosforemia*</b>	1.05 (0.17)	1.04	1.23 (0.11)	1.26	1.10 (0.17)	1.11
<b>Bilirubina totale</b>	0.72 (0.25)	0.71	0.85 (0.29)	0.73	0.75 (0.26)	0.71
<b>Bilirubina diretta</b>	0.12 (0.05)	0.11	0.12 (0.07)	0.09	0.12 (0.05)	0.10
<b>Bilirubina indiretta</b>	0.60 (0.21)	0.58	0.73 (0.23)	0.64	0.63 (0.22)	0.61
<b>GOT</b>	23.57 (7.05)	22.00	23.09 (4.70)	25.00	23.46 (6.52)	22.50
<b>GPT*</b>	32.09 (16.02)	30.00	18.64 (6.50)	16.00	28.87 (15.39)	26.00
<b>Ggt*</b>	49.57 (41.37)	35.00	13.45 (5.18)	13.00	40.93 (39.28)	24.50

\* Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativa

In tabella 5.17 sono riportati i principali risultati riguardanti la funzionalità respiratoria<sup>§</sup>, che in media è risultata nella norma. Confrontando i lavoratori PE e NE risulta che i lavoratori PE hanno valori di FEV(%) e FVC(%) significativamente inferiori agli NE, e valori di PEF(%) significativamente superiori. In 3 soggetti PE la funzionalità respiratoria è risultata ai limiti inferiori o con alterazione ostruttiva lieve, di cui 2 avevano avuto la stessa diagnosi al T0. Mediamente i soggetti PE fumatori hanno una funzionalità leggermente inferiore rispetto ai colleghi non fumatori.

Tab 5.17. Parametri di funzionalità respiratoria, media (dev. std) e mediana; fase T1.

Parametro		PE		NE		Totale lavoratori	
		Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana
<b>FEV1</b>	l	3.96 (0.61)	3.97	3.74 (0.76)	3.72	3.90 (0.65)	3.94
	%*	101.09 (11.64)	101	114 (13.54)	115	104.17 (13.20)	102.50
<b>FVC</b>	l	5.02 (0.87)	4.94	4.72 (0.99)	4.47	4.95 (0.90)	4.87
	%*	105.28 (13.27)	105	121.64 (17.11)	114	109.20 (15.74)	109.50
<b>PEF</b>	l	9.57 (1.89)	9.54	7.69 (2.09)	7.42	9.12 (2.08)	9.27
	%*	103.51 (18.37)	105	105.73 (14.00)	101	104.04 (17.31)	104.50
<b>FEV1/FVC</b>	l	79.28 (5.36)	80.13	79.31 (6.71)	76.39	79.29 (5.63)	79.01
	%	96.41 (6.50)	96.98	94.24 (8.76)	91.16	95.89 (7.06)	85.17

\*Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativa

<sup>§</sup> La funzionalità respiratoria è stata misurata tramite spirometria eseguita con uno spirometro portatile da personale individuato ad hoc dalla scuola di specializzazione in malattie dell'apparato respiratorio - Ospedale S. Luigi Gonzaga - dell'Università di Torino.

## 5.6.2. Metalli

La tabella 5.18. riporta la media, la deviazione standard e la mediana per tutti i metalli (corretti per il peso specifico dell'urina, senza esclusione dei valori estremi) determinati nei lavoratori PE e NE al T1. La tabella riporta anche i valori riscontrati al primo follow-up (T1) nei residenti totali e di sesso maschile senza esclusione dei valori estremi. In 24 casi (pari al 3% delle determinazioni urinarie effettuate) (tabella 2, appendice C) le determinazioni si presentano come valori statistici estremi rispetto alla distribuzione, influenzando molto il calcolo della media. Le analisi relative al cadmio, i cui livelli urinari sono molto influenzati dall'abitudine al fumo sono state stratificate in base ai livelli di cotinina (tabella 3, appendice C): i forti fumatori (cotinina urinaria > 50 ng/mL) presentano valori di cadmio superiori rispetto agli altri soggetti ma le differenze non sono statisticamente significative (p-value=0.486).

Le concentrazioni urinarie per quasi tutti i metalli al T1 non presentano differenze significative tra lavoratori PE e NE. Risultano statisticamente significativi solo il mercurio (mediana PE: 1,53 µg/L; mediana NE: 0,67 µg/L; p = 0,01) e il platino (mediana PE: 3,49 µg/L. mediana NE: 1,76 µg/L; p = 0.002). Se i valori sul totale dei lavoratori al T1 vengono confrontati con i valori riscontrati residenti nella popolazione generale SPoTT al T1 (tabella 5.18), la mediana del mercurio risulta leggermente più alta nei lavoratori, mentre il valore di platino è sovrapponibile o addirittura più basso nei lavoratori rispetto ai residenti.

Per alcuni dei metalli determinati, sono disponibili valori di riferimento occupazionali definiti dallo SCOEL<sup>h,21</sup> o dall'ACGIH<sup>22</sup>. In entrambi i casi si è preso in considerazione l'indice biologico di esposizione (IBE); gli IBE rappresentano un indice dell'introduzione della sostanza nell'organismo di lavoratori professionalmente esposti a livelli di concentrazione della stessa sostanza in aria dell'ordine di grandezza dei TLV-TWA.

Gli IBE hanno la funzione di aumentare quantità e qualità della sorveglianza sanitaria nell'ambiente lavorativo, anche se non rappresentano, però, una linea di demarcazione netta fra esposizione pericolosa o non pericolosa da un punto di vista tossicologico.

---

<sup>h</sup> SCOEL: Il *Scientific Committee on Occupational Exposure Limits* è il Comitato istituito in seno alla Comunità Europea nel 1995 con lo scopo di formulare proposte ed indicazioni sui valori limite di esposizione professionale alle sostanze chimiche.

Gli IBE SCOEL disponibili ad oggi per i metalli, e quasi tutti relativi a concentrazioni urinarie, sono i seguenti:

- cadmio: 2 µg/g creatinina
- mercurio: 35 µg/g creatinina
- nichel: 3 µg/L
- piombo (nel sangue): 30 µg/100 ml

Gli IBE ACGIH, quasi tutti relativi a concentrazioni urinarie, disponibili sono:

- arsenico: 35 µg/L;
- cadmio: 5 µg/g creatinina;
- cobalto: 15 µg/L;
- cromo (fine turno): 25 µg/L
- mercurio (fine turno): 20 µg/g creatinina
- piombo (nel sangue): 30 µg/100 mL.

Rispetto agli IBE sopraindicati, i valori mediani dei metalli in entrambi i gruppi di lavoratori dopo un anno di attività dell'inceneritore sono al di sotto dei valori di riferimento occupazionali. Anche per tale motivo, il risultato del biomonitoraggio al T1 non evidenzia un'esposizione lavorativa rilevante e tale da dover aumentare la sicurezza sanitaria struttura degli addetti dell'impianto.

Se si considerano invece i valori dei metalli per ciascun lavoratore dell'impianto, un numero molto limitato di soggetti ha mostrato un'escrezione urinaria di singoli metalli (arsenico, cadmio e nichel) più elevata degli IBE. Per quanto concerne l'arsenico, 9 lavoratori presentano valori superiori a 35 µg/L, di cui 4 superiori a 70 µg/L. A tal proposito, va comunque ricordato che l'IBE per l'As fa riferimento al solo arsenico inorganico e metaboliti, mentre nel presente studio i valori dell'arsenico si riferiscono all'arsenico totale comprendente anche le specie organiche, principalmente provenienti dalla dieta e non rilevanti da un punto di vista tossicologico.

Per il cadmio un solo lavoratore, non fumatore, presentava valori superiori a 5 µg/g creatinina. Per quanto riguarda il nichel, 3 lavoratori riportavano concentrazioni urinarie di poco superiori a 3 µg/L.

Per il cobalto, il cromo e il piombo nessuno supera i valori sopra riportati.

I lavoratori che presentano valori superiori agli IBE al T1 saranno oggetto di attenzione sul piano individuale, sia attraverso l'esame del questionario al fine di individuare variabili (dieta,

abitudini, stili di vita) che possono aver contribuito al superamento degli IBE sia attraverso la ripetizione dell'analisi al secondo follow-up (T2).

Tutti i valori riscontrati sono stati anche confrontati con i valori limite (VL) calcolati sulla distribuzione dei valori della popolazione monitorata dal programma SPoTT, dopo correzione per l'incertezza legata al metodo (per approfondimenti si rimanda al *Protocollo di presa in carico dei soggetti con valori estremi di metalli*). Molti dei soggetti (N = 17) che presentavano al baseline valori di uno o più metalli maggiori del Valore Limite (VL), non si confermano come tali dopo un anno (per gli stessi metalli). Un piccolo numero di soggetti (N = 6) che mostrava al baseline livelli di metalli (cobalto, cromo, manganese, tallio) più alti del VL, invece, si conferma avere valori superiori al VL anche dopo un anno (tabella 4 dell'appendice D). 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 del Co), presenza di tatuaggi (es. per Co) e protesi (es. per Co). Altri soggetti (N=6) al T1 hanno mostrato valori di arsenico, cobalto, stagno, tallio e vanadio maggiori del VL. Tutti i soggetti con valori superiori al VL verranno comunque monitorati successivamente in occasione del secondo follow-up.



Tab 5.18. Metalli nelle urine e piombo ematico, media (dev. std) e mediana ; valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà del limite e valori estremi inclusi; fase T1.

Parametro		PE		NE		Totale lavoratori		Residenti	
		Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Media (dev. std)	Mediana	Mediana maschi	Mediana totale
<b>Antimonio</b>	µg/L	0.08 (0.05)	0.06	0.08 (0.03)	0.07	0.08 (0.05)	0.06	0.05	0.05
<b>Arsenico</b>	µg/L	33.57 (48.72)	13.83	37.18 (56.90)	14.21	34.43 (50.16)	14.02	11.39	9.07
<b>Berillio</b>	µg/L	0.12 (0.07)	0.10	0.19 (0.10)	0.23	0.13 (0.08)	0.11	0.10	0.10
<b>Cadmio</b>	µg/L	0.70 (0.54)	0.57	0.43 (0.29)	0.39	0.64 (0.50)	0.53	0.42	0.40
<b>Cobalto</b>	µg/L	0.36 (0.54)	0.24	0.28 (0.28)	0.20	0.34 (0.49)	0.21	0.13	0.15
<b>Cromo</b>	µg/L	0.27 (0.24)	0.19	0.24 (0.20)	0.14	0.26 (0.23)	0.19	0.20	0.20
<b>Iridio</b>	µg/L	1.26 (0.77)	0.99	0.91 (0.47)	0.98	1.17 (0.72)	0.99	1.23	1.07
<b>Manganese</b>	µg/L	0.15 (0.22)	0.12	0.09 (0.04)	0.08	0.14 (0.20)	0.12	0.09	0.10
<b>Mercurio*</b>	µg/L	1.99 (1.52)	1.53	0.98 (0.55)	0.67	0.75 (1.41)	1.22	1.00	0.91
<b>Nichel</b>	µg/L	1.57 (1.07)	1.17	1.09 (0.99)	0.66	1.46 (1.07)	1.17	0.89	0.89
<b>Palladio</b>	µg/L	27.10 (20.57)	17.45	30.76 (22.85)	21.81	27.97 (20.93)	21.59	14.48	14.06
<b>Platino*</b>	µg/L	4.45 (3.39)	3.49	2.07 (1.45)	1.76	3.88 (3.19)	2.58	3.24	3.09
<b>Rame</b>	µg/L	11.57 (7.74)	10.45	8.87 (3.51)	8.90	10.93 (7.02)	10.42	8.27	7.42
<b>Rodio</b>	µg/L	22.60 (19.50)	18.79	20.65 (15.30)	12.55	22.13 (18.44)	17.17	14.27	12.83
<b>Stagno</b>	µg/L	0.72 (1.54)	0.43	0.67 (1.11)	0.34	0.71 (1.43)	0.37	0.32	0.31
<b>Tallio</b>	µg/L	0.69 (1.27)	0.26	0.29 (0.13)	0.31	0.59 (1.12)	0.28	0.17	0.16
<b>Vanadio</b>	µg/L	0.05 (0.06)	0.03	0.02 (0.01)	0.02	0.04 (0.06)	0.03	0.03	0.02
<b>Zinco</b>	µg/L	408.14 (352.51)	327.34	263.88 (118.8)	297.36	373.64 (317.64)	307.16	361	265
<b>Piombo</b>	µg/L	24.75 (13.46)	20.58	22.31 (10.96)	20.19	24.17 (12.83)	20.38	-	-

\* Differenza tra lavoratori PE e NE statisticamente significativi ( $p \leq 0,05$ )

### 5.6.3. Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)

Lo studio ha previsto la determinazione di 10 OH-IPA nelle urine raccolte a inizio turno/inizio settimana lavorativa e fine turno/fine settimana lavorativa da 41 lavoratori (35 soggetti maschili e sei soggetti femminili) di età compresa tra i 23 e i 58 anni. Undici lavoratori erano impegnati in lavoro d'ufficio (NE), 30 erano coinvolti in attività che prevedevano la possibilità di contatto con sostanze pericolose (PE).

In accordo con le linee-guida del WHO (1996), la valutazione statistica è stata eseguita su un sottogruppo di campioni (37 campioni raccolti a inizio turno e 37 campioni raccolti a fine turno) caratterizzati da livelli di creatinina compresi tra 30 e 300 mg/dL.

Per tutti i metaboliti la frequenza di dati al di sotto del LOQ è risultata sempre inferiore al 10%, a esclusione del 1-OH-PYR, quantificato nel 77% dei casi e del 2-OH-PHE quantificato nell'89% dei casi. I singoli metaboliti sono rilevati in concentrazioni molto diverse tra loro in funzione del loro peso molecolare: l'1- e il 2-OH-NAP (due anelli condensati) sono i composti più abbondanti - rispettivamente il 27 e il 57% - seguiti dai metaboliti del fluorene e del fenantrene (tre anelli condensati) che contribuiscono rispettivamente in misura pari all'11% e al 3%; l'1-OH-PYR, unico composto tra quelli analizzati con quattro anelli condensati, rappresenta ca. l'1%.

Le Tabelle 5.19. - 5.22. riportano i parametri delle distribuzioni calcolati per le urine di inizio turno e di fine turno a partire sia dai dati aggregati sia da quelli suddivisi per possibile rischio di esposizione a sostanze pericolose sulla base dell'attività lavorativa svolta e per esposizione al fumo<sup>i</sup>. Considerando la presenza di soli sei soggetti femminili, la suddivisione dei dati per sesso non è stata effettuata.

A inizio turno i livelli urinari degli OH-IPA in studio ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) coprono l'intervallo 2258–32851 ng/g creatinina,, con stime di mediana ( $P_{50}$ ) e media pari rispettivamente a 4710 ng/g creatinina e 9217 ng/g creatinina.

A fine turno le concentrazioni degli OH-IPA ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) sono risultate comprese nell'intervallo 1909–47882 ng/g creatinina, con stime di  $P_{50}$  e media pari rispettivamente a 4772 e 9294 ng/g creatinina.

Per quanto concerne le urine di fine turno i lavoratori PE presentano livelli complessivi di OH-IPA ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) significativamente diversi da quelli trovati nei NE ( $P < 0.001$ ), con stime di  $P_{50}$  pari a 6569 e 2513 ng/g creatinina per i due gruppi, rispettivamente. Risultano

<sup>i</sup> Si segnala che i descrittori  $P_{75}$ ,  $P_{90}$ , e  $P_{95}$  riportati in Tabella sono stime indicative a causa della bassa numerosità

statisticamente significative anche le differenze per 2-OH-NAP ( $p=0.001$ ), 2-OH-FLU ( $p=0.009$ ), 3-OH-FLU ( $p=0.016$ ), 1-OH-PHE ( $p=0.044$ ), 2-OH-PHE ( $p=0.023$ ), 1-OH-PYR ( $p=0.013$ ).

Le differenze osservate potrebbero essere dovute al fumo, data la differente distribuzione di potenzialmente esposti e non esposti per abitudine al fumo. E' stata quindi condotta una regressione lineare dopo log-trasformazione dei dati per valutare la differenza tra lavoratori esposti e non esposti correggendo per abitudine al fumo. I risultati indicano che, tenendo conto di questa variabile, rimangono statisticamente significative solo le differenze per 2-OH-NAP e per la sommatoria  $\Sigma_{10}\text{OH-IPA}$ .

Per consentire una rapida visualizzazione delle differenze fra i due gruppi, le distribuzioni degli OH-IPA a fine turno sono state rappresentate in Figura 1 dell'appendice C mediante box plot.

I risultati dei campionamenti ambientali, indicano che le emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti in ingresso o in uscita creano un inquinamento elevato, nell'area avanfossa, nell'addetto a tale area, nella sala gruista fossa e nell'area scorie. Per tale ragione è stata condotta un'analisi specifica sul sottogruppo dei gruisti ( $N=8$ ) che ha messo in evidenza livelli complessivi ( $\Sigma_{10}\text{OH-PAH}$ ) più elevati a fine turno rispetto a tutti gli altri lavoratori. L'esposizione al fumo potrebbe spiegare in parte le differenze rilevate considerando che le concentrazioni di cotinina nei due gruppi risultano diverse, sia pur al limite della significatività statistica ( $P = 0.043$ ). L'analisi della covarianza conferma che in generale le concentrazioni degli OH-IPA analizzati non risultano significativamente diverse nel gruppo dei gruisti rispetto agli altri lavoratori se i dati vengono corretti per la cotinina. Unica eccezione è rappresentata da uno dei metaboliti del naftalene, il 2-OH-NAP, i cui livelli, sia pur corretti per la cotinina, risultano più alti nei gruisti rispetto agli altri lavoratori. Questo dato sembra essere coerente con quanto emerge dai monitoraggi ambientali che evidenziano concentrazioni di naftalene più elevate "nell'area avanfossa" e "nella sala gruista RSU" rispetto agli altri ambienti di lavoro ( $63 \text{ ng/m}^3$  e  $34.5 \text{ ng/m}^3$ , rispettivamente).

Com'è ragionevole attendersi, sia a inizio turno sia a fine turno i livelli di OH-IPA ( $\Sigma_{10}\text{OH-IPA}$ ) quantificati nelle urine dei forti fumatori sono complessivamente più elevati rispetto a quelli trovati per gli altri lavoratori e non vi sono differenze statisticamente significative tra esposti al fumo e non fumatori. A titolo di esempio, si riportano di seguito le stime di  $P_{50}$  della somma  $\Sigma_{10}\text{OH-IPA}$  calcolate a fine turno per i non fumatori, gli esposti al fumo e i forti fumatori: 3605, 4595, 16766 ng/g creatinina (la Figura 2 dell'appendice C riporta la rappresentazione dei parametri a fine turno mediante box plot nei tre gruppi di lavoratori stratificati in base all'abitudine al fumo).

Complessivamente i livelli urinari di OH-IPA ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) a fine turno sono sovrapponibili con quelli a inizio turno (tab. 10 appendice C) sia sul totale dei lavoratori sia nelle due classi di esposizione considerate. La figura 3 dell'appendice C riporta la rappresentazione mediante box plot dei parametri a inizio e fine turno sul totale dei lavoratori. Differenze significative sono state trovate per il 2-OH-FLU ( $p= 0.039$ ) sul totale dei lavoratori, il 2-OH-NAP ( $p= 0.021$ ) nei lavoratori non esposti e il 1-OH-PHEN ( $p=0.043$ ) nei lavoratori potenzialmente esposti.

Alla data attuale non è ancora possibile confrontare il gruppo dei lavoratori con la popolazione generale, per la quale non sono ancora terminate le analisi di laboratorio.

Tab 5.19. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerardo) relativamente all'insieme di tutti i dati e per possibile rischio di esposizione; fase T1-inizio turno. Valori espressi con formato fisso a tre cifre. Dati espressi in ng/g creatinina; esclusi i soggetti con creatinina <3 o >300 mg/dL.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Tutti i dati</b>										
1-OH-NAP	37	254	471	977	1436	3539	4497	11157	16861	17940
2-OH-NAP	37	1332	2291	2784	3421	4128	6053	7902	9936	10509
2-OH-FLU	37	58.7	95.7	155	236	425	470	1173	1520	1848
3-OH-FLU	37	18.2	35.3	61.2	101	257	248	1021	1076	1183
9-OH-FLU	37	111	190	310	332	424	584	962	1069	1517
1-OH-PHEN	37	31.4	63.6	80.7	89.2	112	103	180	217	805
2-OH-PHEN	37	5.9	28.9	39.1	44.0	63.8	63	86	245	560
3-OH-PHEN	37	39.8	54.7	71.0	87.4	121	137	185	258	1060
4-OH-PHEN	37	4.11	10.2	12.7	17.6	28.8	28.7	51.3	124	268
1-OH-PYR	37	<b>11.6</b>	37.4	61.5	69.5	118	151	250	380	828
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	37	2258	3333	4710	6615	9217	12267	21838	26134	32851
<b>Non esposti</b>										
1-OH-NAP	10	310	471	844	1135	2035	2932	6352	8207	8207
2-OH-NAP	10	1332	1551	1965	2810	3806	6942	9205	10509	10509
2-OH-FLU	10	58.7	71.9	92.6	140	248	279	821	1173	1173
3-OH-FLU	10	18.2	26.8	34.0	58	125	188	426	604	604
9-OH-FLU	10	111	210	290	284	335	404	671	758	758
1-OH-PHEN	10	52.5	63.0	74.8	77.3	81.8	89.9	133	164	164
2-OH-PHEN	10	5.9	21.5	27.8	26.7	31.5	36.4	58.8	78	78
3-OH-PHEN	10	41.2	47.9	69.6	69.2	76	85	136	181	181
4-OH-PHEN	10	6.50	8.9	11.6	14.9	17.8	26.4	35.9	43.7	43.7
1-OH-PYR	10	<b>11.6</b>	18.0	24.5	34.2	48.3	87.3	106	119	119
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	10	2258	3172	3317	4897	6805	11888	17323	21838	21838
<b>Potenzialmente esposti</b>										
1-OH-NAP	27	254	404	1219	1567	4095	7435	13539	16861	17940
2-OH-NAP	27	1747	2365	2999	3679	4247	6053	7666	9740	9936
2-OH-FLU	27	73.5	137.0	202.1	286	490	957	1474	1520	1848
3-OH-FLU	27	21.9	37.0	65.6	123	306	666	1040	1076	1183
9-OH-FLU	27	140	186	314	351	458	662	1028	1069	1517
1-OH-PHEN	27	31.4	63.6	86.0	94.0	124	123	208	217	805
2-OH-PHEN	27	18.0	30.7	47.4	52.9	75.8	65.4	92.7	245	560
3-OH-PHEN	27	39.8	54.7	73.8	95.3	138	152	250	258	1060
4-OH-PHEN	27	4.11	10.2	15.5	18.7	32.9	32.8	59.3	123.8	268.2
1-OH-PYR	27	12.4	43.1	73.0	90.5	144	195	294	380	828
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	27	2785	3449	6772	7395	10110	16875	24822	26134	32851

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

Tab 5.20. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerardo) per abitudine al fumo; fase T1-inizio turno. Valori espressi con formato fisso a tre cifre. Dati espressi in ng/g creatinina; esclusi i soggetti con creatinina <3 o >300 mg/dL.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Non fumatori</b>										
1-OH-NAP	19	254	326	623	572	703	872	1219	2584	2584
2-OH-NAP	19	1332	1747	2365	2608	2970	2999	6053	6594	6594
2-OH-FLU	19	58.7	76.5	113	118	139	150	372	441	441
3-OH-FLU	19	18.2	27.2	36.4	39	47	42	126	157	157
9-OH-FLU	19	111	182	241	285	371	373	1069	1517	1517
1-OH-PHEN	19	31.4	63.0	69.0	72.4	77	95	103	170	170
2-OH-PHEN	19	5.9	26.5	30.2	34.8	46.5	55	65	245	245
3-OH-PHEN	19	39.8	47.9	62.8	65.6	74	74	142	258	258
4-OH-PHEN	19	4.11	8.9	12.4	13.3	18.9	16.6	31.2	124	124
1-OH-PYR	19	11.6	18.7	46.0	47.1	67	94	179	195	195
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	19	2258	3172	3449	4086	4513	4756	7673	12183	12183
<b>Esposti a fumo</b>										
1-OH-NAP	4	404	437	475	619	740	1043	1607	1607	1607
2-OH-NAP	4	1751	1940	2218	2141	2157	2375	2442	2442	2442
2-OH-FLU	4	95.3	100.3	121	129	135	171	204	204	204
3-OH-FLU	4	24.9	31.7	39.5	39	41	51	61	61	61
9-OH-FLU	4	155	170	262	242	258	346	355	355	355
1-OH-PHEN	4	54.7	59.2	66.9	67.7	69	78	86	86	86
2-OH-PHEN	4	28.4	29.2	31.6	35.2	36.5	44	54	54	54
3-OH-PHEN	4	46.3	47.5	69.7	67.4	72	96	101	101	101
4-OH-PHEN	4	6.99	7.4	9.0	11.2	13.3	19.1	28.0	28	28
1-OH-PYR	4	18.0	23.0	41.7	35.4	39	56	56	56	56
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	4	3052	3177	3318	3518	3562	3947	4561	4561	4561
<b>Forti fumatori</b>										
1-OH-NAP	14	1396	2932	7821	6378	8186	11157	16861	17940	17940
2-OH-NAP	14	2535	3752	6702	5653	6262	7902	9936	10509	10509
2-OH-FLU	14	202.1	278.9	959	716	895	1173	1520	1848	1848
3-OH-FLU	14	108.8	216.3	635.3	472	604	1021	1076	1183	1183
9-OH-FLU	14	140	213	578	445	545	758	962	1028	1028
1-OH-PHEN	14	41.9	80.7	122.7	128.1	173	180	217	805	805
2-OH-PHEN	14	24.2	39.1	63.5	64.2	95.1	86	93	560	560
3-OH-PHEN	14	52.2	74.1	144.6	138.7	199	181	250	1060	1060
4-OH-PHEN	14	7.48	11.1	30.7	29.2	46.8	43.7	59.3	268	268
1-OH-PYR	14	20.0	87.3	158	143	211	250	380	828	828
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	14	4686	11888	17682	15237	17216	21838	26134	32851	32851

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

Tab. 5.21. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerbido) relativamente all'insieme di tutti i dati e per possibile rischio di esposizione; fase T1-fine turno. Dati espressi in ng/g creatinina; esclusi i soggetti con livelli di creatinina al di fuori dell'intervallo 30-300 mg/dL.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Tutti i dati</b>										
1-OH-NAP	37	100	480	1052	1511	4247	5666	13926	17263	28150
2-OH-NAP	37	668	1690	2629	2733	3522	4144	6200	12935	15186
2-OH-FLU	37	49.3	92.0	173	236	442	457	1510	1644	1751
3-OH-FLU	37	21.9	36.1	50.3	101	260	350	1019	1114	1165
9-OH-FLU	37	104	168	360	332	420	588	805	1101	1121
1-OH-PHEN	37	<b>20.6</b>	57.6	91.8	92.8	112	160	203	224	360
2-OH-PHEN	37	<b>5.18</b>	23.2	42.6	38.4	51.4	79.0	93.8	121	131
3-OH-PHEN	37	<b>3.55</b>	53.3	81.1	74.5	100	124	220	235	297
4-OH-PHEN	37	<b>6.12</b>	11.3	25.3	21.9	27.7	38.2	57.8	62.1	67.0
1-OH-PYR	37	<b>19.2</b>	43.7	71.4	81.7	112	128	266	350	426
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	37	1909	3204	4772	6120	9294	10787	24430	30386	47882
<b>Non esposti</b>										
1-OH-NAP	10	232	400	615	763	1646	1032	6017	10503	10503
2-OH-NAP	10	729	1182	1405	1578	1923	1795	4352	6589	6589
2-OH-FLU	10	49.3	81.7	89.9	122	239	129	839	1510	1510
3-OH-FLU	10	21.9	24.2	35.2	48	123	50	482	896	896
9-OH-FLU	10	104	157	207	262	357	551	874	1121	1121
1-OH-PHEN	10	<b>20.6</b>	47.1	59.6	66.3	94	80	263	360	360
2-OH-PHEN	10	<b>6.3</b>	13.5	28.0	24.0	33.5	37.8	80.3	118	118
3-OH-PHEN	10	<b>8.4</b>	40.9	59.3	53.7	77	81	195	297	297
4-OH-PHEN	10	<b>6.12</b>	8.35	15.3	16.2	21.7	25.3	54.8	55.3	55.3
1-OH-PYR	10	<b>29.9</b>	38.4	43.9	52.4	73.7	49	203	350	350
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	10	1909	2155	2513	3210	4589	3710	12806	21798	21798
<b>Potenzialmente esposti</b>										
1-OH-NAP	27	100	480	1859	1945	5211	9013	14270	17263	28150
2-OH-NAP	27	668	2188	3558	3350	4114	4275	6200	12935	15186
2-OH-FLU	27	57.8	144.8	201.4	300	517	974	1615	1644	1751
3-OH-FLU	27	24.2	42.4	96.0	134	311	593	1025	1114	1165
9-OH-FLU	27	128	188	421	362	443	654	805	932	1101
1-OH-PHEN	27	41.3	83.3	104	105	118	170	203	217	224
2-OH-PHEN	27	<b>5.18</b>	34.5	57.4	45.7	58.0	85.0	93.8	121	131
3-OH-PHEN	27	<b>3.55</b>	54.5	97.5	84.2	109	172	220	233	235
4-OH-PHEN	27	6.62	12.50	26.5	24.4	29.9	47.2	60.3	62.1	67.0
1-OH-PYR	27	<b>19.2</b>	48.4	92.9	96.3	126	175	266	269	426
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	27	2016	4500	6569	7773	11036	16024	24726	30386	47882

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

Tab. 5.22. Statistica descrittiva inerente OH-IPA nei campioni di urine del gruppo dei lavoratori del termovalorizzatore della provincia di Torino (Gerbido) per abitudine al fumo; fase T1-fine turno. Valori espressi con formato fisso a tre cifre. Dati espressi in ng/g creatinina; esclusi i soggetti con livelli di creatinina al di fuori dell'intervallo 30-300 mg/dL creatinina <3 o >300 mg/dL.

	N <sup>a</sup>	X <sub>MIN</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	GM	Media	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub> <sup>b</sup>	P <sub>95</sub> <sup>b</sup>	X <sub>MAX</sub>
<b>Non fumatori</b>										
1-OH-NAP	18	100	315	501	557	748	1032	1859	2399	2399
2-OH-NAP	18	668	1318	1890	1931	2283	2620	4144	6200	6200
2-OH-FLU	18	49.3	79.0	129	114	124	168	199	201	201
3-OH-FLU	18	21.9	29.1	38.7	39	42	48	69	96	96
9-OH-FLU	18	140	165	281	288	340	423	744	750	750
1-OH-PHEN	18	41.3	55.4	78.0	81.8	91	125	166	170	170
2-OH-PHEN	18	6.1	20.6	35.4	31.6	42.7	43	94	131	131
3-OH-PHEN	18	32.9	53.3	66.9	68.5	74	107	119	124	124
4-OH-PHEN	18	6.62	10.5	15.8	18.1	22.7	29.5	54.2	62	62
1-OH-PYR	18	19.2	40.4	46.8	52.7	60	64	128	169	169
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	18	1909	2357	3605	3503	3829	4671	5110	9833	9833
<b>Esposti a fumo</b>										
1-OH-NAP	5	370	400	548	731	929	1221	2104	2104	2104
2-OH-NAP	5	1281	2629	3558	3124	3501	4437	5597	5597	5597
2-OH-FLU	5	78.9	85.5	145	142	163	183	322	322	322
3-OH-FLU	5	23.3	27.8	37.2	49	63	73	156	156	156
9-OH-FLU	5	104	128	152	153	160	168	247	247	247
1-OH-PHEN	5	20.6	46.0	88.8	61.1	71	92	110	110	110
2-OH-PHEN	5	5.2	9.8	42.6	25.4	40.1	57	85	85	85
3-OH-PHEN	5	3.5	8.4	35.8	22.4	40	54	97	97	97
4-OH-PHEN	5	6.12	7.2	22.5	14.7	17.7	23.3	29.1	29	29
1-OH-PYR	5	33.9	40.3	77.4	62.2	68	93	95	95	95
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	5	1979	3911	4595	4534	5052	6569	8208	8208	8208
<b>Forti fumatori</b>										
1-OH-NAP	14	581	5046	9407	7058	9931	13926	17263	28150	28150
2-OH-NAP	14	1207	2966	3979	4072	5122	5496	12935	15186	15186
2-OH-FLU	14	92.0	453.3	1060	721	950	1510	1644	1751	1751
3-OH-FLU	14	50.3	244.9	633.2	444	609	1019	1114	1165	1165
9-OH-FLU	14	105	421	559	525	615	805	1101	1121	1121
1-OH-PHEN	14	27.5	86.9	158.4	126.8	153	203	224	360	360
2-OH-PHEN	14	14.1	52.3	65.5	57.2	66.6	85	118	121	121
3-OH-PHEN	14	22.9	89.4	174.6	127.6	156	220	235	297	297
4-OH-PHEN	14	8.24	25.5	34.9	32.2	37.7	55.3	60.3	67	67
1-OH-PYR	14	44.9	104.2	197.8	158.1	194	266	350	426	426
Σ <sub>10</sub> OH-PAH <sup>c</sup>	14	2155	9934	16766	13960	17835	24430	30386	47882	47882

<sup>a</sup> Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (numero di dati < LOQ).

<sup>b</sup> Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

<sup>c</sup> Somma *medium bound* di 1-OH-NAP, 2-OH-NAP, 2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU, 1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE, 1-OH-PYR.

<sup>d</sup> Valore corrispondente a metà del LOQ.

## 5.7. Confronti dei risultati al primo controllo (T1) con il baseline (T0)

Lo stato di salute generale dei lavoratori coinvolti nel programma non è cambiato nel corso del tempo ed è nella norma. Anche la funzionalità respiratoria è rimasta costante al primo follow-up. Di seguito si riportano le valutazioni nel tempo effettuate sui metalli e sugli idrocarburi policiclici aromatici.

### 5.7.1. *Metalli*

I risultati, riferiti ad un totale di 46 lavoratori per i quali sono disponibili le determinazioni al baseline e al primo follow-up, mostrano che la maggior parte dei metalli indagati presentano, dopo un anno dall'assunzione, concentrazioni significativamente ( $p \leq 0,05$ ) più basse di quelle precedentemente osservate.

In Tab 5.23. è riportata la distribuzione media e mediana dei metalli al baseline e al primo follow-up, e il valore  $p$  del test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Per diversi metalli (berillio, cadmio, rame, iridio, platino, stagno, tallio, zinco) le diminuzioni sono statisticamente significative. Alla diminuzione generalizzata dei valori di concentrazione urinaria dei metalli al T1 rispetto al T0 fanno eccezione il cromo, il manganese e il vanadio, i cui valori mediani al T1 sono sovrapponibili ai valori al T0.

Tab 5.23. Confronto metalli al baseline e al primo controllo (T0-T1) corretti per peso specifico dell'urina<sup>1</sup>; valori estremi inclusi media, mediana, p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon; n=46.

<b>Parametro</b>	<b>Media T0</b>	<b>Mediana T0</b>	<b>Media T1</b>	<b>Mediana T1</b>	<b>p-value</b>
<i>Arsenico µg/L</i>	45.77	18.71	34.43	14.02	0.195
<i>Berillio µg/L</i>	0.17	0.17	0.13	0.11	0.025
<i>Cadmio µg/L</i>	0.83	0.75	0.64	0.53	0.010
<i>Cobalto µg/L</i>	0.30	0.24	0.34	0.21	0.572
<i>Cromo µg/L</i>	0.26	0.17	0.26	0.19	0.199
<i>Rame µg/L</i>	13.33	11.76	10.93	10.42	0.028
<i>Mercurio µg/L</i>	2.00	1.62	1.75	1.22	0.550
<i>Iridio ng/L</i>	1.88	1.71	1.17	0.99	<0.001
<i>Manganese µg/L</i>	0.14	0.11	0.14	0.12	0.579
<i>Nichel µg/L</i>	1.48	1.42	1.46	1.17	0.792
<i>Palladio ng/L</i>	26.24	22.71	27.97	21.59	0.801
<i>Platino ng/L</i>	6.07	4.68	3.88	2.58	<0.001
<i>Rodio ng/L</i>	22.93	20.60	22.13	17.17	0.282
<i>Antimonio µg/L</i>	0.09	0.08	0.08	0.06	0.184
<i>Stagno µg/L</i>	0.87	0.71	0.71	0.37	<0.001
<i>Tallio µg/L</i>	0.77	0.39	0.59	0.28	0.034
<i>Vanadio µg/L</i>	0.05	0.03	0.04	0.03	0.441
<i>Zinco µg/L</i>	598.35	588.80	373.64	307.16	<0.001
<i>Piombo µg/L</i>	24.79	20.65	24.40	20.57	0.898

<sup>1</sup> Valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà della soglia

Nella tabella 5.24 è riportata la distribuzione media e mediana dei metalli al baseline e al primo controllo stratificata per lavoratori NE e PE.

Nei lavoratori NE si riscontrano diminuzioni significative al T1 rispetto al T0 di cadmio, mercurio, iridio, manganese, platino, zinco. Per i lavoratori impiegati nelle linee dell'impianto (PE) si evidenziano diminuzioni significative di berillio, iridio, platino, stagno, zinco. Il mercurio urinario mostra solo un leggero incremento nei lavoratori PE campionati al T1 rispetto agli stessi lavoratori PE campionati al T0.

Tab 5.24. Confronto metalli T1-T0 corretti per peso specifico dell'urina; valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà della soglia e valori estremi inclusi; media, mediana, p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon; stratificazione per esposizione.

NE (n=11)

Parametro	Media T0	Mediana T0	Media T1	Mediana T1	p-value
Arsenico µg/L	40.32	10.14	37.18	14.21	0.898
Berillio µg/L	0.12	0.10	0.19	0.23	0.123
Cadmio µg/L	0.94	0.92	0.43	0.39	0.009
Cobalto µg/L	0.42	0.27	0.28	0.20	0.240
Cromo µg/L	0.34	0.15	0.24	0.14	0.898
Rame µg/L	13.41	12.38	8.87	8.90	0.067
Mercurio µg/L	3.14	2.75	0.98	0.67	0.005
Iridio ng/L	2.38	2.00	0.91	0.98	0.001
Manganese µg/L	0.15	0.15	0.09	0.08	0.001
Nichel µg/L	1.53	1.70	1.09	0.66	0.320
Palladio ng/L	32.27	26.78	30.76	21.81	0.519
Platino ng/L	5.95	3.43	2.07	1.76	0.024
Rodio ng/L	21.38	20.21	20.65	12.55	0.966
Antimonio µg/L	0.09	0.08	0.08	0.07	0.831
Stagno µg/L	0.85	0.72	0.67	0.34	0.365
Tallio µg/L	0.37	0.32	0.29	0.31	0.577
Vanadio µg/L	0.03	0.03	0.02	0.02	0.278
Zinco µg/L	522.97	584.35	263.88	297.36	0.042
Piombo µg/L	20.11	14.95	22.31	20.19	0.309

PE (n=35)

Parametro	Media T0	Mediana T0	Media T1	Mediana T1	p-value
Arsenico µg/L	47.48	21.22	33.57	13.83	0.183
Berillio µg/L	0.18	0.19	0.12	0.10	<0.001
Cadmio µg/L	0.80	0.75	0.70	0.57	0.194
Cobalto µg/L	0.27	0.22	0.36	0.24	0.873
Cromo µg/L	0.24	0.25	0.27	0.19	0.109
Rame µg/L	13.31	11.36	11.57	10.45	0.177
Mercurio µg/L	1.64	1.39	1.99	1.53	0.206
Iridio ng/L	1.73	1.44	1.26	0.99	0.001
Manganese µg/L	0.13	0.10	0.15	0.12	0.121
Nichel µg/L	1.46	1.41	1.57	1.17	0.736
Palladio ng/L	24.34	22.59	27.10	17.45	0.949
Platino ng/L	6.11	5.22	4.45	3.49	0.003
Rodio ng/L	23.41	20.68	22.60	18.79	0.251
Antimonio µg/L	0.09	0.08	0.08	0.06	0.183
Stagno µg/L	0.87	0.70	0.72	0.43	<0.001
Tallio µg/L	0.89	0.43	0.69	0.26	0.052
Vanadio µg/L	0.05	0.03	0.05	0.03	0.798
Zinco µg/L	622.04	590.12	408.14	327.34	0.004
Piombo µg/L	26.50	22.24	24.75	20.58	0.317

In Tab 5.25. le distribuzioni di cadmio sono state stratificate per abitudine al fumo calcolata in base ai livelli di cotinina. Nei forti fumatori il livello mediano di Cd misurato al T1 è inferiore rispetto al baseline (0,58 vs. 0,83 µg/L), ma la differenza non è statisticamente significativa. Negli altri soggetti i valori T0-T1 sono sovrapponibili.

Tab. 5.25. Confronto cadmio T0-T1 corretto per peso specifico dell'urina per abitudine al fumo<sup>1</sup> calcolata in base ai livelli di cotinina; valori estremi inclusi; media, mediana, p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon; n=43<sup>2</sup>.

Parametro	n	Media T0	Mediana T0	Media T1	Mediana T1	p-value
<i>Non fumatore/esposto</i>	24	0.69	0.48	0.57	0.46	0.261
<i>Forte</i>	19	1.04	0.83	0.72	0.58	0.060

<sup>1</sup> Valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà della soglia

<sup>2</sup> Il confronto è effettuato solo su quelli che non hanno cambiato abitudine al fumo

In Tab 5.26. sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi (T1-T0) nei lavoratori PE e NE, con il valore p del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Quasi tutti i metalli mostrano valori mediani delle differenze tra baseline e primo controllo in abbassamento (negativi) in entrambi i gruppi di lavoratori. Il test statistico ha mostrato che la differenza tra i due gruppi di lavoratori è statisticamente significativa solo per alcuni metalli: berillio (aumentato nei lavoratori NE; diminuito nei lavoratori PE); il cadmio e l'iridio (diminuiti maggiormente nei lavoratori PE); il mercurio e il manganese (diminuiti nei lavoratori NE e aumentati nei lavoratori PE).

Tab 5.26. Confronto delle differenze dei metalli T1-T0 corretti per peso specifico dell'urina tra NE e PE<sup>1</sup>; valori estremi inclusi; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

<b>Parametro</b>	<b>Mediana diff. T1-T0 lavoratori NE</b>	<b>Mediana diff. T1-T0 lavoratori PE</b>	<b>p-value</b>
<i>Arsenico µg/L</i>	0.00	-6.92	0.718
<i>Berillio µg/L</i>	0.07	-0.07	0.002
<i>Cadmio µg/L</i>	-0.33	-0.11	0.042
<i>Cobalto µg/L</i>	-0.12	-0.01	0.149
<i>Cromo µg/L</i>	-0.02	0.05	0.395
<i>Rame µg/L</i>	-4.42	-1.69	0.268
<i>Mercurio µg/L</i>	-1.44	0.30	<0.001
<i>Iridio ng/L</i>	-1.30	-0.59	0.004
<i>Manganese µg/L</i>	-0.06	0.01	<0.001
<i>Nichel µg/L</i>	-0.10	0.00	0.236
<i>Palladio ng/L</i>	-2.31	1.98	0.625
<i>Platino ng/L</i>	-1.50	-1.78	0.837
<i>Rodio ng/L</i>	-1.90	-2.42	0.938
<i>Antimonio µg/L</i>	-0.02	-0.01	0.817
<i>Stagno µg/L</i>	-0.20	-0.31	0.519
<i>Tallio µg/L</i>	-0.07	-0.14	0.409
<i>Vanadio µg/L</i>	-0.01	0.00	0.643
<i>Zinco µg/L</i>	-222.94	-201.21	0.777
<i>Piombo µg/L</i>	4.76	-0.44	0.063

<sup>1</sup> Valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà della soglia

In Tab 5.27. sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi (T1-T0) nei lavoratori e nei residenti di sesso maschile con il valore p del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Quasi tutti i metalli mostrano valori mediani delle differenze tra baseline e primo controllo in abbassamento (negativi). Ciononostante, il test statistico ha mostrato che la differenza è statisticamente significativa solo per alcuni metalli: mercurio e palladio mostrano aumenti tra i lavoratori mentre hanno una tendenza alla diminuzione nei residenti; viceversa per il platino. Il cromo è l'unico metallo che presenta una tendenza all'aumento nella fase T1, con mediana delle differenze positive ma non statisticamente significative.

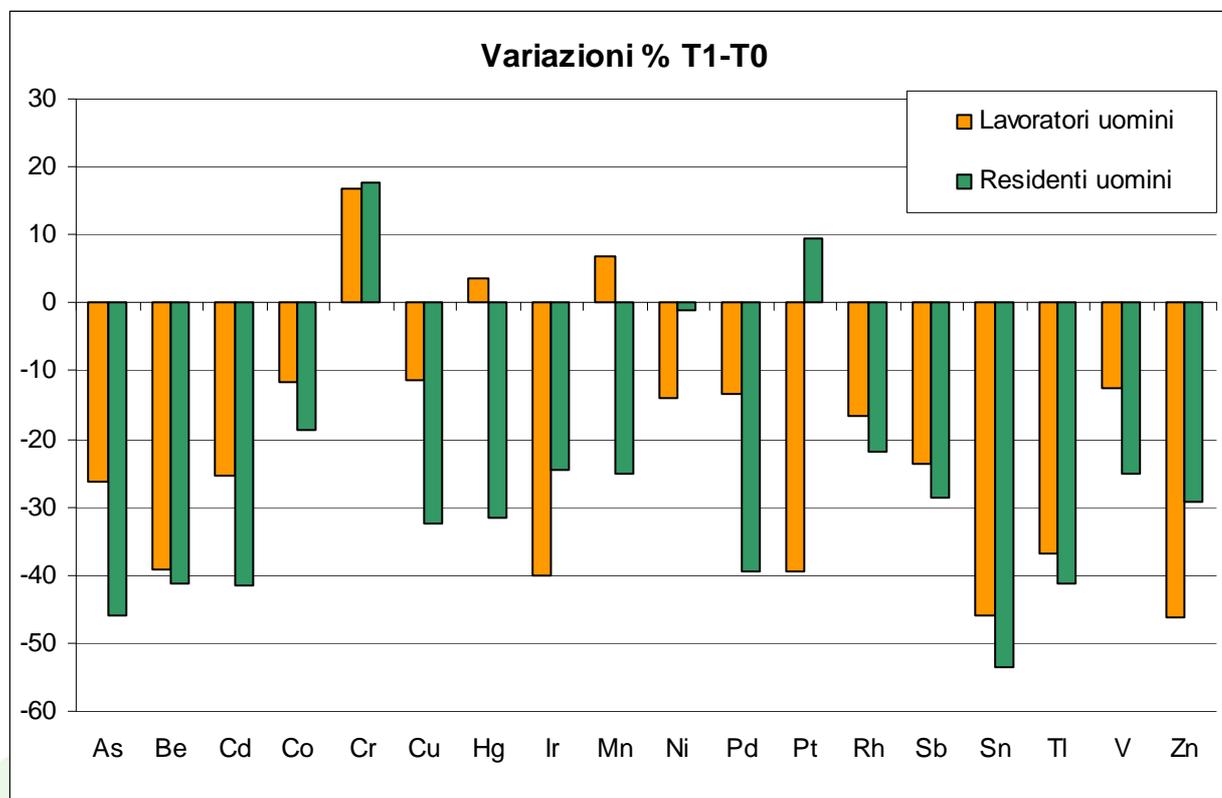
Nel grafico 5.1 sono riportati gli stessi risultati espressi come variazione percentuale delle differenze nei lavoratori e nei residenti SPoTT di sesso maschile.

Tab 5.27. Confronto delle differenze dei metalli T1-T0 corretti per peso specifico dell'urina tra lavoratori e residenti maschi<sup>1</sup>; valori estremi inclusi; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney; N(lavoratori)=40, N(residenti)=189.

Parametro	Mediana diff. T1-T0 lavoratori maschi	Mediana diff. T1-T0 residenti maschi	p-value
Arsenico $\mu\text{g/L}$	-4.60	-8.59	0.267
Berillio $\mu\text{g/L}$	-0.07	-0.06	0.545
Cadmio $\mu\text{g/L}$	-0.14	-0.28	0.109
Cobalto $\mu\text{g/L}$	-0.02	-0.02	0.677
Cromo $\mu\text{g/L}$	0.05	0.03	0.708
Rame $\mu\text{g/L}$	-2.37	-3.18	0.167
Mercurio $\mu\text{g/L}$	0.13	-0.49	0.001
Iridio $\text{ng/L}$	-0.65	-0.39	0.333
Manganese $\mu\text{g/L}$	0.01	-0.02	0.093
Nichel $\mu\text{g/L}$	-0.02	-0.03	0.988
Palladio $\text{ng/L}$	1.77	-9.42	0.001
Platino $\text{ng/L}$	-1.84	0.15	0.001
Rodio $\text{ng/L}$	-2.90	-3.88	0.752
Antimonio $\mu\text{g/L}$	-0.01	-0.01	0.397
Stagno $\mu\text{g/L}$	-0.32	-0.26	0.905
Tallio $\mu\text{g/L}$	-0.14	-0.11	0.794
Vanadio $\mu\text{g/L}$	0.00	-0.01	0.105
Zinco $\mu\text{g/L}$	-243.63	-141.53	0.445

<sup>1</sup> Valori sotto il limite di rilevabilità posti uguali alla metà della soglia

Grafico 5.1. Variazioni percentuali nelle mediane tra il T1 e il T0 tra lavoratori e residenti uomini.



### 5.7.2. Idrocarburi policiclici aromatici idrossilati (OH-IPA)

I risultati sono riferiti ad un totale di 36 lavoratori per i quali sono disponibili le determinazioni al baseline e al primo controllo; per omogeneità con quanto disponibile per il T0 i confronti sono stati effettuati utilizzando i dati del T1 relativi alle urine raccolte a inizio turno.

In Tab 5.28. è riportata la distribuzione media e mediana al baseline e al primo controllo, e il valore p del test dei ranghi con segno di Wilcoxon. I livelli complessivi degli OH-IPA in studio ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) così come quelli relativi al 2-OH-NAP, l'1-OH-PHEN, il 4-OH-PHEN e l'1-OH-PYR, presentano, dopo un anno dall'assunzione, concentrazioni significativamente ( $p < 0,005$ ) più basse di quelle precedentemente osservate.

Tabella 5.28. Confronto OH-IPA T1-T0, esclusi i soggetti con livelli di creatinina al di fuori dell'intervallo 30–300 mg/dL,; media, mediana, p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon<sup>1</sup>; n=36. Dati espressi in ng/g creatinina.

Parametro	Media T0	Mediana T0	Media T1	Mediana T1	p-value
1-OH-NAP	3487.20	1300	3329.55	924.54	0.157
2-OH-NAP	6795.41	4616.62	4045.61	2710.25	0.004
2-OH-FLU	463.57	187.76	411.02	152.69	0.209
3-OH-FLU	289.83	82.09	245.62	51.77	0.057
9-OH-FLU	392.94	315.18	407.67	294.74	0.912
1-OH-PHEN	175.27	150.46	110.46	79.08	<0.001
2-OH-PHEN	63.69	53.61	62.99	38.52	0.053
3-OH-PHEN	120.73	94.40	119.17	71.03	0.144
4-OH-PHEN	49.60	35.21	28.73	12.68	0.004
1-OH-PYR	175.68	141.54	114.78	61.40	0.007
$\Sigma_{10}$ OH-PAH	12013.92	6283.23	8875.59	4700.49	0.005

<sup>1</sup>I confronti sono effettuati con il prelievo al T1 di inizio turno

Nella tabella 8 dell'appendice D è riportata la distribuzione media e mediana degli OH-IPA al baseline e al primo follow-up stratificata per lavoratori PE e NE. In entrambi i gruppi i livelli urinari degli OH-IPA in studio ( $\Sigma_{10}$ OH-IPA) presentano, dopo un anno dall'assunzione, concentrazioni più basse di quelle precedentemente osservate, ma solo nei lavoratori PE sono statisticamente significative ( $p = 0,009$ ). Nei lavoratori NE le differenze non raggiungono la significatività statistica mentre nei lavoratori PE diversi OH-IPA (2-OH-NAP, 1-OH-PHEN, 4-OH-PHEN, 1-OH-PYR) presentano diminuzioni statisticamente significative.

In Tab 5.29 sono riportate le medie e le mediane delle differenze dei valori tra i due tempi (T1-T0) nei lavoratori PE e NE, con il valore p del test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Tutti gli OH-IPA considerati mostrano valori mediani delle differenze tra baseline e primo follow-up in abbassamento (negativi) in entrambi i gruppi di lavoratori. Il test statistico ha mostrato che solo per l'*1-OH-PHEN* la differenza è maggiore tra i lavoratori PE rispetto ai lavoratori NE in modo statisticamente significativo ( $p=0,04$ ). Tali confronti non sono influenzati dalla diversa distribuzione dell'abitudine al fumo tra i soggetti in studio.

Tab 5.29. Confronto delle differenze degli OH-IPA T1-T0 tra NE e PE esclusi i soggetti con livelli di creatinina al di fuori dell'intervallo 30-300 mg/dL; p-value del test di Wilcoxon-Mann-Whitney<sup>1</sup>; nNE=10, nPE=26. Dati espressi in ng/g creatinina.

Parametro	Mediana diff. T1-T0 lavoratori NE	Mediana diff. T1-T0 lavoratori PE	p-value
<i>1-OH-NAP</i>	-259.17	-404.73	0.646
<i>2-OH-NAP</i>	-240.40	-1230.50	0.104
<i>2-OH-FLU</i>	-46.48	-29.91	0.805
<i>3-OH-FLU</i>	-10.46	-18.94	0.596
<i>9-OH-FLU</i>	-50.80	-2.09	0.572
<i>1-OH-PHEN</i>	-21.45	-72.16	0.041
<i>2-OH-PHEN</i>	-14.98	-5.91	0.306
<i>3-OH-PHEN</i>	-9.76	-15.67	1.000
<i>4-OH-PHEN</i>	-2.16	-24.48	0.216
<i>1-OH-PYR</i>	-8.68	-90.51	0.138
$\Sigma_{10}$ OH-PAH	-656.50	-1659.36	0.191

<sup>1</sup>I confronti sono effettuati con il prelievo al T1 di inizio turno

Nella tabella 8 dell'appendice D è riportata la distribuzione media e mediana degli OH-IPA al baseline e al primo follow-up per i gruisti. Si nota che i valori mediani di tutti gli OH-IPA in studio sono più bassi dopo un anno dall'assunzione. Risultano significative le differenze per il *2-OH-NAP* e per l'*1-OH-PHEN*.

## 6. Discussione

Le diminuzioni individuate nella dose interna della maggior parte dei metalli nei 46 lavoratori per i quali sono disponibili le determinazioni al baseline e al primo controllo, possono essere dovute a diversi fattori di esposizione presenti in modo differenziale tra i due periodi; 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 lavoratori in impianti di incenerimento di rifiuti non evidenziano incrementi (ma in alcuni casi una diminuzione) per i metalli considerati. Nello studio longitudinale condotto in Spagna su 17 lavoratori impiegati nell'inceneritore di rifiuti urbani di Barcellona<sup>19</sup>, i livelli ematici di cromo misurati dopo due anni sono diminuiti mentre non sono state osservate differenze per cadmio, piombo e mercurio. In un altro studio spagnolo condotto su 29 lavoratori di un inceneritore di rifiuti pericolosi, la concentrazione di manganese, mercurio e nichel non è cambiata dopo 8 anni di follow-up<sup>23</sup>; gli autori concludono che non ci sono segni evidenti di una esposizione occupazionale a metalli.

Il primo fattore da considerare per spiegare la diminuzione nel tempo delle concentrazioni per la maggior parte dei 18 metalli nelle urine e del piombo nel sangue dei lavoratori dell'impianto, riguarda l'esposizione in ambiente di lavoro. Le misurazioni ambientali effettuate tuttavia suggeriscono un'esposizione specifica molto bassa: con l'indagine al baseline del 2013 hanno mostrato concentrazioni tutte inferiori ai limiti di rilevabilità; la campagna successiva ha rilevato la presenza di alcuni metalli (nichel, piombo, rame e zinco) nell'area sili, nella sala controllo e nella sala gruista, con valori però simili al fondo d'area. Non sono stati rilevati metalli nelle zone adibite a ufficio ove operano i lavoratori NE. Si ritiene quindi che le differenze misurate nelle concentrazioni urinarie di metalli tra il primo follow-up e il baseline dei lavoratori non siano da attribuirsi all'ambiente di lavoro.

Il decremento della concentrazione urinaria di alcuni metalli (arsenico, cadmio, mercurio) potrebbe essere giustificato da differenze nelle procedure di prelievo e in particolare dai suggerimenti forniti in occasione del follow-up (non consumare pesci e crostacei e non fumare prima del prelievo). Nel report 3 sono state prese in considerazione ed approfonditamente discusse altre possibili spiegazioni (errore analitico, variazione nella presenza di metalli nelle acque potabili), giungendo a considerare tali ipotesi poco verosimili.

Il decremento generalizzato, in analogia con i residenti, potrebbe essere legato alla diminuzione delle emissioni in aria di PM10 (-15%), PM2.5 (-25%) e NO<sub>2</sub> (-13%) osservata tra il 2013 e il 2014. Poiché i metalli sono presenti nell'atmosfera adsorbiti sulle varie frazioni del particolato, una minor concentrazione di PM può spiegare una minore quantità di metallo inalato. Nel report 3 è stato confrontato l'andamento medio annuo delle concentrazioni di metalli presenti nei campioni di PM10 con le mediane delle concentrazioni riscontrate nelle urine al T0 e al T1 della popolazione residente, per i metalli comuni alle due rilevazioni (arsenico, cadmio, cobalto, cromo, rame, nichel, vanadio, e zinco). Il confronto indica una coerenza per cadmio, cromo, rame, nichel e zinco; l'assenza di coerenza con l'arsenico 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 cromo riscontrato nelle urine del campione di residenti in studio trova corrispondenza nell'analoga variazione riscontrata sul particolato. Il cromo nell'area torinese è emesso principalmente dalle industrie e il fenomeno può essere legato alla ripresa delle attività industriali verificatasi nell'area torinese nel 2014 dopo alcuni anni di crisi economica. Tutte queste considerazioni possono in prima analisi essere estese anche al gruppo dei lavoratori considerati nello studio SPoTT. Sono tuttavia in corso ulteriori approfondimenti per tenere conto dei diversi periodi di prelievo (giugno-luglio per i residenti; aprile per i lavoratori). Ad ogni lavoratore sarà associato il livello medio di metalli adsorbiti sul particolato nel periodo immediatamente precedente il prelievo al fine di correlare con maggiore precisione l'esposizione con i valori biologici determinati per i diversi metalli.

Per quel che riguarda gli OH-IPA misurati nei 36 soggetti per i quali sono disponibili le determinazioni sia al baseline (T0) sia al follow-up (T1), solo nei lavoratori potenzialmente esposti e limitatamente ad alcuni OH-IPA, le diminuzioni dei livelli urinari raggiungono la significatività statistica (2-OH-NAP, 1-OH-PHEN, 4-OH-PHEN, 1-OH-PYR). Tali diminuzioni non sembrano essere correlate a un cambiamento di abitudini al fumo: solo per due soggetti i livelli di cotinina urinaria si sono ridotti tra il T1 e il T0.

In uno studio spagnolo condotto su 27 lavoratori di un inceneritore di rifiuti pericolosi, la concentrazione urinaria di 1-OH-PYR è stata misurata sempre a livelli molto bassi o al di sotto della soglia di rilevabilità e non è cambiata dopo 12 anni di follow-up<sup>22</sup>; gli autori concludono che non ci sono segni di una esposizione occupazionale a idrocarburi policiclici aromatici. Altri programmi di biomonitoraggio non evidenziano differenze nelle concentrazioni urinarie di 1-

OH-PYR tra i lavoratori in impianti di incenerimento di rifiuti e quelli in impianti di controllo. In uno studio francese condotto su 44 addetti di un inceneritore di rifiuti urbani<sup>24</sup>, non sono state misurate differenze nelle concentrazioni urinarie prima e dopo il turno di lavoro. Gli autori affermano che l'esposizione dei lavoratori dell'impianto non è più alta di quella di persone regolarmente esposte a traffico veicolare. In uno studio Giapponese condotto su 100 lavoratori di 4 impianti di incenerimento sono stati misurati livelli più elevati di IPA negli addetti impiegati in impianti di vecchia generazione<sup>25</sup>.

I risultati dei campionamenti ambientali misurati dopo un anno dall'entrata in funzione del termovalbrizzatore, indicano concentrazioni di IPA più elevate di quelle di fondo nell'area avanfossa, nella sala gruista fossa e nell'area scorie. Sono maggiori anche le concentrazioni misurate nei campionatori personali degli operatori di giro e dell'addetto avanfossa. L'inquinamento riscontrato è da mettere in relazione con le emissioni dei veicoli che movimentano i rifiuti in ingresso o in uscita. I livelli sono superiori a quelli riscontrati nella prima campagna, prevalentemente legati ai mezzi di cantiere e al fumo di sigaretta. Le concentrazioni di IPA rilevate nelle zone adibite ad ufficio ove operano i lavoratori NE, sono simili a quelle dell'aria nelle aree adiacenti all'impianto. Tali risultati potrebbero spiegare i valori superiori di OH-IPA nei lavoratori potenzialmente esposti rispetto ai non esposti, ma non le diminuzioni misurate tra il follow-up e il baseline nei lavoratori potenzialmente esposti.

Gli addetti PE considerati nel biomonitoraggio operano nelle aree predette solo in parte e per periodi di tempo limitati. Solo i gruisti della fossa rifiuti operano in misura maggiore nelle aree ove i monitoraggi ambientali hanno segnalato concentrazioni di IPA più elevate di quelle di fondo. Rispetto agli altri lavoratori PE, l'analisi specifica sul sottogruppo dei gruisti della fossa rifiuti ha messo in evidenza livelli più elevati a fine turno del complesso degli OH IPA determinati ( $\Sigma_{10}\text{OH-PAH}$ ) e in particolare il 2-idrossi-naftalene presenta livelli più alti rispetto agli altri lavoratori anche tenendo conto dell'abitudine al fumo. Un miglioramento negli impianti di aspirazione potrebbe ridurre l'esposizione e i livelli urinari riscontrati e, pertanto, se ne raccomanda l'attuazione.

Al momento della pubblicazione di questo report non è possibile confrontare i risultati del biomonitoraggio degli idrocarburi policiclici aromatici dei lavoratori con quelli della popolazione residente, per la quale non sono ancora terminate le analisi di laboratorio riguardanti il controllo dopo un anno dall'entrata in funzione del termovalbrizzatore.

## 7. Conclusioni

In conclusione si ritiene che le variazioni nelle concentrazioni di metalli e OH-IPA misurate tra il follow-up e il baseline nei dipendenti TRM non siano da attribuirsi all'ambiente di lavoro.

Le misurazioni effettuate in aria in ambiente di lavoro non evidenziano la presenza di un'esposizione professionale a metalli, mentre in alcune aree specifiche rilevano concentrazioni di IPA più elevate di quelle di fondo legate alle emissioni dei veicoli che movimento i rifiuti. Gli addetti inclusi nel biomonitoraggio di cui si presentano i risultati in questo report, tuttavia, operano in tali aree solo in piccola parte. Lo scenario di esposizione risulta quindi analogo a quello dei residenti e include, tra i possibili determinanti, una diminuzione delle emissioni in aria di PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e NO<sub>2</sub> e una maggiore attenzione nelle abitudini alimentari e stili di vita (es. fumo). L'analisi di altre possibili spiegazioni alternative ha condotto ad ipotesi poco verosimili. Si raccomanda comunque di operare un miglioramento negli impianti di aspirazione presenti negli ambienti in cui sono state rilevate concentrazioni di IPA più elevate di quelle di fondo, dal momento che nei gruisti della fossa sono state misurate concentrazioni di 2-idrossi-naftalene più alte rispetto agli altri lavoratori.

A supporto dei risultati ottenuti, altri programmi di biomonitoraggio di lavoratori di impianti di incenerimento reperibili nella letteratura scientifica non evidenziano incrementi (ma in alcuni casi una diminuzione) per la maggior parte dei metalli. Le concentrazioni di 1-OH-PYR sono state misurate sempre a livelli molto bassi, senza evidenziare differenze con i lavoratori in impianti di controllo o con quelli regolarmente esposti a traffico veicolare.

Mentre le analisi condotte in aria descrivono correttamente la situazione di inquinamento presente in impianto, i risultati del biomonitoraggio sono da considerarsi provvisori e non rappresentativi della reale condizione di esposizione dei lavoratori. Nelle aree di maggiore esposizione operano infatti perlopiù addetti di imprese in subappalto, che finora non è stato possibile coinvolgere nel programma. La ricostruzione complessiva delle imprese operanti ha incontrato numerose difficoltà a causa della scarsa collaborazione della società committente ed è stata possibile solo a fine 2015. Il quadro è reso complesso dall'elevato numero di imprese e dalla durata, a volte anche molto breve, degli appalti. Alcune lavorazioni sono in carico a ditte specializzate che operano per pochi giorni e su più impianti contemporaneamente. Fermo restando l'obiettivo di monitorare l'esposizione dei lavoratori attraverso un set di indicatori biologici, di concerto con il Comitato Tecnico Scientifico, si è dunque modificato il protocollo

operativo specifico. Preso atto delle difficoltà incontrate nei primi 3 anni di progetto nell'identificare le imprese e i lavoratori in appalto, si è definito un nuovo flusso informativo che prevede l'acquisizione di parte dei dati direttamente dagli appaltatori. In tal modo sono stati individuati i lavoratori delle imprese appaltatrici la cui mansione è svolta prevalentemente nei locali che presentano una maggior concentrazione di sostanze pericolose (avanfossa, area scorie, area sili o locale caldaia). Tali lavoratori sono stati invitati a partecipare ad un controllo nei mesi di aprile-maggio 2016. Data la loro presenza in impianto per periodi limitati e comunque dipendenti dalle date di appalto, non è fattibile eseguire un monitoraggio nel tempo: eventuali eccessi di assorbimento di inquinanti nell'ambiente di lavoro potranno emergere dai confronti sincronici con i lavoratori PE e NE.

Per i lavoratori TRM sono infine previste ulteriori valutazioni in occasione del successivo controllo, programmato ad aprile 2017.



## 8. Bibliografia

1. 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
2. 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;
3. 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;
4. Bocca B, Mattei D, Pino A, Alimonti A. *Monitoring of environmental metals in human blood: the need for data validation*. Curr anal chem 2011;7(4):269-276.
5. ISTISAN 15/30 Pag, iii, 47; <http://www.iss.it/publ/?lang=1&id=2903&tipo=5>
6. Li Z, Sandau C.D, Romanoff L.C, Caudill S.P, Sjödin A, Needham L.L, Patterson Jr. D.G. (2008). *Concentration and profile of 22 urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in the US population*. Environmental Research 107, 320–331.
7. Li Z, Romanoff L.C, Lewin M.D, Porter E.N, Trinidad D.A, Needham L.L, Patterson Jr. D.G, Sjödin A. (2010). *Variability of urinary concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolite in general population and comparison of spot, first-morning, and 24-h void sampling*. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 20, 526–535.
8. CDC, Centers for Disease Control and Prevention (2013). *Laboratory Procedure Manual, Monohydroxy-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (OH-PAHs), Isotope Dilution Gas Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (GC-MS/MS), Method No: 6703.04*.
9. De Felip E, Bianchi F, Bove C, Cori L, D'Argenzio A, D'Orsi G, Fusco M, Miniero R, Ortolani R, Palombino R, Parlato A, Pelliccia M.G, Peluso F, Piscopo G, Pizzuti R, Porpora M.G, Protano

D, Senofonte O, Russo Spena S, Simonetti A, di Domenico A. (2014). *Priority persistent contaminants in people dwelling in critical areas of Campania Region, Italy (SEBIOREC biomonitoring study)*. Science of the Total Environment 487, 420–435.

10. Menichini E, Viviano G.. *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
1. 11 GEMS/Food (2003). *Regional Diets (Appendix 4: Evaluation of low level contamination of foods)*. Global Environment Monitoring System, Food Contamination Monitoring and Assessment Programme, Food Safety Department, World Health Organization (Geneva, Switzerland).
11. WHO (1996). *Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace*. Vol. 1. World Health Organization, Geneva.
12. Alimonti A, Bocca B, Mattei D, Pino A. *Biomonitoraggio della popolazione italiana per l'esposizione a metalli: valori di riferimento 1990-2009*. Rapporti Istisan 10/22.
13. White M.A, Sabbioni E. *Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Union. X. A study of 13 elements in blood and urine of a United Kingdom population*. Sci Total Environ 1998;216:253-70
14. Begerow J, Sensen U, Wiesmüller G.A, Dunemann L. *Internal platinum, palladium, and gold exposure in environmentally and occupationally exposed persons*. Zentralbl Hyg Umweltmed, 1999;202:411-24.
15. Violante N, Petrucci F, Senofonte O, Cristaudo A, Di Gregorio M, Forte G, Alimonti A.. *Assessment of workers' exposure to palladium in a catalyst production plant*. J Environ Monit 2005;7:463-8.
16. Minoia C, Sabbioni E, Apostoli P, Pietra R, Pozzoli L, Gallorini M, Nicolaou G, Alessio L, Capodaglio E. *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
17. Alimonti A, Bocca B, Mattei D, Pino A. *programma di biomonitoraggio dell'esposizione della popolazione italiana (PROBE): dose interna dei metalli*. Rapporti Istisan 11/9.

18. Gonzales C.A, Kogevinas M, Gadea E, Huici A, Bosch A, Bleda M.J, Papke O. *Biomonitoring study of people living near or working at a municipal solid- waste incinerator before and after two years of operation.* Arch Environ Health 2000;55:259-267.
  19. Mari M, Nadal M, Schuhmacher M. et al. *Body burden monitoring of dioxins and other organic substances in workers at a hazardous waste incinerator.* Int J Hyg Environ Health 2013, 216 (6):728-734.
  20. European Commission Employment, Social Affairs & Inclusion Health and Safety at work, The Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL). Recommendations SCOEL, may 2013.
  21. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH 2013. Classificazione secondo il 30° adeguamento del 21 agosto 2008, della direttiva 67/548/CEE.
  22. Mari M, Schuhmacher M, Domingo JL. *Levels of metals and organic substances in workers at a hazardous waste incinerator: a follow-up study.* Int Arch Occup Environ Health. 2009 Mar;82(4):519-28. doi: 10.1007/s00420-008-0350-0. Epub 2008 Aug 20.
  23. Maître A, Collot-Fertey D, Anzivino L, Marques M, Hours M, Stoklov M. *Municipal waste incinerators: air and biological monitoring of workers for exposure to particles, metals, and organic compounds.* Occup Environ Med. 2003 Aug;60(8):563-9.
  24. Ichiba M, Ogawa Y, Mohri I, Kondoh T, Horita M, Matsumoto A, Yoshida R, Matsumoto Y, Saito H, Ohba K, Yamashita Z, Tomokuni K *Analysis of urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in incineration workers.* J Occup Health. 2007 Mar;49(2):159-64.
- 